



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

Medición telemétrica de esfuerzos, aceleraciones y desplazamientos
(señales de baja frecuencia) en prototipos.

T E S I S

Que para obtener el título de Ingeniero Eléctrico Electrónico

P R E S E N T A

Cabra Ledesma Alejandro Mauricio

Director de la tesis: Ing. Rodolfo Peters Lammel.



CIUDAD UNIVERSITARIA, 2006



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.

Gracias

A dios, por permitirme llegar a este momento de mi vida, por darme licencia para vivir mi vida como la he querido y por entregarme a esta familia que me ha llenado de las mejores satisfacciones y alegrías, por darme unos padres amorosos y unos hermanos maravillosos.

A mis padres:

A mi papa, Gracias por enseñarme a conducirme por el camino correcto y darme el ejemplo de que la lucha, la perseverancia el amor nos llevan a alcanzar nuestras metas, por que de tu mano firme recorrí toda mi vida hasta este momento en que he de seguir adelante con los valores y las fuerzas que me transmites día a día. Por estar siempre ahí para mi, siempre siendo mi soporte y mi pilar, siempre dándome la fortaleza con la que se enfrenta un nuevo día. Gracias por tu amor y tu fe en mi...

A mi mama, quien con su amor y protección le ha dado a mi vida un cauce y un rumbo aun cuando los momentos se tornaron difíciles y pensé en abandonarlo todo. Gracias por sus incontables desvelos, lágrimas, preocupaciones y por recibirme siempre en sus brazos con la tibieza de sus caricias y besos al volver a casa. Gracias por darme cada día un ejemplo de lucha y superación, por ser mas que una madre, mas que una amiga... Por enseñarme que no hay derrotas... solo caídas... LOS AMO.

A mis hermanos:

Vane, gracias por darme el ejemplo de cómo se deben hacer las cosas, por tu madurez y tu ingenuidad, por tu apoyo, tu cariño, y por ser mi cómplice incondicional en cada momento en que me llegaba a la mente alguna tontería... Simplemente eres mi orgullo y soy muy feliz de tenerte y saber que ahí estarás siempre, para darme un consejo o simplemente darme un golpe cuando diga algo que te haga enojar para después reírnos juntos como siempre... Te quiero muchísimo.

José, gracias por estar siempre conmigo dándome tu apoyo, por esas horas detrás de un volante para ayudarme a llegar a tiempo o simplemente... llevarme seguro de vuelta a casa a altas horas de la noche, por enseñarme que no hay ninguna dificultad que la vida te de para poder salir adelante y por luchar, luchar y luchar en cada momento como lo hiciste desde el primer minuto de vida... Eres un gran luchador hermano. Te quiero y respeto.

A mis tias y tios:

Tía Necha, por ser el primer pilar de tus hermanos y por ese cariño que siempre me has brindado, por tenerme en tus oraciones y creer en mi siempre.

Tía Yula, por quererme y hacerme sentir uno de tus consentidos siempre.

Tío Milo, por mostrarme que vale la pena luchar siempre y que no hay nada que la voluntad y la entereza no puedan dominar.

Tío Guto(†), por siempre estar cerca a pesar de la distancia.

Ame, por tantos y tantos apapachos, antojos y oraciones por mi bien estar y uno que otra dificultad.

Tío Víctor, gracias por mostrarme que podemos llegar tan lejos como lo deseemos

Tía Rosa Aguilar, por tu cariño y por mostrarme que la vida es aprender y superarse día a día.

Tío Galo gracias por compartir conmigo ese gusto por caminar la ciudad,

Tía Marina, por tu entusiasmo y siempre recordarme en fechas importantes.

Tio Haroldo, Por ser el mas cercano a mi familia, cercano en amor, atenciones y ayuda... te quiero muchísimo.

Tía Leyra, Gracias por todo ese cariño de siempre y por echarme siempre porras.

Tío Pepe(†), Donde estés, gracias por enseñarme que la vida se lleva mejor con una sonrisa...

Tía Lupita, Gracias por abrirme tu casa y darme tu cariño y por esos bailes y zapateados.

Mis padrinos, Tío Lucio y Tía Rosy: Les agradezco tanto cariño y atención desde que tengo memoria, han estado bien cerca de mi familia y siempre han sido un gran ejemplo para mí de lo que una gran pareja y un buen matrimonio deben ser, los quiero muchísimo.

A mis primos:

Lyssette, me has enseñado que uno vale por sí mismo y que vale la pena arriesgarse en la vida.

Tatiana, Gracias por siempre reírte de mis chistes y darme la mejor de tus sonrisas.

Isaias, Por compartir tantos momentos, por ser un hermano más y siempre disfrutar de la vida.

Rita, me enseñaste que la madurez se recibe en cualquier momento, y que con ella las responsabilidades se incrementan y afrontan.

Rosa, mi chaparra siempre has sido la muestra de que la alegría y la felicidad provienen de uno mismo, y que a veces debemos buscar primero estar contentos para poder seguir.

Denisse, ha sido increíble verte crecer de la noche a la mañana y saber que hoy eres alguien tan inteligente y llena de alegría.

Ricardo, muestra de que ser parte de una familia conlleva responsabilidades, gracias por estar siempre en los momentos difíciles como un gran apoyo.

Arturo, muestra de tenacidad y responsabilidad, y de sí se puede.

Manuel, el valor de la amistad, el mostrar que siempre se logra mucho más siendo amigo de quienes te rodean.

Miguel, quizás uno de los modelos más claros que siempre he tenido, reflejo de lucha, tenacidad y logros, más que mi primo, eres mi hermano.

Juan Carlos(+), donde quiera que estés sabes que fuiste un consejo a tiempo y un apoyo que habló siempre en mi mismo idioma,

Heroldo, reflejo de que la inteligencia, el estudio y la humildad te llevan mucho más lejos que cualquier otra cualidad.

Lugardo, me mostraste que vale la pena divertirse en lo que haces, que simplemente hay que llevarse las cosas un poco más ligeras.

Cristina, por todos esos dientes que me arreglaste y la mejor mantequilla que he probado!

Nayeli, por mostrarme que se puede ser responsable y trabajador y nunca perder las ganas de salir a hacer lo que te gusta.

Luis, por tu sinceridad y las ganas de siempre ir hacia delante.

Abraham, por mostrarme que la inocencia no se pierde a pesar de los años y la edad.

Jose Ramón. Por que a pesar de lo difícil que la vida se pueda poner, has logrado mantener unida y feliz una hermosa familia.

Gracias por todos los momentos que hemos compartido juntos.

A mis amigos:

Ixsacbé, cambraycito por todas las molestias que siempre te di y por los exámenes y las presiones que fuimos viviendo, por ser una gran amiga en todo momento.

Octavio, por estar conmigo siempre en las buenas, las malas y las peores! Por echarme siempre la mano en momentos críticos cuando ya mi compu dejaba de funcionar o cualquier otra cosa se atravesaba. Gracias por todo.

Vianney, por todas esas horas de laboratorio y por pasárnosla siempre bien en todo momento. Eres una estupenda persona.

Rubén, por todo tu apoyo y amistad, y por estar siempre apoyándome y echándome porras y dándome ánimos.

Mary, gracias por tu apoyo y amistad incondicional, por ser más amiga mía que de nadie y por abrirme tu hogar.

Adriana, Por compartir horas y horas de risas y juegos de cartas interminables, gracias por una amistad a prueba de balas.

Andrés, por aguantar cualquier cantidad de malas vibras y por ser un gran amigo en todo momento.

Ruth, por tantos años de una amistad sólida y un apoyo incondicional en todo momento.

Alicia, por ser desde Zinder una gran competencia en lo académico, pero a la vez una amistad sólida.

Gracias por enseñarme que siempre hay alguien en quien puedes confiar y a quien puedes querer muchísimo. Espero siempre estén cerca por que los seguiré necesitando a pesar del tiempo y la distancia.

Al Ing. Rodolfo Peters Lammel, por haberme permitido ser su alumno y su tesista, por mostrarme que la ingeniera son mas que cálculos y formulas matemáticas... por enseñarme el lado humano de la ciencia.

Con todo mi cariño, Mauricio Cabra

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	4
Transmisión Analógica y Digital	4
Métodos de transmisión de información	5
Medios confinados	6
Fibra óptica.....	7
Cableado estructurado	8
Medio de transmisión aérea.....	8
CAPÍTULO 2	11
Asignación del Espectro radioeléctrico en los Estados Unidos Mexicanos	10
Microondas terrestres.....	10
Fibra óptica.....	11
Componentes y tipos de fibra óptica	12
Fibra Monomodo	12
Tipos de Fibra Óptica según los modos de transmisión	12
Conectores	13
Acopladores.....	13
Fibra Multimodo de Índice Gradiente Gradual	13
Ventajas y desventajas de la fibra óptica	14
Antenas y torres de transmisión.....	15
Comunicación vía microondas	15
Comunicación Satelital.....	16
CAPÍTULO 3	19
Diferentes sistemas de medida y análisis de vibraciones.....	19
Medidas de desplazamiento.....	19
Medidores y analizadores de vibraciones	19
Preamplificadores de tensión.....	19
Amplificadores de carga	19
Galgas extensiométricas	20
Sensor piezoeléctrico	23
Acelerómetro	24
Sensores ópticos.....	24
Sensores resonantes	24
Sensor capacitivo	24
Diseño del proyecto.....	25
Etapas del proyecto.....	25
CAPITULO 4	30
Señales y ruido.....	30
Medición de interferencias	30
Ruido	31
Bluetooth y Wi-Fi Casos de Interferencia.....	32
Simulación de Interferencia.....	35
CAPÍTULO 5	38
Calidad del sistema	38
Breve discusión de los resultados.....	35
Bibliografía.....	42
CONCLUSIONES	41

INTRODUCCIÓN

Se pueden considerar vibraciones los movimientos oscilatorios de una partícula o cuerpo alrededor de una posición de referencia. El estudio de las vibraciones se refiere a los movimientos oscilatorios de los cuerpos y a las fuerzas asociadas con ellos. Todos los cuerpos que poseen masa y elasticidad son capaces de vibrar. La mayoría de las máquinas y las estructuras experimentan vibración hasta cierto grado y su diseño requiere generalmente consideración de su conducta oscilatoria.

Los sistemas oscilatorios pueden clasificarse como lineales o no lineales. Para los sistemas lineales, rige el principio de la superposición y las técnicas matemáticas para su tratamiento están bien desarrolladas. Por el contrario, las técnicas para el análisis de sistemas no lineales son menos conocidas y difíciles de aplicar. Sin embargo, es deseable algún conocimiento de sistemas no lineales puesto que todos los sistemas tienden a volverse no lineales cuando crece la amplitud de la oscilación.

Hay dos clases generales de vibraciones, libres y forzadas. La vibración libre es la que ocurre cuando un sistema oscila bajo la acción de fuerzas inherentes al sistema mismo y, cuando las fuerzas externamente aplicadas son inexistentes. El sistema bajo vibración libre vibrará a una o más de sus frecuencias naturales que, son propiedades del sistema dinámico que dependen de su distribución de masa y de rigidez. La vibración que tiene lugar bajo la excitación de fuerzas externas es una vibración forzada. Cuando la excitación es oscilatoria, el sistema es obligado a vibrar a la frecuencia de excitación. Si ésta coincide con una de las frecuencias naturales del sistema, se produce una situación de resonancia y ocurren oscilaciones peligrosamente grandes.

La falla de estructuras mayores como puentes, edificios o alas de aviones es una horrible posibilidad, bajo resonancia. Así, el cálculo de las frecuencias naturales es de importancia capital en el estudio de las vibraciones.

Todos los sistemas vibratorios están sometidos a cierto grado de amortiguamiento puesto que la energía se disipa por fricción y otras resistencias. Si el amortiguamiento es pequeño tiene escasa influencia sobre las frecuencias naturales del sistema y, por consiguiente, los cálculos de las frecuencias naturales se hacen generalmente ignorando el amortiguamiento. Por otra parte, el amortiguamiento es de gran importancia como limitador de la amplitud de oscilación en resonancia.

El número de coordenadas independientes que se requieren para describir el movimiento de un sistema, es el grado de libertad del sistema. Así, una partícula libre que experimenta un movimiento general en el espacio tiene tres grados de libertad mientras que un cuerpo rígido tendrá seis grados de libertad, tres componentes de posición y tres ángulos que definen su orientación. Además un cuerpo elástico continuo requerirá un número infinito de coordenadas (tres por cada punto) para describir su movimiento y, por lo tanto tiene infinitos grados de libertad. Sin embargo, en muchos casos puede suponerse que partes de dichos cuerpos son rígidas y el sistema puede considerarse como dinámicamente equivalente a uno con un número finito de grados de libertad. En efecto, un número sorprendente de problemas de vibración pueden ser tratados, con aproximación suficiente, reduciéndolos a un sistema con un grado de libertad.

Del movimiento vibratorio armónico existen las relaciones básicas entre los valores de la aceleración, velocidad y desplazamiento.

Las vibraciones mecánicas tienen su origen en los acoplamientos energéticos habidos entre la energía cinética de las masas y la potencial almacenada en la rigidez de los elementos. Por otra parte el factor de amortiguamiento determina el decaimiento de las oscilaciones naturales y el comportamiento a las frecuencias de resonancia.¹

¹ R.C. Hibbeler. Engineering Mechanics. Statics and Dynamics. Prentice Hall. Edición: 7ª. 1995. EUA.

Las vibraciones mecánicas que se pueden presentar las podemos dividir desde el punto de vista espectral como:

- Senoidales
- Periódicas
- Señales Determinísticas Complejas
- No Periódicas
- Estacionarias
- Aleatorias
- No estacionarias

El tratamiento más complejo de los problemas vibratorios se presenta para las señales impulsivas (determinísticas no periódicas o aleatorias no estacionarias), así como para las señales aleatorias en general.

En las medidas de vibraciones según sea su naturaleza senoidal, impulsiva etc. se presenta el problema de especificar el valor a medir representativo de un suceso o grupo de ellos. Se utilizan los mismos conceptos de valor medio, eficaz, de pico, de pico a pico etc., que se usan en electricidad.

Análogamente, y dependiendo del objeto de la medida, se plantea a menudo la pregunta de realizar las medidas de aceleración, velocidad, o desplazamiento. Generalmente la Norma de medición que se sigue establece claramente la magnitud correspondiente.²

En caso de medidas de impulsos y / o señales aleatorias se especifica, incluso, en muchas ocasiones, la medida de la densidad de potencia.

Medidas de desplazamiento

Los medidores de desplazamiento permiten evaluar las distancias que se desplazan los puntos en vibración respecto de su posición natural. Un sistema elemental de este tipo sería el formado por un dispositivo mecánico tal que, colocando la cabeza de prueba sobre el punto de vibración, amplifica el desplazamiento transmitido por medio de artificios mecánicos.

La utilización de galgas extensométricas es francamente útil en baja frecuencia. Las deformaciones producidas sobre un resistor modifican su resistencia eléctrica y estas variaciones pueden medirse. Se trata pues de un elemento sensor de desplazamientos.

Los transductores capacitivos son sistemas sensores de desplazamiento. Se coloca el elemento a una distancia d del punto vibrante. La masa en vibración debe ser metálica o puede realizarse un depósito metálico, con objeto de establecer un condensador eléctrico. Se polariza dicho condensador (formado por el transductor y superficie vibrante) por medio de una fuente de corriente continua procedente del preamplificador. Se tiene una carga eléctrica prácticamente constante a base de utilizar una constante de tiempo elevada en la fuente de alimentación. De este modo la tensión de salida es proporcional al inverso de la capacidad del condensador, es decir el desplazamiento.³

Este tipo de transductor es muy útil en aquellos lugares en vibración a los que no hay acceso por contacto directo. También es de gran utilidad en aquellos lugares donde la cargabilidad del sistema es crítica, toda vez que no supone ninguna masa adicional (por ejemplo en membranas de altavoces). Estos transductores suelen ser pequeños, de amplia gama de frecuencias de utilización y alta sensibilidad. Entre las dificultades que entraña este

² R. F. STEIDEL JR, Introducción al estudio de las vibraciones mecánicas, Editorial Continental, México 1991.

³ Measurement Systems Application and Design, Ernest Doebelin; Mc Graw Hill

tipo de transductor hay que mencionar las de su calibración y su utilización para desplazamientos pequeños.

Amplificadores de carga

Básicamente los preamplificadores de carga consisten en un amplificador de alta ganancia, provisto de una capacidad de realimentación.

Preamplificadores de tensión

Estos elementos se basan en la utilización de los acelerómetros piezoeléctricos como fuentes de tensión. Ello lleva consigo que la entrada del preamplificador tenga una impedancia alta y no capacitiva para no cargar excesivamente al captador, carga que afectaría a la respuesta en frecuencia del transductor.

Medidores y analizadores de vibraciones

El análisis de las vibraciones es análogo al de medidas sonoras. La diferencia más importante estriba en que para la medida del sonido no se requiere, en general, la transformación de la señal eléctrica del transductor. Es decir, el elemento captor, en acústica, suministra una señal eléctrica que es proporcional a la presión sonora.⁴

En vibraciones puede ser necesario integrar una o dos veces la señal de aceleración para obtener señales proporcionales a la velocidad o al desplazamiento de la vibración proveniente del captador. Dependiendo de la naturaleza de la medida (aislamiento, fatiga, vigilancia del estado de máquinas, búsqueda de resonancias en sistemas, etc.), y, sobre todo de la zona de frecuencias que se tratan de medir o controlar, se medirán desplazamientos, velocidades o aceleraciones del movimiento en cuestión.

Si se requieren medidas de impulsos se puede disponer de detectores de valor eficaz de impulsos. Estos detectores deben integrar la señal en tiempos muy cortos. El medidor empleado en la instrumentación debe ser capaz de alcanzar el valor final del pulso antes de realizar una nueva integración. En vibraciones, el estudio de contenido espectral es muy importante en el caso de las vibraciones mecánicas y proporciona mucha información no explícita en el estudio de la función temporal de la vibración. La utilización de filtros de 1 / 3 de octava (bandas de 23% de la frecuencia central), que en acústica son muy prácticas y normales, no es suficientemente selectiva para la mayor parte de problemas vibratorios, de modo que lo más normal es servirse de filtros de bandas más estrechas. Los filtros de anchura de banda constante, son muy típicos en los análisis de vibraciones.

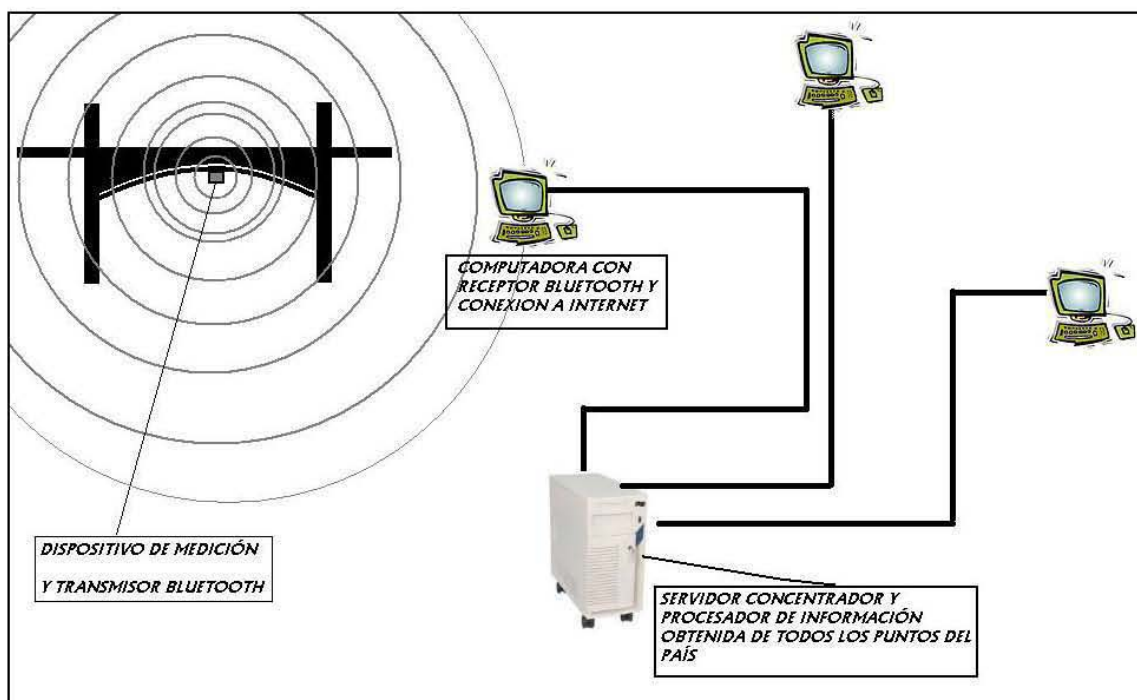
Para el estudio de impulsos y choques el contenido espectral es especialmente rico en información, permitiendo comparar señales temporales de formas muy diversas, así como su acción sobre maquinaria, vehículos, instrumentación, el cuerpo humano, etc.

El presente trabajo está enfocado a obtener mediciones eficaces y relevantes de estos efectos vibratorios en puentes vehiculares para identificar las unidades que pongan en riesgo su estabilidad al generar frecuencias que igualen la frecuencia de resonancia natural del puente.

El sistema es sencillo, consta de un dispositivo de registro del efecto vibratorio, mismo que entrega una señal digital a un dispositivo de transmisión bluetooth que enviará los datos digitales a una computadora que registrará y organizará los datos, discriminando aquellos que resulten de poca significancia para el registro final que será enviado cada hora a una base de datos central vía internet ubicada en el D.F.

⁴ R. F. STEIDEL JR, Introducción al estudio de las vibraciones mecánicas, Editorial Continental, México 1991.

De esta manera, haciendo una comparativa podremos saber cual es el estado de cada puente de la República y con esta información, y basándonos en las normas aplicables en la República Mexicana⁵, la dependencia interesada puede tomar acciones para mantenimiento y/o revisión del sitio.



Esquema del sistema de medición propuesto.

⁵ Reglamento sobre el peso, dimensiones y capacidad de los vehículos de autotransporte que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal. Diario Oficial de la Federación, México, D.F. 4 de septiembre de 1995.

CAPÍTULO 1

Diversas formas de transmisión de información

Analógica

En un sistema analógico de transmisión tenemos a la salida de este una cantidad que varía continuamente.

En la transmisión analógica, la señal que transporta la información es continua. La mayor parte de la información que se transmite en una red portadora es de naturaleza analógica (la voz, el vídeo)

Digital

Una señal digital como aquella que solo puede tener un número finito de voltajes discretos.

En la transmisión digital, la señal que transporta la información es discreta. La forma más sencilla de transmisión digital es la binaria, en la cual a cada elemento de información se le asigna uno de dos posibles estados (Si la señal digital tiene tres valores, se llama ternaria. Una señal cuaternaria tiene cuatro voltajes diferentes. Una señal M-aria tiene $M \ll \infty$ valores de voltaje diferentes). Para identificar una gran cantidad de información se codifica un número específico de bits, el cual se conoce como carácter.

Es claro que una señal binaria, es necesariamente digital; sin embargo, una señal digital no es necesariamente binaria.

Diferencias entre una señal analógica y señal digital.

Las técnicas digitales han dominado ya gran parte del campo de las telecomunicaciones. Esto se debe a dos causas fundamentales:

a) El abaratamiento de los componentes electrónicos producidos en serie en cantidades enormes.

b) Las señales digitales pueden conservar su contenido de información con mayor facilidad que las analógicas, a pesar del ruido, las pérdidas y la distorsión que son inherentes a todos los sistemas de comunicación.

Se puede agregar una tercera razón: la información en formato digital puede ser codificada (encriptada) de tal forma que solo quien posee el código correspondiente puede recuperarla adecuadamente, lo que reduce en gran medida la intrusión.

Es ventajoso transmitir datos en forma binaria en vez de convertirlos a analógico. Sin embargo, la transmisión digital está restringida a canales con un ancho de banda mucho mayor que el de la banda de la voz.

Ventajas de la Transmisión Digital.

1. La ventaja principal de la transmisión digital es la inmunidad al ruido. Las señales analógicas son más susceptibles que los pulsos digitales a la amplitud no deseada, frecuencia y variaciones de fases.
2. Se prefieren a los pulsos digitales por su mejor procesamiento y multicanalizaciones que las señales analógicas. Los pulsos digitales pueden guardarse fácilmente, mientras que las señales analógicas no pueden.
3. Los sistemas digitales utilizan la regeneración de señales, en vez de la amplificación de señales, por lo tanto producen un sistema más resistente al ruido que su contraparte analógica.
4. Las señales digitales son más sencillas de medir y evaluar.

5. Los sistemas digitales están mejores equipados para evaluar un rendimiento de error (por ejemplo, detección y corrección de errores), que los sistemas analógicos.¹

Métodos de transmisión de información

La comunicación es la transferencia de información de un lugar a otro, mientras que la información es un patrón físico al cual se le ha asignado un significado comúnmente acordado. El patrón debe ser único -separado y distinto-, capaz de ser enviado por un transmisor y de ser detectado y entendido por un receptor. Así, la información es transmitida a través de señales eléctricas u ópticas utilizando un canal de comunicación o medio de transmisión.

El medio de transmisión es el enlace (eléctrico u óptico) entre el transmisor y el receptor, y sirve de puente de unión entre la fuente y el destino.

Este medio de comunicación puede ser un par de alambres, un cable coaxial o hasta el aire mismo. Pero sin importar el tipo, todos los medios de transmisión se caracterizan por la atenuación, el ruido, la interferencia, el desvanecimiento y otros elementos que impiden que la señal se propague libremente por el medio; son factores que hay que contrarrestar al momento de transmitir cualquier información al canal.

Describiremos los medios de transmisión más importantes, los cuales se clasifican en dos tipos: los medios alámbricos y los inalámbricos. Cabe aclarar que "medios alámbricos" -es así como la mayoría los conocemos- no es el término más correcto, debido a que no siempre el medio de conducción de las señales se constituye de alambres: un ejemplo es la fibra óptica, que se conforma con un material de fibra de vidrio; otro el la guía de onda, construida de un material metálico. La mejor manera de clasificar este tipo de medios es como medios tangibles confinados sobre conductos de cobre, fibra de vidrio o contenedores metálicos. Una de sus principales características es que se ven limitados por el medio y no salen de él, excepto por algunas pequeñas pérdidas.²

Por otro lado, existen los medios no físicos (o no confinados), que son los que no están contenidos en ninguno de los materiales descritos anteriormente y en los cuales las señales de radiofrecuencia (RF) originadas por la fuente se radian libremente a través del medio y se esparcen por éste -el aire, por ejemplo-. Comúnmente conocemos a este tipo de medios como medios inalámbricos.

Medios confinados

Entre los medios confinados tenemos, en primer lugar, al alambre sin aislar. Éste fue el primer medio de comunicación empleado tras haberse inventado el telégrafo, en 1844. Hoy en día los alambres vienen protegidos con materiales aislantes. El material del conductor puede ser cobre, aluminio o algún otro material conductor.

Éste se emplea en diversas aplicaciones, como conducción de electricidad, telefonía, redes, etc.

El grosor del cable es medido de diversas maneras, aunque el método predominante en Estados Unidos y otros países sigue siendo el estándar de diámetro de cable americano (AWG, por American Wire Gauge Standard), mediante el cual se puede distinguir un cable de otro a partir de su diámetro.

Los grosores típicos de los conductores utilizados en cables eléctricos para uso residencial son de 10 a 14 AWG; los que sirven para cables telefónicos pueden ser de 22, 24 o 26 AWG; y los usados en cables para aplicaciones de redes son de 24 y/o 26 AWG. En este sistema, entre mayor sea el número AWG, menor será su diámetro.

¹ Rabiner; Gold: *"Theory and applications of digital signal processing"*, Prentice-Hall, 1975.

² Hernando: *"Transmisión por línea y redes"*, Servicio Publicaciones ETSI Telecomunicación, Madrid, 1991.

Asimismo, el grosor del cable determina otras características eléctricas importantes, como la resistencia o impedancia.

Cable coaxial con doble forro

Este tipo de cable consta de un conductor central fijo (axial) con un forro de material aislante, que después lleva una cubierta metálica en forma de malla como segundo conductor. La capa exterior evita que la radiación electromagnética o las señales de otros cables afecten la información conducida a través suyo.

El cable coaxial puede transmitir información tanto en frecuencia intermedia (IF) como en banda base. En IF, este cable es útil en aplicaciones de video, ya que resulta ser muy adecuado para enviar los canales de televisión en los sistemas de televisión por cable.³

En banda base, en tanto, el coaxial fue muy utilizado en aplicaciones de datos en redes de área local (LAN), así como en redes Token Ring o Ethernet.

Los dos tipos de cables coaxiales más empleados para aplicaciones de LAN son el IOBase5 y el IOBase2. El primero es conocido generalmente como cable coaxial grueso, mientras que el segundo se conoce como cable coaxial delgado.⁴

Par trenzado. Ventajas y desventajas.

El cable par trenzado está compuesto por conductores de cobre aislados por material plástico y trenzados en pares.

Dicho trenzado, que en promedio abarca tres trenzas por pulgada, ayuda a disminuir la diafonía, el ruido y interferencia, para mejores resultados, el trenzado debe ser variado entre los diferentes pares.

Este tipo de cables tienen la ventaja de ser económicos, flexibles y fáciles de conectar, entre otras propiedades que no presenta el coaxial en las aplicaciones de redes. No obstante, como medio de comunicación existe la desventaja de tener que usarse a distancias limitadas (menos de 100 metros), ya que la señal se va atenuando y pudiera llegar a ser imperceptible si se rebasa el límite mencionado.

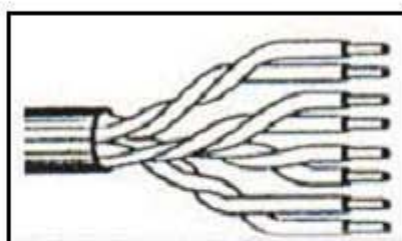


Fig. 1.1 Cable par trenzado

Existen dos tipos de cable par trenzado: el cable par trenzado sin blindaje (UTP, por Unshielded Twisted Pair Cabling) y el cable par trenzado blindado (STP, por Shielded Twisted Pair Cabling).

³ Return Systems for Hybrid Fiber/Coax Cable TV Networks - Donald Raskin & Dean Stoneback - Prentice Hall PTR – ISBN 0-13-636515-9 – 1998

⁴ S. Haykin, "Communication Systems", Third Edition, John Wiley & Sons, 1994.

Fibra óptica

Este medio de comunicación utiliza la luz confinada en una fibra de vidrio para transmitir grandes cantidades de información en el orden de los gigabits por segundo. Debido a que el láser trabaja a frecuencias muy altas, entre el intervalo de la luz visible y la infrarroja, la fibra óptica es casi inmune a la interferencia y el ruido.

Para transmitir los haces de luz se utiliza una fuente de luz -como un LED (Light-Emitting Diode) o un diodo láser- y en la parte receptora se emplea un fotodiodo o fototransistor para detectar la luz emitida. También será necesario colocar un conversor de luz (óptico) a señales eléctricas al final de cada extremo.

La transmisión óptica involucra la modulación de una señal de luz usualmente apagando, encendiendo y variando la intensidad de la luz sobre una fibra muy estrecha de vidrio llamado núcleo: el diámetro de una fibra puede llegar a ser de una décima del diámetro de un cabello humano.

La otra capa concéntrica de vidrio que rodea el núcleo se llama revestimiento. Después de introducir la luz dentro del núcleo, esta es reflejada por el revestimiento, lo cual ocasiona que siga una trayectoria en zig-zag a través del núcleo

Las dos formas de transmitir sobre una fibra son conocidas como transmisión en modo simple y multimodo.

En el modo simple (también llamado monomodo), se transmite un haz de luz por cada fibra y, dadas sus características de transmisión, es posible que el haz se propague a decenas de kilómetros.

Por ello, este tipo de fibra es muy común en enlaces de larga distancia, como la interconexión de centrales telefónicas.

En una fibra multimodo, en cambio, más de un haz de luz puede ser transmitido. Esta versión se usa para distancias más cortas y sirve para interconectar LANs entre edificios, campus, etc. La tecnología de la fibra óptica ha avanzado muy rápidamente; tanto, que hoy en día es posible incrementar la capacidad de una fibra y aumentar la distancia de propagación. Por ejemplo, los amplificadores de fibra dopada con erbio (EDFA, por Erbium-doped Fiber Amplifiers) son repetidores/amplificadores que dopan a la fibra con el metal erbio a intervalos de 50 a 100 kilómetros.

La introducción de los EDFA ha hecho posible que los sistemas de fibra óptica actuales operen a 10 Gbps.

También abrieron el camino para la multicanalización por división de longitud de onda (WDM, por Wavelength Division Multiplexing), que es el proceso de dividir el espectro de la fibra óptica en un número de longitudes de onda sin traslaparse una con la otra. Cada longitud de onda es capaz de soportar un canal de comunicaciones de alta velocidad.

Otra tecnología innovadora en las fibras ópticas es el DWDM (WDM Denso), que soporta más de 16 longitudes de onda; por ejemplo, los sistemas OC-48 (Optical Carrier, 2.5 Gbps) pueden soportar entre 60 y 160 longitudes de onda y aún existen sistemas que soportan más de 320 longitudes de onda, lo que equivale a 320 canales de alta velocidad por fibra.

Por el momento Bell Labs está trabajando para que en un futuro cercano, se puedan transmitir más de 15,000 longitudes de onda por fibra con la tecnología "Chirped-pulse WDM", con la cual las fibras ópticas tendrán una capacidad inimaginable.

Los cables de fibra óptica submarina son otro ejemplo de la gran capacidad que existe en este medio. El primer cable submarino con fibra óptica (el TAT-8) fue puesto en servicio en 1988 y utilizaba tres pares de fibra con repetidores espaciados cada 65 millas.

Su capacidad es de 40,000 circuitos de voz bidireccionales. En el 2001, fue instalado otro cable trasatlántico: el AC-2, que ofrece una capacidad de 10 Gbps en 32 longitudes de onda sobre 8 pares de fibra para un total de 2.5 Terabits por segundo utilizando WDM.

La fibra óptica como medio de transmisión en el área de las telecomunicaciones ha demostrado su potencialidad al cursar por éstas casi todo el tráfico de voz y datos del mundo, así como el de Internet. Pero también en el campo de la medicina la fibra óptica tiene un uso muy vasto: la laparoscopia, colposcopia y endoscopia son sólo unos ejemplos.

Cableado estructurado

En el pasado, había dos especificaciones principales de terminación de cableado: los cables de datos y los de voz

Ahora, en el mundo de los sistemas de cableado estructurado existen diferentes tipos de servicios (voz, datos, video, monitoreo, control de dispositivos, etc.) que pueden cursarse sobre un mismo tipo de cable.

El estándar de cableado estructurado más utilizado y conocido en el mundo está definido por la Electronics Industries Association / Telecommunications Industries Association (EIA/TIA), de Estados Unidos. Este estándar especifica el cableado estructurado sobre cable de par trenzado UTP de categoría 5; el estándar se llama EIA/ TIA 568A.

Medio de transmisión aérea.

Los medios de transmisión aérea son los medios no confinados. Cada uno viene siendo un servicio que utiliza una banda del espectro de frecuencias. A todo el rango de frecuencias se le conoce como espectro electromagnético, el cual ha sido un recurso muy apreciado y, como es limitado, tiene que ser bien administrado y regulado.

Los administradores del espectro a nivel mundial son los miembros de la World Radiocommunication Conference (WRC) de la International Telecommunications Union - Radiocommunications Sector (ITU-R).

Esta entidad realiza reuniones a nivel mundial en coordinación con los entes reguladores de cada país para la asignación de nuevas bandas de frecuencia y administración del espectro.

En el caso de México, la entidad reguladora del radio espectro es la Comisión Federal de Telecomunicaciones (Cofetel) y la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

La asignación de bandas del espectro varía de país a país. En el caso de México, el cuadro de atribución de frecuencias en el Área de Ingeniería y Tecnología de la Cofetel⁵ es el siguiente:

⁵ <http://www.cofetel.gob.mx>



Fig. 1.2 Asignación del Espectro radioeléctrico en los Estados Unidos Mexicanos

Cada subconjunto o banda de frecuencia dentro del espectro electromagnético tiene propiedades únicas que son el resultado de cambios en la longitud de onda. Por ejemplo, las frecuencias medias (MF, por Medium Frequencies), que van de los 300 kHz a los 3 MHz, pueden ser radiadas a lo largo de la superficie de la tierra sobre cientos de kilómetros, perfecto para las estaciones de radio de amplitud modulada (AM) de la región.

Las estaciones de radio internacionales usan las bandas conocidas como ondas cortas (SW, por Short Wave) en la banda de HF (High Frequency), que va desde los 3 MHz a los 30 MHz. Este tipo de ondas pueden ser radiadas a miles de kilómetros y son rebotadas de nuevo a la Tierra por la ionosfera como si fuera un espejo.

Los estaciones de frecuencia modulada (FM) y televisión utilizan las bandas conocidas como VHF (Very High Frequency) y UHF (Ultra High Frequency), localizadas de los 30 MHz a los 300 MHz y de los 300 MHz a los 900 MHz, respectivamente.

Debido a que no son reflejadas por la ionosfera, este tipo de señales cubren distancias cortas, como una ciudad por ejemplo.

La ventaja de usar este tipo de bandas de frecuencia para comunicaciones locales permite que docenas de estaciones de radio FM y televisoras -en ciudades diferentes puedan usar frecuencias idénticas sin causar interferencia entre ellas.

Cada una de las sub-bandas del espectro electromagnético proveen un servicio diferente, lo que nos permite hablar por un teléfono celular , escuchar la radio o ver la televisión, sin que un servicio interfiera con el otro.

Microondas terrestres

El medio de comunicación conocido como microondas terrestres se compone de todas aquellas bandas de frecuencia en el rango de 1 GHz en adelante. El término "microondas" viene porque la longitud de onda de esta banda es muy pequeña (milimétricas o micrométricas), resultado de dividir la velocidad de la luz entre la frecuencia en Hertz. Pero por costumbre el término se asocia a la tecnología conocida como microondas terrestres, que utilizan un par de radios y antenas de microondas.

Tanto los operadores de redes fijas como los móviles utilizan las microondas para superar el cuello de botella de la última milla de otros medios de comunicación.

Éste es un medio de transmisión que ya tiene muchas décadas de uso: en el pasado las compañías telefónicas se aprovechaban de su alta capacidad para la transmisión de tráfico de voz. Gradualmente, los operadores reemplazaron el corazón de la red a fibra óptica, dejando como medio de respaldo la red de microondas. Lo mismo sucedió con el video, el cual fue sustituido por el satélite.

A pesar de todo, las microondas terrestres siguen conformando un medio de comunicación muy efectivo para redes metropolitanas para interconectar bancos, mercados, tiendas departamentales y radio bases celulares.

Las estaciones de microondas consisten en un par de antenas con línea de vista (conectadas a un radio transmisor) que radian radiofrecuencia (RF) en el orden de 1 GHz a 50 GHz.

Las principales frecuencias utilizadas en microondas se encuentran alrededor de los 10-15 GHz, 18, 23 y 26 GHz, las cuales son capaces de conectar dos localidades con hasta 24 kilómetros de distancia una de la otra. Los equipos de microondas que operan a frecuencias más bajas, entre 2-8GHz, puede transmitir a distancias de entre 30 y 45 kilómetros. La única limitante de estos enlaces es la curvatura de la Tierra, aunque con el uso de repetidores se puede extender su cobertura a miles de kilómetros.

Debido a que todas las bandas de frecuencias de microondas terrestres ya han sido subastadas, para utilizar este servicio son necesarias frecuencias permitidas por las autoridades de telecomunicaciones. Es muy frecuente el uso no autorizado de este tipo de enlaces en versiones punto-punto y punto-multipunto. En el sitio Web de la Cofetel se encuentra la lista de los permisionarios autorizados de esta banda de frecuencias.

CAPÍTULO 2

Métodos de transmisión de información.

FIBRA ÓPTICA

- Descripción física
 - Medio flexible y fino (de 2 a 125 μ m). Pérdidas menores con fibra de Si fundido ultrafino, que son difíciles de fabricar.
 - Las fibras de cristal multicomponente tienen más pérdidas pero son más baratas.
 - Las fibras de plástico tienen más pérdidas pero son más baratas, se utilizan en las distancias cortas.¹

NOTA: se transmiten varios modos, cada modo va a una velocidad, al final llega cada uno a un tiempo → dispersión.

- Aplicaciones

En comunicaciones digitales de banda ancha y de larga distancia. También en LAN local.
Ventajas:

- Ancho de banda hasta 100 Gbps
- Menor tamaño, peso y atenuación
- Muy inmune a interferencias electromagnéticas (están en GHz y la fibra en TeraHz)

- Características técnicas

-Rango de frecuencias 150 THz - 400 THz (espectro infrarrojo, el más barato y robusto de hacer).

-Fuentes de luz: LED; ILD (inyección, más barato y con menor velocidad).

COMPONENTES Y TIPOS DE FIBRA ÓPTICA

Componentes de la Fibra Óptica

El Núcleo: En sílice, cuarzo fundido o plástico - en el cual se propagan las ondas ópticas.
Diámetro: 50 o 62,5 μ m para la fibra multimodo y 9 μ m para la fibra monomodo.

La Funda Óptica: Generalmente de los mismos materiales que el núcleo pero con aditivos que confinan las ondas ópticas en el núcleo.

El revestimiento de protección: por lo general esta fabricado en plástico y asegura la protección mecánica de la fibra.

Dispositivos implícitos en la transmisión

Los bloques principales de un enlace de comunicaciones de fibra óptica son: transmisor, receptor y guía de fibra. El transmisor consiste de una interfaz analógica o digital, un convertor de voltaje a corriente, una fuente de luz y un adaptador de fuente de luz a fibra. La guía de fibra es un vidrio ultra puro o un cable plástico. El receptor incluye un dispositivo conector detector de fibra a luz, un foto detector, un convertor de corriente a voltaje un amplificador de voltaje y una interfaz analógica o digital. En un transmisor de fibra óptica la fuente de luz se puede modular por una señal análoga o digital.

Acoplando impedancias y limitando la amplitud de la señal o en pulsos digitales. El convertor de voltaje a corriente sirve como interfaz eléctrica entre los circuitos de entrada y la fuente de luz.

La fuente de luz puede ser un diodo emisor de luz LED o un diodo de inyección láser ILD, la cantidad de luz emitida es proporcional a la corriente de excitación, por lo tanto el convertor

¹ G.P. Agrawal "Fiber optic Communication Systems" Jhon Wiley & Sons, 1997

voltaje a corriente convierte el voltaje de la señal de entrada en una corriente que se usa para dirigir la fuente de luz. La conexión de fuente a fibra es una interfaz mecánica cuya función es acoplar la fuente de luz al cable.

La fibra óptica consiste de un núcleo de fibra de vidrio o plástico, una cubierta y una capa protectora. El dispositivo de acoplamiento del detector de fibra a luz también es un acoplador mecánico.

El detector de luz generalmente es un diodo PIN o un APD (fotodiodo de avalancha). Ambos convierten la energía de luz en corriente. En consecuencia, se requiere un convertidor corriente a voltaje que transforme los cambios en la corriente del detector a cambios de voltaje en la señal de salida.

Tipos de Fibra Óptica según los modos de transmisión

- Fibra Monomodo:

Potencialmente, esta es la fibra que ofrece la mayor capacidad de transporte de información. Tiene una banda de paso del orden de los 100 GHz/km. Los mayores flujos se consiguen con esta fibra, pero también es la más compleja de implantar. Sólo pueden ser transmitidos los rayos que tienen una trayectoria que sigue el eje de la fibra, por lo que se ha ganado el nombre de "monomodo" (modo de propagación, o camino del haz luminoso, único). Son fibras que tienen el diámetro del núcleo en el mismo orden de magnitud que la longitud de onda de las señales ópticas que transmiten. Si el núcleo está constituido de un material cuyo índice de refracción es muy diferente al de la cubierta, entonces se habla de fibras monomodo de índice escalonado. Los elevados flujos que se pueden alcanzar constituyen la principal ventaja de las fibras monomodo, ya que sus pequeñas dimensiones implican un manejo delicado y entrañan dificultades de conexión que aún se dominan mal.

- Fibra Multimodo de Índice Gradiente Gradual:

Las fibras multimodo de índice de gradiente gradual tienen una banda de paso que llega hasta los 500MHz por kilómetro. Su principio se basa en que el índice de refracción en el interior del núcleo no es único y decrece cuando se desplaza del núcleo hacia la cubierta. Los rayos luminosos se encuentran enfocados hacia el eje de la fibra, como se puede ver en el dibujo. Estas fibras permiten reducir la dispersión entre los diferentes modos de propagación a través del núcleo de la fibra.

Conectores

Con la Fibra Óptica se puede usar Acopladores y Conectores:

Acopladores:

Un acoplador es básicamente la transición mecánica necesaria para poder dar continuidad al paso de luz del extremo con conector de un cable de fibra óptica a otro. Pueden ser provistos también acopladores de tipo "Híbridos", que permiten acoplar dos diseños distintos de conector, uno de cada lado, condicionado a la coincidencia del perfil del pulido.

Conectores:

1.- Se recomienda el conector 568SC pues este mantiene la polaridad. La posición correspondiente a los dos conectores del 568SC en su adaptador, se denominan como A y B.

Esto ayuda a mantener la polaridad correcta en el sistema de cableado y permite al adaptador a implementar polaridad inversa acertada de pares entre los conectores.

2.- Sistemas con conectores BFOC/2.5 y adaptadores (Tipo ST) instalados pueden seguir siendo utilizados en plataformas actuales y futuras.

Identificación: Conectores y adaptadores Multimodo se representan por el color marfil
Conectores y adaptadores Monomodo se representan por el color azul.

Para la terminación de una fibra óptica es necesario utilizar conectores o empalmar Pigtailes (cables armados con conector) por medio de fusión. Para el caso de conectorización se encuentran distintos tipos de conectores dependiendo el uso y la normativa mundial usada y sus características.

ST conector de Fibra para Monomodo o Multimodo con uso habitual en Redes de Datos y equipos de Networking locales en forma Multimodo.

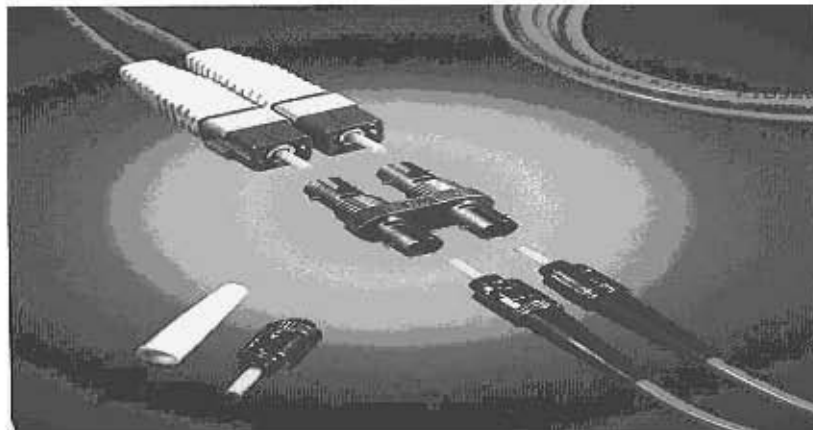


Fig. 2.1 Conectores de fibra óptica

FC conector de Fibra Óptica para Monomodo o Multimodo con uso habitual en telefonía y CATV en formato Monomodo y Monomodo Angular.-

SC conector de Fibra óptica para Monomodo y Multimodo con uso habitual en telefonía en formato monomodo.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA FIBRA ÓPTICA

VENTAJAS

La fibra óptica hace posible navegar por Internet a una velocidad de dos millones de bps.

Acceso ilimitado y continuo las 24 horas del día, sin congestiones.

DESVENTAJAS

Sólo pueden suscribirse las personas que viven en las zonas de la ciudad por las cuales ya esté instalada la red de fibra óptica.

El coste es alto en la conexión de fibra óptica, las empresas no cobran por tiempo de utilización sino por cantidad de información transferida al

Video y sonido en tiempo real.	computador, que se mide en megabytes.
Fácil de instalar.	El coste de instalación es elevado.
Es inmune al ruido y las interferencias, como ocurre cuando un alambre telefónico pierde parte de su señal a otra.	Fragilidad de las fibras. Disponibilidad limitada de conectores.
Las fibras no pierden luz, por lo que la transmisión es también segura y no puede ser perturbada.	Dificultad de reparar un cable de fibras roto en el campo.
Carencia de señales eléctricas en la fibra, por lo que no pueden dar sacudidas ni otros peligros. Son convenientes para trabajar en ambientes explosivos.	
Presenta dimensiones más reducidas que los medios preexistentes.	
El peso del cable de fibras ópticas es muy inferior al de los cables metálicos, capaz de llevar un gran número de señales.	
La materia prima para fabricarla es abundante en la naturaleza.	
Compatibilidad con la tecnología digital.	

Cuando se piensa en comunicación de datos generalmente se piensa en comunicación a través de cable, debido a que la mayoría de nosotros tratamos con este tipo de tecnología en nuestro quehacer día a día. Haciendo a un lado las complicadas redes cableadas también tenemos la llamada COMUNICACIÓN INALÁMBRICA muy comúnmente a nuestro alrededor.

Las Comunicaciones de datos inalámbricas en la forma de microondas y enlaces de satélites son usadas para transferir voz y datos a larga distancia. Los canales inalámbricos son utilizados para la comunicación digital cuando no es económicamente conveniente la conexión de dos puntos vía cable; además son ampliamente utilizados para interconectar redes locales (LANS) con sus homólogas las redes de área amplia (WANS) sobre distancias moderadas y obstáculos como autopistas, lagos, edificios y ríos. Los enlaces vía satélite permiten no solo rebasar obstáculos físicos sino que son capaces de comunicar continentes enteros, barcos, rebasando distancia sumamente grandes.

Los sistemas de satélites y de microondas utilizan frecuencias que están en el rango de los MHz y GHz. Usualmente utilizan diferentes frecuencias para evitar interferencias pero comparten algunas bandas de frecuencias.

Comunicación vía microondas

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.²

² R. Gagliardi, "Introduction to Communication Engineering", Wiley.

El factor limitante de la propagación de la señal en enlaces con microondas es la distancia que se debe cubrir entre el transmisor y el receptor, además esta distancia debe estar 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.

Antenas y torres de transmisión

La distancia cubierta por enlaces microondas puede ser incrementada por el uso de repetidoras, las cuales amplifican y redireccionan la señal. Es importante destacar que los obstáculos de la señal pueden ser salvados a través de reflectores pasivos. Las siguientes figuras muestran como trabaja un repetidor...

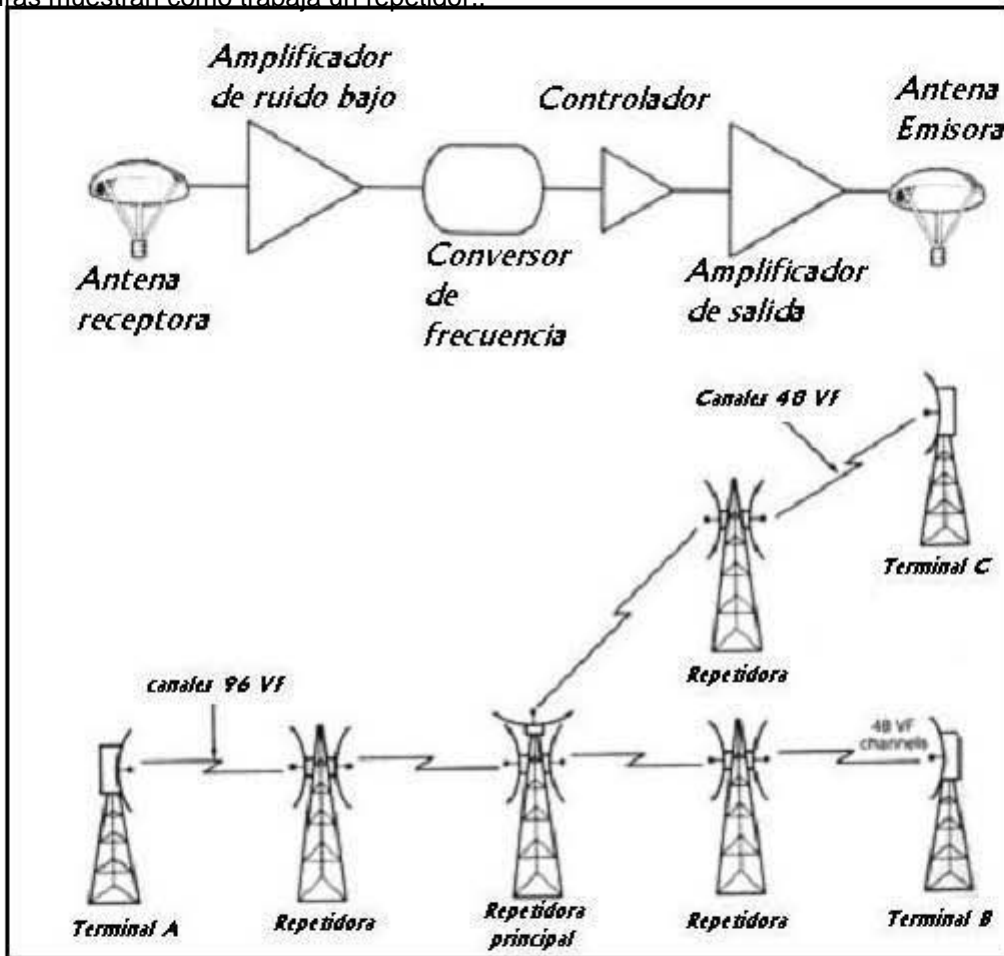


Fig. 2.2 Esquema de funcionamiento de una repetidora.

La señal de microondas transmitidas es distorsionada y atenuada mientras viaja desde el transmisor hasta el receptor. Estas atenuaciones y distorsiones son causadas por una pérdida de poder dependiente a la distancia, reflexión y refracción debido a obstáculos y superficies reflectoras y a pérdidas atmosféricas.³

La siguiente es una lista de frecuencias utilizadas por los sistemas de microondas:

Common Carrier	Operational Fixed
2.110	2.130 GHz
1.850	1.990 GHz

³ Fink, "Electronics Engineers' Handbook".

2.160	2.180 GHz
2.130	2.150 GHz
3.700	4.200 GHz
2.180	2.200 GHz
5.925	6.425 GHz
2.500	2.690 GHz
10.7	11.700 GHz
6.575	6.875 GHz
12.2	12.700 GHz

Debido al uso de las frecuencias antes mencionadas algunas de las ventajas son:

- Antenas relativamente pequeñas.
- A estas frecuencias las ondas de radio se comportan como ondas de luz, por ello la señal puede ser enfocada utilizando antenas parabólicas y antenas de embudo, además pueden ser reflejadas con reflectores pasivos.
- Otra ventaja es el ancho de banda, que va de 2 a 24 GHz.

Como todo en la vida, el uso de estas frecuencias también posee desventajas:

Las frecuencias son susceptibles a un fenómeno llamado Disminución de Multicamino (Multipath Fading), lo que causa profundas disminuciones en el poder de las señales recibidas. A estas frecuencias las pérdidas ambientales se transforman en un factor importante, la absorción de poder causada por la lluvia puede afectar dramáticamente el desempeño del canal.

Comunicación Satelital

Básicamente, los enlaces satelitales son iguales a los de microondas excepto que uno de los extremos de la conexión se encuentra en el espacio. Como se había mencionado un factor limitante para la comunicación de microondas es que tiene que existir una línea recta entre los dos puntos pero como la tierra es esférica esta línea se ve limitada en tamaño pero colocando el receptor o el transmisor en el espacio se cubre un área más grande de superficie. El siguiente gráfico muestra un diagrama sencillo de un enlace vía satélite, nótese que los términos UPLINK y DOWNLINK aparecen en la figura, el primero se refiere al enlace de la tierra al satélite y la segunda del satélite a la tierra.

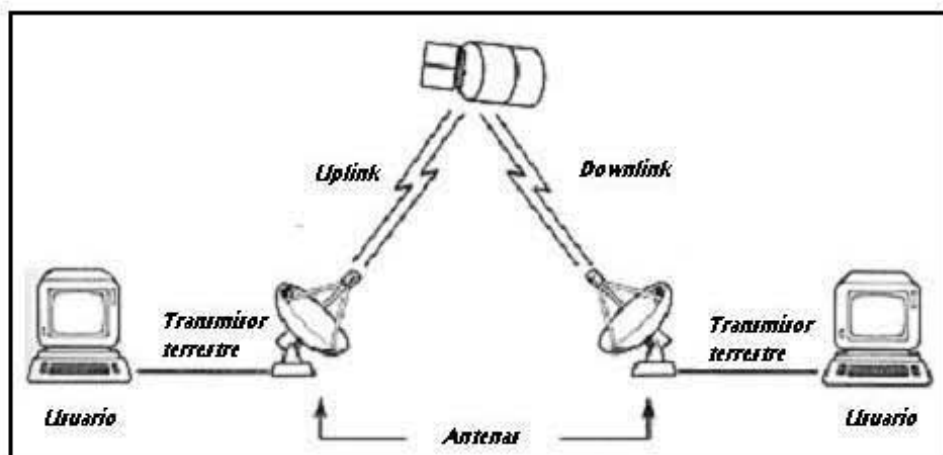


Fig. 2.3 Diagrama de un enlace vía Satélite⁴

Las comunicaciones vía satélite poseen numerosas ventajas sobre las comunicaciones terrestres, la siguiente es una lista de algunas de estas ventajas:

- El costo de un satélite es independiente a la distancia que vaya a cubrir.

⁴ Jasik, "Antenna Engineering Handbook".

- La comunicación entre dos estaciones terrestres no necesita de un gran número de repetidoras puesto que solo se utiliza un satélite.
- Las poblaciones pueden ser cubiertas con una sola señal de satélite, sin tener que preocuparse en gran medida del problema de los obstáculos.
- El Gran ancho de banda disponible en los circuitos satelitales permite mayores velocidades en la transmisión de voz, datos y vídeo sin hacer uso de un costoso enlace telefónico.

Estas ventajas poseen sus contrapartes, alguna de ellas son:

- El retardo entre el UPLINK y el DOWNLINK es de alrededor de un cuarto de segundo, o de medio segundo para una señal de eco.
- La absorción por la lluvia es proporcional a la frecuencia de la onda.
- Conexiones satelitales multiplexadas imponen un retardo que afectan las comunicaciones de voz, por lo cual son generalmente evitadas.

Los satélites de comunicación están frecuentemente ubicados en lo que llamamos Orbitas Geosincronizadas, lo que significa que el satélite circundará la tierra a la misma velocidad en que esta rota lo que lo hace parecer inmóvil desde la tierra. Una ventaja de esto es que el satélite siempre esta a la disposición para su uso. Un satélite para estar en este tipo de órbitas debe ser posicionado a 13.937,5 kilómetros de altura, con lo que es posible cubrir a toda la tierra utilizando solo tres satélites como lo muestra la figura.

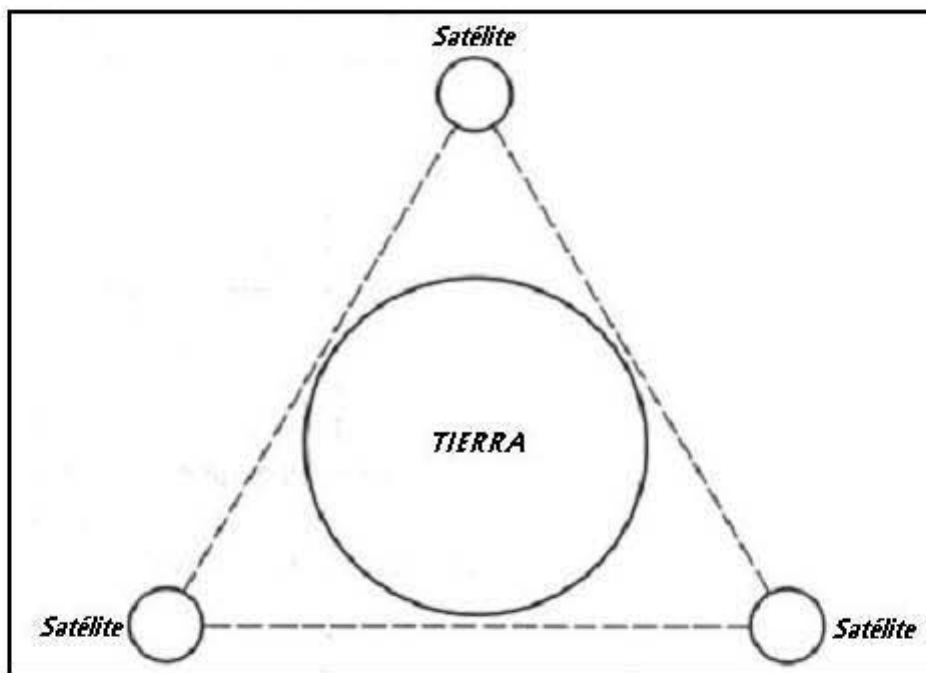


Fig. 2.4 Cobertura Satelital en la tierra empleando tres satélites.

Un satélite no puede retransmitir una señal a la misma frecuencia a la que es recibida, si esto ocurriese el satélite interferiría con la señal de la estación terrestre, por esto el satélite tiene que convertir la señal recibida de una frecuencia a otra antes de retransmitirla, para hacer esto lo hacemos con algo llamado "Transponders".

Al igual que los enlaces de microondas las señales transmitidas vía satélites son también degradadas por la distancia y las condiciones atmosféricas.

Otro punto que cabe destacar es que existen satélites que se encargan de regenerar la señal recibida antes de retransmitirla, pero estos solo pueden ser utilizados para señales digitales, mientras que los satélites que no lo hacen pueden trabajar con ambos tipos de señales (Análogas y Digitales).

CAPÍTULO 3. *Planteamiento y configuración del sistema.*

Medidas de desplazamiento

Los medidores de desplazamiento permiten evaluar las distancias que se desplazan los puntos en vibración respecto de su posición natural. Un sistema elemental de este tipo sería el formado por un dispositivo mecánico tal que, colocando la cabeza de prueba sobre el punto de vibración, amplifica el desplazamiento transmitido por medio de artificios mecánicos.

La utilización de galgas extensométricas es francamente útil en baja frecuencia. Las deformaciones producidas sobre un resistor modifican su resistencia eléctrica y estas variaciones pueden medirse. Se trata pues de un elemento sensor de desplazamientos.

Los transductores capacitivos son sistemas sensores de desplazamiento. Se coloca el elemento a una distancia d del punto vibrante. La masa en vibración debe ser metálica o puede realizarse un depósito metálico, con objeto de establecer un condensador eléctrico. Se polariza dicho condensador (formado por el transductor y superficie vibrante) por medio de una fuente de corriente continua procedente del preamplificador. Se tiene una carga eléctrica prácticamente constante a base de utilizar una constante de tiempo elevada en la fuente de alimentación. De este modo la tensión de salida es proporcional al inverso de la capacidad del condensador, es decir el desplazamiento.

Este tipo de transductor es muy útil en aquellos lugares en vibración a los que no hay acceso por contacto directo. También es de gran utilidad en aquellos lugares donde la capacidad de carga del sistema es crítica, toda vez que no supone ninguna masa adicional (por ejemplo en membranas de altavoces). Estos transductores suelen ser pequeños, de amplia gama de frecuencias de utilización y alta sensibilidad. Entre las dificultades que entraña este tipo de transductor hay que mencionar las de su calibración y su utilización para desplazamientos pequeños.¹

Diferentes sistemas de medida y análisis de vibraciones

Amplificadores de carga

Básicamente los preamplificadores de carga consisten en un amplificador de alta ganancia, provisto de una capacidad de realimentación.

Preamplificadores de tensión

Estos elementos se basan en la utilización de los acelerómetros piezoeléctricos como fuentes de tensión. Ello lleva consigo que la entrada del preamplificador tenga una impedancia alta y no capacitiva para no cargar excesivamente al captador, carga que afectaría a la respuesta en frecuencia del transductor.

Medidores y analizadores de vibraciones

El análisis de las vibraciones es análogo al de medidas sonoras. La diferencia más importante estriba en que para la medida del sonido no se requiere, en general, la transformación de la señal eléctrica del transductor. Es decir, el elemento que captura, en acústica, suministra una señal eléctrica que es proporcional a la presión sonora.

En vibraciones puede ser necesario integrar una o dos veces la señal de aceleración para obtener señales proporcionales a la velocidad o al desplazamiento de la vibración proveniente del captador. Dependiendo de la naturaleza de la medida (aislamiento, fatiga, vigilancia del estado de máquinas, búsqueda de resonancias en sistemas, etc.), y, sobre todo de la zona de

¹ THOMPSON, WILLIAM T., Teoría de vibraciones, Editorial Prentice Hall, Colombia 1982.

frecuencias que se tratan de medir o controlar, se medirán desplazamientos, velocidades o aceleraciones del movimiento en cuestión.

Si se requieren medidas de impulsos se puede disponer de detectores de valor eficaz de impulsos. Estos detectores deben integrar la señal en tiempos muy cortos. El medidor empleado en la instrumentación debe ser capaz de alcanzar el valor final del pulso antes de realizar una nueva integración.

En vibraciones, el estudio de contenido espectral es muy importante en el caso de las vibraciones mecánicas y proporciona mucha información no explícita en el estudio de la función temporal de la vibración. La utilización de filtros de 1 / 3 de octava (bandas de 23% de la frecuencia central), que en acústica son muy prácticas y normales, no es suficientemente selectiva para la mayor parte de problemas vibratorios, de modo que lo más normal es servirse de filtros de bandas más estrechas. Los filtros de anchura de banda constante, son típicos en los análisis de vibraciones.

Para el estudio de impulsos y choques el contenido espectral es especialmente rico en información, permitiendo comparar señales temporales de formas muy diversas, así como su acción sobre maquinaria, vehículos, instrumentación, el cuerpo humano, etc.²

1.- Galgas extensiométricas:

La galga extensiométrica³ nos permite obtener, mediante el adecuado acondicionamiento de la señal resultante, una lectura directa de la *deformación longitudinal* producida en un punto de la superficie de un material dado, en el cual se ha adherido la galga.

La unidad de medida de la deformación se expresa mediante ϵ (épsilon). Esta unidad de medida es adimensional, y expresa la relación existente entre el incremento de longitud experimentado por el objeto y la longitud inicial.

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

El concepto de deformación engloba todas las variaciones sufridas por un cuerpo cuando éste ha sido sometido a una fuerza externa, bien sea compresión, tracción, torsión o flexión.

Principio de funcionamiento.

La galga extensiométrica es básicamente una resistencia eléctrica. El parámetro variable y sujeto a medida es la resistencia de dicha galga. Esta variación de resistencia depende de la deformación que sufre la galga.

Se parte de la hipótesis inicial de que el sensor experimenta las mismas deformaciones que la superficie sobre la cual está pegada.

El sensor está constituido básicamente por una base muy delgada no conductora, sobre la cual va adherido un hilo metálico muy fino, de forma que la mayor parte de su longitud está distribuida paralelamente a una dirección determinada, tal y como se muestra en la figura 3.1:

² R. F. STEIDEL JR, Introducción al estudio de las vibraciones mecánicas, Editorial Continental, México 1991.

³ L. Ortiz Berrocal: Elasticidad. Mc Graw Hill. 1998.

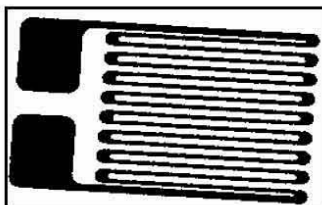


Fig. 3.1 Galga extensiométrica en reposo

La resistencia de la galga es la propia resistencia del hilo, que viene dada por la siguiente ecuación:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

En base a esta última ecuación, se puede afirmar que la resistencia eléctrica del hilo es directamente proporcional a su longitud, o lo que es lo mismo, su resistencia aumenta cuando éste se alarga.

De este modo las deformaciones que se producen en el objeto, en el cual está adherida la galga, provocan una variación de la longitud y, por consiguiente, una variación de la resistencia.

$$\Delta R = \rho \cdot \frac{\Delta l}{S}$$

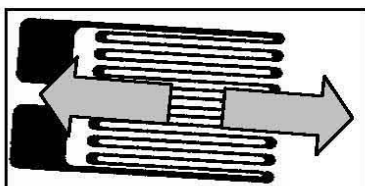


Fig. 3.2 Deformación longitudinal de la galga.

Otro principio de funcionamiento de las galgas se basa en la deformación de elementos semiconductores. Esta deformación provoca una variación, tanto en la longitud como en la sección, pero de una forma más acusada, en la resistividad (ρ) del semiconductor. De esta forma:

$$\Delta R = \Delta \rho \cdot \frac{\Delta l}{\Delta S}$$

Este tipo de sensor semiconductor posee un *factor de galga* (ver características) más elevado que el constituido por hilo metálico.

Descripción constructiva de una galga extensiométrica:

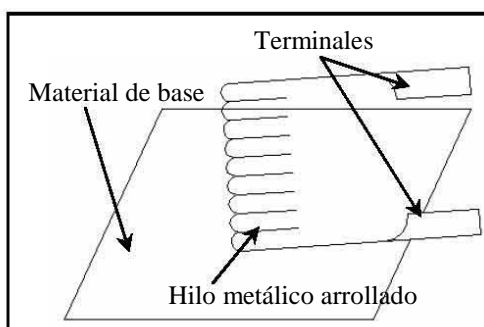


Fig. 3.3 Descripción constructiva.

Existen dos tipos de galgas básicos:

- De hilo conductor o lámina conductora.

El sensor está constituido básicamente por una base muy delgada no conductora y muy flexible, sobre la cual va adherido un hilo metálico muy fino. Las terminaciones del hilo acaban en dos terminales a los cuales se conecta el transductor.

- Semiconductor.

Las galgas semiconductoras son similares a las anteriores. En este tipo de galgas se sustituye el hilo metálico por un material semiconductor. La principal diferencia constructiva de estas galgas respecto a las anteriores se encuentra en el tamaño; las galgas semiconductoras tienen un tamaño más reducido.

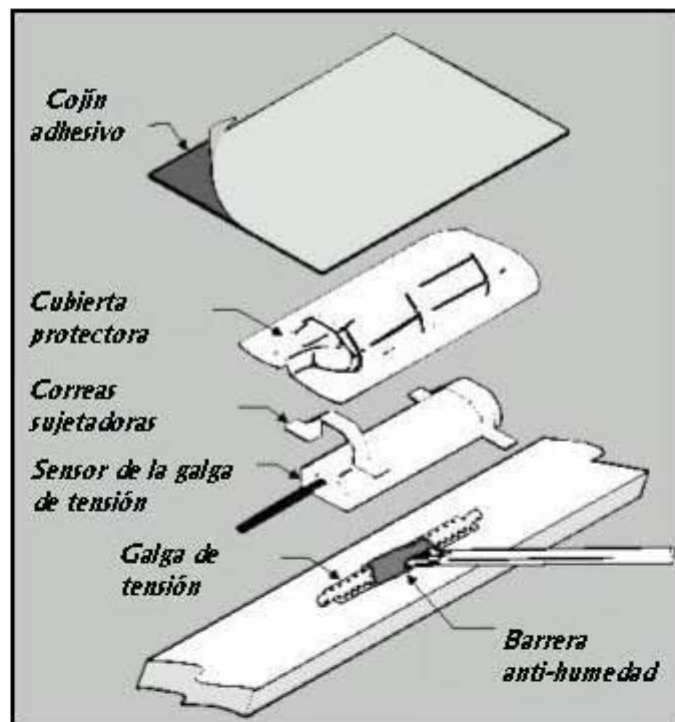


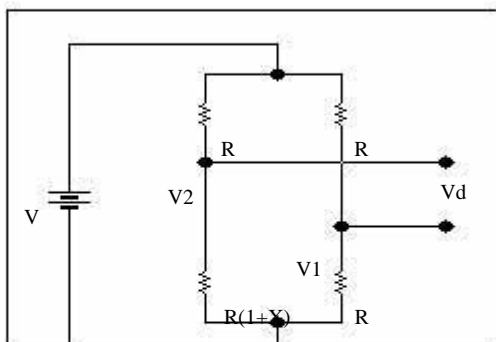
Fig. 3.4 Montaje de la galga

Montaje:

El montaje más común utilizado para medir deformaciones mediante galgas es el puente de Wheatstone. Existen tres tipos de montajes básicos: con una, dos y cuatro galgas. La medida se suele realizar por deflexión, es decir midiendo la diferencia de tensión existentes entre los terminales de salida del sensor.

Las principales diferencias de estos montajes se encuentran en la sensibilidad y la capacidad de compensación del efecto de temperatura. Esta compensación consiste en suprimir los efectos de la temperatura en el valor de la resistencia de la galga; cuando en un puente de medida coinciden dos o cuatro galgas de iguales características, los efectos de la temperatura se anulan ya que ésta les afecta por igual.

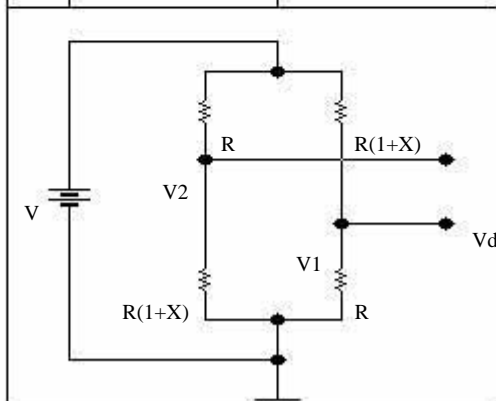
Puente de medida con una galga:



Este puente de medida se caracteriza por una baja sensibilidad.

Por otro lado al solo haber una galga esta no está compensada en temperatura.

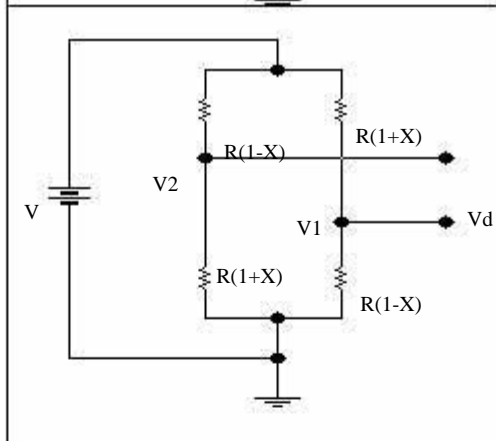
→ Puente de medida con dos galgas:



Debido a la utilización de dos galgas se consigue duplicar la sensibilidad del puente respecto al anterior. Esto permite que para una misma deformación tengamos una mayor señal de salida para una tensión de alimentación dada.

La disposición de las galgas (tal y como se puede ver en el dibujo), permiten la compensación en temperatura.

→ Puente de medida con cuatro galgas:



La utilización de cuatro galgas cuadruplica la sensibilidad del puente respecto al puente de una sola galga.

De igual forma que en el caso anterior, las galgas están compensadas en temperatura.

Por último el tratamiento de la señal de salida suele hacerse mediante amplificadores operacionales y de instrumentación. Con ellos conseguimos acondicionar la señal para obtener valores de tensión manejables.

Sensor piezoeléctrico.

La palabra "piezo" se deriva del griego que significa "presionar" y el efecto piezoeléctrico es la producción de electricidad mediante la presión. Solamente ocurre en ciertos materiales cristalinos y cerámicos que tienen como propiedad el presentar el efecto piezoeléctrico cuyo principio de funcionamiento consiste en la aparición de una polarización eléctrica bajo la acción de un esfuerzo.

Cuando una fuerza se aplica a un material piezoeléctrico⁴, se induce una carga sobre la superficie que es proporcional a esa fuerza aplicada. La fuerza se puede estimar mediante la medición del potencial eléctrico que aparece en el cristal. Los cristales piezoeléctricos usados para la fabricación de microdispositivos incluyen ZnO y PbZrTiO₃, los que pueden ser depositados sobre microestructuras y construir patrones adecuados.

⁴ Pallas – Areny, R. (1993), *Adquisición y distribución de señales*. Ed. Marcombo, 1993.

Sensor capacitivo.

Un sensor capacitivo⁵ se forma por dos placas conductoras paralelas separadas por un dieléctrico, y que constituyen un capacitor cuya capacitancia está dada por la ecuación:

$$C = \epsilon A / d$$

Donde A es el área sobrepuesta de las placas, d la separación de placas y ϵ es una constante que depende del material existente entre las placas (esto asume que la superficie de las placas es mucho mayor que la separación entre ellas, de manera que el efecto de borde se puede ignorar).

Para el aire, ϵ es aproximadamente 8.9 pF/m. Se puede ver que la capacitancia medida es inversamente proporcional a la distancia entre las placas. Esta característica, permite medir pequeños desplazamientos (de varios μm a decenas de μm) con alta exactitud. Por otro lado, la instrumentación requerida para medir cambios en la capacitancia es medianamente compleja.

Sensores ópticos.

El silicio es un material refractivo, como son algunos otros materiales que se usan en la fabricación de dispositivos semiconductores (por ejemplo, aluminio). Esta característica óptica puede ser usada para captar desplazamientos o deformaciones en micropuentes, membranas, etc. En esta técnica, el haz de un láser se hace incidir sobre la superficie para monitorizar su desplazamiento o deformación mediante el análisis del patrón de interferencia que resulta. Esta técnica es usada en microscopía atómica para monitorizar la flexión de un haz sobre una punta sensora.

Sensores resonantes.

Estos son trampolines o micropuentes que se ponen a oscilar a su frecuencia de resonancia. Cambios en esta frecuencia pueden ser medidos mediante el uso de piezorresistores, o usando técnicas ópticas.

La figura 3.5 muestra un micropuente, entonado en su resonancia, sobre un delgado diafragma. La resonancia del micropuente está relacionada con la fuerza aplicada, con su longitud, su grosor, su masa y el módulo de elasticidad del material a partir del cual fue fabricado. Si la membrana se deforma hay una presión más grande en un lado que en el otro, y entonces la fuerza aplicada al micropuente cambia y la frecuencia de resonancia también cambia.

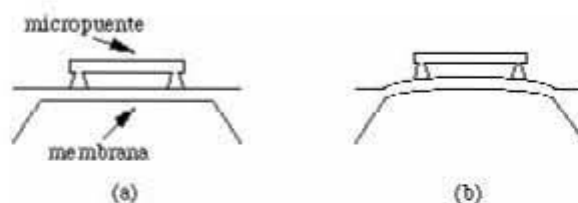


Fig. 3.5. Micropuente.

Alternativamente, un dispositivo resonante puede ser usado como biosensor. Este se cubre con un material que "atrape" la sustancia de interés. Esto incrementará la masa y por lo tanto se alterará la frecuencia de resonancia.

Acelerómetro.

Un sensor de aceleración, o acelerómetro⁶, consiste de una masa suspendida de un delgado puente, véase figura 3.6. Cuando el dispositivo es acelerado, la fuerza que se experimenta dobla el delgado micropuente. Con piezorresistores situados cerca del borde del

⁵ W. Bolton: *Mechtronics. Lougman. 1997*

⁶ RS Aminata S.A.: *catálogo de componenetes. 1999.*

micropuente se puede detectar la aceleración. Otra opción es captar capacitivamente el desplazamiento de la masa.

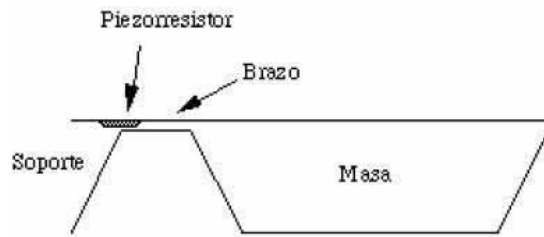


Fig. 3.6. Acelerómetro.

ETAPAS DEL PROYECTO:

- Sensor de vibración,
- Acelerómetro.
- Etapa de amplificación
- Primer OP-AM, amplifica la señal, su salida es negada.
- Segundo OP-AM, suma una señal de Offset.
- Tercer OP-AM, invierte nuevamente la señal.
- ADC de 8 bits.
- Latch (buffer), salida de 8 bits.
- Envío de la señal digital al puerto paralelo de la computadora.
- Programa que visualice la información obtenida

PROYECTO

Este proyecto es sobre vibraciones mecánicas, consiste en sensarlas y visualizarlas en una interfaz.

Los avances hasta ahora logrados han sido interpretar la vibración mecánica de un objeto (nosotros usamos un acelerómetro) en una señal digital de 8 bits.

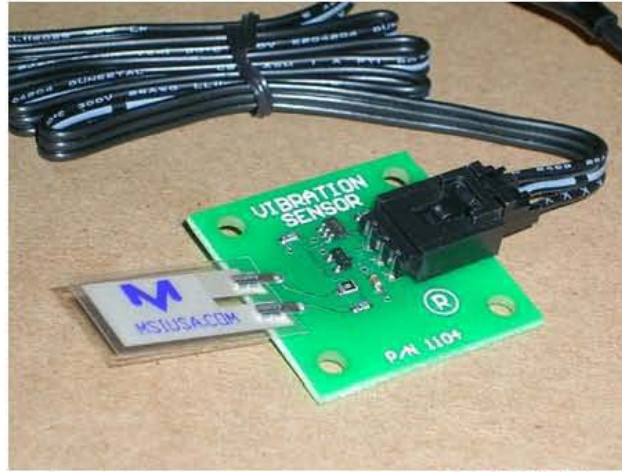
La vibración de esta lámina podemos manipularla de tal manera que podemos lograr una señal periódica o una aperiódica. Para obtener la señal periódica usamos un motor de frecuencia variable, las señales aperiódicas son golpes provocados a la lámina.

Sobre la lámina colocamos el sensor de vibración P/N1104 (Figura 3.7)⁷, un acelerómetro con base magnética que se fija así en la lámina metálica. Así, este manda una señal de voltaje en alterna que varía según la magnitud de la señal, la señal de salida del sensor es coaxial.

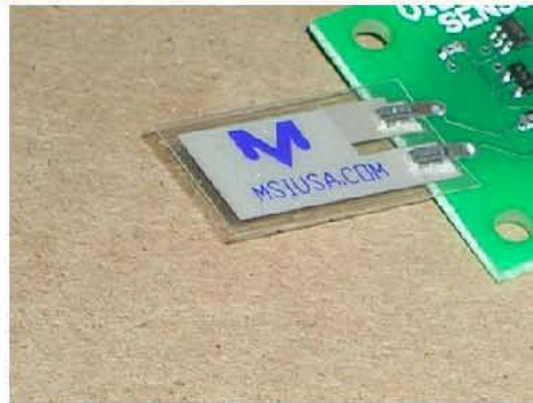


(a)

⁷ www.msiousa.com



(b)



(c)

Fig. 3.7 (a), (b) y (c) Sensor de vibración P/N1104

Una vez que obtuvimos la señal fué necesario amplificarla ya que es una señal muy pequeña para el ADC, así que la amplificamos con Amplificadores operacionales, y usamos tres:

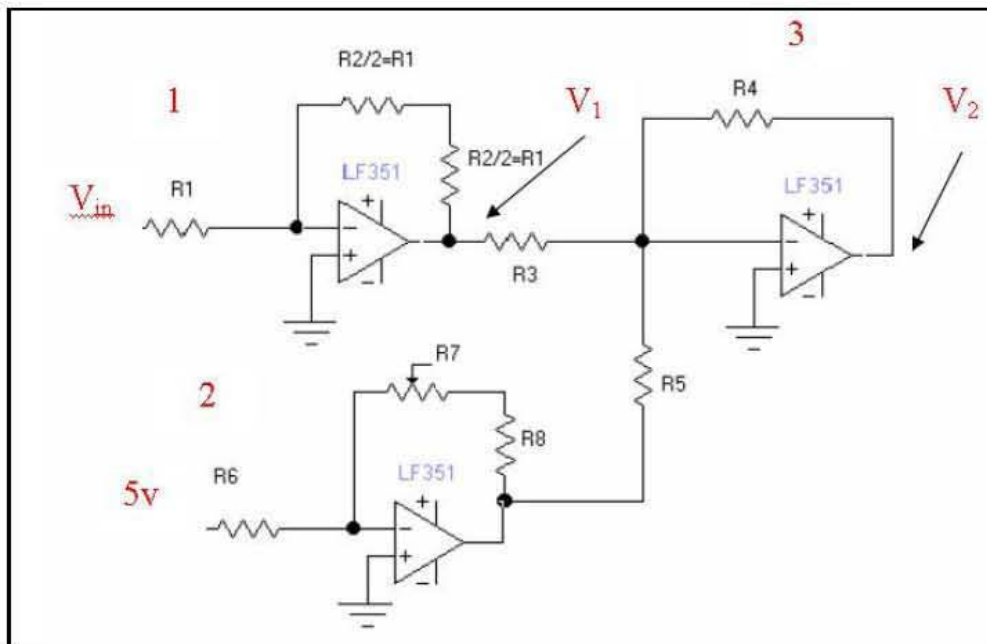


Fig. 3.6 Acondicionamiento de la señal

Como se puede ver en el esquema hay 3 amplificadores.

El primero sirve para amplificar el voltaje de entrada V_{in} con una ganancia de 2, ya que:

$$R_2 = 2R_1$$

$$V_1 = - (R_2 / R_1) V_{in} = - (200 \text{ k} / 100 \text{ k}) V_{in}$$

La etapa 2, es la de un Offset.

Ya que el ADC puede manejar voltajes positivos solamente, es necesario sumarle un voltaje que haga posible que nuestro voltaje mínimo sea cero, esto lo logramos gracias al offset.

La señal de alterna no se afecta ya que nuestro intervalo del valor mínimo al máximo es el mismo.

Observando el Offset, la etapa 2 vemos que R_7 es un potenciómetro, deberá ser de un valor tal que $R_7 = R_6$, ya que así tendremos como máximo una ganancia de 1, además usamos un potenciómetro ya que esto nos permite ajustar a diferentes valores de Offset en un futuro. En este momento lo ajustamos para que nos de una ganancia de 0.4, o sea que nos entregue un voltaje de - 2 volts. Además esta R_8 , que es una resistencia muy pequeña, simplemente para que en caso de que el potenciómetro este actuando como corto, no haya un corto circuito en esta etapa.

Hasta aquí si observamos la etapa 1, el voltaje V_1 sale negado, también el voltaje del offset es negado, así que esa es la función de la etapa 3, sirve para negar nuevamente y obtener un V_2 positivo.

Analizando:

$$V_2 = - \frac{R_4}{R_3} V_1 + \frac{R_4}{R_5} Offset = - \frac{100 \text{ k}}{100 \text{ k}} V_1 + \frac{100 \text{ k}}{100 \text{ k}} Offset$$

El par de ganancias que se obtienen en esta etapa es de 1, tanto R_4 / R_3 como R_4 / R_5 . Así que solo invertimos sin tener que afectar la magnitud, antes sumamos V_1 y el offset. Los valores de las resistencias que usamos son:

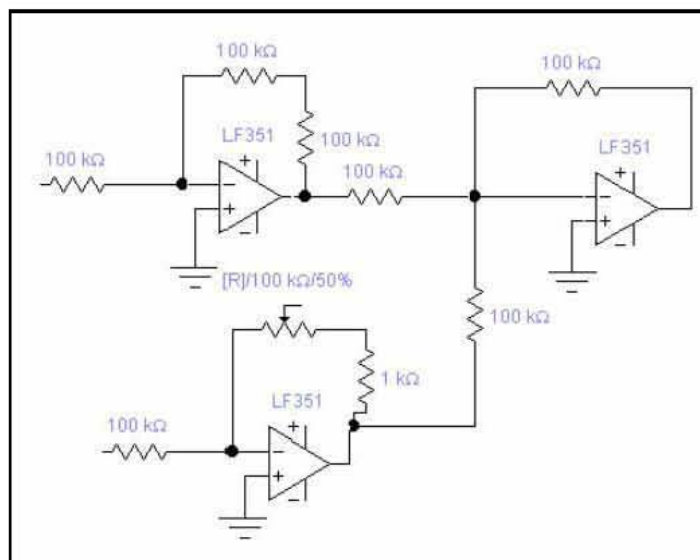


Fig. 3.7 Diseño completo con el cálculo de valores de resistencias.

Hasta aquí ya tenemos una señal que puede interpretar fácilmente el ADC, usamos el modelo 804. La conversión analógica- digital se logra con un ADC; Acrónimo de *Analogue to Digital Converter*, circuito electrónico que convierte una señal analógica en digital. Se utiliza en equipos electrónicos como computadoras, grabadores digitales de sonido y de vídeo, y equipos de comunicaciones. La señal analógica, que varía de forma continua en el tiempo, se conecta a la entrada del dispositivo y se somete a un muestreo (cuantificación discreta, o asignación de un valor numérico a una determinada intensidad de la señal) a una velocidad fija, obteniéndose así una señal digital a la salida del mismo. Cabe mencionar que ésta señal se puede volver a convertir en analógica mediante un convertidor digital analógico.

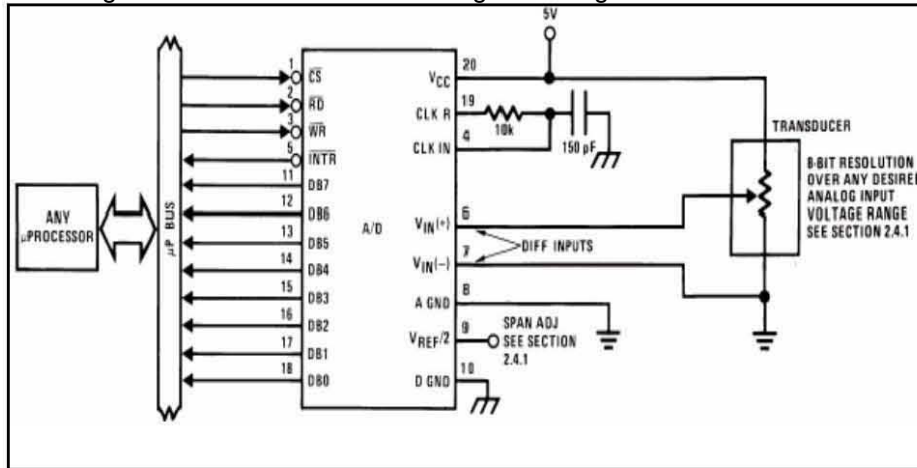


Fig. 3.8 Esquema básico de un Convertidor analógico digital.

Así con el ADC obtuvimos una señal de salida digital en 8 bits y que estabilizamos con un buffer, el 74-245.⁸

Una vez obtenida la señal del buffer ya estabilizada y acondicionada la señal esta lista para ser enviada a una pc local via bluetooth.

El emisor bluetooth que elegimos es el Promi, modelo SD modelo 202 con antena de emisión incluida, así como batería de reserva y protección. Para su instalación requeriremos de un pic, y se eligió el motorota 16f877, y por medio de ese pic pudimos enviar la información al dispositivo bluetooth.

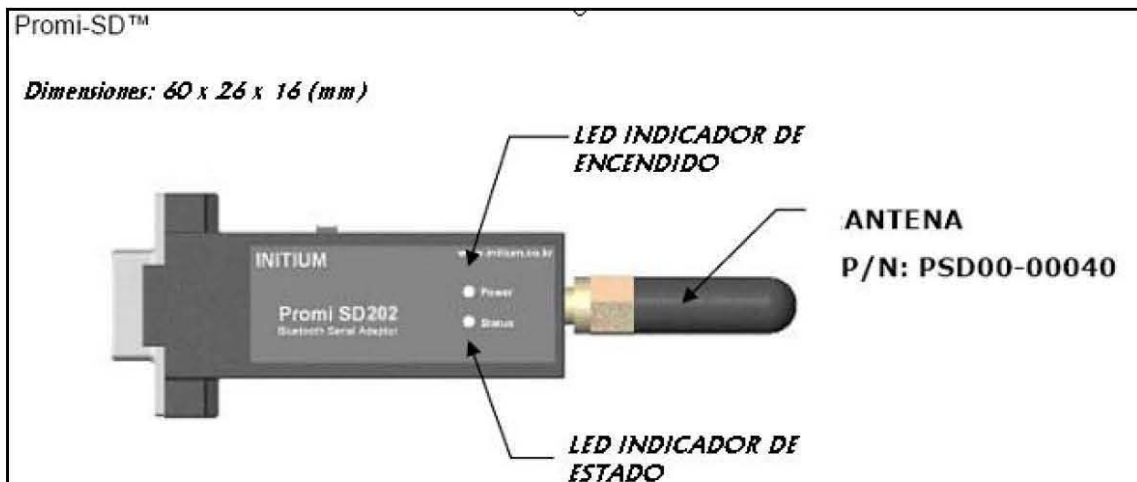


Fig. 3.9 Dispositivo bluetooth.⁹

⁸ <http://www.national.com/appinfo/adc/>

⁹ Manual de usuario Promi-SD, Editado por Intium, Reino unido, 2005

Una vez instalado el emisor bluetooth empleamos el software de instalación del dispositivo en la computadora de la recepción de datos especificando los rangos de distancia de cobertura y los protocolos de seguridad tales como tiempo de respuesta máximos, y el alta de claves de seguridad para los dispositivos.

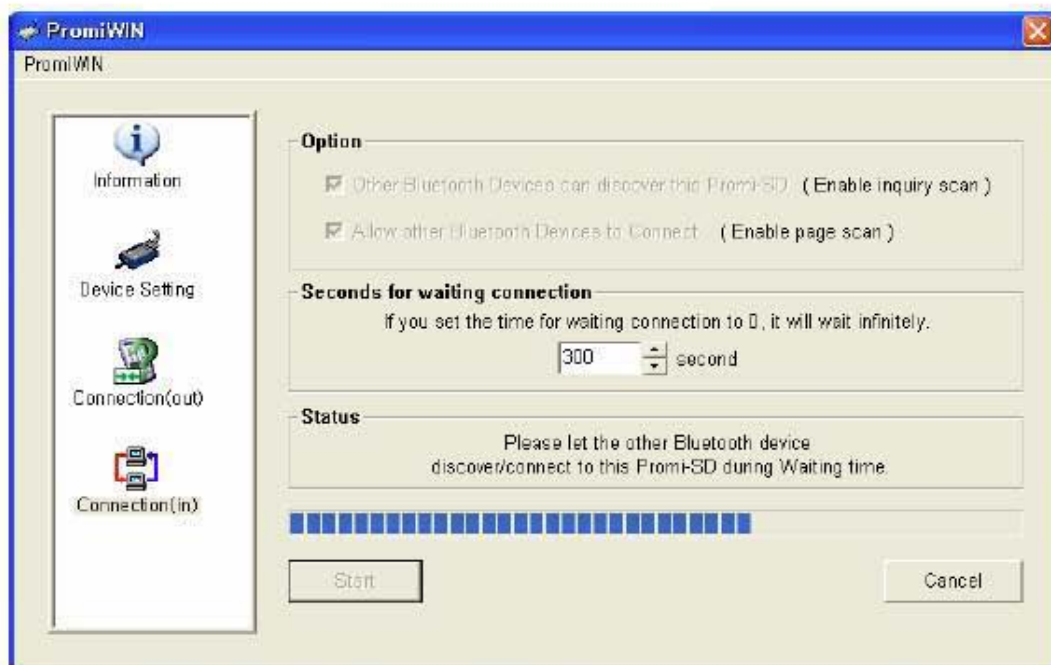


Fig. 3.5 Software de instalación Promiwin

CAPITULO 4.

Pruebas del sistema

- Medición de interferencias.

Dado que la única estación de radio frecuencia en el sistema propuesto será la que estará conectada del dispositivo a la estación local de recepción, optamos por una conexión tipo bluetooth ya que facilita la recepción de datos así como la interpretación de los mismos por parte de la unidad de procesamiento de datos.

Bluetooth fue diseñado como una tecnología de radiofrecuencia para reemplazar al cable: Bajo costo, velocidad moderada y corto alcance (< 10 metros). Puede soportar solicitudes de datos de hasta ocho dispositivos activos, con un máximo de tres links orientados a conexión sincrónicos (SCO synchronous connection-oriented). Los SCO links están diseñados para dar soporte a aplicaciones sincronas como telefonía inalámbrica y headsets inalámbricos. Bluetooth también soporta tipos de datos asíncronos sin conexión (ACL asynchronous connectionless) usados para intercambiar datos en aplicaciones en la que no es crítico el tiempo. La capa física de Bluetooth usa frequency-hopping spread spectrum (FHSS) a una tasa de 1600 hops/s y modulación Gaussian frequency shift keying (GFSK). Basado en las aplicaciones consideradas para la tecnología wireless de Bluetooth la mayoría de los dispositivos Bluetooth transmiten a una nivel de potencia de 1 mW (0 dBm) con una tasa de transferencia sin procesar de 1 Mb/s.

Como Ethernet, Wi-Fi soporta verdaderas redes multipunto con tipos de datos como paquetes Broadcast, Multicast y Unicast. La MAC address dentro de cada dispositivo permite virtualmente un número de dispositivos activos en la red. Estos dispositivos realizan contienda para acceder al medio (el aire) utilizando un esquema llamado Carrier Sense Multiple Access with collision avoidance (CSMA/CA). La capa física de Wi-Fi utiliza Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) a cuatro diferentes tasas de datos utilizando una combinación de binary phase-shift keying (DBPSK) para 1 Mb/s, differential quaternary phase-shift keying (DQPSK) para 2 Mb/s, y QPSK/complementary code keying (CCK) para velocidades mayores: 5.5 and 11 Mb/s. LA potencia de la radio frecuencia puede variar, pero esta típicamente entre 30 y 100 mW (hasta 20 dBm) en la mayoría de los sistemas WLAN comerciales.

Los sistemas de comunicación wireless usan una o más frecuencias portadoras (bandas de frecuencia) para comunicarse. Bluetooth y Wi-Fi comparten la misma banda de 2.4 GHz, la cual bajo las regulaciones de Federal Communications Commission (FCC), se extiende de 2.4 hasta 2.4835 GHz. Bajo las reglas de la banda ISM definidas en FCC Part 15.247, esta banda de frecuencia es libre de tarifas. Sin embargo estos sistemas deben operar bajo ciertas restricciones cuyo propósito es permitir que varios sistemas coexistan en tiempo y espacio.

Un sistema puede usar uno de dos métodos para transmitir en esta banda; ambos son técnicas spread spectrum (SS). La primera es frequency hopping spread spectrum (FHSS) que permite a un dispositivo transmitir mucha energía en una banda relativamente estrecha, pero por un tiempo limitado. Direct sequence spread spectrum (DSSS) le permite a un dispositivo ocupar un ancho de banda mas amplio con relativa poca energía en un segmento de banda dado y no realiza hops.

Señales y ruido

Cada sistema de comunicación inalámbrico, por definición, consiste de al menos dos nodos. A cualquier momento dado un nodo transmite (transmisor) y el otro recibe (receptor). Ambos estaciones 802.11b y Bluetooth transmiten o reciben, pero no ambas a la vez (sistemas half-duplex); existen otros sistemas donde una estación transmite y recibe a la vez (sistemas full-duplex); la siguiente discusión aplica a ambos tipos de sistemas. Una operación exitosa del sistema depende en la habilidad del receptor para separar la señal deseada de una señal no deseada. Esto depende de la relación entre la energía de la señal deseada y el ruido total (interferencia) en la antena del receptor. Esta relación es referida como E_b/N_t (energía por bit sobre el ruido total) o relación señal a ruido (signal to noise ratio SNR). El trabajo del receptor

es maximizar la habilidad para descodificar las señales deseadas mientras minimiza la habilidad de permitir las señales no deseadas (ruido) de interferir. Una de las más importantes características de un sistema de comunicación es la mínima RSR en la cual el receptor puede descodificar la señal (el umbral E_b/N_t del sistema). Mientras menor sea el umbral E_b/N_t mayor es la inmunidad del sistema a la interferencia. Mientras menor sea la SNR, es mayor la probabilidad que la señal no deseada cause errores no aceptables en los paquetes de datos que obligan la retransmisión (y los retrasos inherentes en ese proceso) o afectar la calidad de la voz. También hay situaciones donde el ruido es tan fuerte que el receptor no puede empezar a recuperar la señal deseada.

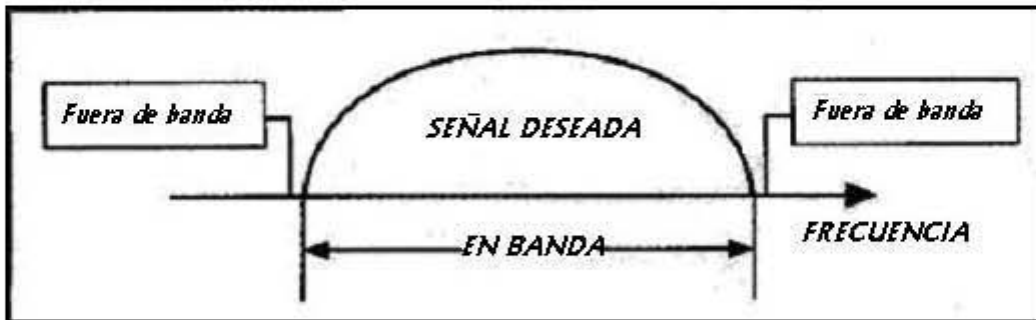


Fig. 4.1 Banda y rechazo de ruido.

El ruido en la antena del receptor puede ser dividido en dos categorías, definidas aquí e ilustradas en la figura 4.1:

- Ruido en la banda: energía no deseada en frecuencias en la que el transmisor transmite la señal deseada.
- Ruido fuera de banda: Energía no deseada en frecuencias que el transmisor no usa.

Ambos ruidos, en la banda y fuera de la banda, pueden degradar el rendimiento de un sistema de comunicación inalámbrico. Ruido fuera de banda puede usualmente ser filtrado porque la energía en el sistema de frecuencia de bandas no lleva ninguna información útil ahí. Ruido en la banda, como se discutirá en secciones siguientes es mucho mas problemático.

El ruido puede ser categorizado como blanco o de color. El ruido blanco por lo general describe el ancho de banda (por ejemplo mas ancho que la señal deseada) de interferencia de múltiples fuentes sin ninguna coordinación entre ellas. Puede ser modulado como un proceso Gaussiano aleatorio donde muestras sucesivas del proceso están no estadísticamente relacionadas.

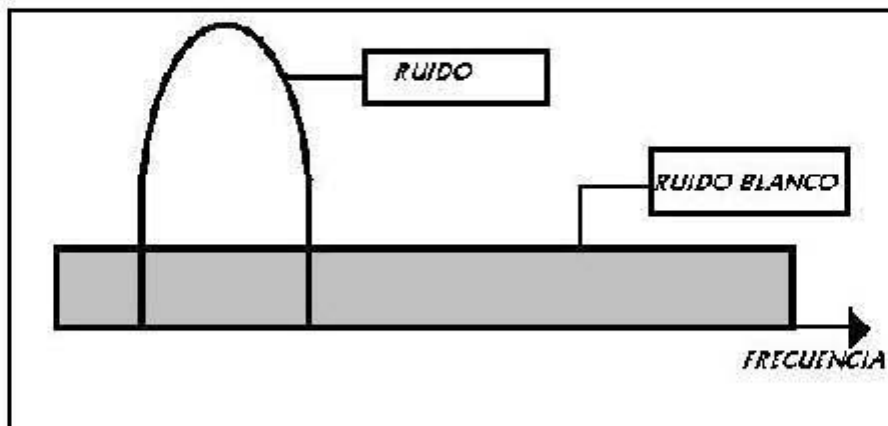


Fig. 4.2 Ruido blanco Vs. Ruido de color.

Típicamente la energía asociada con el ruido blanco es distribuida de manera equitativa sobre la banda de frecuencia y no tiene ningún comportamiento determinístico sobre el tiempo o frecuencia. El ruido de color es usualmente de banda estrecha (por ejemplo relativo a la señal deseada) interferencia transmitida por radiadores intencionales, y tiene un comportamiento específico en tiempo y frecuencia. La figura 4.2 ilustra las diferencias entre ruido blanco y de color.

La mayoría de los sistemas inalámbricos de comunicación asumen que el único tipo de ruido en la banda es ruido blanco. Otros radiadores intencionales se asumen que se transmiten fuera de banda. El diseño del receptor con sus técnicas asociadas de filtrado están optimizadas en base a estas suposiciones. Utilizaremos el término radiador intencional para diferenciar señales deliberadamente emitidas para comunicar de aquellos que son emisiones espurias.

Desafortunadamente hay dos radiadores intencionales tales como Bluetooth y Wi-Fi compartiendo la misma banda de frecuencia, los receptores también deben manejar el caso de ruido de color en la banda.

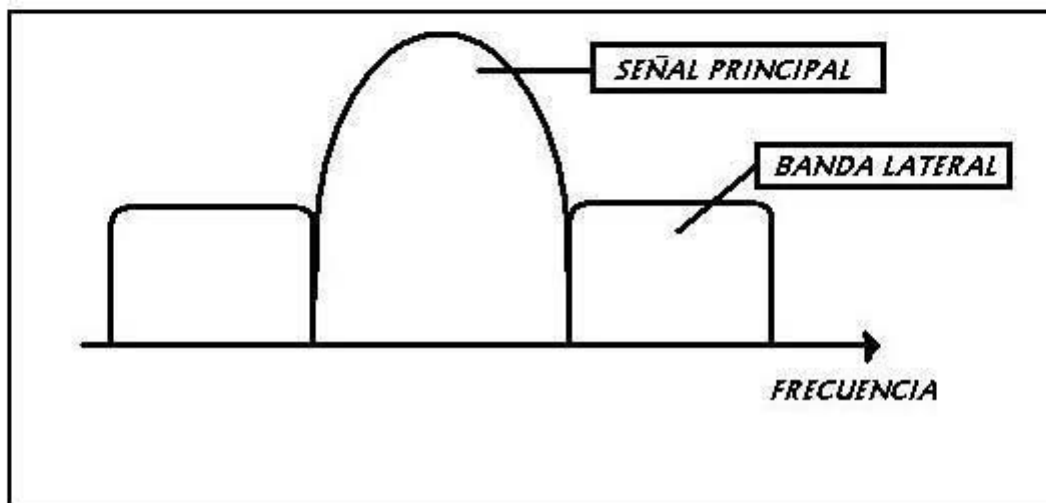


Fig. 4.3 Máscara de transmisión típica.

Se supone que cada transmisor transmite solo dentro de un ancho de banda limitado; sin embargo, esto no es físicamente posible sin inyectar ruido a las frecuencias adyacentes (señales de banda lateral) como se muestra en la figura 4.3. La cantidad y la naturaleza de las señales de banda lateral creadas durante la transmisión están determinadas por lo que se llama máscara de transmisión del transmisor. Las señales de la banda laterales deben ser consideradas cuando se evalúa la interferencia entre sistemas inalámbricos compartiendo la misma banda de frecuencia. Además los filtros de los receptores no pueden ser perfectamente rectangulares, esto quiere decir que el filtro no puede diferenciar con precisión entre señal y ruido justo dentro y fuera del pasabanda. El impacto combinado de estas máscaras del transmisor y el receptor es lo que se conoce como adjacent channel interference (interferencia del canal adyacente)

Bluetooth y Wi-Fi Casos de Interferencia

Si Bluetooth y Wi-Fi operan al mismo tiempo en la misma banda de frecuencia, ellos van a interferir (colisionar) el uno con el otro. Específicamente, estos sistemas transmiten en frecuencias solapadas (incluyendo el efecto de las bandas laterales), creado ruido de color en la banda de uno y del otro. La interferencia entre Bluetooth y Wi-Fi ocurre cuando cualquiera de los siguiente es verdad:

- Un receptor Wi-Fi siente una señal Bluetooth al mismo tiempo que una señal Wi-Fi esta siendo enviada hacia el. El efecto es más pronunciado cuando la señal Bluetooth esta dentro los 22 MHz ancho pasabanda del receptor Wi-Fi.

- Un receptor Bluetooth siente una señal Wi-Fi al mismo tiempo que una señal Bluetooth esta siendo enviada hacia él; el efecto es más pronunciado cuando una señal Wi-Fi esta dentro de la pasabanda del receptor Bluetooth.

Vale la pena notar que ni Bluetooth ni Wi-Fi fueron diseñados con mecanismos específicos para combatir la interferencia que uno crea en el otro. Como un sistema de salto rápido en frecuencia (fast frequency-hopping), Bluetooth asume que va a saltar lejos de canales malos, minimizando su exposición a la interferencia. La capa MAC de Wi-Fi, la cual esta basada en el protocolo de Ethernet, asume que varias estaciones comparten el mismo medio, y en consecuencia, si una transmisión falla, es porque dos estaciones Wi-Fi intentaron transmitir a la vez. Mas adelante examinaremos como esta suposición conlleva al comportamiento del sistema que empeora el impacto de la interferencia de Bluetooth.

Medición de Interferencia

Antes de entrar de lleno en los detalles de los diversos mecanismos de interferencia, vale la pena dar unas pequeñas medidas que demuestran la potencial magnitud del problema de la interferencia en un escenario de uso consistente con operación simultánea (Sim-OP).



Fig. 4.4 Geometría del ambiente de medición

Ambiente de medición

La geometría del ambiente de mediciones se muestra en la figura 4.4 La configuración fue prevista para ser representada de una laptop (un dispositivo que frecuentemente necesita Sim-OP) equipado con red inalámbrica y Bluetooth interactuando simultáneamente con un punto de acceso (AP) y otro nodo Bluetooth. Los nodos participantes en las medidas están descritos en la tabla 1. Los links entre estos nodos son descritos en la tabla 2. La principal variable en estas medidas es la distancia entre la laptop y el AP.

Tabla 1. Nodos Participando en el Ambiente de Medición		
Nodo	Tipo	Nivel de potencia
LT1	WLAN Punto de acceso.	30 mW
LT2	WLAN estacion/cliente.	30 mW
BT1	BT maestro. Laptop.	1 mW
BT2	BT esclavo. Laptop.	1 mW

Tabla 2. Tipos de links usados en la Simulación		
Link	Distancia	Tipo de Link
BT1 - BT2	10 metros	DH5 (maestro -> esclavo)
LT2 - BT1	10 centímetros	ningún dato de "usuario" es intercambiado, sin embargo estos nodos pueden "colaborar" para manejar interferencia entre los otros links
LT2 - BT2	10 metros	No hay comunicación.
LT1 - LT2	Variable	Tráfico TCP/IP; el tamaño de los paquetes de datos es de 1500 bytes, correspondientes al tamaño del paquete de Ethernet.

Ganymede Chariot (el programa usado por la Wireless Ethernet Compatibility Alliance (WECA) para la certificación de la interoperabilidad IEEE 802.11b, fue utilizado para medir el throughput de Wi-Fi.

Es importante resaltar que las pruebas usando equipo de fabricantes específicos son descritos en este artículo, estos resultados son comunes a través de pruebas de sistemas de diferentes vendedores.

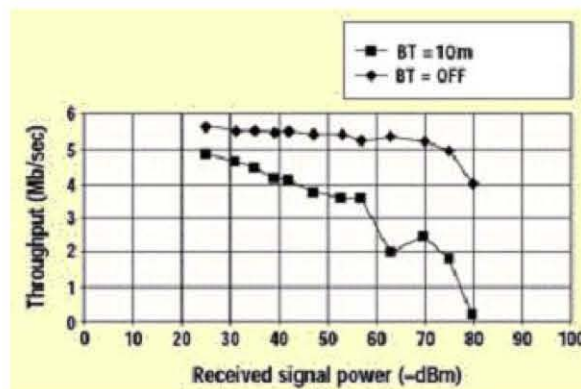


Figura 4.5. Medición del throughput de Wi-Fi en presencia de Bluetooth.

Resultados de la medición

La figura 4.5 presenta dos conjuntos de resultados de la medición que captura el throughput de Wi-Fi como una función de la fuerza de la señal recibida a la estación Wi-Fi (LT2). La línea marcada con el rombo muestra el desempeño de Wi-Fi con el Bluetooth apagado (medida base). La línea marcada con un cuadrado muestra el throughput de Wi-Fi con Bluetooth activo.

En última instancia nuestro interés es comprender el impacto del desempeño de Wi-Fi sobre la distancia. Sin embargo dado que la distancia es altamente dependiente del actual ambiente físico, la fuerza de la señal recibida fue seleccionada. De esta forma los resultados pueden ser extendidos a través de ambientes haciendo medidas simples del nivel de energía físico en vez de tener que reproducir y ejecutar un conjunto de pruebas completo. La tabla 3 muestra un mapeo de la fuerza de la señal recibida a distancia para un ambiente de oficina particular con cubículos. La columna de degradación versus la medida base muestra el porcentaje de reducción de desempeño del link Wi-Fi en la presencia de la interferencia de Bluetooth. La columna de distancia espacio libre (m) muestra la distancia entre los dos nodos Wi-Fi asumiendo pérdida de camino de espacio libre. La columna de distancia y # de paredes

en el cubículo muestra la distancia entre los dos nodos Wi-Fi asumiendo un ambiente de oficina en el cual las paredes de cubículos tienen que ser penetradas.

Tabla 3. Fuerza de la señal recibida vs. Distancia			
Fuerza de la señal recibida (dBm)	Degradación vs. Medida base (%)	Distancia (m) espacio libre	Distancia (m) y # de paredes de cubículo
-25.62	14.33	1	
-31.64	16.26	2	
-35.17	19.23	3	
-39.61	24.01	5	
-42.53	25.11	7	
-46.93	30.11	10	
-52.74	34.29	15	2 m - 1 pared
-56.86	32.60	20	4 m - 2 paredes
-62.67	62.88	30	6 m - 3 paredes
-69.99	53.78	50	8 m - 4 paredes
-74.82	63.63	70	
-79.93	95.50	100	20 m - bajo el corredor; 2 paredes de oficina

Breve discusión de los resultados

En los ambientes medidos, incluso las estaciones Wi-Fi con menos de 5-7 m (espacio libre) desde su AP sufren más del 25% de degradación en throughput. Esta degradación sobrepasa el 50% sobre los 30m. Dentro de un ambiente de oficina con cubículos, el rango asociado con cada nivel de throughput será reducido significativamente. Cuando los cubículos necesitan ser penetrados Wi-Fi pierde cerca de un tercio de su throughput esperado dentro del primer par de metros. Erosión del desempeño en más del 50% ocurre con estaciones a menos de 8 metros de su AP. El foco de este experimento en particular fue en el impacto de Bluetooth en Wi-Fi. Sin embargo, simulaciones subsecuentes van a demostrar que mientras el impacto de Wi-Fi en Bluetooth no es tan significativo como el de Bluetooth en Wi-Fi, problemas de coexistencia pueden degradar sustancialmente el desempeño de la voz en Bluetooth.

Se debe enfatizar que la interferencia entre los sistemas de radio es altamente variable y depende de un número de factores, principalmente a la geometría de los nodos. Dada la naturaleza de la propagación de las ondas de radio y las limitaciones de implementación de diseño de los receptores, es siempre posible construir escenarios que darán degradaciones patológicas de las prestaciones o un desempeño excelente poco realista). El escenario descrito en la discusión anterior, así como también la simulación de los escenarios que siguen, no representan ningún extremo, pero son indicadores de los resultados que llevan a la industria a buscar soluciones.

Simulación de Interferencia

Usando el conocimiento de las características de Bluetooth y Wi-Fi, fue creado un ambiente de simulación para hacer las evaluaciones cuantitativas del impacto mutuo de la interferencia. Esta simulación fue diseñada para reforzar el entendimiento de los mecanismos de interferencia y ayudar a desarrollar y evaluar técnicas de coexistencia de alto impacto.

Descripción de la Simulación. Crearon la simulación con el objetivo de caracterizar el efecto de la interferencia en Bluetooth y Wi-Fi, y para identificar las soluciones que permitirían la

coexistencia y la operación simultánea; su operación es similar al modelo de NIST. El programa modela con exactitud el comportamiento tanto del PHY como del MAC de Bluetooth y de Wi-Fi. De hecho, la mayor parte de los parámetros claves pueden ser cambiados para simular diferentes escenarios.

El escenario típico implica una computadora portátil Sim-OP que interactúa con un punto de acceso Wi-Fi y un nodo Bluetooth. Pueden ser añadidas piconets Bluetooth y estaciones Wi-Fi. Las distancias entre el punto de acceso y la computadora portátil, entre la computadora portátil y el nodo Bluetooth, y entre la computadora portátil y otras piconets Bluetooth pueden ser variadas fácilmente. Wi-Fi data rates y tamaños de paquete, además de los modos de operación de Bluetooth, pueden ser definidos y variados.

Configuración y Calibración del escenario. Para maximizar la credibilidad de los resultados de la simulación, esta fue calibrada con los datos de las mediciones. Una vez que los parámetros apropiados son puestos en la simulación, las proyecciones exactas del comportamiento de los sistemas modelados pueden ser producidas y variadas sobre escenarios adicionales. Como con los datos medidos, y en cada escenario simulado, la distancia varía entre el punto de acceso y la estación Wi-Fi. El objetivo del primer escenario era simplemente reproducir los resultados obtenidos por el experimento real como un modo de validar el sistema de simulación. La distancia de la estación Wi-Fi (STA) al nodo Bluetooth colocado está fijada en 10 cm. El nodo Bluetooth complementario es localizado a 1 m.

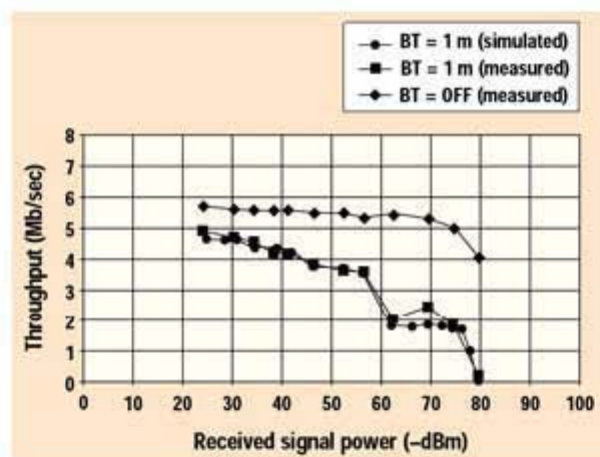


Fig 4.6 Resultados de la simulación

Escenarios de la Simulación. Después del establecimiento de una base, fueron cambiados parámetros adicionales para entender el efecto de varios parámetros claves. En particular, las simulaciones fueron realizadas con un aumento en la intensidad de la actividad Bluetooth (de DH5 A SCO HV1), se añadieron más piconets Bluetooth, y se aumentó el poder de transmisión Wi-Fi de 30 a 100 mW.

Resultados de la Simulación.

- Impacto de SCO: En la gráfica se observa que en el rango de -40 a -50 dBm, el rendimiento de Wi-Fi cae alrededor de 2 Mb/segs, representando una reducción del 80 % del rendimiento dentro de los primeros 10m del punto de acceso.
- Piconets adicionales: Se desarrolló un escenario para representar cuatro computadoras portátiles equipadas con Wi-Fi y Bluetooth en una sala de conferencias o en cubículos adyacentes donde las estaciones son puestas en orden alrededor de una esquina común compartida. En este escenario, DH5 Bluetooth(paquete ACL) es usado para toda la piconet, y el rendimiento Wi-Fi es medido en una sola estación.

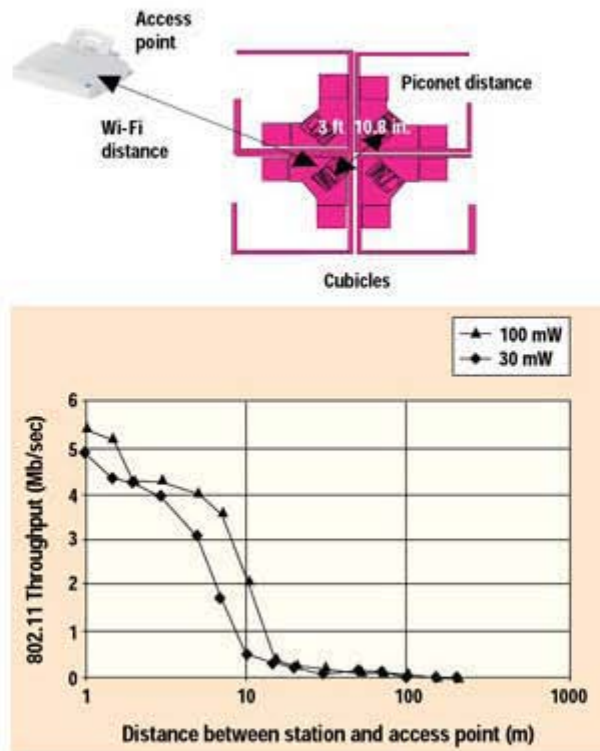


Figura 4.7 Gráfica de decaimiento de transferencia de datos entre la estación y el punto de acceso.

- Efecto de Wi-Fi sobre Bluetooth: Es también importante examinar la degradación del funcionamiento de Bluetooth en el ambiente Wi-Fi.

Como el sistema Wi-Fi se parece a un jammer de banda ancha al nodo Bluetooth, uno esperaría ver fallos de paquete de voz ocurrir más o menos al azar hasta que el punto de acceso esté suficientemente alejado (es decir, aumento en la proporción señal-ruido) para dejar al efecto de captura bloquear la interferencia. Como el receptor Bluetooth es no lineal, esta transición debería ocurrir bruscamente, y la simulación indica que esto hace. También es interesante notar que los ACKs relativamente cortos (<150 microsegundos) en la estación no parecen causar la pérdida severa de paquetes. Sin embargo, los paquetes de Ethernet mucho más largos del punto de acceso realmente causan la pérdida de paquete Bluetooth.

CAPÍTULO 5

Evolución de los resultados

Calidad del sistema

La tecnología Bluetooth esta ideada para utilizarse como una interfaz uniforme para todo tipo de fuentes de información de personas y de este modo se espera poder transferir datos personales sensibles. La seguridad de los datos es por tanto una cuestión lógicamente muy importante.

El acceso a los dispositivos Bluetooth empleados como transmisores y receptores en este proyecto a los usuarios públicos puede ser restringido. Esto exige que se proporcionen procedimientos de autenticación a tres niveles: lo que uno sabe (contraseña, frase de paso, respuesta a pregunta específica, etc), lo que uno lleva (llave hardware USB, tarjeta inteligente, etc.). Como el canal utilizado es inalámbrico y los paquetes que se transmiten son puestos a disposición de todos los miembros de una "piconet", las comunicaciones de inicialización de seguridad no deberían enviar nada de información que pueda permitir que un dispositivo no autorizado sepa las claves de autenticación.

Además los mecanismos deberían ser apropiados para entornos entre correspondientes ("peer-to-peer"). Los métodos adoptados por los estándares Bluetooth tienen en cuenta algunas de dichas cuestiones.

El esquema utilizado se denomina "esquema de desafío respuesta". La aplicación puede cifrar sus datos por seguridad. Esto puede añadir seguridad a los datos pero la autenticación se basa en procedimientos de nivel de enlace ya que puede ser algo mas difícil en el nivel de aplicación.

Identificación de procedimientos de seguridad

Los procedimientos de seguridad utilizan cuatro valores: dirección del dispositivo (que es pública, de 48 bits), una clave de autenticación privada de 128 bits, una clave de cifrado privada configurable de 8 a 128 bits y un número aleatorio de 128 bits. Puesto que las claves deben ser secretas no se pueden obtener bajo petición. El procedimiento de seguridad requiere un PIN (Personal Identifier Number) secreto conocido por el usuario (o almacenado por su aplicación) para poder acceder a un dispositivo concreto. Los principales pasos de este procedimiento son:

- 1) Se genera una clave de inicialización utilizando el PIN, la longitud del PIN, un número aleatorio y la dirección del dispositivo móvil Bluetooth. La dependencia de la dirección de dispositivo hace más difícil el posible ataque por parte de dispositivos fraudulentos que intenten probar un gran número de PINs ya que cada uno se debe probar con diferentes direcciones de dispositivo.
- 2) Se realiza un procedimiento de autenticación utilizando el esquema de desafío respuesta. La unidad de verificación envía un número aleatorio generado por un proceso específico para la autenticación. Este número aleatorio es tal que un dispositivo que trata de conectarse que posee la clave de inicialización correcta (o una clave de enlace, si el dispositivo ha intercambiado durante una comunicación anterior) y la dirección del dispositivo requerido podrá producir un número de respuesta que lo conoce el verificador. Este número de respuesta se devuelve y lo comprueba el verificador.
- 3) El dispositivo que trata de conectarse también puede realizar una comprobación en el verificador utilizando un procedimiento similar.
- 4) Cada unidad Bluetooth posee una clave de unidad instalada en su memoria no volátil. El dispositivo utiliza la clave de inicialización para cifrar esta clave de unidad y la envía a los demás dispositivos que la descifran utilizando la clave de inicialización intercambiada anteriormente.

5) El segundo dispositivo puede añadir su propia clave de unidad a la clave de unidad del primer dispositivo y genera una clave de enlace combinada si ambos dispositivos pueden gestionarlo. En caso contrario la clave de unidad de uno de los dispositivos se trata como la clave de enlace. La clave de enlace se comunica al primer dispositivo. La clave de inicialización se descarta.

6) Una clave de cifrado se genera a partir de la clave de enlace, un número aleatorio y otro número obtenido a partir de un procedimiento prefijado. Ambos dispositivos pueden generar esta clave de cifrado ya que toda la información requerida la conocen ambos dispositivos. Esta clave con cierta modificación se utiliza para cifrar datos de usuario.

7) La clave de enlace se memoriza. Si se establece otro enlace entre los dos dispositivos posteriormente, esta clave de enlace puede utilizarse directamente. Esto elimina la necesidad de enviar de nuevo claves sobre el canal. De este modo, los datos pueden transmitirse con cierta protección con el mínimo de interacción con el usuario. La clave utilizada para autenticación será diferente de la utilizada para cifrar. La clave de autenticación normalmente no se cambiará para un enlace después de establecerse en una sesión, que es la duración de pertenecer a una "piconet". Puede incluso almacenarse para futuros enlaces, de este modo evita que el usuario introduzca de nuevo el PIN para acceder a dispositivos para los que ha sido autenticado una vez. Esta clave se denomina clave de enlace. La clave de cifrado se genera para cada nuevo enlace con lo que se aumenta el nivel de seguridad.

Consideraciones Finales

Los datos comunicados pueden tener que cifrarse o el acceso al dispositivo puede tener que restringirse proporcionando un punto de autenticación.

Ambas funciones las proporciona la tecnología Bluetooth (en la capa 2 de la pila de protocolos Bluetooth denominada "banda base" (esta capa se encarga del cifrado de nivel más bajo para enlaces seguros y proporciona las secuencias de salto de frecuencia y dos tipos de enlaces: SCO (Synchronous Connection Oriented) y ACL (Asynchronous Connectionless)), por debajo se sitúa la capa 1, la más baja, denominada "radio" (utiliza comunicación de espectro expandido, emplea codificación CVSD para la voz) y por encima de la capa 2 figuran las capas 3, 4, 5, 6 denominadas LMP (Link Manager Protocol), HCL (Host Controller Layer), L2CAP (Logical Link Control and Adaptation Protocol), TCS (Telephony Control protocol Specification; para el control de llamadas y señalización de canales de voz sobre Bluetooth) – SDP (Service Discovery Protocol; ayuda a los dispositivos a descubrir qué servicios existen disponibles en las proximidades) - RFCOMM (es un emulador del puerto serie sobre enlaces inalámbricos) y la capa superior 7 denominada "aplicaciones" (que utiliza protocolos como FTP, PPP, WAP, etc.). Las tres capas más bajas se implementan en hardware / firmware). La aplicación puede cifrar sus datos para aumentar el nivel de seguridad. Estos procedimientos utilizan cuatro valores: la dirección del dispositivo que es pública, una clave privada de autenticación de 128 bits, una clave privada de cifrado de 8 a 128 bits configurable y un número aleatorio.

Los procedimientos de seguridad requieren de un PIN secreto que lo conozca el usuario o lo almacene su aplicación para acceder a un determinado dispositivo. Las funciones básicas de la capa LMP son la gestión de la "piconet", la configuración del enlace y las funciones de seguridad. Una "piconet" es un grupo de dos o más dispositivos o unidades Bluetooth conectadas a un canal común (que se identifica con su secuencia de salto único). Uno de los dispositivos, normalmente el que primero inicia la conexión es el "maestro" y los otros son los "esclavos". Los dispositivos de una "piconet" se comunican utilizando enlaces SCO síncronos para voz y asíncronos ACL para datos. El canal compartido lo gestiona el maestro con ayuda de los gestores de enlace de cada dispositivo. Una "scatternet" es una combinación de "piconets" con uno o más dispositivos comunes a las "piconets" (estos dispositivos de enlace entre "piconets" presentan a la vez las dos funcionalidades de maestro y esclavo).

Estos dispositivos de enlace pueden ser parte de varias "piconets" a la vez. Si el punto de acceso restringe su acceso a un conjunto concreto de usuarios o bien ofrece comunicaciones

en modo seguro a personas que tienen algún tipo de registro, entonces el punto de acceso enviará una petición de seguridad. Esta tendrá éxito si el usuario conoce el código PIN correcto para acceder al servicio.

El PIN no se transfiere sobre el canal inalámbrico vulnerable sino otra clave generada a partir del PIN de modo que dicho PIN es difícil de que se vea comprometido. El cifrado estará implicado si se utiliza el modo seguro. Tras lo expuesto es evidente la necesidad de complementar los mecanismos de seguridad ofrecidos por el estándar desde las perspectivas de la confidencialidad, integridad, autenticación, no repudio, control de acceso, auditoría, etc. para el intercambio de datos sensibles entre dispositivos bluetooth por ejemplo implantando criptografía de clave pública y PKI (Infraestructura de clave pública).

Conclusiones.

La interferencia y superposición de ondas vibratorias que actúan sobre la frecuencia natural de una estructura la debilitan e incluso dañan con posibilidad de consecuencias catastróficas en algunos casos

Se desarrolló un sistema electrónico de bajo costo y alta eficiencia para la medición del efecto vibratorio en una base o soporte fijos.

El diseño del sistema resulta en la práctica de sencilla implementación y sin ninguna variación en cualquier medio ambiente o temperatura dentro de la república mexicana ya que las temperaturas extremas de funcionamiento (0°C a 70°C), de esta manera podemos ubicar uno de nuestros dispositivos en cada puente de la república para generar una red de información puntual accesible en cualquier instante.

Mediante la tecnología inalámbrica Bluetooth y WiFi, nuestro sistema se convierte en toda una solución integral libre de cables que puedan deteriorarse por el tiempo e inclemencias del clima y medio ambiente.

Dados los protocolos de seguridad que nos proveen Bluetooth y WiFi, ofrecen al desarrollador y usuario del sistema la garantía de confidencialidad y protección de sus datos, así como el envío y fácil manejo de los mismos al ser enviados por internet de manera inmediata y protegida para su posterior análisis y almacenamiento en un servidor central que permanece conectado y arrojando la información de manera constante y permanente.

Queda abierta la posibilidad abierta dada la naturaleza de nuestro diseño, para implementar este sistema de modo portátil con pocket pcs bajo ambiente windows y aplicaciones java, haciendo de este modo que nuestra recopilación de datos no requiera una estación terrestre sino simplemente una persona que recabe los datos periódicamente cubriendo así una ruta diaria de recorrido.

Se simuló la transmisión de datos bluetooth obteniendo resultados satisfactorios para un rango de distancia de hasta 100 metros, aunque calibramos y fijamos la distancia en el software a 10 metros por así requerirlo nuestro sistema.

Finalmente, logramos probar el sistema con resultados satisfactorios y un muy bajo y casi nulo margen de error en el dispositivo de medición y nulo en la transmisión por los estándares bluetooth, haciendo de esta manera que la introducción de esta tecnología a nuevas aplicaciones sea cada vez mas accesible en un futuro cercano.

Bibliografía

R.C. Hibbeler. Engineering Mechanics. Statics and Dynamics. Prentice Hall. Edición: 7ª. 1995. EUA.

R. F. STEIDEL JR, Introducción al estudio de las vibraciones mecánicas, Editorial Continental, México 1991.

Measurement Systems Application and Design, Ernest Doebelin; Mc Graw Hill
R. F. STEIDEL JR, Introducción al estudio de las vibraciones mecánicas, Editorial Continental, México 1991.

Reglamento sobre el peso, dimensiones y capacidad de los vehículos de autotransporte que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal. Diario Oficial de la Federación, México, D.F. 4 de septiembre de 1995.

Rabiner; Gold: "Theory and applications of digital signal processing", Prentice-Hall, 1975.
Hernando: "Transmisión por línea y redes", Servicio Publicaciones ETSI Telecomunicación, Madrid, 1991.

Return Systems for Hybrid Fiber/Coax Cable TV Networks - Donald Raskin & Dean Stoneback - Prentice Hall PTR – ISBN 0-13-636515-9 – 1998

S. Haykin, "Communication Systems", Third Edition, John Wiley & Sons, 1994.

<http://www.cofetel.gob.mx>

G.P. Agrawal "Fiber optic Communication Systems" John Wiley & Sons, 1997

R. Gagliardi, "Introduction to Communication Engineering", Wiley.

Jasik, "Antenna Engineering Handbook".

Fink, "Electronics Engineers' Handbook".

THOMPSON, WILLIAM T., Teoría de vibraciones, Editorial Prentice Hall, Colombia 1982.

R. F. STEIDEL JR, Introducción al estudio de las vibraciones mecánicas, Editorial Continental, México 1991.

<http://www.national.com/appinfo/ad/>

Manual de usuario Promi-SD, Editado por Intium, Reino Unido, 2005

Pallas – Areny, R. (1993), *Adquisición y distribución de señales*. Ed. Marcombo, 1993.

Pallas – Areny, R. *Sensores y acondicionadores de señal*. Ed. Marcombo, 1994.

Norton, H.N. *Handbook of transducers*. Ed. Prentice Hall, 1989.

D.O. Pederson & K. Mayaram. *Analog Integrated Circuits for Communication: Principles, Simulation and Design*. Ed. K.A.P., 1991.

Lloyd, T.L. *Basic operational amplifiers and linear integrated circuits*. Ed. Merrill (Macmillan Publishing Company), 1994.

L.D. Jones, A.F. Chin. *Electronic Instruments and Measurements*. Ed. Prentice – Hall International Editions, 1991.

E. Mandado, P. Mariño, A. Lago. *Instrumentación electrónica*. Ed. Marcombo, 1995.

Roland E. Best. *Phase – Locked Loops: Theory, Design and Applications*. 2nd Ed. McGraw – Hill, 1993.

W.D. Cooper, A.D. Herfrick. *Instrumentación Electrónica Moderna y Técnicas de Medición*. Ed. Prentice – Hall Hispanoamericana S.A., 1991.