



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA
ÁREA: INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

INFORME DEL EJERCICIO PROFESIONAL

APLICACIÓN DE LA ELECTRICIDAD, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
A LA NAVEGACIÓN AÉREA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO
ÁREA: INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

P R E S E N T A

ALVARO RAFAEL NÚÑEZ BOHÓRQUEZ

A S E S O R

M. EN I. FIDEL GUTIÉRREZ FLORES



CIUDAD NEZAHUALCÓYOTL, ESTADO DE MÉXICO, MARZO 2022



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.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	4.	
INTRODUCCIÓN.....	5.	
CAPÍTULO 1		
¿QUÉ ES LA NAVEGACIÓN AÉREA Y POR QUÉ LA NECESIDAD DEL CONTROL DE TRÁNSITO AÉREO?.....		7.
1.1 SERVICIO DE CONTROL DE AERÓDROMO.....	8.	
1.2 SERVICIO DE APROXIMACIÓN.....	8.	
1.3 SERVICIO DE CONTROL DE ÁREA.....	10.	
1.4 INGENIERÍA EN EL CONTROL DE TRÁNSITO AÉREO.....	11.	
CAPÍTULO 2		
MARCO TEÓRICO		
2.1 CONCEPTOS BÁSICOS DE ELECTRICIDAD.....	13.	
2.2 CONCEPTOS BÁSICOS DE ELECTRÓNICA.....	16.	
2.3 CONCEPTOS BÁSICOS DE TELECOMUNICACIONES.....	22.	
CAPÍTULO 3		
BASES DE INGENIERÍA PARA EL CONTROL DE TRÁNSITO AÉREO		
3.1 SISTEMAS DE COMUNICACIONES.....	27.	
3.2 SISTEMA DE RADIOAYUDAS.....	28.	
3.3 METEOROLOGÍA.....	28.	

CAPÍTULO 4

INGENIERÍA DE SERVICIOS PARA EL CONTROL DEL TRÁNSITO AÉREO (APLICACIÓN EN CAMPO)

4.1 TRANSMISORES Y RECEPTORES.....	30.
4.2 RED AFTN (AERONAUTICAL FIXED TELECOMMUNICATION NETWORK).....	33.
4.3 SISTEMA DE ESTACIONES TERRENAS.....	36.
4.4 EMPLEO DE UN SISTEMA DE RADIO ENLACE.....	38.
4.5 VOR.....	41.
4.6 DME.....	47.
4.7 RADAR	48.
4.8 PROCESAMIENTO RADAR.....	50.
4.9 SISTEMA DE METEOROLOGÍA.....	53.

CAPÍTULO 5

FUTURO DE INGENIERÍA DE SERVICIOS PARA EL CONTROL DE TRÁNSITO AEREO

5.1 SISTEMA ADS-B.....	58.
5.2 SKYVECTOR.....	59.
5.3 FLIGHTRADAR24.....	59.
5.4 RAMMB.....	60.
5.5 FLIGHTAWARE	61.
6. CONCLUSIONES.....	62.
7. BIBLIOGRAFÍA.....	64.

AGRADECIMIENTOS

Pasaron casi veinte años desde que me gradué de mi alma máter, realicé mi proyecto de vida quizá inesperado porque no todo es como lo planeas; como por ejemplo, jamás me imaginé vivir en una ciudad ajena a donde nací por tanto tiempo a causa de mi trabajo, pero por supuesto que me ha llenado de muchas satisfacciones; el camino ha sido largo, todos en la vida hemos tenido que vencer obstáculos que al final te dan experiencia y serenidad con el paso del tiempo ante las adversidades.

Formé mi familia a quien amo; en lo laboral me siento satisfecho, pero aún quedaba un hueco por llenar que evitaba sentirme pleno, motivo por el cual he realizado el presente informe.

Agradezco enormemente el apoyo y la confianza de mi asesor M. en I. Fidel Gutierrez Flores quien sin conocerme en inicio siempre a sido una guía para poder lograr este trabajo a distancia, también al Dr. Ismael Díaz Rangel por sus observaciones acertivas respecto al presente material; me hizo recordar con nostalgia mis tiempos de estudiante, por supuesto a los Ingenieros Joel García Zárraga, Fernando Xavier Vázquez M. e Ing. Karina Martínez Romero quienes me han dado su voto aprobatorio para poder seguir con este proceso.

A mi esposa Rosa Icela Espinoza Amavizca siempre motivandome ha seguir superándome, mi pequeña hija Rosa Aurora Núñez Espinoza y mi madre Catalina Núñez Bohórquez ya entrada en edad, que hasta la fecha me sigue recordando lo que aún me falta por concluir.

Al organismo gubernamental Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano del que formo parte, donde me he desarrollado profesionalmente, y me ha permitido conocer grandes compañeros a los que tengo en gran estima.

Por supuesto y no por orden de importancia a la institución que me formó, orgullosamente puma siempre.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo, describe un aspecto muy general sobre las actividades que realizo actualmente en el órgano desconcentrado de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes llamado Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano (SENEAM), el cuál se encarga de proporcionar los servicios de ayuda a la navegación aérea, más específicamente radioayudas, detección radar, telecomunicaciones, meteorología e información aeronáutica, que se utilizan para garantizar la seguridad operacional y la fluidez de las aeronaves que transportan personas y bienes sobre el espacio aéreo en el territorio nacional.

Dentro de este organismo gubernamental existen tres áreas que se dividen en administrativa (encargada de gestionar, planificar, contabilizar, administrar los recursos, cubrir las necesidades y funciones con efectos jurídicos dentro del organismo), operativa (controladores de tránsito aéreo, encargados de proveer el servicio a los clientes, que son aeronaves comerciales, de carga, gubernamentales, militares y particulares), y técnica (o de ingeniería que es donde me desempeño, responsable de mantener en funcionamiento las veinticuatro horas del día los sistemas que utilizan los controladores y las aeronaves dentro de la normatividad vigente aplicada y regulada por este organismo).

La información que menciono a partir del capítulo 3 más adelante va enfocada a los sistemas que involucran el área técnica y sus fallas que normalmente me son reportadas; teniendo que ser resueltas en inmediatez debido a los servicios prioritarios que entregan, aunado a las vidas humanas que dependen de ellos.

Es una descripción breve ya que el presente informe no pretende abordar detalladamente cada sistema o equipo específico, ya que sería muy extenso, pero sí se explica para que sirva, el tipo de servicio que ofrece y sus fallas que presentan.

La explicación para la resolución de un problema de cada equipo o sistema se agregó al final de su descripción, con un caso práctico real documentado en las bitácoras de este organismo que tuve que resolver en mi turno laboral, son ocho problemas incluidos al final de la descripción de cada equipo involucrado.

No todo es tecnología de punta, como es el caso del VOR (Very High Frequency Omnidirectional Range) marca Wilcox modelo 1978, actualmente en funcionamiento que maneja tarjetas electrónicas de estado sólido con dispositivos de transistores 2N3053, 2N5886, 2N3790, 2N1711, 2N2905 etcétera ó circuitos integrados como el SN74150N, SN74153N, SN7400N ó diodos como el 1N914 por nombrar solo algunos, que permiten ser manipulables, de fácil acceso para poder ser reparados, es por ello que aún sigo aplicando el método escolar de prácticas de laboratorio en identificación y verificación de

componentes con un simple multímetro cuando es requerido, por algún mal funcionamiento de alguno de estos dispositivos cuando es detectado.

Es por ello que en el capítulo 2, desde mi punto de vista creo conveniente para el lector interesado en desempeñarse en ésta área, dar un repaso a los principios básicos de la electrónica; así también como de la electricidad enfocada a generadores de energía eléctrica y telecomunicaciones con sus medios de transmisión.

Sin embargo si el lector ya conoce o domina estos principios, sin problema puede entrar de lleno al capítulo 3, donde se narra más a detalle los equipos que utilizo en el campo.

El capítulo 1 inicia con una descripción de los servicios que ofrece esta dependencia, siendo las aerolíneas comerciales de pasajeros, aerolíneas de carga, aeronaves privadas o de servicios privados, de gobierno o militares, nuestros clientes; también, se menciona un breve resumen del departamento de control de tránsito aéreo e ingeniería de servicios que son los que estrechamente se mantienen en continúa colaboración debido a la situación causa y efecto por sus reportes de fallas y la coordinación para corroborar la habilitación inmediata del servicio a normalizar.

Finalizamos con el capítulo 5, donde se menciona la implementación paulatina en ésta dependencia de tecnología basada en GPS con el equipo ADS-B y sus aplicaciones, como herramienta alterna de apoyo a los sistemas de procesamiento radar, de una manera meramente descriptiva sin abordarlo a detalle.

Espero que el presente material sea un aliciente para las áreas de ingeniería o interesados en desarrollarse en el sector aeronáutico; siendo éste, un enorme campo con distintas ramificantes y puedan comprender en inicio todos los elementos que involucra una aeronave en su navegación desde que despegar de un lugar hasta que aterriza en otro, sin mencionar las otras áreas como por ejemplo la industria de la fabricación de aviones por ejemplo o la manufactura de sus componentes por mencionar solo algunos.

CAPÍTULO 1

1. ¿QUÉ ES LA NAVEGACIÓN AÉREA Y POR QUÉ LA NECESIDAD DEL CONTROL DE TRÁNSITO AÉREO?

¿Alguna vez te has preguntado que factores intervienen en una aeronave que al desplazarse en el espacio aéreo de un lugar a otro, evite entrar en riesgo de colisión con otra aeronave u obstáculo, donde al mismo tiempo se encuentran cientos de aviones navegando en el aire, y dicho riesgo se incrementa cuando el avión se aproxima para aterrizar en pista o se encuentra despegando del aeropuerto?

Pues así como existen reglas de tránsito vehicular, de la misma manera hay todo una serie de elementos que conforman la seguridad aérea y aunque pudiera parecer lo contrario, los aviones comerciales, privados ó militares no se mueven por el aire a su libre albedrío, sino que la circulación aérea está fuertemente reglamentada, por lo tanto se determina que en el espacio aéreo existen “aerovías aéreas” que conectan de una ciudad a otra, y siempre bajo la estricta vigilancia de los centros de control de tránsito aéreo.

Mencionado lo anterior es así como surge la necesidad de un servicio que proporcione apoyo a las pilotos de las aeronaves que se encuentran en vuelo; el cual denominaremos “control de tránsito aéreo” que es un servicio que proporcionarán los controladores de tráfico aéreo.

Entonces recordemos que el propósito primario del sistema de ATC (Air Traffic Control) es prevenir una colisión entre las aeronaves que operan en el espacio aéreo, organizar y agilizar el flujo de tráfico. Ahora bien; resumiremos los objetivos de los servicios de tráfico aéreo:

- 1. Prevenir colisiones entre aeronaves.**
- 2. Prevenir colisiones entre obstrucciones del área, tales como serranías, antenas, edificios, árboles, etc.**
- 3. Agilizar y mantener un flujo ordenado de tráfico aéreo.**
- 4. Proporcionar consejos e información útil para la segura y eficaz conducción de los vuelos.**
- 5. Notificar a las organizaciones apropiadas con respecto al avión en necesidad de búsqueda y rescate (Search and Rescue), y ayudar a tales organizaciones como sea requerido.**

Hay muchos factores involucrados que impedirán o reforzarán una experiencia en vuelo. Los dos “secretos” son comunicación eficaz y tener un plan para actuar en cada situación; de aquí la importancia de entender el papel que cada facilidad (servicio) juega respecto al flujo seguro, ordenado, y eficiente del control de tránsito aéreo.

SERVICIOS DE CONTROL:

Estos servicios son proporcionados directamente por el “controlador de tránsito aéreo” a las aeronaves y se encuentran organizados en tres tipos: servicio de control de aeródromo, servicio de aproximación y servicio de control de área.

1.1 SERVICIO DE CONTROL DE AERÓDROMO.

Este servicio lo proporciona el controlador de tránsito aéreo desde la torre de control a todas las aeronaves que se encuentran volando en las inmediaciones de un aeropuerto y las que circulan en el área de maniobras del mismo como son: la pista, las calles de rodaje y la plataforma.

Pista: Es la superficie que utilizan las aeronaves para llevar a cabo los despegues y aterrizajes, una regla general es que no pueden estar dos aviones simultáneamente sobre ella.

Calles de rodaje: Son los tramos que unen a las pistas con las plataformas.

Plataformas: Son los lugares en donde las aeronaves se estacionan para ser reabastecidas con combustible y en donde les pueden dar mantenimiento.

Torre de Control: Lugar donde se encuentran los controladores de tránsito aéreo y donde realizan sus funciones. Estas edificaciones especiales deben permitirles una observación y vigilancia visual sin ninguna dificultad sobre la zona en que tienen responsabilidad, además debe estar equipada adecuadamente para que puedan comunicarse con las aeronaves, con otras dependencias del aeropuerto y con otras unidades de control de tránsito aéreo como “control de aproximación” y “centros de control de área”.

El espacio designado para que se proporcione este servicio corresponde a un cilindro con cinco millas de radio en promedio con centro en el aeropuerto y una altura de dos mil pies en un plano vertical sobre la superficie del terreno.

1.2 SERVICIO DE APROXIMACIÓN.

Este servicio es proporcionado por los controladores de tránsito aéreo que se encuentran en las unidades de “control de aproximación” o puede ser desde una “torre de control” o un “centro de control de área”.

En todos los aeropuertos que tienen este servicio se establece un espacio aéreo controlado que se llama “área de control terminal” y que se extiende hasta 80 millas de radio con centro en el aeropuerto y hasta 20000 pies de altitud y se suministra a las aeronaves volando conforme a un plan de vuelo por instrumentos dentro del área terminal que llegan o salen de uno o más aeropuertos dentro de dicha área.

El controlador proporciona este servicio manteniendo a los aviones que llegan procedentes de diferentes aerovías hacia el aeropuerto de destino, facilitándoles el descenso hacia la pista asignada. En la **figura 1.3** se observan la distancia del radial y las altitudes mínimas.

El tránsito de salida es dirigido hacia las rutas aéreas previstas en el plan de vuelo, manteniéndose la separación entre las salidas.

Las unidades de “control de aproximación” mantienen una estrecha coordinación con las “torres de control” y los “centros de control de área” para intercambiar información e instrucciones relativas a la circulación aérea dentro de su espacio jurisdiccional.

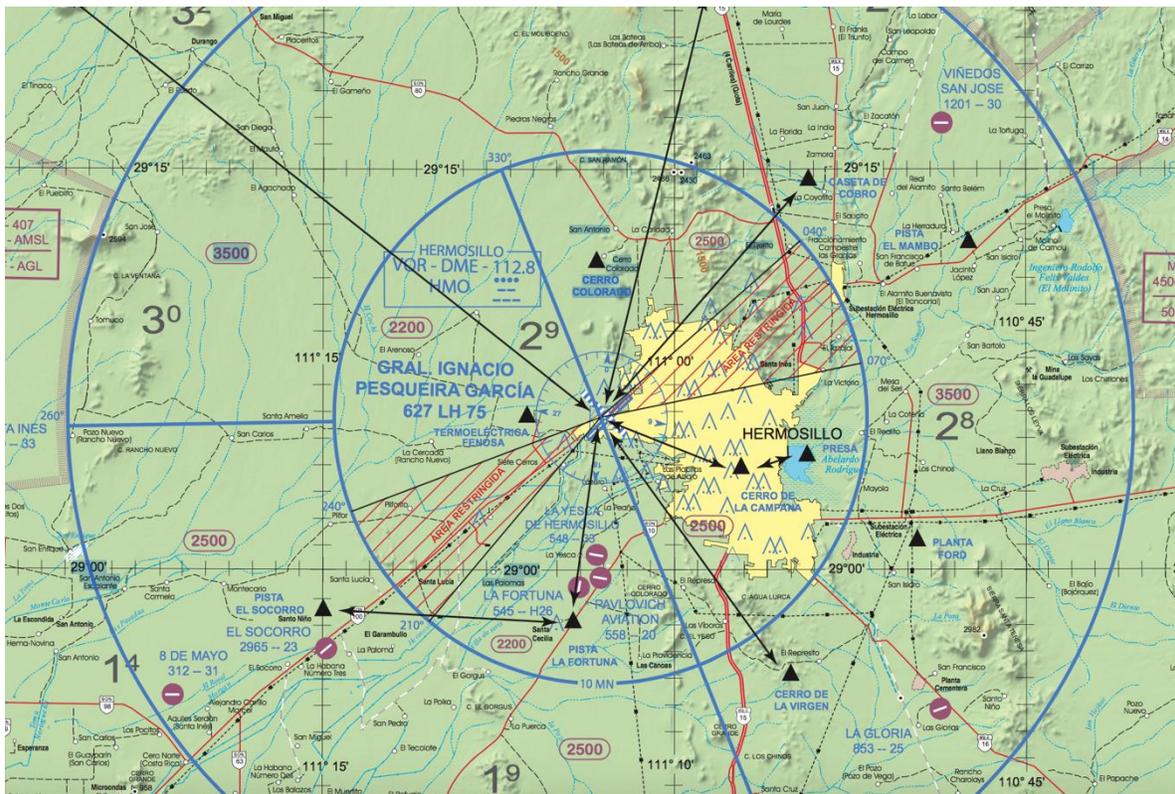


Figura 1.3. Carta de información aeronáutica, extraído de la página de libre acceso de la FEMPPA Federación Mexicana de Pilotos y Propietarios de Aeronaves <https://femppa.mx/wp-content/uploads/2017/06/Hermosillo.jpg>

En la aeronáutica, también se le conoce como “aproximación final” o tramo final de aproximación al último segmento de vuelo durante el descenso de la aeronave hacia el aeropuerto de destino.

En esta fase el avión está alineado con la pista de aterrizaje, entonces los pilotos, personal de cabina y pasajeros en caso de que hubiesen, están preparados para el contacto con la tierra; usualmente los pilotos suelen indicar por radio aproximación final.

1.3 SERVICIO DE CONTROL DE ÁREA.

Este servicio se proporciona desde los “centros de control” a todas las aeronaves con plan de vuelo por instrumentos que se encuentren volando a lo largo de las aerovías (rutas aéreas) designadas como espacio aéreo controlado, el cual se extiende de la altitud mínima de la aerovía hasta 20000 pies de altura y más arriba.

El control de área tiene bajo su responsabilidad espacios aéreos de grandes dimensiones, por lo que se subdivide en sectores de control, los cuales son atendidos por diferentes equipos de controladores, a los que se les distribuye las cargas de trabajo lo más equitativamente posible.

En el país existen cuatro “centros de control de área”: el de la Ciudad de México, otro que se encuentra en la ciudad de Monterrey, el centro de control de la ciudad de Mazatlán y el de la ciudad de Mérida.

En el control del tráfico aéreo, un centro de control de área, también conocido como centro o centro en ruta, es una instalación responsable de controlar las aeronaves que vuelan en un volumen particular de espacio aéreo (una región de información de vuelo) a grandes altitudes entre las aproximaciones al aeropuerto y las salidas; en los Estados Unidos, dicho centro se denomina centro de control de tráfico de rutas aéreas. Por lo general, un centro acepta el tráfico de un centro de control de terminal u otro centro y, en última instancia, lo transfiere al control. La mayoría de los centros son operados por los gobiernos nacionales de los países en los que están ubicados. Las operaciones generales de los centros de todo el mundo y los límites del espacio aéreo que controla cada centro están regidos por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). En algunos casos, la función de un centro de control de área y un centro de control de terminal se combinan en una sola instalación.

La región de información de vuelo controlada por un centro puede subdividirse administrativamente en áreas que comprenden de dos a nueve sectores. Cada área cuenta con un conjunto de controladores capacitados en todos los sectores de esa área.

Los controladores de tráfico aéreo que trabajan dentro de un centro se comunican por radio con los pilotos de las aeronaves por reglas de vuelo por instrumentos que pasan por el espacio aéreo del centro. Las frecuencias de comunicación de un centro (típicamente en las bandas de aviación son de muy alta frecuencia, utilizando modulación de amplitud (AM) 118 MHz a 137 MHz, para control terrestre) que publican las cartas y manuales aeronáuticos siendo referidas o anunciadas al piloto por el controlador anterior durante un traspaso. La mayoría de las asignaciones de radio son en VHF. Dichas cartas o manuales aeronáuticos continuamente reciben actualizaciones, debido a cambios, mejoras y seguridad en las rutas aeronáuticas. Estas cartas se les conoce como PIA/AIP manual de publicación de información aeronáutica (véase la figura 1.3 anterior).

1.4 INGENIERÍA EN EL CONTROL DE TRÁNSITO AÉREO

Toda los sistemas empleados para el control de tránsito aéreo están respaldados por un departamento de ingeniería, el cual tiene la responsabilidad de mantener, actualizar, corregir, mejorar y socorrer una necesidad apremiante o problema que involucre los sistemas y equipos utilizados para este fin.

Es así que en una situación que involucra un mal funcionamiento de un sistema que provoca una deficiencia con pérdida parcial o total de “comunicación” (que es la prioridad esencial en un controlador de tráfico aéreo) con el piloto, como por ejemplo no tener información sobre los planes de vuelo, tener nula información sobre datos de meteorología, o en el peor de los casos perdida total de los tráficos (aeronaves) en el despliegue de los datos radar en su pantalla; ¿qué tal si de repente?, tenemos una caída total del suministro eléctrico; pues justo cuando redactaba esto, recuerde que en un día lluvioso una descarga eléctrica se indujo por las líneas telefónicas rematadas cerca de las tarjetas electrónicas que reciben datos y quemó cuatro modem digitales de los datos que entregan al sistema radar; solo por decir algunos casos de los que mencione anteriormente, originarían en inmediatez una alerta del controlador y por ende un reporte de necesidad hacia el departamento encargado de mantener estos servicios, es aquí donde entra el área de “ingeniería de servicios”, que es la responsable de mantener y garantizar la continuidad en el servicio de control de tráfico aéreo con la fiabilidad requerida por la suma importancia del mismo.

Entrando a detalle sobre todos los equipos que integran los sistemas para el control de tránsito aéreo mencionaré los siguientes:

Tenemos cinco áreas definidas como: “*sistemas de energía*” (plantas de emergencia o generadores de electricidad con motores a diesel, bancos de baterías o ups, redes de suministro eléctrico, iniciando desde la acometida que nos entrega la CFE hacia los transformadores de bajada), “*sistemas de comunicaciones*” (red AFTN o red sobre información de planes de vuelo, red local o intranet, internet, red de datos radar, comunicaciones punto a punto y por radiofrecuencia, conmutadores telefónicos o PABX y sus extensiones telefónicas, enlaces por TDMA, radio enlaces y radios de emergencia), “*radioayudas*” (VOR Y DME) sistema encargado de medir la posición con respecto al norte magnético de la aeronave y su distancia de aproximación con respecto a la pista de aterrizaje; “*procesamiento radar*” (que incluye el sistema que se encarga de procesar la información entregada del radar y desplegarla en las pantallas de los controladores que son los usuarios finales debidamente codificada y con la información requerida; por normatividad y necesidad del controlador generalmente esta información se procesa junto con la información de varios radares para mayor precisión), por último y no por orden de importancia finalizamos con el “*sistema de radar*” mismo que conlleva el mantenimiento en sí de todo el sistema mecánico eléctrico de los motores llamado “sistema de arrastre” que hacen girar la antena de radar, además de las guías de onda de señal electromagnética detectada (proceso de la señal detectada en bruto por el radar y su procesamiento a nivel de plot y trama).

Es por ello que debido a la diversidad de fallas que se puedan presentar en nuestra estación, se deglosarán a continuación los conceptos básicos generales que considero son necesarios para cubrir cada necesidad en su respectiva área ya que para cada una de ellas es de vital importancia mantener y garantizar el correcto funcionamiento.

CAPÍTULO 2.

MARCO TEÓRICO

2.1 CONCEPTOS BÁSICOS DE ELECTRICIDAD.

GENERADOR:

Por ser una fuente de energía limitada, a la capacidad del generador, debemos tomar en cuenta que el voltaje varía en proporción directa a la potencia, e inversamente proporcional a la corriente, es decir, a mayor voltaje mayor fuerza menor corriente, a mayor corriente menor fuerza menor voltaje.

Debido al diseño y construcción del generador de corriente alterna, nos permite disponer por lo regular de dos o tres voltajes, es decir, se puede reconectar de tal forma que suministre la energía, tanto en forma trifásica, bifásica o monofásica (véase figura 2.1)

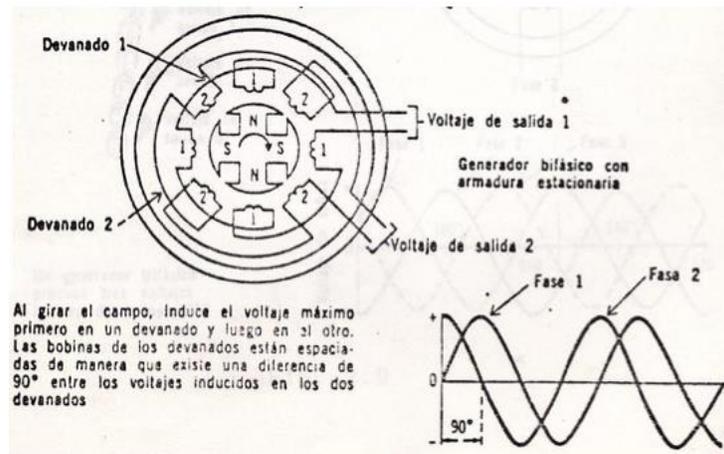


Fig. 2.1. *Generador bifásico*, recuperado de <https://www.monografias.com/trabajos72/generadores-electricos/generadores-electricos2.shtml>

En cargas del tipo trifásico, en donde se pueden suministrar voltajes comprendidos en un rango desde 208 hasta 480 volts, la capacidad del generador es del 100% del valor nominal o de placa.

El tipo de conexión para el suministro de voltaje, en los sistemas trifásicos será de acuerdo a los requerimientos propios de la carga por alimentar, existen dos tipos de conexión los cuales se conocen como:

Estrella paralelo (208 a 240 volts) **Ver figura 2.2**

Estrella serie (416 a 480 volts) **Ver figura 2.3**

Esta conexión esta determinada por tres hilos y neutro

El voltaje suministrado es de línea a línea (fases) y además de poder proporcionar voltajes monofásicos de línea a neutro, desde 110 hasta 277 volts con las mismas conexiones.

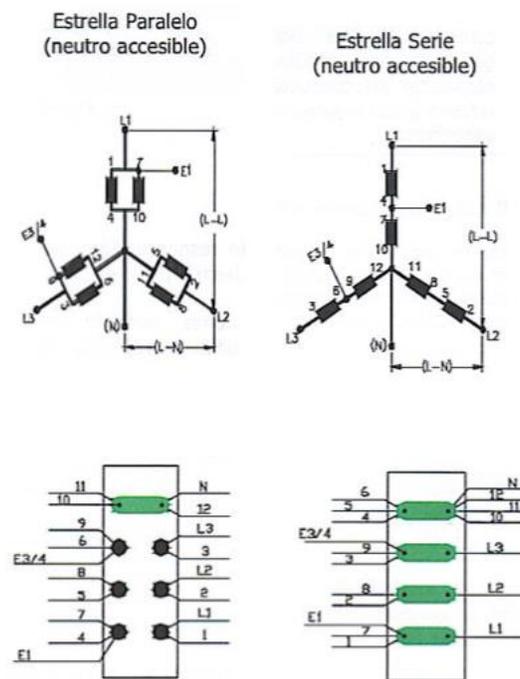


Fig. 2.2 y 2.3 Manual de procedimientos de sistemas de energía SENEAM (2018).

Con la utilización de las plantas generadoras para el suministro de los distintos voltajes, en donde se utilizan generadores de corriente alterna del tipo síncrono sin escobillas, y como su nombre lo indica tienen la propiedad de mantener su velocidad constante, en función solamente de la frecuencia de la línea y del número de polos.

La velocidad síncrona, es la velocidad del campo giratorio inducido en el rotor, y la podemos calcular de la siguiente forma:

$$V_s = 120 f / \text{número de polos}$$

Donde F es la frecuencia

En este caso los equipos están construidos comúnmente en cuatro polos, en donde la frecuencia es directamente proporcional al número de polos, e inversamente proporcional al desfaseamiento del voltaje de salida, y la podemos calcular de la siguiente forma:

$$F = \text{número de polos} \times \text{rpm} / 120$$

Estos equipos pueden proporcionarnos frecuencias en 50 o 60 ciclos (Hz), en función al número de polos y a su velocidad, teniendo lo siguiente: 1500 rpm, 1800 rpm, 50 cps y 60 cps.

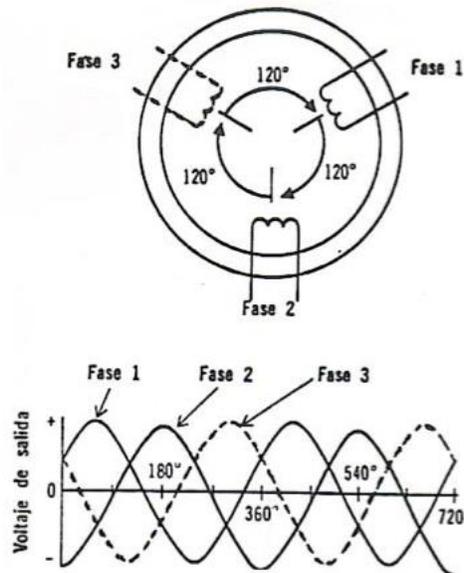


Fig. 2.4. Generador trifásico: monografias.com (2021), recuperado de <https://www.monografias.com/trabajos72/generadores-electricos/generadores-electricos2.shtml>

La característica de estos equipos es la de poder proporcionar un fluido o corriente eléctrica delimitada en razón al tipo de conexión, al sistema de carga, y al voltaje requerido del sistema de carga, sea tipo monofásico o trifásico y nos proporciona el voltaje de alimentación, sea en 110, 220, o 440 volts, lo que nos determina la corriente disponible y la podemos calcular de la siguiente forma:

TIPO MONOFÁSICO

$$I = KW \times 1000 / V \times FP$$

TIPO TRIFÁSICO

$$I = KW \times 1000 / 1.73 \times V \times FP$$

Donde:

KW = KILOWATTS DEL GENERADOR

V = VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN

FP = FACTOR DE POTENCIA DEL GENERADOR

La diferencia en los sistemas monofásicos y trifásicos es una constante que es la raíz de 3, cuyo valor es 1,73 y viene básicamente de una operación vectorial, en relación al desplazamiento de las fases del generador en 120° eléctricos y que vendría a ser la resta de una fase, en sistemas monofásicos, desplazados en 120° y el sentido de la resultante será en función de la secuencia (**ver figura 2.4**):

Como se indica en las formulas eléctricas para la obtención de la corriente.

TIPO MONOFÁSICO

$$I = KW \times 1000 / V \times FP$$

TIPO TRIFÁSICO

$$I = KW \times 1000 / 1.73 \times V \times FP$$

2.2 CONCEPTOS BÁSICOS DE ELECTRÓNICA.

Resistencias fijas: Siempre tienen el mismo valor. Su valor o unidad es el ohmio (Ω) y su valor teórico viene determinado por un código de colores. Si recuerdas la ley de ohm, a mayor resistencia menor intensidad de corriente, por eso se usan para limitar o impedir el paso de la corriente por una zona de un circuito. El símbolo utilizado para los circuitos, es (**ver figura 2.2a**) :

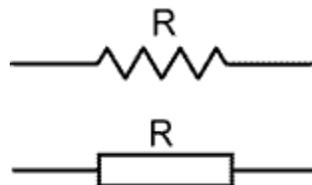


Fig. 2.2a Resistencia eléctrica (2021). Licencia libre de uso:
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Resistencia_electrica.jpg

Código de colores:

El primer color indica el primer número del valor de la resistencia, el segundo color el segundo número, y el tercero el número de ceros a añadir. Cada color tiene asignado un número. Este código es el llamado código de colores de las resistencias. Un ejemplo. Rojo-Rojo = 2200Ω (se le añaden los ceros). Ver **figura 2.2b** :

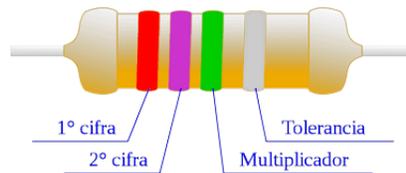


Fig 2.2b Código de colores. (2021). Todos los derechos para: <https://www.areatecnologia.com/electricidad/codigo-de-colores-de-resistencias.html>.

El primer color nos dice que tiene un valor de 2, el segundo de 7, es decir 27, y el tercer valor es por 100.000 (o añadirle 5 ceros). La resistencia valdrá 2.700.000 ohmios.

Potenciómetro: Son resistencias variables mecánicamente (manualmente). Los valores de la resistencia del potenciómetro varían desde 0Ω , el valor mínimo y un máximo, que depende del potenciómetro. Los potenciómetros tienen 3 terminales. OJO La conexión de los terminales exteriores (los extremos) hace que funcione como una resistencia fija con un valor igual al máximo que puede alcanzar el potenciómetro. El terminal del medio con el de un extremo hace que funcione como variable al hacer girar una pequeña ruleta. Aquí vemos 2 tipos diferentes, pero que funcionan de la misma forma (**ver figura 2.2c**) :



Fig 2.2c Potenciómetro (2021). Licencia libre de uso: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:10K_Potentiometer_1480310_1_2_Enhancer.jpg

Cualquier símbolo electrónico que tenga una flecha cruzándole significa que es variable. En este caso, una resistencia variable o potenciómetro sería (**ver figura 2.2d**) :

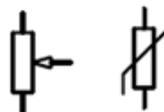


Fig 2.2d *Potenciómetro variable (símbolo)* 2021. Licencia de libre uso:
<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/ca/Potenci%C3%B3metro.png>

La LDR o Resistencia Variable con la luz: Resistencia que varía al incidir sobre ella el nivel de luz. Normalmente su resistencia disminuye al aumentar la luz sobre ella. Suelen ser utilizados como sensores de luz ambiental o como una fotocélula que activa un determinado proceso en ausencia o presencia de luz. Cualquier símbolo que tenga flechas dirigidas hacia el símbolo, significa que cambia al actuar la luz sobre el. Su símbolo es: Ver **figura 2.2e**:

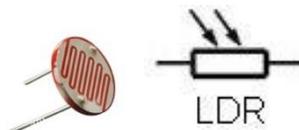


Fig 2.2e *Fotoresistor LDR* (2021). Licencia libre de uso: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d3/LDR-gs-2012.jpg>

El Termistor: Son resistencias que varían su valor en función de la temperatura que alcanzan. Hay dos tipos: la NTC y la PTC. véase figura 2.2f:

NTC : Aumenta el valor de su resistencia al disminuir la temperatura (negativo).

PTC: Aumenta el valor de su resistencia al aumentar la temperatura (positivo).

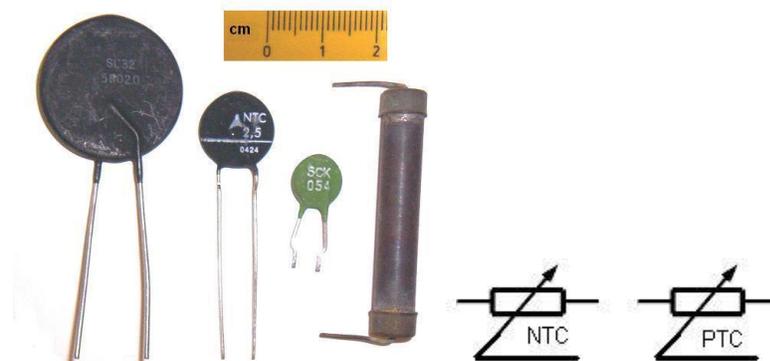


Fig. 2.2f *Termistor NTC, PTC* (2021). Licencia libre de uso:
<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9a/Heissleiter2.jpg>

VDR o Varistor resistencia variable con la tensión:

Un varistor es un componente electrónico que modifica su resistencia eléctrica en función de la tensión que se aplica en sus extremos o patillas. También se suele llamar por su abreviatura VDR (Voltage Dependent Resistor). El tipo más común de varistor de óxido metálico (MOV). Un MOV contiene una masa cerámica de granos de óxido de zinc, en una matriz de otros óxidos metálicos (como pequeñas cantidades de bismuto, cobalto, manganeso) intercalados entre dos placas de metal (los electrodos). Se suele utilizar para proteger los componentes de un circuito contra sobretensiones. Véase **figura 2.2g**:

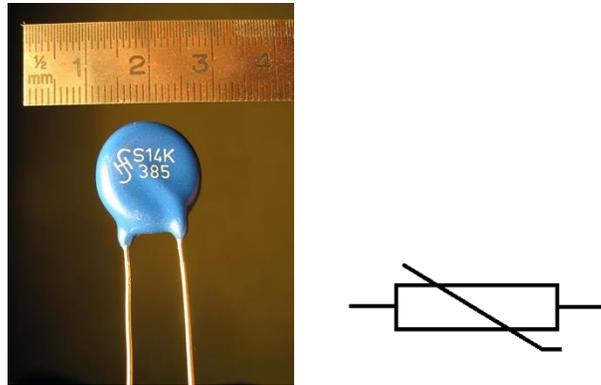


Fig. 2.2g Varistor VDR (2021). Licencia libre de uso: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Varistor_S14K385_photo.jpg

El Diodo: Componente electrónico que permite el paso de la corriente eléctrica en una sola dirección (polarización directa). Cuando se polariza inversamente no pasa la corriente por él. Véase figura **2.2h**

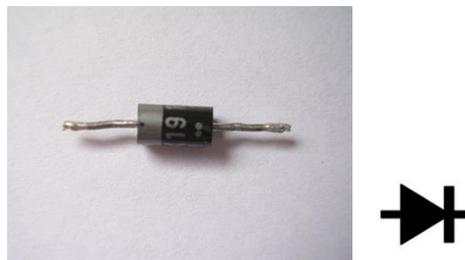
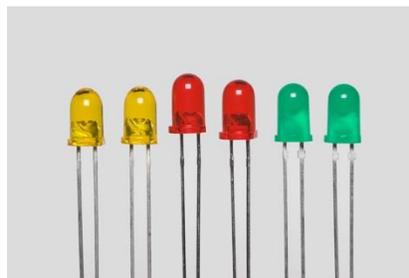


Fig. 2.2h Diodo (2021). Licencia libre de uso: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diodo.jpg>

El Diodo Led: Diodo que emite luz cuando se polariza directamente (patilla larga al +). Estos diodos funcionan con tensiones menores de 2V por lo que es necesario colocar una resistencia en serie con ellos cuando se conectan directamente a una pila de tensión mayor (por ejemplo de 4V).

La patilla larga nos indica el ánodo. Lucirá cuando la patilla larga este conectada al polo positivo (polarización directa). Véase **figura 2.2i**.



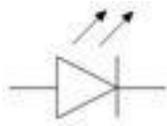


Fig. 2.2i *Diodo LED* (2021). Licencia libre de uso: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:LEDs.jpg>

Diodo Zener: Los diodos zener, zener diodo o simplemente zener, son diodos que están diseñados para mantener un voltaje constante en su terminales, llamado Voltaje o Tensión Zener (V_z) cuando se polarizan inversamente, es decir cuando está el cátodo con una tensión positiva y el ánodo negativa.

En definitiva, los diodos zener se conectan en polarización inversa y mantiene constante la tensión de salida. Véase **figura 2.2j**:

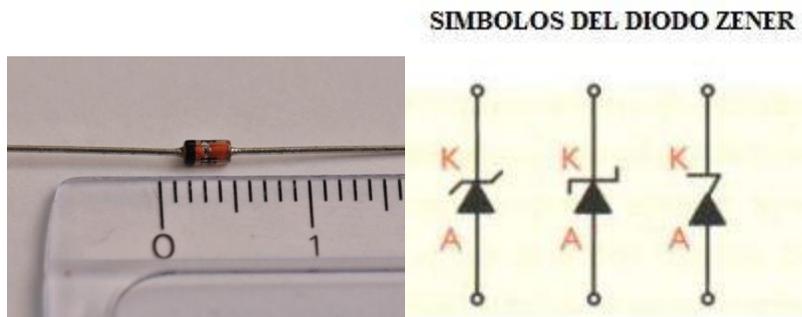


Fig. 2.2j *Diodo ZENER* (2021). Licencia libre de uso: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8a/Zener_diode.jpg

El Condensador: Componente que almacena una carga eléctrica para liberarla posteriormente; por lo tanto la cantidad de carga que almacena se mide en faradios (F), pero como esta unidad es muy grande suele usarse el microfaradio (10 elevado a -6 faradios) o el nanofaradio (10 elevado a la -9 faradios). Ojo, los condensadores electrolíticos están compuestos de una solución química corrosiva y hay que conectarlos adecuadamente. Patilla larga al positivo de la pila o batería. Véase **figura 2.2k**:





Fig 2.2k Condensador ó Capacitor (2021). Licencia libre de uso: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b9/Capacitors_%287189597135%29.jpg

El Relevador: Es un elemento que funciona como un interruptor accionado eléctricamente. Tiene dos circuitos diferenciados. Un circuito de una bobina que cuando es activada por corriente eléctrica cambia el estado de los contactos. Los contactos desactivarán o activarán otro circuito diferente. Véase **figura 2.2l**:

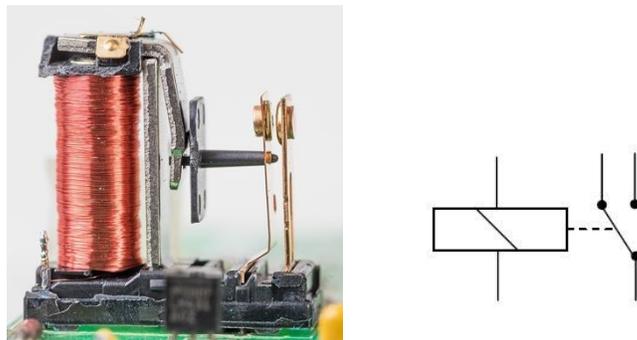


Fig. 2.2l Relevador (2021). Licencia libre de uso: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/38/Delta_Electronics_DPS-350FB_A_-_board_1_-_OEG_SDT-SS-112M_-_case_removed-3045.jpg

El Transistor: Es un componente electrónico que funciona como un interruptor o como un amplificador. La forma de trabajar de un transistor puede ser de tres formas distintas: como un interruptor por que deja o no deja pasarla corriente y como amplificador porque con una pequeña corriente (en la base) pasa una corriente mucho mayor (entre el emisor y el colector). Véase **figura 2.2m**:



Fig. 2.2m Transistor (2021). Licencia libre de uso: <https://pixabay.com/es/photos/transistor-bd-electr%C3%B3nico-hardware-903642/>

2.3 CONCEPTOS BÁSICOS DE TELECOMUNICACIONES

Los medios de transmisión son los caminos físicos por medio de los cuales viaja la información y en los que usualmente lo hace por medio de ondas electromagnéticas. Los medios de transmisión vienen divididos en guiados (por cable) y no guiados (sin cable). Normalmente los medios de transmisión vienen afectados por los factores de fabricación, y encontramos entonces unas características básicas que los diferencian:

ANCHO DE BANDA

El ancho de banda es el rango de frecuencias que se transmiten por un medio. Se define como BW (Bandwidth), y aquí encontramos como ejemplo que el ancho de banda telefónico se encuentra entre 300 Hz y 3400 Hz o el ancho de banda en audio perceptible al oído humano se encuentra entre 20 Hz y 20000 Hz, por lo general al usar este término nos referimos a la velocidad en que puedo transmitir.

Normalmente el termino BW es el más apropiado para designar velocidad que el de Mbps (Megabits por segundo) ya que este último viene afectado por una serie de características que provocan que el primero, de un dato más acertado y real de la velocidad.

ATENUACIÓN

La atenuación depende del tipo de medio que se esté usando, la distancia entre el transmisor y el receptor y la velocidad de transmisión. La atenuación se suele expresar en forma de logaritmo (decibelio). Para ser mas específico la atenuación consiste en la disminución de la señal según las características antes dadas.

INTERFERENCIAS

La interferencia esta causada por señales de otros sistemas de comunicación que son captadas conjuntamente a la señal propia, el ruido viene provocado normalmente por causas naturales (ruido térmico) o por interferencias de otros sistemas eléctricos (ruido impulsivo).

ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

En la física se habla de espectro como la dispersión o descomposición de una radiación electromagnética que contiene radiaciones de distintas longitudes de onda en sus radiaciones componentes. Aunque no es una definición muy clara, dentro de los espectros nos encontramos con lo que son las señales radiales, telefónicas, microondas, infrarrojos y la luz visible. Entonces el espectro es el campo electromagnético en el cual se encuentran las señales de cada una de ellas, por ejemplo la fibra óptica se encuentra en el campo de la luz visible ó la transmisión satelital en el de las microondas.

La distorsión de una señal depende del tipo de medio utilizado y de la anchura de los pulsos; y para cuantificar sus efectos se utilizan los conceptos de ancho de banda de la

señal y de banda pasante del medio, entonces los problemas de interferencia, distorsión y ruido pueden causar errores en la recepción de la información, normalmente expresados como aparición de bits erróneos.

Los medios de transmisión se caracterizan por tener una velocidad de transmisión de la información máxima, a partir de la cual la cantidad de errores que introducen es demasiado elevada (capacidad del canal). Véase la **figura 2.3a**:

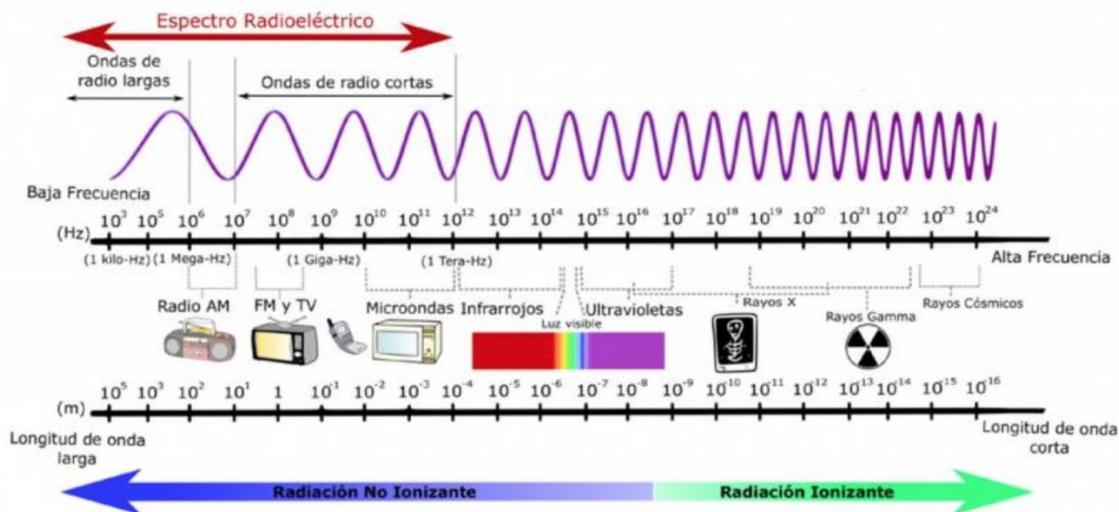


Fig. 2.3a. Espectro electromagnético, extraído de proyectos esopo (2016)
<https://iie.fing.edu.uy/proyectos/esopo/wp-content/uploads/sites/3/2016/12/EMM.png>

MEDIOS GUIADOS

Se conoce como medios guiados a aquellos que utilizan unos componentes físicos y sólidos para la transmisión de datos. También conocidos como medios de transmisión por cable.

PAR TRENZADO (COBRE)

Normalmente se les conoce como un par de conductores aislados entrelazados formando una espiral en un enlace de comunicaciones. En estos el paso del trenzado es variable y pueden ir varios en una envoltura, el hecho de ser trenzado es para evitar la diafonía (la diafonía es un sonido indeseado el cual es producido por un receptor telefónico). Es el medio más común de transmisión de datos que existe en la actualidad, pudiéndose encontrar en todas las casas o construcciones de casi cualquier lugar. Se utiliza para la formación de una red telefónica, la cual se da entre un abonado o usuario y una central local, en ocasiones dentro de un edificio se construyen centrales privadas conocidas como PBX (Private Branch Exchange).

Las redes locales manejan una velocidad de transmisión de información comprendida entre los 10 Mbps y los 100 Mbps, en este medio de transmisión encontramos a favor el hecho de ser prácticamente el más económico que se puede ubicar en el mercado actual, por otro lado es el más fácil de trabajar por lo que cualquier persona con un mínimo de conocimientos puede adaptarlo a sus necesidades. Por otro lado tiene en contra que tiene una baja velocidad de transferencia en medio rango de alcance y un corto rango de alcance en LAN (Local Area Network) para mantener la velocidad alta de transferencia (100 mts).

Dentro de sus características de transmisión nos encontramos con que con un transmisor analógico necesitamos transmisores cada 5 o 6 Kms; con un transmisor digitales tenemos que las señales que viajan pueden ser tanto analógicas como digitales, necesitan repetidores de señal cada 2 o 3 Kms lo que les da muy poca velocidad de transmisión, menos de 2 Mbps; en una red LAN las velocidades varían entre 10 y 100 Mbps en una distancia de 100 mts, de lo cual podemos además deducir que la capacidad de transmisión esta limitada a 100 Mbps, además es muy susceptible a interferencias y ruidos, pero para esto se han buscado soluciones como la creación de cables UTP (Unshielded Twisted Pair), de los más comunes en el cableado telefónico normal, pero dado a interferencias electromagnéticas los cables STP (Shielded Twisted Pair) cuyos pares vienen dentro de mallas metálicas producen menos interferencias, aunque es más caro y difícil de manejar ya que es mas grueso y pesado.

Dentro de los cables UTP que básicamente son 4 pares trenzados para disminuir las interferencias pudiendo encontrarse en mayor número siempre siendo un número par, encontramos las categorías CAT 3 con calidad telefónica, más económico, con diseño apropiado y distancias limitadas hasta 16 MHz con datos; la longitud del trenzado es de 7.5 a 10 cm, CAT 4 hasta 20 MHz, CAT 5 el que yo uso, llega hasta 100 MHz, es más caro, aunque esta siendo altamente usado en las nuevas construcciones, su longitud de trenzado va de 0.6 a 0.85 cm; teóricamente cubre una distancia aproximada de menos de 100 m y transporta aproximadamente 100 Mbps, y así sucesivamente subiendo de categoría hasta la número 10, mejorando sus características superando a su antecesor, bien sea en frecuencia o velocidad de transmisión.

CABLE COAXIAL

El cable coaxial es un medio de transmisión relativamente reciente y muy conocido ya que es el más usado en los sistemas de televisión por cable, físicamente es un cable cilíndrico constituido por un conducto cilíndrico externo que rodea a un cable conductor usualmente de cobre, es un medio más versátil que tiene más ancho de banda (500 MHz) y es más inmune al ruido aunque un poco más caro.

Se utiliza mucho en la distribución de señal de paga (TV por cable, cientos de canales), telefonía a larga distancia (puede llevar 10000 llamadas de voz simultáneamente), redes de área local (tiende a desaparecer ya que un problema en un punto compromete a toda la red).

Tiene como características de transmisión que cuando es analógica, necesita amplificadores cada pocos kilómetros y amplificadores para mayores frecuencias de transmisión; cuando la transmisión es digital necesita repetidores cada 1 Km y mayores velocidades de transmisión.

FIBRA ÓPTICA

Es el medio de transmisión más novedoso dentro de los guiados y su uso se está masificando en todo el mundo reemplazando el par trenzado y el cable coaxial en casi todos los campos, en estos días lo podemos encontrar en la televisión por cable y la telefonía, en este medio los datos se transmiten mediante una haz confinada de naturaleza óptica, de ahí su nombre, es mucho más caro y difícil de manejar pero sus ventajas sobre los otros medios lo convierten muchas veces en una muy buena elección al momento de observar rendimiento y calidad de transmisión.

Físicamente un cable de fibra óptica está constituido por un núcleo formado por una o varias fibras o hebras muy finas de cristal o plástico; un revestimiento de cristal o plástico con propiedades ópticas diferentes a las del núcleo, cada fibra viene rodeada de su propio revestimiento y una cubierta plástica para protegerla de humedades y el entorno. La fibra óptica encuentra aplicación en los enlaces entre nodos, troncales, ATM (Asynchronous Transfer Mode), redes LAN, Gigabit Ethernet (1 gigabit por segundo), largas distancias, etc.

Dentro de las características de transmisión encontramos que se basan en el principio de "reflexión total" (índice de refracción del entorno mayor que el del medio de transmisión), su guía de ondas va desde 10^{14} Hz a 10^{15} Hz, esto incluye todo el espectro visible y el parte del infrarrojo, se suelen usar como transmisores de LED (Light Emitting Diode) que es relativamente barato, su rango de funcionamiento con la temperatura es más amplio y su vida media es más alta, también tenemos el ILD (Injection Laser Diode) que es más eficiente y más caro, además tiene una mayor velocidad de transferencia.

La tecnología de fibra óptica usa la multiplexación por división que es lo mismo que la división por frecuencias, utiliza múltiples canales cada uno en diferentes longitudes de onda (policromático) y una fibra (en la actualidad) de hasta 80 haces con 10 Gbps cada uno, usa dos modos de transmisión, el monomodo (este cubre largas distancias, más caro, pero más velocidad debido a no tener distorsión multimodal) y el multimodo (cubre cortas distancias, es más barata pero tiene menos velocidad, 100 Mbps) además se ve afectado por distorsión multimodal, de la fibra óptica podemos decir que su distancia está definida por varios kilómetros y su capacidad de transmisión viene dada por varios Gbps.

MEDIOS NO GUIADOS

Los medios no guiados o sin cable han tenido gran acogida al ser un buen medio para cubrir grandes distancias y hacia cualquier dirección, su mayor logro se dio desde la conquista espacial a través de los satélites y su tecnología no para de cambiar.

De manera general podemos definir las siguientes características de este tipo de medios, en que la transmisión y recepción se realiza por medio de antenas, las cuales deben

estar alineadas cuando la transmisión es direccional, o si es omnidireccional la señal se propaga en todas las direcciones.

MICROONDAS TERRESTRES

Los sistemas de microondas terrestres han abierto una puerta a los problemas de transmisión de datos, sin importar cuales sean, aunque sus aplicaciones no estén restringidas a este campo solamente, las microondas están definidas como un tipo de onda electromagnética situada en el intervalo del milímetro al metro y cuya propagación puede efectuarse por el interior de tubos metálicos. Es en si una onda de corta longitud.

Tiene como características que su ancho de banda varia entre 300 a 3000 Mhz, aunque con algunos canales de banda superior, entre 3.5 Ghz y 26 Ghz; además, es usado como enlace entre una empresa y un centro que funcione como centro de conmutación del operador o como un enlace entre redes LAN.

Para la comunicación de microondas terrestres se deben usar antenas parabólicas, las cuales deben estar alineadas o tener visión directa entre ellas, además entre mayor sea la altura mayor el alcance, en sus problemas se dan perdidas de datos por atenuación e interferencias, y es muy sensible a las malas condiciones atmosféricas.

SATÉLITES

Conocidas como microondas por satélite, esta basado en la comunicación llevada a cabo a través de estos dispositivos, los cuales después de ser lanzados de la tierra y ubicarse en la órbita terrestre siguiendo las leyes descubiertas por Kepler, realizan la transmisión de todo tipo de datos, imágenes, etc., según el fin con que se han creado. Las microondas por satélite manejan un ancho de banda entre los 3 y los 30 Ghz, y son usados para sistemas de televisión, transmisión telefónica a larga distancia, punto a punto y redes privadas. Las microondas por satélite no procesan información sino que actúan como un repetidor-amplificador que pueden cubrir un amplio espacio de espectro terrestre.

ONDAS DE RADIO

Son las más usadas, pero tienen apenas un rango de ancho de banda entre 3 Khz y los 300 Ghz. Son poco precisas y solo son usados por determinadas redes de datos o los infrarrojos.

CAPÍTULO 3

BASES DE INGENIERÍA PARA EL CONTROL DE TRÁNSITO AÉREO

3.1 SISTEMAS DE COMUNICACIONES

Transmisión por Modem Analógico

Muchos de los enlaces de datos se efectúan de manera física mediante el uso de líneas de conductores eléctricos y con gran frecuencia estas líneas son parte del sistema telefónico, el cual está destinado a transmitir señales analógicas (canales de voz). Para efectuar este tipo de enlace se necesita un dispositivo que convierte la señal de datos (digital) en una señal analógica, la cual viaja a través de la red telefónica, dicho dispositivo recibe el nombre de modem. Véase **figura 3.1a** :



Fig.3.1a. *Conexión telefónica analógica* (2013). Gabriel Núñez Mendoza "Optimización de los enlaces de datos Radar"
http://usp.funcionpublica.gob.mx//PNAP/documentos/20130604_SENEAM3erGRADO.pdf

Transmisión por Modem Digital.

Un módem digital no tiene que hacer la conversión entre las señales analógicas y las digitales. Técnicamente no es en absoluto un "módem" ya que no está modulando y demodulando. Un módem digital es más rápido que un módem analógico.

Los módems digitales implican mayor costo y requieren que la compañía telefónica suministre el servicio de líneas para datos digitales. En muchos casos las compañías telefónicas tienen que instalar equipo adicional para algunos tipos de módems digitales. Véase **figura 3.1b** :

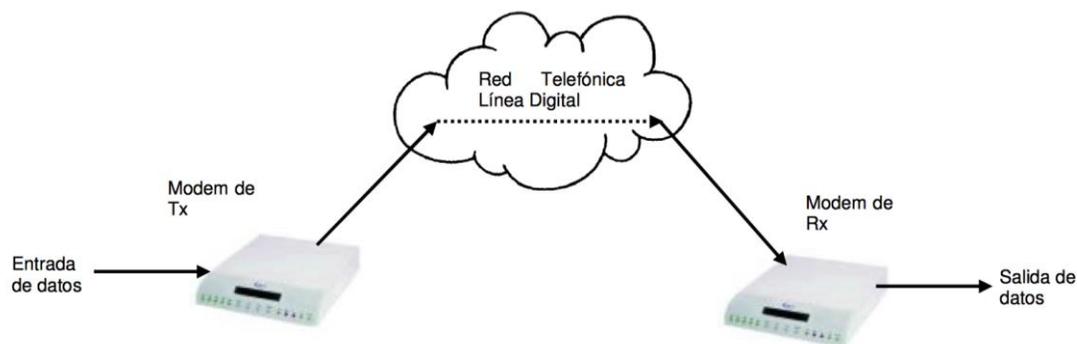


Fig. 3.1b. *Conexión telefónica digital* (2013). Gabriel Núñez Mendoza Optimización de los enlaces de datos Radar http://usp.funcionpublica.gob.mx//PNAP/documentos/20130604_SENEAM3erGRADO.pdf

3.2 SISTEMA DE RADIOAYUDAS

La radioayuda o radionavegación puede definirse como el conjunto de señales radioeléctricas, generalmente generadas en instalaciones terrestres y recibidas a bordo que permiten a la aeronave guiarse.

Si bien el control de tráfico aéreo o la asistencia de las aeronaves en tierra es importante e imprescindible, lo son en igual medida los sistemas de navegación que se encuentran en los aeropuertos.

Estos sistemas electrónicos comúnmente llamados radioayudas, son sistemas ubicados en tierra cuyo funcionamiento consiste en una emisión constante de ondas de radio, estas ondas son captadas por el avión que ha sintonizado la frecuencia de esa radioayuda, seguidamente los sistemas del avión traducen esas ondas en datos que son visualizados por la tripulación de cabina e indican su posición y la distancia con respecto al norte magnético.

Existen varios tipos de radioayudas entre las que se encuentran el VOR (Very high frequency Omnidirectional Range) 108 - 117.95 Mhz, el ADF (Automatic Direction Finder) instrumento instalado en la aeronave, NDB (Non Directional Beacon) 190 – 450 KHz, el TACAN (TACTical Air Navegation System) 962 - 1213 Mhz, el ILS (Instrumenting Landing System) 108.1 - 111.975 Mhz, y el DME (Distance Measuring Equipment) 962 - 1213 Mhz.

3.3 METEOROLOGÍA

La **meteorología** estudia los cambios atmosféricos que se producen en cada momento, utilizando parámetros como la temperatura del aire, su humedad, la presión atmosférica, el viento o las precipitaciones cuyo objetivo es predecir el tiempo que va acontecer dentro de las 24 a las 48 horas o más y en medida de lo posible elaborar un pronóstico del tiempo a mediano plazo.

La **climatología** es la ciencia que estudia el clima y sus variaciones a lo largo del tiempo, aunque utiliza los mismos parámetros que la meteorología, su objetivo es distinto, ya que no pretende hacer previsiones inmediatas, sino estudiar las características climáticas a largo plazo.

El **clima** es el conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan las condiciones habituales o más probables de un punto determinado de la superficie terrestre, siendo así, una serie de valores estadísticos.

Con el tiempo se fueron perfeccionando los diversos aparatos de medición (higrómetro, termómetro, barómetro y anemómetro...) y empezaron aparecer las estaciones meteorológicas y organismos a nivel regional, nacional e internacional, encargados de recopilar los datos y organizarlos. Por lo tanto, ya con la puesta en órbita de satélites meteorológicos dotados de instrumentos fotográficos y analíticos cada vez más sofisticados, la informática ha contribuido enormemente a este avance, ya que los ordenadores son capaces de procesar muchos datos en poco tiempo y de elaborar modelos matemáticos climáticos y de previsiones.

CAPÍTULO 4

INGENIERÍA DE SERVICIOS PARA EL CONTROL DEL TRÁNSITO AÉREO (APLICACIÓN EN CAMPO)

4.1 TRANSMISORES Y RECEPTORES

Antes que nada, hablemos de los diferentes métodos de transmisión inalámbrica que podemos encontrar. Básicamente, son cuatro: VHF, UHF, ISM y UWB. Los dos primeros siguen esquemas analógicos y los otros dos son digitales.

Está muy extendida la idea de que los sistemas inalámbricos UHF son esencialmente mejores que los VHF y que los ISM (2.4 GHz) y UWB (Ultra Wide-Band 6 GHz) son mucho mejores que los sistemas VHF y UHF. Cada uno de estos sistemas ofrece sus propias ventajas y desventajas, y cada uno de ellos ve limitada su operatividad por las regulaciones del espacio radioeléctrico y por la propia física de las señales inalámbricas. Esto es especialmente cierto ahora que las bandas UHF están cada vez más pobladas y permanecen sumidas en una cierta incertidumbre regulatoria.

Existen, de hecho, múltiples factores importantes que deben ser considerados a la hora de escoger entre VHF, UHF, ISM (Industrial Scientific and Medical frequency band) y UWB, como son el lugar y el modo en el van a utilizarse, el número de sistemas necesarios y, por supuesto, el precio.

(Ejemplo de un Transmisor VHF en AM para banda aeronáutica **Figura 4.1a**).



Fig. 4.1a. Transmisor PAE (2021) marca Pair Air Electronics Foto. Catalogo de venta en línea: <https://fabuloussystem.asia/product/pae-t6-mdr/>

En cuanto a los sistemas inalámbricos analógicos tradicionales (VHF y UHF), se han publicado numerosos análisis técnicos que afirman rotundamente que los sistemas inalámbricos de UHF no ofrecen ninguna ventaja sustancial sobre los sistemas VHF; pero podemos señalar una ventaja fundamental: utilizando sistemas UHF existe una menor probabilidad de interferencia debido al mayor espectro de frecuencia disponible, y dada la creciente saturación del espectro radioeléctrico, este es un punto clave pues la longitud de onda es más larga en VHF que en UHF, por ende las ondas pueden viajar a mayores distancias y pasar a través de obstáculos, siendo lo mismo con las interferencias, lo que las

convierte en más problemáticas en la gama de frecuencias VHF, pues trabajan en un ancho de banda que compite con la que usan los taxistas y cientos de estaciones de radio. Incluso los organismos reguladores del espacio radioeléctrico han eliminado algunas frecuencias dentro de esta banda.

Sistemas de radiofrecuencia en la banda aeronáutica

A cada ciudad en el territorio nacional se le asignan como mínimo dos frecuencias en banda aeronáutica en VHF una para aterrizaje y despegue hasta las 10 Millas Nauticas y 3000 pies de altura. Y despues otra frecuencia que va hasta las 80 Millas Náuticas y hasta los 30000 pies de altura con relevo de frecuencia pasando las 80 Millas Náuticas.

Por ejemplo en el aeropuerto donde laboro. La primera frecuencia que se asigna es: 118.7 Mhz en VHF en Amplitud Modulada. Esta frecuencia como sabemos es la que usará el controlador de tránsito aéreo para comunicarse con el piloto y viceversa piloto-controlador; “mi trabajo” consiste en garantizar la operatividad del transmisor utilizado; es decir, cuando el controlador activa su PTT (Push To Talk) para disparar el transmisor establecerá comunicacion con el piloto.

Por seguridad como mencione ateriormente nosotros en el departamento de “ingeniería de servicios” llamamos redundancia: a la duplicidad operacional de cada equipo, es decir si falla un transmisor el “controlador” tiene la opción de seleccionar desde su consola de operación el transmisor A o B dependiendo de la falla de alguno de los anteriores y nos permite tener rango de tiempo para reparar o sustituir el mismo dependiendo de la avería presentada.

La siguiente parte para completar el circuito de comunicación entre el “piloto” y “controlador” en radiofrecuencia sería el receptor claro está.

En la **figura 4.1b** mostramos ahora un aparato receptor:



Fig 4.1b. Receptor PAE (2021) marca Pair Air Electronics, fotografía extraída en manual de mantenimiento (2015) <https://vdocuments.mx/pae-receiver-type-t6r-maintenance-handbook.html>

en el cual la recepción normalmente puede contener nivel de ruido que entra al receptor debido a que como sabemos la modulación por amplitud en frecuencia es más ruidosa y susceptible a las condiciones climáticas y de interferencias, así que tenemos que garantizar la mejor recepción audible posible libre de ruido.

PROBLEMA 1: METODOLOGÍA PARA ANALIZAR LA FALLA EN UN TRANSMISOR AL NO TENER SEÑAL DE DISPARO

Generalmente para analizar la falla de un transmisor siempre hay que entender la operación del sistema que engloba todo el funcionamiento.

Iniciaremos nuestro recorrido de señal del circuito con el disparo del PTT (Push To Talk) del controlador, que activa el botón de su diadema originando una tierra en el circuito (o mandando un tono de 2040 Hz) siendo así la trayectoria de la señal en el circuito que pasa por un conector macho plug de 6.35 mm hacia el jack de entrada de un conmutador y de allí pasa por el remate en tablilla de cableado par trenzado (telefónico UTP), continuando un largo recorrido hasta la entrada del transmisor por medio de un conector DB9 o RJ45 que activará el circuito de disparo por tierra o tono, mismo que enviará una señal en frecuencia con potencia máxima hasta 50 W en VHF modulada en AM, digamos por decir 118.7 Mhz que sale por un par de conectores RG8 siguiendo la trayectoria por el cable coaxial RG58 de 50 Ohm que irá rematado por otro par de conectores RG8 y finalmente hacia la antena.

Ahora bien, muchas veces a manera de experiencia, el problema puede ser un falso contacto, originado en una diadema por tener avería en el PTT (Push To Talk) y no poder activar el circuito de disparo, o incluso parte del cableado de la misma diadema que va dirigido al JACK donde se enchufa; también pudiera ser un cable desconectado en el puerto de entrada DB9 o RJ45.

Algo más complicado puede ser la antena, un mal acoplamiento del conector a la salida del transmisor, o una avería dentro del mismo transmisor.

En temporada de lluvias pudiera originarse la entrada de agua y humedad a los conectores; que normalmente cubro con cinta aislante, que se tiene que renovar mínimo cada año para evitar este daño potencial.

Normalmente cuando se hace la medición de reflejo de potencia y obtienes una lectura alta es indicador de entrada de humedad en el cableado, o en el mejor de los casos mal acoplamiento en los conectores.

Lo que yo hago en estos casos para probar todo el trayecto de la línea es enviar con un generador de tono una señal de 1040 Hz de un punto a otro y corroborar el buen estado del trayecto sin atenuación; después reviso los empalmes en tablas y conectores, ya por último mido el reflejo de disparo del transmisor que debe ser casi nulo.

4.2 RED AFTN (AERONAUTICAL FIXED TELECOMUNICATION NETWORK)

Pertenece al sistema de comunicaciones fijas de SENEAM que es una red completa y mundial de circuitos aeronáuticos que se utiliza para el intercambio de mensajes entre las estaciones fijas aeronáuticas que se encuentran dentro de la red.

El objetivo de la red AFTN es el intercambio de mensajes del siguiente tipo:

- a) Mensajes de planes de vuelo e información relacionada (FPL, CPL, LAM, DEP, ARV).
- b) Mensajes de NOTAMS.
- c) Mensajes meteorológicos.
- d) Mensajes de coordinación de compañías.
- e) Mensajes de extrema urgencia.

Para que un mensaje pueda transmitirse correctamente es indispensable que esté elaborado de tal manera que la red pueda manejarlo. Para esto el centro de mensajes en México (MEX) acepta dos formatos de mensajes:

El OACI (Organización de Aviación Civil Internacional) que es el código para designación de aeropuertos compuesto por cuatro caracteres alfanuméricos que sirve para identificar cada aeropuerto en todo el mundo.

IATA (International Air Transport Association) está formado por tres letras, que designan a cada aeropuerto del mundo.

Ejemplo:

FORMATO OACI

ZCZC ZTA007 130031

ZCZC Inicio de mensaje

ZTA Indicador de canal

007 Número de mensaje

13 Día del mes

00 Hora

31 Minuto

FF MMMLXMXO

FF Prioridad (Media)

MM País (México)

ML Estación (Mexicali)

XM Compañía (SENEAM)

XO Oficina (OSIV) (ES-IDS, ZT-TWR, ZA-APP, IP-admitvo., XO-OSIV).

Ejemplo de mensaje aeronáutico:

inicio de rx. Del ent_Q1a1_2021Jun12 Sat Jun 12 00:01:02 2021

ZCZC ZHA000

QF HMOXTYA

. HMOXTYA

SVC QTA MIS HZA 0164 - 0001

NNNN

1623458449

MMHOXMXO 004 032 501

OA=MMZTXMVL

ZCZC ZHA016 120041

FF MMHOXMXO

120041 MMZTZRX

(DEP – XCNPf / A0751 – MMHO0041 – MMMX – STS / NONRVSM STATE NAV / GPS DOF /
[210612

ORGN / MMHOXMXO RMK / VUELO DE SEGURIDAD NACIONAL)

A2855 / 21 110121 NOTAMN

A) MMMX

B) 2106111400

C) 2106111900

E) RODAJE B ENTRE PSNS NRS – 9 Y 10 PLATAFORMA AVIACION COMERCIAL CERRADO.

PROBLEMA 2: PERSONAL DE DESPACHO AÉREO REPORTA FALLA DE COMUNICACIÓN EN RED AFTN, NO RECIBE PLANES DE VUELO.

Se procede a verificar conexión de red con el nodo de “subcentro” al nodo de “despacho aéreo”; optamos por la opción de modo texto en terminal de datos del sistema operativo Red Hat Enterprise Linux, seleccionamos aplicaciones y nos vamos a modo terminal, nos aparecera lo siguiente:

```
[ root@hmoxya ~ ] #
```

Entonces escribimos:

```
[ root@hmoxya ~ ] # ping 10.25.6.130
```

Que es el comando ping que nos sirve para probar la comunicación en red.

Procedo junto con la dirección IP del nodo ubicado en “despacho aéreo” ubicándome físicamente a 4 kilometros del nodo de “subcentro”; entonces de acuerdo a la topología de red que tengo de configuración estrella, inmediatamente se que mi siguiente ruta a seguir después de mi posición física en nodo de red como usuario es valga la redundancia “despacho aéreo” y antes de mí, se que todo mensaje de llegada y salida en mi posición de nodo en la red, va para Mazatlán según mi topología; pero antes debo probar mi comunicación “local” de mi estación; entonces conociendo la dirección IP y antecediendo el ping para prueba, obtengo tecleando enter lo siguiente:

```
PING 10.25.6.130 (10.25.6.130) 56 (84) bytes of data.
```

```
64 bytes from 10.25.6.130: icmp_seq=1 ttl=64 time=0.024 ms
```

```
64 bytes from 10.25.6.130: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.022 ms
```

```
64 bytes from 10.25.6.130: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.021 ms
```

```
64 bytes from 10.25.6.130: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.021 ms
```

```
64 bytes from 10.25.6.130: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.018ms
```

```
64 bytes from 10.25.6.130: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.019 ms
```

```
64 bytes from 10.25.6.130: icmp_seq=7 ttl=64 time=0.020 ms
```

```
64 bytes from 10.25.6.130: icmp_seq=8 ttl=64 time=0.020 ms
```

```
64 bytes from 10.25.6.130: icmp_seq=9 ttl=64 time=0.020 ms
```

Y así sucesivamente, nuevamente tecleo enter y me aparece:

```
--- 10.5.6.130 ping statistics ---
```

```
57 packets transmitted , 57 received, 0% packet loss, time 56000ms
```

```
rtt min/avg/max/mdev = 0.016/0.019/0.024/0.004 ms
```

```
[ root@hmoxyta ~ ] #
```

Observando las pruebas de conexión en red de “subcentro -- despacho aéreo” observamos que nuestra conexión esta normal y operativa; pero despacho me informa que no recibe mensajes aún.

Procedemos a verificar nuestro nodo, con el nodo de la ciudad de Mazatlán Sinaloa que es nuestra siguiente ruta a seguir de acuerdo a nuestra topología de red, siendo así entonces:

escribimos con esta nueva dirección IP ahora para probar conexión nodo a nodo “subcentro-- Mazatlán” y se observa:

```
[ root@hmoxyta ~ ] # ping 10.25.6.140
```

No obteniendo respuesta.

Nos comunicamos con personal técnico de Mazatlán y nos comentan que Telmex tiene problemas con una de sus líneas privadas y están trabajando en restablecer el servicio.

4.3 SISTEMA DE ESTACIONES TERRENAS

Esencialmente, un satélite es un repetidor de radio en el cielo (transponder). Un sistema de comunicación satelital consiste de un transponder (satélite), una estación ubicada en tierra, para controlar el funcionamiento y una red de usuario, de las estaciones terrestres, que proporciona las facilidades para transmisión y recepción de tráfico de comunicaciones, a través del sistema de satélite. Véase **figura 4.3a**:

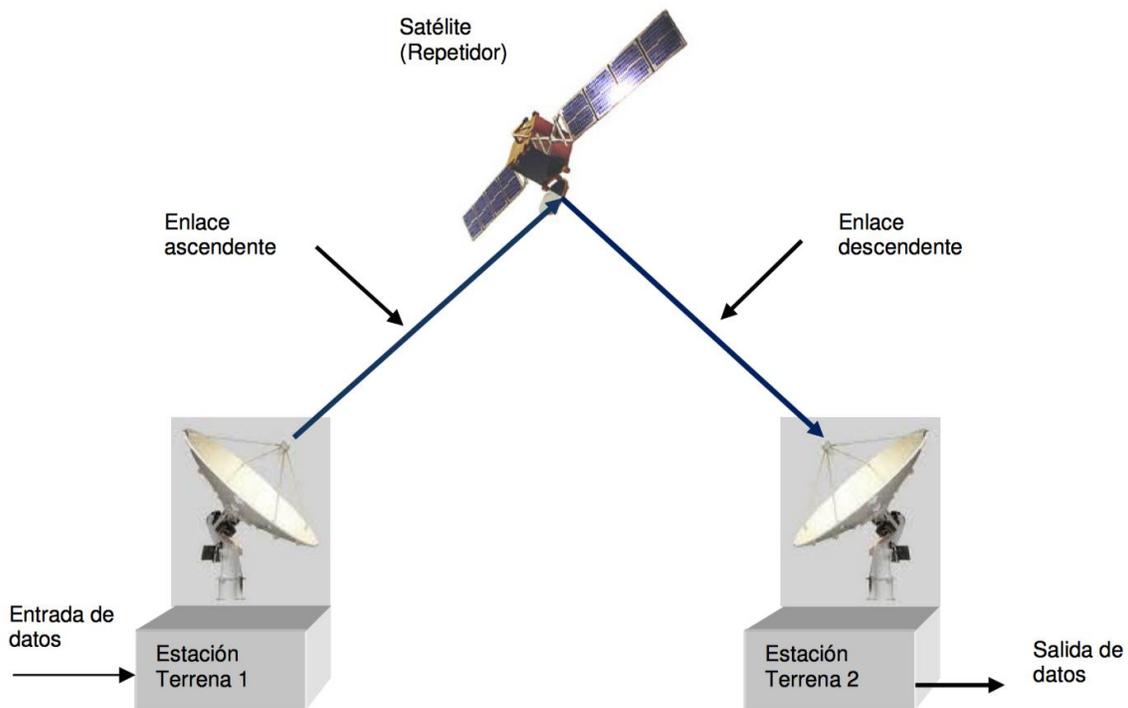


Figura 4.3a. Sistema de comunicación satelital (2013) Gabriel Núñez Mendoza Optimización de los enlaces de datos Radar http://usp.funcionpublica.gob.mx//PNAP/documentos/20130604_SENEAM3erGRADO.pdf

PROBLEMA 3: PERSONAL DE DESPACHO AEREO REPORTA FALLA DE COMUNICACIÓN EN RED AFTN, NO RECIBE PLANES DE VUELO.

SE DETECTA FALLA EN LINEA PRIVADA TRONCAL DE TELMEX, SE OPTA POR CAMBIO DE VÍA DE COMUNICACIÓN A ESTACIÓN TERRENA.

Coordinamos con personal de Mazátlan y se ordena hacer cambio de vía de comunicación por estación terrena (que es nuestra segunda vía alterna de conexión de datos, ya que debido a la importancia primordial de nuestros mensajes no podemos quedar completamente fuera de servicio y siempre trabajaremos como mínimo con dos vías de conexión que nos ofrezcan redundancia para la comunicación de nuestro servicio).

Dicho esto se observa que nuestra comunicación ya no se restableciera vía troncal telefónica física, sino por satélite entonces la serie de parámetros cambiarán y ahora vamos a manejar lo siguiente mostrado en el ejemplo tres.

Verificó cambio de ruta de señal en aplicación de enrutamiento de canal de datos llamado "tablas del sistema" AFTN y selecciono puerto 02

Observo niveles en estación terrena Tx: 8.4 dbm Rx: 12.2 dbm y se deduce que están dentro del rango operativo, siendo así, verificamos el led del TDMA en verde y sin alarma; luego

vemos el led CARRIER DETECTOR encendido del MODEM indicandonos que esta enlazado, corroboramos con personal técnico de la estación de Mazatlán que estemos enlazados, obteniendo resultados favorables; seguidamente notifico a “despacho aéreo” si está recibiendo mensajes indicandonos que ya están recibiendo y a la presente normal.

El problema quedó solucionado.

4.4 EMPLEO DE UN SISTEMA DE RADIO ENLACE

Básicamente un enlace vía microondas consiste en tres componentes fundamentales: el transmisor, el receptor y el canal aéreo. El transmisor es el responsable de modular una señal digital a la frecuencia utilizada para transmitir, el canal aéreo representa un camino abierto entre el transmisor y el receptor, y como es de esperarse el receptor es el encargado de capturar la señal transmitida y llevarla de nuevo a señal digital.

El factor limitante de la propagación de la señal en enlaces de microondas es la distancia que se debe cubrir entre el transmisor y el receptor, además esta distancia debe ser libre de obstáculos. Otro aspecto que se debe señalar es que en estos enlaces, el camino entre el receptor y el transmisor debe tener una altura mínima sobre los obstáculos en la vía, para compensar este efecto se utilizan torres para ajustar dichas alturas. Ejemplo ilustrativo

figura 4.4a y 4.4b:

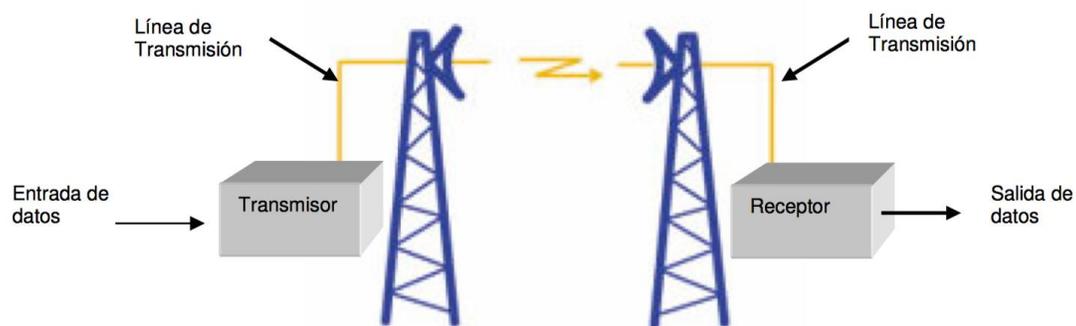


Figura 4.4a. *Radio enlace de microondas* (2013). Gabriel Núñez Mendoza Optimización de los enlaces de datos Radar http://usp.funcionpublica.gob.mx//PNAP/documentos/20130604_SENEAM3erGRADO.pdf

La información generada por los radares de control de tránsito aéreo es transmitida de dos formas. La primera es de modo directo, es decir el enlace comprende desde donde se origina la información (Radar), hasta donde es explotada (Centro de Control). La segunda forma es en una retransmisión, que es la unión de dos enlaces:

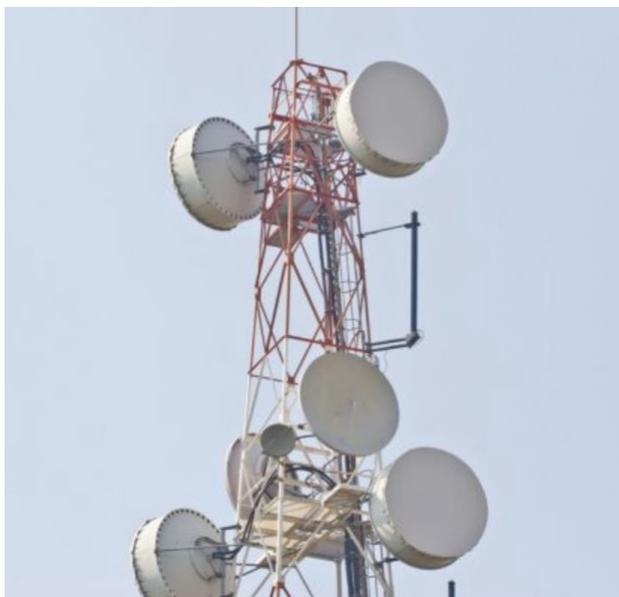


Figura 4.4b. *Radioenlace* (2021). Extraído de <https://mx.depositphotos.com/stock-photos/radioenlace.html?filter=all&qview=37355725> Licencia libre de uso.

Como hemos visto SENEAM proporciona el servicio de Control de Transito Aéreo en todo el país, para ello se tienen instalados radares en puntos estratégicos, a lo largo de toda la república mexicana. Algunos radares se encuentran ubicados en la cima de grandes montañas, en lugares apartados (sobre todo los radares de ruta como es el caso del radar Cerro Potosí); esta situación implica que se presenten las siguientes condiciones:

- 1.** Un solo radio enlace no es lo suficientemente potente como para llegar a grandes distancias, además de que requieren de una línea de vista, la cual no debe de ser mayor a 40 Km.
- 2.** Los prestadores de servicios de comunicaciones (como es el caso de Telmex para las líneas privadas con modem digital), no tienen infraestructura en lugares apartados y no les resulta redituable proporcionar este servicio a un solo usuario.
- 3.** La instalación de modems analógicos, presenta la situación del punto anterior, ya que requieren de una instalación física a grandes extensiones, la cual tampoco es costeable.
- 4.** La única alternativa que permite efectuar una transmisión directa es mediante un radio enlace satelital de microondas (estación terrena), la cual resulta muy costosa y solo se designa a determinados canales de datos radar como se explica en el siguiente punto.

El radar es un dispositivo que cuenta con dos canales de generación de información, es decir es un equipo redundante el cual posee características que aseguren su funcionamiento y operación. Los datos se entregan por el canal uno y el canal dos a los cuales se les asigna un enlace de datos directo (estación terrena) y uno con retransmisión, respectivamente, como se muestra en la ilustración abajo, esto con la finalidad de que la información fluya por dos

caminos diferentes y se pueda asegurar el servicio ante cualquier eventualidad como se muestra en la imagen inferior **figura 4.4c y 4.4d** :

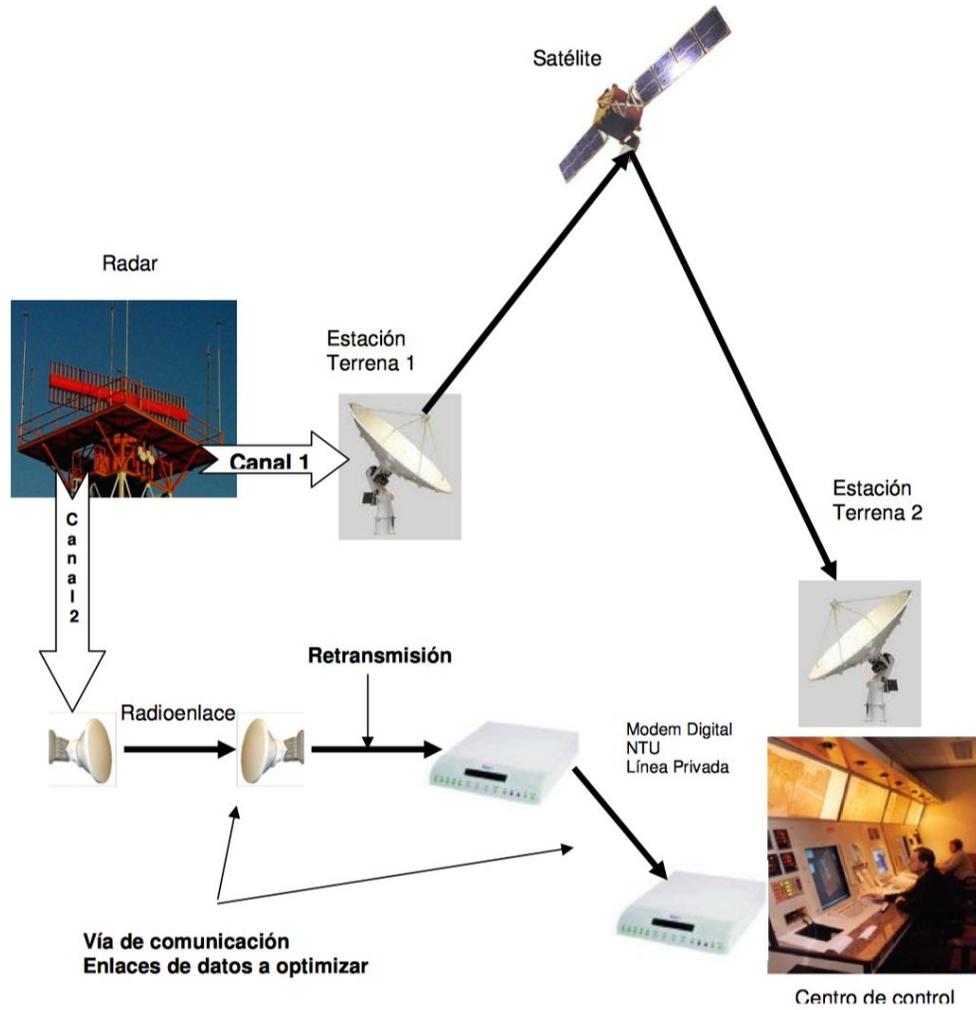


Figura 4.4c . Enlace de datos del sistema radar (2013). Gabriel Núñez Mendoza Optimización de los enlaces de datos Radar http://usp.funcionpublica.gob.mx//PNAP/documentos/20130604_SENEAM3erGRADO.pdf

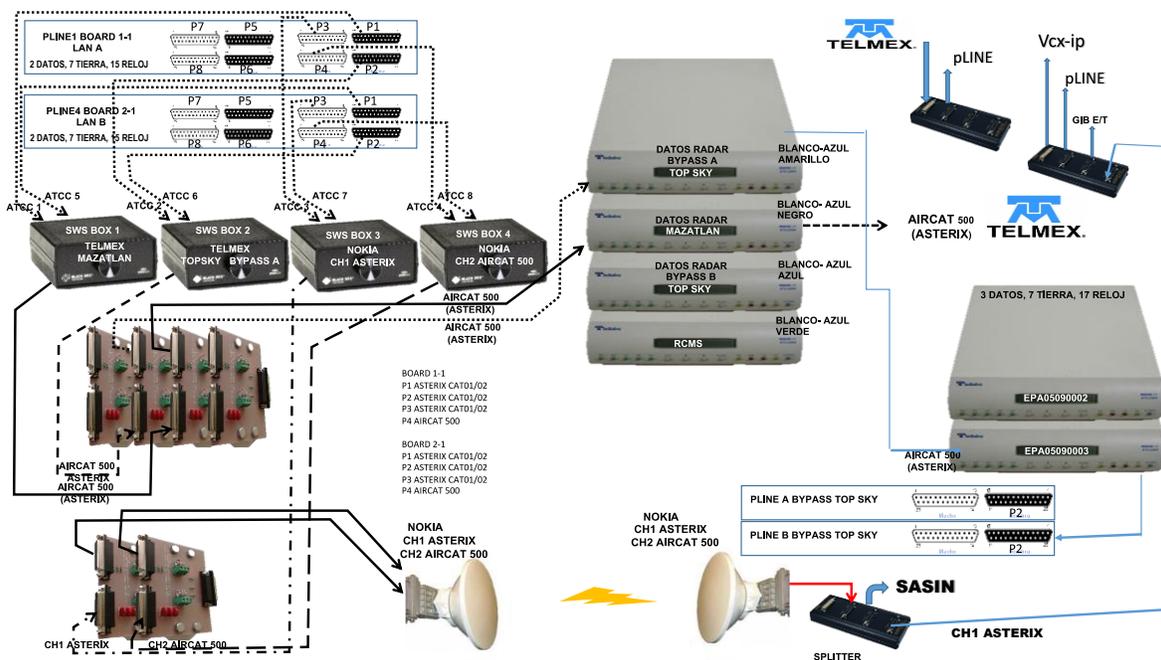


Figura 4.4d Manual de procedimiento RADAR (2019). SENEAM

PROBLEMA 4: PERSONAL DE CONTROL AÉREO REPORTA FALLA EN SISTEMA RADAR

Se atiende reporte observando pérdida de tráfico (plot o trama) en monitor (pantalla) en ruta de descenso; se procede a verificar y se detecta falla en modem de línea privada Telmex EPA-0509-0003 con alarma en mismo.

En inmediatez se opta por cambio de vía a “radioenlace”, se generan pruebas queda normal.

4.5 VOR (VERY HIGH FREQUENCY OMNIDIRECTIONAL RANGE)

El VOR (Radiofaro Omnidireccional VHF) es una radioayuda para la navegación, recomendada e introducida internacionalmente por la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional) como guía de tráfico aéreo en distancias cortas y medias. El sistema puede ser controlado y monitorizado remotamente.

El VOR se basa en el principio de medir el ángulo de fase de dos señales de 30 Hz radiadas por la instalación. Una de las señales (señal de referencia) se radia en todas las direcciones con la misma relación de fase. En cuanto a la otra señal de 30 Hz (la señal variable) la relación de fase referente a la primera señal cambia como una función del acimut. El ángulo de fase eléctrico medido en el receptor de abordaje corresponde al ángulo de azimut a través del receptor VOR existente en la aeronave, entonces el VOR proporciona al piloto la siguiente información:

1. Representación del azimut, es decir, el ángulo existente entre la línea magnética del norte y la línea entre el avión y la estación de tierra.

2. Representación del rumbo que indica si el avión está posicionado a la izquierda o a la derecha de una línea de rumbo preseleccionada (línea base) o bien exactamente sobre dicha línea.

3. Representación de la dirección "Desde / hacia", que indica si el avión está volando hacia el radiofaro omnidireccional o se está alejando de él.

La posición de la aeronave está señalada por la intersección de dos líneas base, que pueden obtenerse conmutando el receptor VOR de abordo a las frecuencias de las dos estaciones VOR en rápida sucesión. Para analizar las indicaciones basta con un sólo mapa y una tabla de frecuencias VOR. Además, en un vuelo de vuelta a su destino, una estación terrestre de VOR se puede contactar con ayuda del instrumento CDI (indicador de desviación de rumbo) o un controlador automático de rumbo.

En la imagen abajo se ilustra el desplazamiento desde un punto 1 a un punto 2 de un tráfico (aeronave) apoyándose en todo momento por varios radiofaros (radioayudas) omnidireccionales. Véase **figura 4.5a** :

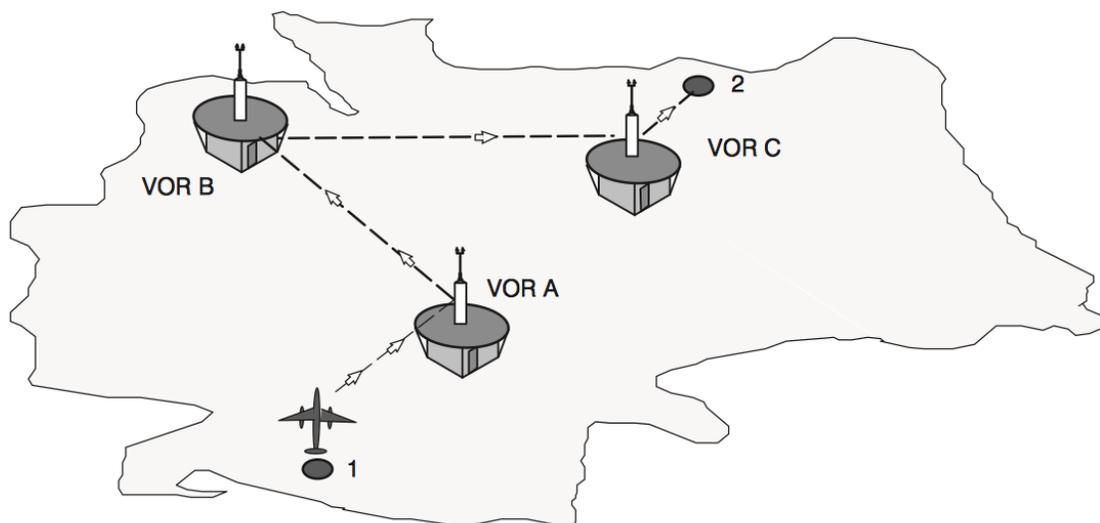


Figura 4.5a Manual de usuario VOR (2014). SENEAM

El VOR puede combinarse con un DME (equipo de medición de la distancia) para conformar una estación VOR/DME. La posición del avión puede ser determinada refiriéndose a la localización de una estación VOR/DME.

La estación o equipo VOR puede suministrar su señal ya montado en un contenedor protector por lo general de 10 pies junto con la antena VOR y la antena DME que se encuentran montadas sobre el techo de una caseta.

El método VOR:

La señal RF radiada por una estación VOR es modulada por dos señales sinusoidales de 30 Hz. Ambas señales de 30 Hz tienen una particular relación de fase entre ambas, idéntica al ángulo geográfico entre el norte magnético y la línea desde el avión hasta la estación en tierra (azimut). Una de las dos sinusoides de 30 Hz es independiente del azimut (señal de referencia) en tanto que la relación de fase de la segunda senoide de 30 Hz varía con el azimut, respecto a la primera oscilación.

La señal independiente de dirección (referencia) se modula en una subportadora de $f_0 \pm 9960$ Hz como modulación de frecuencia (FM) con una desviación de ± 480 Hz. Esta portadora auxiliar se radia entonces como modulación de amplitud con profundidad de modulación del 30% a través de la portadora f_0 a través de una antena polarizada horizontalmente, de característica omnidireccional. Además, la portadora f_0 es modulada tanto con un código de identidad (1020 Hz) como vocalmente (300...3000 Hz).

La señal dependiente de dirección (variable) se radia por medio de 2 dipolos cruzados que reciben las señales de bandas cruzadas desde los dos transmisores de banda lateral, con una diferencia de fase de 90° entre las envolventes. Se ha suprimido la portadora de las señales de banda lateral. Por eso, representa en el espacio una forma de ocho, rotando a 30 rps.

Puesto que la portadora f_0 se radia con una antena de característica omnidireccional, la superposición de la portadora, de las bandas laterales de 30 Hz en el espacio, y si la fase ha sido ajustada correctamente resulta en una modulación de amplitud pura; entonces la fase de la señal resultante de 30 Hz es una función del azimut con respecto a la señal de referencia de 30 Hz. Las relaciones de fase entre la señal de referencia y la señal dependiente de dirección (variable) en diversas direcciones es la siguiente: a un ángulo azimut de 0° (Norte), el ángulo de fase entre las dos señales es 0° . En el sur (azimut = 180°) el ángulo de fase es 180° , en el Este (azimut = 90°) es de 90° y en el Oeste (azimut = 270°) es de 270° . Las líneas de referencia en las cuales el ángulo de azimut permanece constante son radiales con respecto a la estación VOR. Véase **figura 4.5b**.

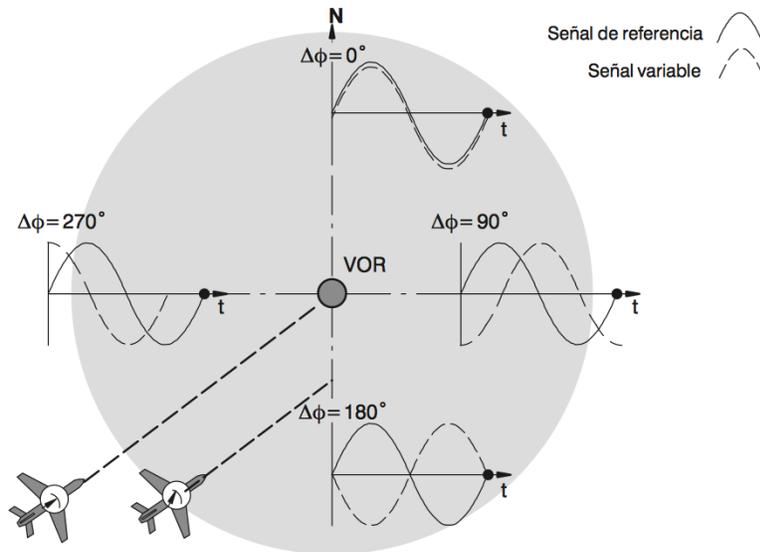


Figura 4.5b *Ángulo de fase en diversas direcciones* (2014). Manual de usuario VOR SENEAM

GENERACIÓN DE LA SEÑAL VOR

La señal rotante para la estación VOR es generada electrónicamente. La portadora radiada por la antena con características omnidireccionales es superpuesta en el espacio con la señal variable radiada por los dipolos cruzados (véase **figura 4.5c**), lo cual resulta en una modulación de 30 Hz cuya relación de fase relativa a la señal de referencia depende del ángulo de azimut.

En la **figura 4.5c** se indica el resultado de la superposición. En esta figura se enseña sólo la modulación de amplitud de 30 Hz. Al incluir también la portadora auxiliar modulada por amplitud de 9960 Hz.

El espectro lineal del faro VOR se enseña en la **figura 4.5d**, que contiene las frecuencias siguientes:

- Modulación de amplitud de 30 Hz.
- Modulación de amplitud de 9960 Hz con modulación de frecuencia de 30 Hz (desviación de ± 480 Hz).
- Modulación de amplitud para voz y código de identificación.
- Portadora.

La profundidad de modulación de las diferentes frecuencias puede ser modificada dentro de ciertos límites. Los valores aplicables para casos normales son:

- Señal de navegación de 30 Hz 30 %
- Portadora auxiliar de 9960 Hz 30 %
- Voz 30 %
- Código de identificación 10 %

Las señal detectada y compuesta final de un equipo VOR se muestra en la **figura 4.5e**:

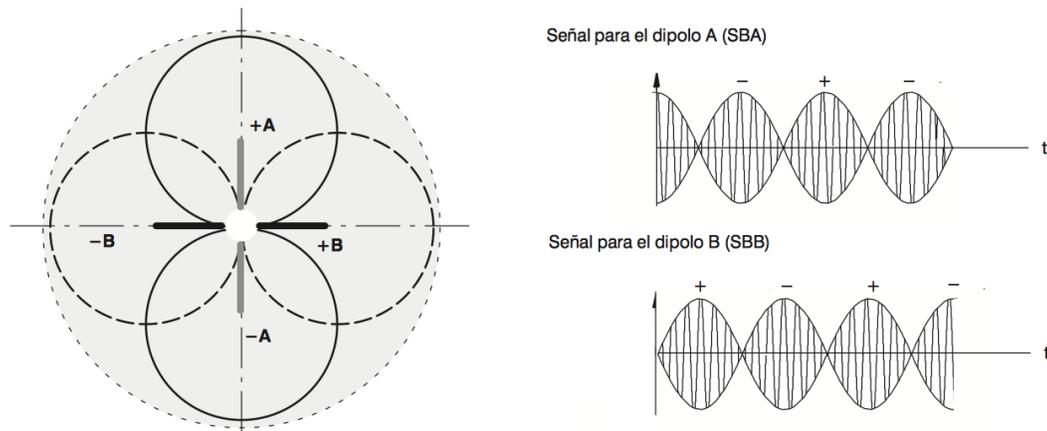


Figura 4.5c Dipolos cruzados y señal de banda lateral (2014) Manual de mantenimiento VOR SENEAM

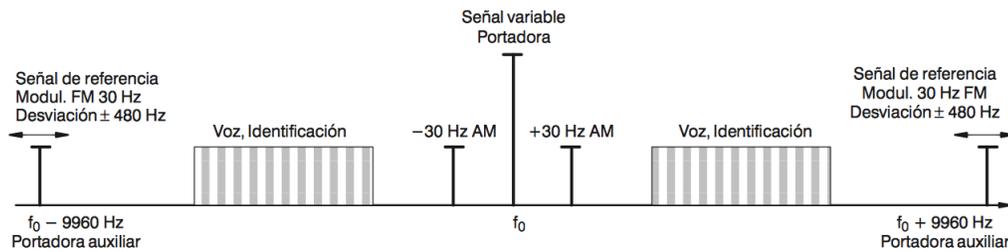


Figura 4.5d Modulación de señales en el equipo VOR (2014) SENEAM

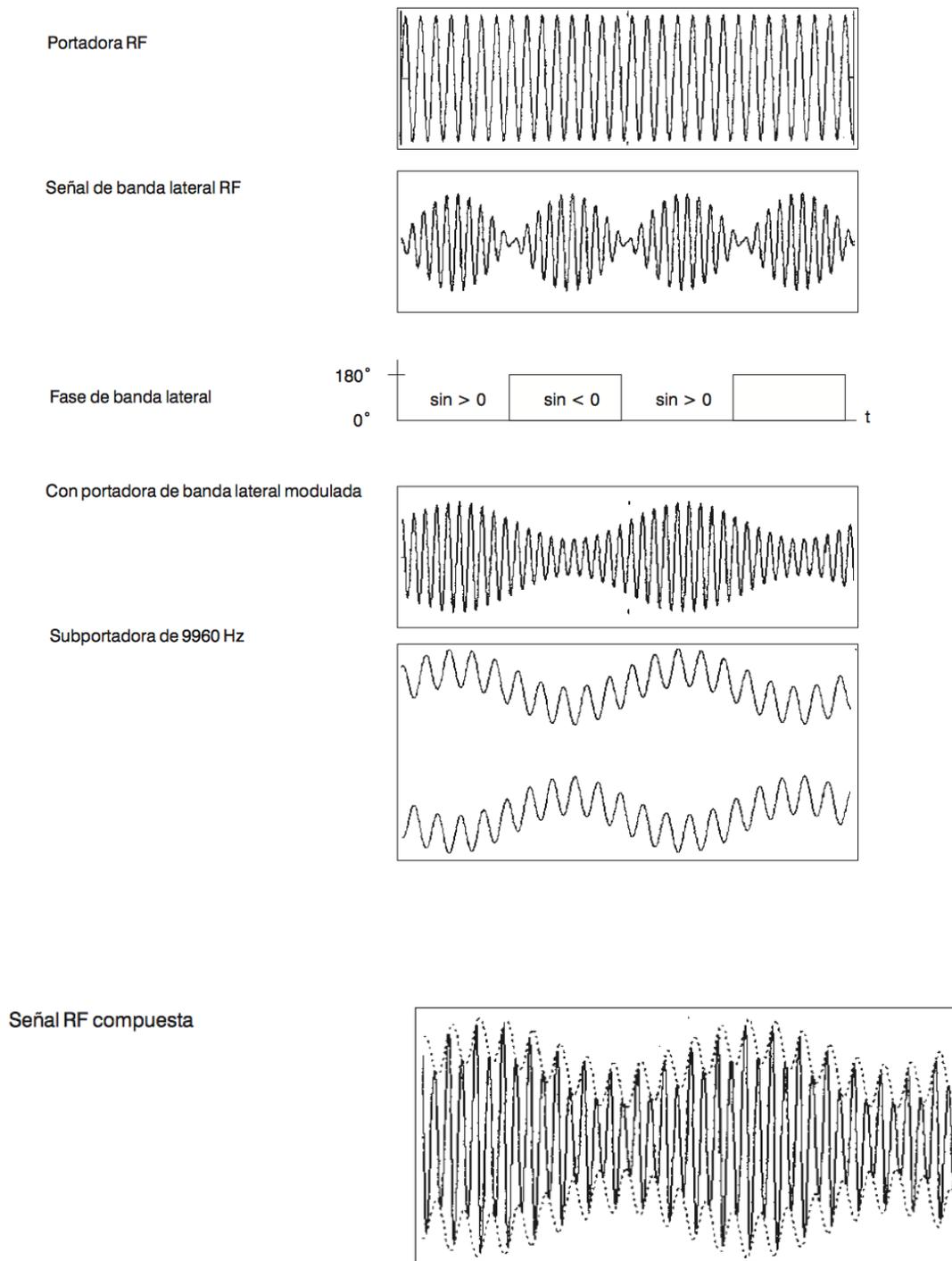


Figura 4.5e Amplitud de señal detectada modulada con 30 Hz y 9960 Hz SENEAM

PROBLEMA 5: CONTROLADOR DE TRÁNSITO AÉREO INDICA POR REPORTE DE PILOTO DE AERONAVE QUE EQUIPO VOR/DME LO DETECTA CON 25° DE ERROR CON RESPECTO A SU POSICIÓN (CON RESPECTO AL NORTE MAGNÉTICO).

En esta situación procedo a desplazarme en vehículo hasta la caseta de radioayudas ubicada a 300 metros de la pista de aterrizaje donde se encuentra la antena omnidireccional VOR/DME; observo lector de potencia que marca en la medición NW/SE: 0.8 W y NE/SW: 1.3 W; se diagnostica un desbalanceo de lóbulos, que esta provocando las mediciones erróneas de la señal detectada por los tráficos que sobrevuelan el área; conecto osciloscopio y se ajusta para observar la señal compuesta detectada, y corroborar el diagnóstico; se ajustan niveles de potencia a 1.2 Watt en ambas bandas laterales. Se coordina con CTA (Controlador de Tráfico Aéreo), petición de prueba con algún tráfico cercano para corroborar recepción de señal VOR/DME; después de algunos minutos se escucha por frecuencia de comunicación 121.4 MHz que piloto indica recepción de señal normal y correcta de equipo, a la presente normal.

4.6 DME (Distance Measuring Equipment)

Este equipo es un sistema que se encarga de indicarle a la aeronave la distancia con respecto a la estación DME a la que se dirige (ubicada cerca de la pista de aterrizaje).

NOTA: Normalmente la estación emisora catalogada como radiofaro omnidireccional se identifica como VOR-DME debido a que ambos aparatos van asociados a una misma señal portadora que se envía a la aeronave que la detectara más adelante.

El equipo DME se encarga de recibir una señal de pulso de la aeronave con una secuencia de pares de pulsos separados a $12 \mu\text{s}$; el equipo DME que recibe esta señal la retransmite de nuevo con un retardo de $50 \mu\text{s}$; el equipo del avión calcula el tiempo transcurrido desde que preguntó, le descuenta $50 \mu\text{s}$ y lo divide entre dos; este tiempo se multiplica por la velocidad de la luz ($300 \text{ m}/\mu\text{s}$), y se obtiene la distancia con respecto al equipo de tierra.

Parámetros de un equipo DME a verificar mostrados en el display de un equipo DME. Véase **figura 4.6a** :



Figura 4.6a. Foto: *verificación de parámetros del DME*. Elaboración propia Núñez A. (2021).

4.7 RADAR

El RADAR (Radio Detection And Ranging), detección y distanciametría de radio, nació debido a la presión de la guerra por la necesidad de detectar aviones "hostiles", motivo por el cual originó una gran inversión en intelecto y dinero para desarrollar lo que hoy conocemos como RADAR, mismo que se define como equipo electrónico que detecta la presencia de objetos mediante el uso de energía electromagnética reflejada.

Ahora bien, en algunas condiciones, el sistema de radar puede medir la dirección, altura, distancia, rumbo y velocidad de estos objetos además de que la frecuencia de la energía electromagnética utilizada por el radar no se ve afectada por la oscuridad, penetra la niebla y las nubes, esto permite que los sistemas de radar determinen la posición de los aviones, barcos u otros obstáculos que son invisibles a simple vista debido a la distancia, la oscuridad o el clima.

El radar moderno puede extraer mucha más información de la señal de eco de un objetivo más allá que solo su posición con respecto al radar, pero el cálculo del rango midiendo el tiempo de retraso es una de sus funciones más importantes.

En la **figura 4.7** se observa un radar primario y un radar secundario.



Figura 4.7. Radar primario y secundario (2020), foto extraída de <https://pixabay.com/es/photos/radar-estaci%C3%B3n-de-radar-cielo-4777615/> Licencia libre de uso.

Radar Primario:

El radar clásico (ahora denominado radar primario), por definición, es una tecnología no cooperativa, es decir, no necesita la cooperación del "objetivo" detectado.

El principio electrónico en el que opera el radar es muy similar al principio de la reflexión de ondas sonoras, es decir, si grita en la dirección de un objeto que refleja el sonido (como un cañón rocoso o una cueva), escuchará un eco, si conoce la velocidad del sonido en el aire, puede estimar la distancia y la dirección general del objeto.

Ahora bien el tiempo requerido para que un eco regrese puede convertirse aproximadamente en distancia si se conoce la velocidad del sonido, entonces si el radar usa pulsos de energía electromagnética y de la misma manera la energía de radiofrecuencia se transmite y se refleja desde el objeto reflectante, vemos que una pequeña porción de la energía reflejada regresa al conjunto de radar, entonces esta energía devuelta se llama eco.

Al igual que en la terminología del sonido, los conjuntos de radar usan el eco para determinar la dirección y la distancia del objeto reflectante.

Radar Secundario:

¿Por qué necesitamos un sistema distinto?

Además de ver aviones "hostiles", pronto se hizo evidente que el Radar era una buena herramienta para ver aviones "amigables" y, por lo tanto, controlarlos y dirigirlos. Si la aeronave "amigable" está equipada con un transpondedor (transmisor de respuesta), entonces envía una señal fuerte como "eco"; una señal de respuesta activa también codificada que se devuelve al conjunto de radar y luego se genera en el transpondedor, esto resultó muy útil para los militares al ver claramente su propio avión ya que en esta respuesta se puede contener mucha más información que una unidad de radar principal puede adquirir por ejemplo, una altitud, un código de identificación o también cualquier problema técnico abordado, como una pérdida de contacto por radio etc., en la **figura 4.7** se muestra un radar secundario.

4.8 PROCESAMIENTO RADAR

Se cuenta con un Sistema de Procesamiento Radar que a través del cual se proporciona el servicio de control de tránsito aéreo de manera segura, ordenada y confiable, la cual proporciona información automática entre las aeronaves y los centros de control y unidades terminales en el territorio nacional y con los centros de control del sur de los Estados Unidos de América, además que la función "Flight Plan Conflict Function" (FPCF) muestra los puntos de conflicto entre aeronaves a largo y mediano alcance, emitiendo alertas de conflictos 15 minutos antes de una falla del procesador de información del plan de vuelo.

Los radares recientes pueden crear trazados y pistas automáticamente utilizando señales de eco de radar, el sistema puede calcular el rumbo, la velocidad y el punto de aproximación más cercano del objeto rastreado, estos radares se pueden incluir en un sistema de prevención de colisiones de tráfico para evitar la colisión con la otra aeronave (sistema de prevención de colisiones de abordado o ACAS).

En la aviación se utilizan datos del radar primario y secundario, en los radares marítimos solo los datos del radar primario.

El seguimiento local en los radares marítimos se denomina ayuda automática de trazado de radar (funcionalidad ARPA). En la imagen inferior se muestra el despliegue de datos final en pantalla de un sistema de procesamiento radar. Véase **figura 4.8**:



Figura 4.8. Visualización de datos radar (2021). Licencia libre de uso, extraída de https://mx.depositphotos.com/home.html?admitad_uid=69c0a897d4386dc9cef489ef0168dd45&utm_source=admitad&utm_medium=cpa&utm_campaign=1414604

Los informes de blancos de radar se transmitirán en forma de gráficos o pistas; una pista es un superconjunto de una gráfica que contiene datos adicionales generados por un sistema de seguimiento local en el sitio del radar, el rastreador local intenta actualizar la pista formando un promedio ponderado de la posición actual informada por el radar y la última posición predicha del objetivo por el rastreador, cada trama se compara con los objetivos rastreados y si se cumplen ciertos criterios, la trama se asocia con un objetivo rastreado; cualquier trama que no esté asociada con un objetivo rastreado puede usarse para la adquisición de nuevas pistas.

El seguimiento se vuelve particularmente difícil para los objetivos con movimientos impredecibles, detección en presencia de desorden distribuido de manera no uniforme o incluso atascos, detecciones perdidas o falsas alarmas.

Un rastreador de radar suele utilizar un conjunto de algoritmos cada vez más sofisticado para resolver estos problemas; debido a la necesidad de formar pistas de radar en aproximadamente tiempo real, generalmente para varios cientos de objetivos a la vez, el despliegue de algoritmos de rastreo de radar tiene que ser lo suficientemente confiable.

PROBLEMA 6: CONTROLADOR DE TRÁNSITO AÉREO EN TORRE DE CONTROL REPORTA MONITOR SIN DESPLIEGUE DE DATOS RADAR (APAGADA).

Se procede a verificar en pantalla de monitoreo de nodos del sistema de procesamiento, corroborando la desconexión de datos del sistema (alarma en rojo); acto seguido se verifica actividad en los indicadores de los puertos asignados en switch de la red de ethernet, encontrando puerto de entrada RJ45 en nodo asignado apagado; se verifica puerto de entrada en tarjeta de red en CPU asignado a posición del controlador, se observa sin actividad en ninguno de los tres puertos de la tarjeta grafica de video, se deduce posible daño en tarjeta; se informa a supervisión e indican que sí tienen refacción de tarjeta gráfica; se procede apagar nodo de posición:

Se abre una ventana en hiperterminal en la pantalla de la posición de monitoreo en la sala técnica.

Se selecciona con rsh espacio el nodo que se va apagar ejemplo:

```
hrtcdbm01li:run > rsh hrltexc01li
```

```
enter
```

```
;Login: *****
```

```
Password: *****
```

```
enter
```

```
shutdown -h now
```

```
enter
```

se oprime botón de apagado en CPU y se desmonta para mantenimiento correctivo.

Se instala tarjeta de video y se levanta nodo:

Se enciende CPU

Logeamos el nodo a levantar desde el hiperterminal

```
rlogin hrltexc01li
```

```
enter
```

```
start node
```

Observamos actividad en los indicadores LED de los puertos de la tarjeta, así como de los puertos del switch de la red ethernet estando normal.

Esperamos que el sistema identifique a la tarjeta gráfica y empiece a correr las aplicación para el despliegue de datos en monitor de posición de torre de control aéreo.

Se observa que posición en torre despliega la detección del radar, se pide a controlador hacer pruebas con en menu de opciones de su sistema y a la brevedad indica que opera normal.

Se informa a supervisión que nodo de despliegue de datos radar en torre de control queda operando normal.

4.9 SISTEMA DE METEOROLOGÍA

El sistema AWS (Automatic Wheather System) está compuesto por dos canales de monitoreo ubicados en TWR (Tower) y en la oficina de OSIV (Oficina de Servicio e Información de Vuelo), los dos canales tienen la misma información sin embargo son terminales independientes. La información que despliegan dichos canales, proviene de una estación meteorológica colocada en la cabecera de la pista de mayor uso.

La estación meteorológica está compuesta por sensores de intensidad de viento, dirección de viento, temperatura ambiente, humedad relativa, presión atmosférica y precipitación. Los valores de cada sensor son capturados, almacenados y procesados por un datalogger el cual envía a través un puerto serial RS232 una cadena de datos ASCII en protocolo transparente.

El datalogger que es parte integral de la estación meteorológica tiene un radio conectado al puerto serie y configurado en modo transparente a una frecuencia de transmisión previamente asignada (136.150 MHz usualmente), con la finalidad de enviar hacia los dos canales de monitoreo exactamente la misma información como se muestra en la **figura 4.9a**.

Cada canal de monitoreo está equipado con un radio configurado a la misma frecuencia de transmisión, una computadora y un software de despliegue de datos gráficos en tiempo real.

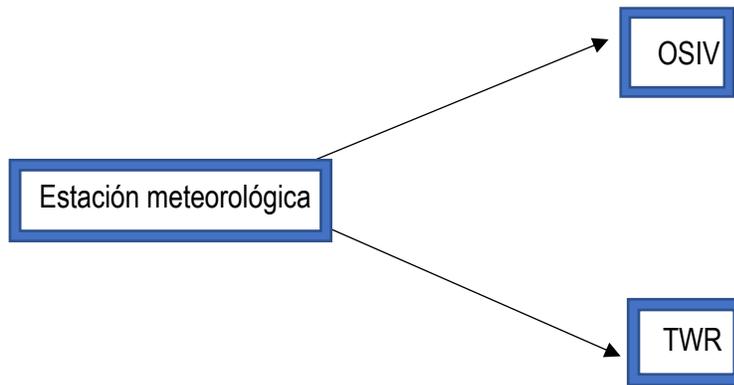


Figura 4.9a. Comunicación de una estación meteorológica. Elaboración propia Núñez A. (2021).

OPERACIÓN EN TWR Y OSIV

El sistema telemétrico AWS (Automated Weather System) del Aeropuerto Internacional de Hermosillo nos permite mostrar en la Torre de Control y en OSIV (Oficina de Servicios e Información de Vuelo) los siguientes datos: temperatura, humedad, dirección, intensidad de viento, presión atmosférica, precipitación pluvial, punto de rocío y el altímetro; presentes en la zona cercana del punto de aterrizaje de la cabecera principal tal como se muestra en el despliegue de datos en pantalla, tal como se muestra en la **figura 4.9b**.



Figura 4.9b. Visualización de datos meteorológicos. Elaboración propia Núñez A. (2021).

Sensores de medición que integran un sistema de meteorología comunmente utilizado en los aeropuertos a nivel internacional. Véase **figura 4.9c** , **4.9d**, **4.9e** y **4.9f**.



Figura 4.9c *Sensor de velocidad y dirección de viento.* Manual de instalación equipo AWS (2014) SENEAM.

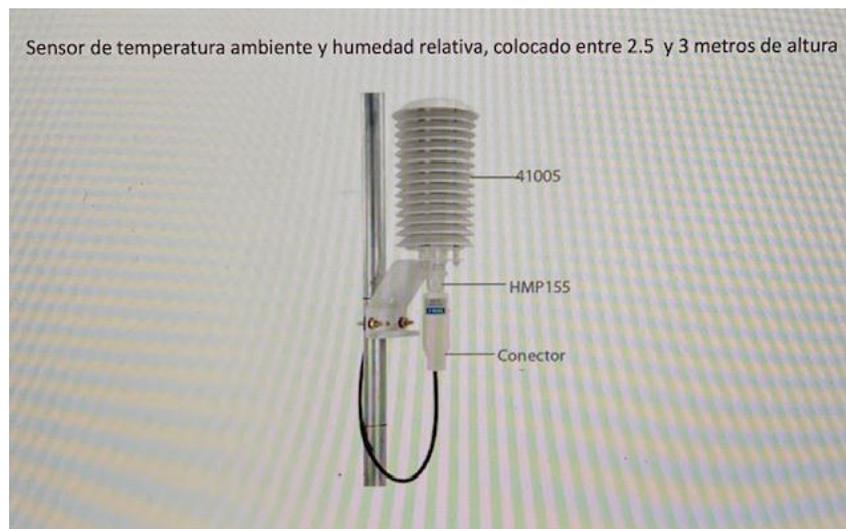


Figura 4.9d *Sensor de temperatura ambiente y humedad.* Manual de instalación equipo AWS (2014) SENEAM.

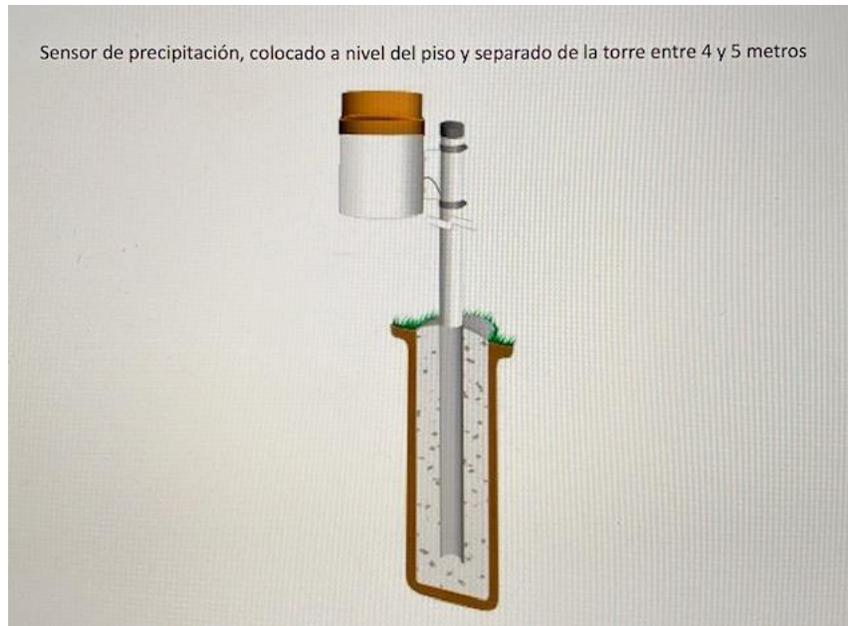


Figura 4.9e *Sensor de precipitación.* Manual de instalación equipo AWS (2014) SENEAM.

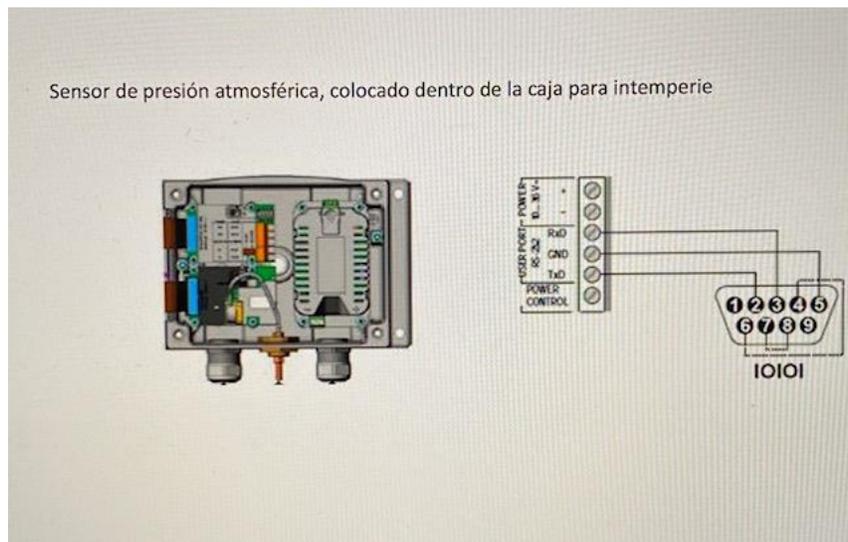


Figura 4.9f *Sensor de presión atmosférica.* Manual de instalación equipo AWS (2014) SENEAM.

PROBLEMA 7: OFICINA DE SERVICIO E INFORMACIÓN DE VUELO REPORTA MONITOR SIN DESPLIEGUE DE DATOS METEOROLÓGICOS EN PANTALLA.

Me traslado a lugar y se observa que interfaz en la recepción de datos de la antena con frecuencia 136.150 MHZ no muestra actividad; me traslado a sitio de torre arriostada ubicada a pocos metros de la PISTA; conecto equipo de medición no obteniendo lecturas de suministro eléctrico me traslado a caseta de planta de emergencia detectando planta diesel encendida (trabajando) por no haber suministro eléctrico; pero con problema en tablero de transferencia de carga hacia el equipo meteorológico. Se verifican mediciones en relevadores del tablero de transferencia detectando relevador dañado de tablero de control de suministro y planta. Se reporta a departamento de energía de potencia para corroborar falla, conseguir refacción y coordinar con CFE respecto al problema de no tener suministro eléctrico.

Se instala relevador y se verifica correcta operación del tablero de transferencia para alimentar antena meteorológica, se verifican mediciones de voltaje en equipo de torre arriostada estando normal se enciende equipo quedando normal, se concluye mantenimiento correctivo y se inicia mantenimiento preventivo quincenal que incluye lo siguiente:

MANTENIMIENTO QUINCENAL:

Algunas cuestiones a considerar al dar mantenimiento:

1. Verificar los voltajes batería.
2. Revisar que el radio de la Torre Meteorológica encienda el led de Tx .
3. Revisar que los radios de OSIV y TWR enciendan el led de Rx.
4. Es posible verificar el funcionamiento de los sensores directamente, midiendo los voltajes de salida de los dispositivos, en el caso de la intensidad del viento medir la frecuencia del generador de la hélice cuando esta gira y para el barómetro ver directamente la presión con la ayuda del puerto serial de una PC. Los aspectos técnicos se pueden consultar en los manuales de los sensores que se adjuntan.
5. Mantener el equipo limpio.
6. Tener un respaldo actualizado de los archivos de configuración.
7. Periódicamente hacer respaldos de los archivos históricos.
8. Mantener limpio el pluviómetro.

CAPÍTULO 5

FUTURO PARA EL CONTROL DE TRÁNSITO AÉREO

5.1 SISTEMA ADS-B

Automatic Dependent Surveillance – Broadcast (Vigilancia Dependiente Automática – Radiodifusión).

Es un sistema de vigilancia e información de tráfico diseñado originalmente para remplazar a los sistemas convencionales de vigilancia basados en radar.

En este sistema la posición es determinada satelitalmente por los sistemas de navegación, después es transmitida junto con otros datos en modo de radiodifusión y finalmente recibida por una estación receptora.

Automatic : Es un proceso automático y no requiere intervención de la tripulación para su uso.

Dependent : Depende de la información brindada por los sistemas de navegación satelital (GNSS).

Surveillance : Diseñado principalmente con propósitos de vigilancia e identificación de tráfico para los servicios ATS.

Broadcast : La radiodifusión permite que la información sea recibida por cualquier estación adecuada.

Existen dos capacidades de ADS-B. (IN AND OUT). La capacidad ADS-B “IN” permite recibir información que otras estaciones ADS-B “OUT” difunden. Una estación equipada con ambas funcionalidades, puede enviar información y también recibir información difundida por otras estaciones cercanas.

VENTAJAS :

- 1.** La información de posición, velocidad altitud etc. Es mucho mas precisa, ya que viene directamente de los sistemas de navegación de la aeronave.
- 2.** El sistema ADS-B “out” radiodifunde la información con mayor frecuencia con respecto a los pulsos de interrogación/respuesta del radar secundario SSR.
- 3.** Reducción de la separación entre aeronaves y por la tanto mejor utilización del espacio aereo.
- 4.** En lugar de instalar una antena radar PSR/SSR simplemente se instala una antena receptora ADS- B “In” mucho más económica y eficiente.

5. Consume mucho menos energía.

6. En el sistema ADS-B no se requiere que se realicen interrogaciones, como en el sistema radar secundario (SSR). En lugar de eso la aeronave radiodifunde la información periódicamente.

7. Cualquier estación receptora equipada con un equipo ADS-B “in” puede recibir la información sin encriptar.

5.2 SKYVECTOR.

Aplicación en línea para información de cartas aeronáuticas.

Fundada en 2006, SkyVector es el principal proveedor de cartas aeronáuticas mundiales, mapas en línea y productos y servicios relacionados con la planificación de vuelos.

A través de su plataforma de planificación de vuelos mejorada, SkyVector combina su capacidad única de mapeo aeronáutico con superposiciones de datos y clima, información de aeropuertos, listados de FBO y más.

Oficinas:

Suite 925

500 Union St

Seattle, WA 98101

(206) 388-5252

Correo electrónico

info@skyvector.com

5.3 FLIGHTRADAR24

Flightradar24 es un servicio sueco basado en Internet que muestra información de seguimiento de vuelos de aviones comerciales en tiempo real en un mapa. Incluye información de seguimiento de vuelos, orígenes y destinos, números de vuelo, tipos de aeronaves, posiciones, altitudes, rumbos y velocidades. También puede mostrar repeticiones a intervalos de pistas anteriores y datos históricos de vuelo por línea aérea, avión, tipo de avión, área o aeropuerto. Agrega datos de múltiples fuentes, pero fuera de los Estados Unidos, principalmente de la recopilación de información de fuentes colaborativas por parte de voluntarios con receptores ADS-B y receptores ADS-B basados en satélites.

Desde el 3 de marzo de 2020, los datos ADS-B recopilados por satélite se pusieron a disposición de todos los usuarios. Las aeronaves ubicadas utilizando datos satelitales se muestran en azul en el mapa y en amarillo si se ubican mediante receptores terrestres.

Por supuesto por razones de seguridad mayormente en Estados Unidos y Rusia cierto tipo de aviones y rutas a seguir no son publicadas en la página. Despliegue de datos de un sistema flightradar24, véase la **figura 5.3a** :

Flag	Type	Reg.	Callsign	Route	V.Speed	Altitude	Distance	Speed ICAO	MLAT	Receiver
AEROMEXICO	E170	XA-ALG	SLI2081			GND	170.94 nmi	6.0 kts 0D0933	No	MMLP
Washington	EC30	N165WC						A10638		MMSD - Meg
interjet	A321	XA-JPB	ALJ2800	SJD-MEX	0 ft/m	GND	17.51 nmi	0.0 kts 0D09FA	No	MMSD - Meg
American	A321	N556UW	AAL532	PHX-SJD	0 ft/m	GND	17.34 nmi	0.0 kts A7178C	No	MMSD - Meg
NETJETS	C56X	N628QS	N628QS		0 ft/m	GND	17.63 nmi	0.0 kts A83564	No	MMSD - Meg
PRIVATE PLANE	C25A	N900HA			0 ft/m	GND	53.58 nmi	321.9 kts AC6FDC	Yes	MMSD - Mike
PRIVATE PLANE	Z42	ANX-1419				625 ft		0D081B		MMLP
PRIVATE PLANE	Z42	ANX-1428				1025 ft		0D0884		MMLP
PRIVATE PLANE	F2TH	N710ET				1750 ft		A97C83		MMSD - Meg
PRIVATE PLANE	C210	N31146	N31146			3400 ft		A34D88		MMGM - 2
CALAFIA	E120	XA-HRV			832 ft/m	3500 ft	95.79 nmi	212.3 kts 0D092B	Yes	MMLP
American	B738	N873NN	AAL1117	DFW-SJD	-768 ft/m	4175 ft	28.41 nmi	167.0 kts AC02B4	No	MMSD - Meg
PRIVATE PLANE	BE36	N560BB				5400 ft		A72705		MMLP
PRIVATE PLANE	SR22	C-FXKE	CFXKE		64 ft/m	6500 ft	201.36 nmi	172.0 kts C03DC5	No	MMHO - 2 G
MEXICO	BE90	XC-ROK				8150 ft		AB0C15		MMLM
volaris	A320	XA-VLC	VOI513	MTY-TIJ	-3200 ft/m	8325 ft	378.04 nmi	287.9 kts 0D07F6	No	MMHO - LC1
CALAFIA	E145	XA-FVT				10875 ft		AB004E		MMLP
UNITED	B738	N77542	UAL1761	SFO-SJD	-1728 ft/m	11925 ft	56.58 nmi	312.0 kts AA7E99	No	MMLP
PRIVATE PLANE	C25A	N926PY	N926PY		-1216 ft/m	13225 ft	103.70 nmi	307.0 kts ACD500	No	MMLP
PRIVATE PLANE	TEX2	ANX-1317			-64 ft/m	13525 ft	161.32 nmi	178.1 kts 0D09E8	Yes	MMMZ
American	B738	N955NN			0 ft/m	GND		438.0 kts AD4873		MMSF
CALAFIA	C208	XA-HVT				14925 ft		0D0518		MMHO - 2 G
PRIVATE PLANE	PA31	N100CM	N100CM		0 ft/m	15500 ft	359.49 nmi	229.9 kts A004F2	No	MMHO - LC1
DELTA	B738	N378DA	DAL344	STL-ATL	-1728 ft/m	19000 ft	78.74 nmi	365.0 kts A451CF	No	MMSD - Dav
PRIVATE PLANE	SW3	N36LC	N36LC		-1472 ft/m	19500 ft	91.62 nmi	267.0 kts A40AF0	No	MMCL
volaris	A320	XA-VOM	VOI622	GDL-MXL	-320 ft/m	19975 ft	575.13 nmi	352.0 kts 0D049E	No	MMSF
PRIVATE PLANE	BE9L	N6211J	N6211J		0 ft/m	20000 ft	151.07 nmi	275.0 kts A81C78	No	MMCL
AEROMEXICO	E190	XA-EAC				20100 ft		0D03F4		MMMZ
American	B738	N872NN	AAL1225	DFW-SJD	0 ft/m	GND	44.75 nmi	417.0 kts ABFEED	No	MMLP

Figura 5.3a. Tracking de aeronaves (2020) extraída de: <https://www.flightradar24.com/premium/#featureInfo99>

5.4 RAMMB

Regional And Mesoscale Meteorology Branch

La Subdivisión de Meteorología Regional y de Mesoescala (RAMMB) de NOAA / NESDIS realiza investigaciones sobre el uso de datos satelitales para mejorar los análisis, pronósticos y avisos de eventos meteorológicos regionales y de mesoescala. RAMMB comparte su ubicación con el Instituto Cooperativo de Investigación en la Atmósfera (CIRA) de la Universidad Estatal de Colorado en Fort Collins, CO.

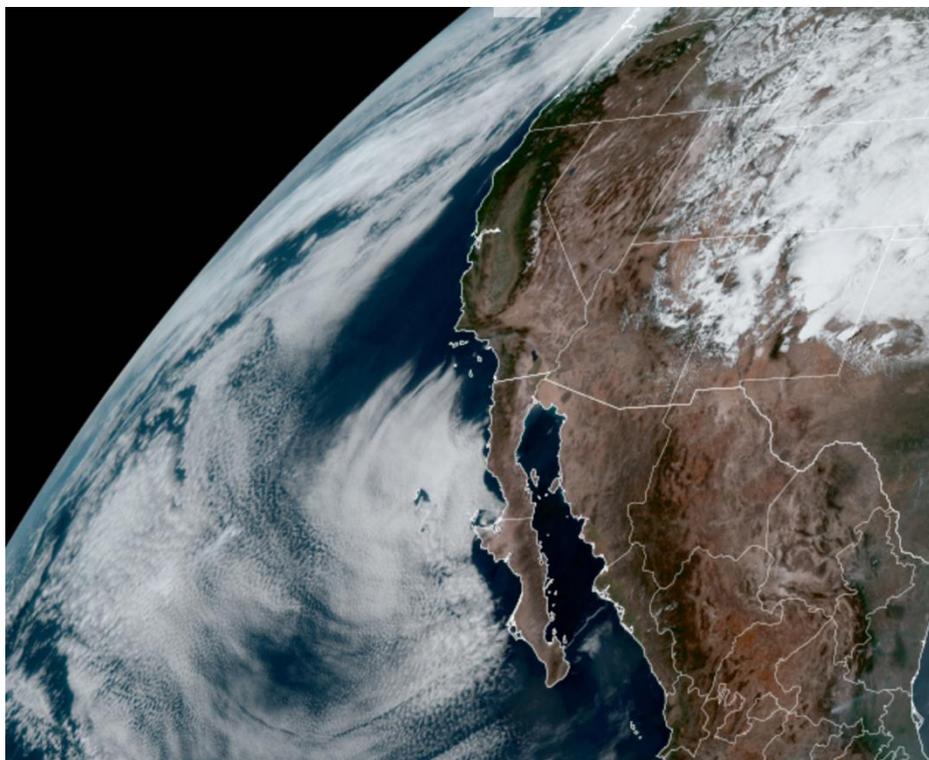


Figura 5.4a. *Información meteorológica* (2021) imagen extraída de: <https://rammb-slider.cira.colostate.edu>

5.5 FLIGHTAWARE

Es una empresa tecnológica multinacional estadounidense que proporciona datos de vuelo y productos de seguimiento de vuelo en tiempo real, históricos y predictivos.

Actualmente es la mayor plataforma de seguimiento de vuelos del mundo, con una red de 32000 estaciones terrestres ADS-B en 200 países.

FlightAware también proporciona datos de aviación y predicciones de tiempo de llegada a las aerolíneas, operadores de aeropuertos y desarrolladores de software.

FlightAware es una empresa privada, con sede en Eleven Greenway Plaza en Houston y oficinas de venta en Nueva York, Austin, Singapur y Londres.

6. CONCLUSIONES

Enfatizando un poco, sobre lo más reciente en tecnología como por ejemplo ADS-B y las aplicaciones que han nacido basadas en ella, se ha demostrado la capacidad de que dos aviones combinen sus trayectorias mientras mantienen una distancia segura entre sí, sin la intervención de un controlador aéreo en tierra.

Por lo general, la responsabilidad de distanciar los aviones en vuelo recae en los controladores, pero los nuevos sistemas de navegación pueden hacer este mismo trabajo especialmente en zonas remotas sin cobertura de radar, mejorando la seguridad y la eficiencia de los vuelos.

No obstante tampoco se puede prescindir completamente del factor humano debido a que cada sistema específico posee un grado característico de vulnerabilidad; entonces, siempre surgirán nuevas propuestas de tecnología para mejorar, modernizar o reemplazar los equipos ya existentes o agilizar los procedimientos de seguridad en la aeronáutica.

El año 2020 fue un año crítico para la humanidad por la pandemia de COVID-19, que mermó la actividad económica y por ende también afectó la industria aeronáutica.

El freno en la movilidad provocó que en los primeros meses de la pandemia, dos tercios de la flota comercial global quedase en tierra sin operación; en consecuencia, las entregas de nuevas aeronaves en 2020 se pospusieron o fueron canceladas por parte de las compañías aéreas que vieron mermados fuertemente sus recursos financieros para renovar sus flotas o abrir nuevos mercados debido al paro de la actividad económica, además de esforzarse por mantenerse lo suficientemente rentables para absorber dicho impacto; esto por supuesto derivando en la serie de empleos destruidos en el resto de la cadena de valor aeroespacial.

El mercado de repuestos, mantenimiento, reparación y revisión de aeronaves también se vio afectado por la crisis; no obstante el control para el tránsito aéreo en aeronaves de carga y movilidad de productos se vio en aumento.

Poco a poco a partir del año 2021 la movilidad aérea comercial se ha ido recuperando a nivel global, pero estamos aprendiendo a vivir con una nueva normatividad en reglas de contingencia social y comercial causada por la pandemia COVID-19 y sus variantes.

Se hace hincapié en que toda la infraestructura para el ámbito del control de tránsito aéreo, hasta hoy en día seguirá teniendo la necesidad de intervención del factor humano por el simple hecho de requerir el mantenimiento continuo, actualización, reparación, mejoramiento e innovación en sus sistemas de energía, comunicación, radioayudas, procesamiento, meteorología, y detección radar debido a la demanda constante e ininterrumpida de estos servicios las 24 horas del día, a parte de garantizar la confiabilidad de estos sistemas, porque a fin de cuentas aparte de la movilidad de productos en el ámbito

de carga, son vidas humanas las que dependen de estos servicios en el sector de flotas comerciales.

A manera de experiencia y para concluir, me queda claro que de las cosas más gratificantes que a lo largo de los años e adquirido, es tener esa sensación de héroe anónimo cuando en situaciones complicadas, se debe actuar rápido, con seguridad al resolver un problema que implica la afectación de un servicio, que en inmediatez y por necesidad debes restablecer en cuestión de minutos utilizando los medios que tienes disponibles a tu alcance en ese momento justo; porque al final, cuando la afectación o problema es solucionado, piensas que todo ha valido la pena, por ende desde la institución que te formó, los años que asientan tus conocimientos en el trabajo, y por supuesto la responsabilidad que tienes a tu cargo que se puso a prueba nuevamente en tiempos de COVID donde más del 60% del personal en la dependencia donde laboro (SENEAM SCT); se retiró por edad vulnerable de infección a resguardo por los planes de contingencia gubernamental; aumentando la carga de trabajo y la responsabilidad para el poco personal que se quedó en las estaciones de trabajo a nivel nacional del cual orgullosamente formo parte.

No estábamos preparados con un plan de contingencia por pandemia; pero se ha logrado mantener los servicios de control de tráfico fiables y seguros ininterrumpidamente las 24 horas del día los 365 días del año.

7. BIBLIOGRAFÍA

Boylestad Robert L., Nashelsky Louis (2004). *Electrónica: Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos*. Décima edición, Prentice Hall.

(Frequentis, 2013). *Voice Communication System. User Manual VCS 3020X Rel. 7.1 Rev. 6.0*

(Organización de Aviación Civil Internacional, 2006). Volumen 1, Radioayudas para la navegación. *Anexo 10 Telecomunicaciones aeronáuticas*. Pág. 35-65.

Stallings William (2011). *Comunicaciones y Redes de Computadores*. Sexta edición. Prentice Hall.

Uyless Black (1997). *Redes de Computadores. Protocolos normas e interfaces*. Segunda edición, Alfaomega.

Stephen J. Chapman (2004). *Máquinas Eléctricas*. Segunda edición, McGraw-Hill.

AIRSYS ATM (1997). *Jade México Radar Station RSM 970S System Manual Volume 1/1*.

Thales Australia Ltd. (2013). *MEXICO ADS-B -TopSky – ATC System/Segment Specification*.

SELEX Sistemi Integrati Inc. (2009). *Model 1118A Low Power DME / Operations and Maintenance Manual*.

NORTHROP WILCOX (1980). *Model 585B VHF Omnirange Station*.

Sebastián Sánchez Prieto, Oscar García Población (2005). *Unix y Linux Guía práctica*, tercera edición. Alfaomega.

Jose Manuel Caballero (1998). *Redes de Banda Ancha*. Primera edición, Alfaomega.

SENEAM (2012). *Manual de operación AWOS*.

CITAS BIBLIOGRÁFICAS EN IMÁGENES

Figura 1.3. *Carta de información aeronáutica*, extraído de la página de libre acceso de la FEMPPA Federación Mexicana de Pilotos y Propietarios de Aeronaves <https://femppa.mx/wp-content/uploads/2017/06/Hermosillo.jpg>

Figura 2.1 *Generador bifásico*, recuperado de <https://www.monografias.com/trabajos72/generadores-electricos/generadores-electricos2.shtml>

Fig. 2.2 y 2.3 *Manual de procedimientos de sistemas de energía* SENEAM (2018).

Fig. 2.2a *Resistencia eléctrica* (2021). Licencia libre de uso: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Resistencia_electrica.jpg

Fig 2.2b *Código de colores*. (2021). Todos los derechos para: <https://www.areatecnologia.com/electricidad/codigo-de-colores-de-resistencias.html>.

Fig 2.2c *Potenciómetro* (2021). Licencia libre de uso: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:10K_Potentiometer_1480310_1_2_Enhancer.jpg

Fig 2.2d *Potenciómetro variable (símbolo)* 2021. Licencia de libre uso: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/ca/Potenci%C3%B3metro.png>

Fig 2.2e *Fotoresistor LDR* (2021). Licencia libre de uso: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d3/LDR-gs-2012.jpg>

Fig. 2.2f *Termistor NTC, PTC* (2021). Licencia libre de uso: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9a/Heissleiter2.jpg>

Fig. 2.2g *Varistor VDR* (2021). Licencia libre de uso: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Varistor_S14K385_photo.jpg

Fig. 2.2h *Diodo* (2021). Licencia libre de uso: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diodo.jpg>

Fig. 2.2i *Diodo LED* (2021). Licencia libre de uso: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:LEDs.jpg>

Fig. 2.2j *Diodo ZENER* (2021). Licencia libre de uso: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8a/Zener_diode.jpg

Fig 2.2k *Condensador ó Capacitor* (2021). Licencia libre de uso:
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b9/Capacitors_%287189597135%29.jpg

Fig. 2.2l *Relevador* (2021). Licencia libre de uso:
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/38/Delta_Electronics_DPS-350FB_A_-_board_1_-_OEG_SDT-SS-112M_-_case_removed-3045.jpg

Fig. 2.2m *Transistor* (2021). Licencia libre de uso:
<https://pixabay.com/es/photos/transistor-bd-electr%C3%B3nico-hardware-903642/>

Figura 2.3a *Espectro electromagnético*, extraído de proyectos.esopo (2016)
<https://iie.fing.edu.uy/proyectos/esopo/wp-content/uploads/sites/3/2016/12/EMM.png>

Figura 2.4 *Generador trifásico*, extraído de monografias.com (2021) recuperado de
<https://www.monografias.com/trabajos72/generadores-electricos/generadores-electricos2.shtml>

Figura 3.1a *Conexión telefónica analógica* (2013). Gabriel Núñez Mendoza. *Optimización de los enlaces de datos Radar*
http://usp.funcionpublica.gob.mx//PNAP/documentos/20130604_SENEAM3erGRADO.pdf

Figura 3.1b *Conexión telefónica digital* (2013). Gabriel Núñez Mendoza. *Optimización de los enlaces de datos Radar*
http://usp.funcionpublica.gob.mx//PNAP/documentos/20130604_SENEAM3erGRADO.pdf

Figura 4.1a *Transmisor PAE* (2021) marca Pair Air Electronics Foto. Catalogo de venta en línea: <https://fabuloussystem.asia/product/pae-t6-mdr/> (2021).

Figura 4.1b. *Receptor PAE* (2021) marca Pair Air Electronics, fotografía extraída en manual de mantenimiento (2015) <https://vdocuments.mx/pae-receiver-type-t6r-maintenance-handbook.html>

Figura 4.3a *Sistema de comunicación satelital* (2013) Gabriel Núñez Mendoza. *Optimización de los enlaces de datos Radar*
http://usp.funcionpublica.gob.mx//PNAP/documentos/20130604_SENEAM3erGRADO.pdf

Figura 4.4a *Radio enlace de microondas* (2013). Gabriel Núñez Mendoza *Optimización de los enlaces de datos Radar*
http://usp.funcionpublica.gob.mx//PNAP/documentos/20130604_SENEAM3erGRADO.pdf

Figura 4.4b *Radioenlace* (2021) extraído de <https://mx.depositphotos.com/stock-photos/radioenlace.html?filter=all&qview=37355725> Licencia libre de uso.

Figura 4.4c *Enlace de datos del sistema radar* (2013). Gabriel Núñez Mendoza
Optimización de los enlaces de datos Radar
http://usp.funcionpublica.gob.mx//PNAP/documentos/20130604_SENEAM3erGRADO.pdf

Figure 4.4d *Manual de procedimiento RADAR* (2019). SENEAM

Figura 4.5a *Manual de usuario VOR* (2014). SENEAM

Figura 4.5b *Angulo de fase en diversas direcciones* (2014). Manual de usuario VOR SENEAM

Figura 4.5c *Dipolos cruzados y señal de banda lateral* (2014) Manual de mantenimiento VOR SENEAM

Figura 4.5d *Modulación de señales en el equipo VOR* (2014) SENEAM

Figura 4.5e *Amplitud de señal detectada modulada con 30 Hz y 9960 Hz* SENEAM

Figura 4.6a *Verificación de parámetros del DME*. Elaboración propia Núñez A. (2021).

Figura 4.7 *Radar primario y secundario* (2020), foto extraída de
<https://pixabay.com/es/photos/radar-estaci%C3%B3n-de-radar-cielo-4777615/> Licencia libre de uso.

Figura 4.8a *Visualización de datos radar* (2021). Licencia libre de uso, extraída de
https://mx.depositphotos.com/home.html?admitad_uid=69c0a897d4386dc9cef489ef0168dd45&utm_source=admitad&utm_medium=cpa&utm_campaign=1414604.

Figura 4.5e *Amplitud de señal detectada modulada con 30 Hz y 9960 Hz* SENEAM

Figura 4.9a *Comunicación de una estación meteorológica*. Elaboración propia Núñez A. (2021).

Figura 4.9b *Visualización de datos meteorológicos*. Elaboración propia Núñez A. (2021).

Figura 4.9c *Sensor de velocidad y dirección de viento*. Manual de instalación equipo AWS (2014) SENEAM.

Figura 4.9d *Sensor de temperatura ambiente y humedad*. Manual de instalación equipo AWS (2014) SENEAM.

Figura 4.9e *Sensor de precipitación*. Manual de instalación equipo AWS (2014) SENEAM.

Figura 4.9f *Sensor de presión atmosférica*. Manual de instalación equipo AWS (2014) SENEAM.

Figura 5.3a *Tracking de aeronaves (2020)* extraída de:
<https://www.flightradar24.com/premium/#featureInfo99>

Figura 5.4a *Información meteorológica (2021)* imagen extraída de: <https://ramb-slider.cira.colostate.edu>