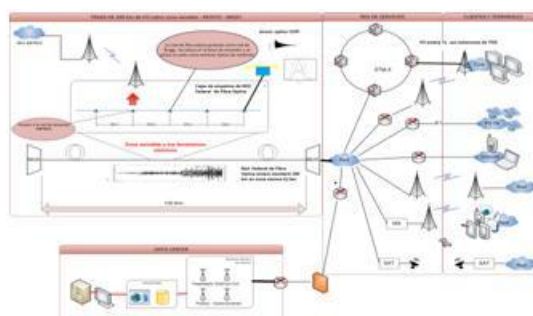




MAESTRÍA EN INGENIERIA DE TELECOMUNICACIONES



REDES ÓPTICAS COMO SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE SISMOS. (R.O.S.A.T.S)



Autor: Ing. MIGUEL ANGEL IBAÑEZ

Director de Tesis: Dr. RICARDO DUCHOWICZ (CIOp - U.N.L.P.)

Versión 10.

2012

AGRADECIMIENTOS:

A las autoridades de Rep. Argentina en su Presidenta Dra. Cristina Fernández de Kirchner por haber aprobado el plan de despliegue de Red Federal de Fibra Óptica que permitió elaborar esta tesis como un proyecto básico y sencillo aporte que, seguramente se sumaran otros y permitirán en conjunto ampliar el proyecto "Argentina Conectada", mejorando de manera irreversible las telecomunicaciones en la Rep. Argentina, con impacto social en el hoy y fundamental para las nuevas generaciones de argentinos del siglo XXI.

A las autoridades y personal de Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES), ARSAT SA, Universidad de la Plata (UNLP), Centro de Investigaciones Ópticas (CIOp) y Comisión Nacional de Telecomunicaciones (C.N.C), por el aporte de información.

A diferentes actores relevantes del rubro óptico/educación en Latinoamérica como ser; FTTH Council G. Guitarte y E. Jedruck, Telcon- Prysmian Group, Sr. S. Ragusa, IDETEL C. Marín, FOETRA O. Iadarola, UTN BA Ing. G. Oliveto y Legatel SA Ing. G. Stefanolo por su interés y apoyo constante para realizar estudios y desarrollos de nuevas tecnologías en telecomunicaciones.

Para mis maestros en las diferentes universidades por escuchar y guiar mis consultas "infinitas", demostrando que la curiosidad es lo primero que debe incentivar un profesor. Mi reconocimiento y asegurar que su ejemplo lo practico y transmito en todas mis tareas y confío en mis alumnos que también lo realizarán.

A todos los estudiantes, amigos y colegas de Argentina y Latinoamérica que brindaron su apoyo desde hace tiempo en los diferentes proyectos de redes ópticas que he participado. Mi reconocimiento y agradecimiento por estar allí, siempre y compartir la pasión por las telecomunicaciones por lo cual han participado de manera directa o indirecta en la realización de esta propuesta.

Para mis padres, José y "Pepa" por su infinito amor y paciencia. A mis hijos, Florencia, Javier y Alejo, fuente de amor diario, no hay palabras solo un sentimiento de agradecimiento por la felicidad de verlos crecer bien, apoyándome en cada proyecto con interés y curiosidad.

Ing. Miguel Angel Ibañez.
Mat Copitec Nro. 2693
Agosto 2012.

RESUMEN

Las redes de telecomunicaciones ópticas fueron desarrolladas en miles de kilómetros en la Republica Argentina por las empresas dominantes en el rubro entre 1993 y 2003, orientadas principalmente a enlaces de transporte entre ciudades de alto PBI, atractivas económicamente. En el año 2010 el Gobierno nacional lanza el proyecto "Argentina Conectada" que incluye la construcción de la "Red Federal de Fibra Óptica" que cubrirá mas de 40.000 km abarcando la mayor parte del territorio y brindará un vinculo de alta velocidad, baja latencia y con alta seguridad por disponer desde su diseño redundancia de caminos físicos en fibra óptica y no emplear sistemas de radio en este "Backbone Óptico Nacional".

En paralelo con el desarrollo de las telecomunicaciones anteriormente descrito en Argentina se producen sismos y fenómenos naturales en varios lugares del mundo de alto impacto en términos de perdidas de vidas humanas y destrucción material. Solo basta con recordar el último evento ocurrido en la región del 27 de febrero de 2010 que afecto a Chile, que por la violencia y velocidad generó un desastre de proporciones. En la Republica Argentina se recuerda los sismos de San Juan 1944 y Cauce 1980 con nula advertencia previa a la población de esa provincia y que, de repetirse en la zona podría contar hoy con un "sistema de alerta de aviso temprano", automático y masivo en los sistemas de comunicaciones como ser; celular, TDA, TV que brindaría mayor oportunidad para sobrevivir a los habitantes de la zona afectada y disminuir daños al poder realizar acciones de corte de emergencia de servicios como ser; gas, electricidad, combustible, etc.

En el contexto anterior, el presente trabajo presenta, analiza y propone de manera innovadora utilizar -con mínimo costo adicional- las redes de transporte ópticas de telecomunicaciones que se construyen actualmente en todo el país (REFEFO), como una red de alerta temprana de sismos, agregando así valor al proyecto inicial "Argentina Conectada", como sugiere UIT en su documento "Tendencias en las reformas de Telecomunicaciones 2012", (1), incorporando sensores ambientales también ópticos y de fabricación nacional (UNLP-CIOP) e integrando a los actuales sistemas sísmicos gestionados por INPRES (Instituto Nacional de Estudio de Sismología) que se encuentran distribuidos (cantidad 150 aprox) sensores conectados por radio pasando a disponer potencialmente mas de 1500 de medición sobre enlaces ópticos de REFEFO (menor costo de instalación y mantenimiento que actuales por radio) coincidiendo con los sectores descritos en el actual mapa de sismicidad argentino, estableciendo una red moderna óptica de alta seguridad de alerta temprana ante desastres naturales que interactúe/avise a los habitantes del territorio por los diferentes terminales de telecomunicaciones, como ser: celular/SMS/TDA/TV/CCTV/radio/terminales específicos como skyalert/etc y también con conexión a naciones aledañas, conformando en etapas una "malla de aviso temprano de sismos de Sudamérica".

(1) Capitulo 2, "Creación de Planes nac sobre banda Ancha", Cuadro 1, ítem 2 Metas y Objetivos /Países en desarrollo/ "metas y Objetivos mas sofisticados..."

INDICE

1.- INTRODUCCIÓN.....	9
2.-ESTADO DE LA TECNOLOGIA.....	19
2.1 REDES OPTICAS DE TRANSPORTE Y ACCESO: PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO, TOPOLOGIAS CONSTRUCTIVAS Y MATERIALES ASOCIADOS.....	20
2.2 REDES OPTICAS DE TRANSPORTE: PROYECTO RED FEDERAL DE FIBRA OPTICA (REFEFO).....	40
2.3 RED NACIONAL DE ESTACIONES SISMOLOGICAS ARGENTINA.....	51
2.4 SISTEMA SCADA DE RELEVAMIENTO Y CONTROL DE VARIABLES MULTIPLES APLICADO A REDES OPTICAS.....	67
2.5 SENSORES AMBIENTALES OPTICOS Y SUS APLICACIONES.....	72
3.- HIPOTESIS DEL TRABAJO.....	77
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	79
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	79
3.3 ALCANCE.....	80
4.- SOLUCION PROPUESTA.....	81
4.1 COMPARACION DE RED NACIONAL DE SISMOGRAFICA ARGENTINA Y RED FEDERAL DE FIBRA OPTICA PROYECTADA PARA TELECOMUNICACIONES.....	83
4.2 CONVERGENCIA TECNOLOGICA ENTRE LA REFEFO Y RED EXISTENTE DE ESTACIONES SISMOLOGICAS. DEFINICION DE USO RED DE TRANSPORTE (REFEFO) COMO DETECTOR Y TRANSPORTE EN FUNCIÓN DE ZONAS DE RIESGO SISMICO (PRIORIDADES).....	87
4.3 CONVERGENCIA TECNOLOGICA CREANDO RED DE AVISO TEMPRANO DIRECTO A LOS HABITANTES (INTERNET, CELULAR SMS, TDA, CATV, RADIOS,)....	87
4.4 MODELO DE CONVERGENCIA-INTEGRACION DE REDES OPTICAS -PROPUESTA- DETALLE DE MONTAJE BASICO.....	92
4.4.1 Gráfico del esquema propuesto "ROSATS" desde el detec op-Tx FO -al nodo.....	93
4.5 ANALISIS IMPACTO SOCIO-ECONOMICO DE LA IMPLEMENTACION DE LA PROPUESTA.....	94
5.- SENSORES OPTICOS.....	95
5.1 INTRODUCCION.....	96

5.2 PARAMETROS PRINCIPALES.....	97
5.3 DISEÑO DE SENSORES. ANALISIS.....	98
5.4 DESARROLLO DEL SENSOR DE VIBRACIONES PARA EL MONITOREO DE SISMOS.....	115
CASO 1: SENSOR FIZEAU.....	116
CASO 2: REDES DE BRAGG (FBG).....	120
GRABADO REDES DE BRAGG.....	122
5.5 ENSAYOS REALIZADOS EN LABORATORIO (CIOP)	
5.5.1 CONSTRUCCION DEL SENSOR.....	126
.....5.5.2 DETERMINACIÓN DEL GRADO DE SENSIBILIDAD.....	128
5.5.3 DETERMINACIÓN DE RANGO DE TRABAJO DEL SENSOR OPTICO.....	129
5.6 RESULTADOS DE ENSAYOS DE SENSORES OPTICOS.....	129
 6.- CONCLUSIONES	 131
 7.- FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACION.....	 135
 8.- BIBLIOGRAFIA.....	 139
 9.- ANEXOS I	 143
10.1 FENÓMENOS SÍSMICOS.....	144
10.2 MEDIOS DE ESTUDIO DE LA SISMOLOGIA.....	146
10.3 ESCALAS DE MAGNITUD - INTENSIDAD.....	147
10.4 PREDICCIÓN DE TERREMOTOS.....	150
 10.- ANEXOS II.....	 153
10.1 ANILLO DE FUEGO.....	154
10.2 PLACAS TECTONICAS.....	156
10.3 UBICACIÓN GEOGRAFICA CASO JAPON.....	158
10.4 UBICACIÓN GEOGRAFICA CASO CHILE.....	159
10.5 EL ENTORNO DE LOS SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA EN LA GESTION PARA LA REDUCCION DE RIESGOS.....	159
10.6 DIFUSION DE ALERTAS.....	161
10.7 SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA EN EL MUNDO.....	166
 11.- ANEXOS III	 177
11.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS PRINCIPIOS DE TRANSMISIÓN SOBRE FIBRA ÓPTICA.....	178

1 - INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCION

Durante los últimos años y en toda la cronología de nuestro tiempo, han ocurrido una serie de múltiples eventos vinculados a desastres naturales que han dado sobradas muestras del poder de la naturaleza y que cuando se producen estos, nos recuerdan el bajo poder reactivo que tiene el ser humano frente a esa presencia.

La vida del hombre que desde los tiempos más remotos, ha experimentado inundaciones, la fuerza de los huracanes y tornados, la violencia de las erupciones volcánicas y de los terremotos, año tras año, los desastres naturales traen como consecuencia un mayor número de pérdidas humanas y materiales. Las causas de este aumento en las pérdidas están relacionadas con el mayor número de población mundial, la creciente urbanización y concentración de personas, el tipo de actividades económicas, el asentamiento de la población en lugares de riesgo y la falta de redes de aviso temprano de siniestros naturales que demandan emplear interconectadas nuevas tecnologías en informática telecomunicaciones.

En el caso específico de sismos, cada año hay varios millones de sismos en el mundo, los cuales en gran porcentaje ocurren en áreas despobladas, algunos miles son registrados por los sismógrafos a lo largo y ancho del mundo, algunos cientos son percibidos por la población general, algunas decenas provocan daños en ciudades (población o construcciones), menos de una decena son de magnitud suficiente como para ser considerados mayor a 8 en la escala de Richter, la mayoría ocurrirá dentro del "Anillo de Fuego" (ver anexo 10.1) y no existe ningún lugar en el planeta que se pueda considerar completamente libre de sismos aunque en la Antártida registra pocos y de baja magnitud.

A continuación, como contexto de la tesis, presentamos una breve narración de los terremotos que marcaron su paso en los últimos tiempos, casos:

- ✓ Japón 2011,
- ✓ Chile 2010 y
- ✓ Argentina 1944.

JAPON.

- ✓ El gran terremoto de Japón Oriental del 2011^(ver Anexo 10.3), en la región de Tōhoku, fue de magnitud 9,0 M_W [1], alcanzando una intensidad de IX [2] en la escala de Mercalli, el cual desencadenó olas de maremoto de hasta 40,5 metros y este ocurrió a las 14:46:23 hora local (05:46:23 UTC^[3]) del viernes 11 de Marzo del presente año. El epicentro del terremoto se ubicó en el mar, frente a la costa de Honshu, 130Km al este de Sendai. En un primer momento se calculó su magnitud en 7,9 M_W que fue posteriormente incrementando a 8,8 M_W , después a 8,9 M_W según los registros del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Llegando finalmente a 9.0 M_W , confirmado por la Agencia Meteorológica de Japón y el USGS con un tiempo aproximado de 6 minutos.

El Servicio Geológico de Estados Unidos explicó que el terremoto ocurrió a causa de un desplazamiento en proximidades de la zona de la interface entre placas de subducción [4] entre la placa del Pacífico y la placa Norteamericana. Dos días antes, este terremoto había sido precedido por otro temblor importante, pero de una menor magnitud, ocurrido el miércoles 9 de marzo de 2011, a las 02:45:18 UTC en la misma zona de la costa oriental de Honshū, y que tuvo una magnitud de 7,2 M_W , a una profundidad de 14,1Km. También ese día las autoridades de la Agencia Meteorológica de Japón dieron una alerta de maremoto, pero sólo local, para la costa este de ese país. El 1ro de Febrero entro en actividad el volcán Shinmoe en la provincia de Miyazaki, todo esto indica un reactivamiento de la tectónica previa al terremoto.

La magnitud de 9,0 M_W lo convirtió en el terremoto más potente sufrido en la historia de Japón hasta la fecha y el cuarto más potente del mundo.

Cuadro 1. Datos del terremoto y tsunami de Japon	
FECHA	11 de Marzo del 2011
TIPO	Falla inversa interplacas (Pacífica, Norteamericana)
MAGNITUD	9,0 M_L (Escala sismológica de Richter)
	9,0 M_W (Escala sismológica de magnitud de momento)
INTENSIDAD	IX Mercalli
PROFUNDIDAD	32 Km
DURACION	6 min.
ZONAS AFECTADAS	Japon y Cuenca del Pacifico
VICTIMAS	15.836 muertos, 3.650 desaparecidos y 5.948 heridos

Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS)

[1] Escala sismológica de magnitud de momento, es una escala logarítmica usada para medir y comparar sismos; basada en la medición de la energía total que se libera en un terremoto.

[2] Escala Sismológica de Mercalli, es una escala de 12 grados desarrollada para evaluar la intensidad de los terremotos a través de los efectos y daños causados a distintas estructuras.

[3] Tiempo universal coordinado, es el tiempo de la zona horaria de referencia respecto a la cual se calculan todas las otras zonas del mundo.

[4] La subducción de placas, es un proceso de hundimiento de una placa litosférica bajo otra en un límite convergente, según la teoría de tectónica de placas.

Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS)

CHILE.

- ✓ El terremoto de Chile de 2010 fue un sismo ocurrido a las 03:34:14 hora local (UTC-3), del sábado 27 de febrero de 2010, que alcanzó una magnitud de 8,8 M_w . El epicentro se ubicó en el mar chileno, frente a las localidades de Curanipe y Cobquecura a 150Km al noroeste de Concepción (ver Anexo 10.4), a una profundidad de 30,1Km bajo la corteza terrestre. El sismo, tuvo una duración de 3 minutos 25 segundos, al menos en Santiago. Fue percibido en gran parte del Cono Sur con diversas intensidades, en lugares como Buenos Aires y São Paulo por el oriente.

En las regiones del Maule y el Biobío, el terremoto alcanzó una intensidad de IX en la escala de Mercalli, arrasando con gran parte de las ciudades como Constitución, Concepción, Cobquecura y el puerto de Talcahuano. En las regiones de La Araucanía, O'Higgins y Metropolitana, el sismo alcanzó una intensidad de VIII provocando importante destrucción en la capital, Santiago de Chile, en Rancagua y en las localidades rurales. Un fuerte tsunami impactó las costas chilenas como producto del terremoto, destruyendo varias localidades ya devastadas por el impacto telúrico.

Las víctimas fatales llegaron a un total de 525 fallecidos, cerca de 500 mil viviendas están con daño severo y se estiman un total de 2 millones de damnificados, en la peor tragedia natural vivida en Chile

Cuadro 2. Datos del terremoto y tsunami de Chile	
FECHA	27 de Febrero del 2010
TIPO	Falla inversa interplacas (Nazca, Sudamericana)
MAGNITUD	8,8 M_w (Escala sismológica de magnitud de momento)
INTENSIDAD	IX Mercalli
PROFUNDIDAD	30,1 Km
DURACION	3 min 25 seg.
ZONAS AFECTADAS	Regiones de Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins, Maule, Biobío y La Araucanía, Chile
VICTIMAS	525 muertos y 25 desaparecidos

Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS)

ARGENTINA.

- ✓ El terremoto de San Juan se produjo el día 15 de enero de 1944 a las 20:50 hora local, alcanzando una magnitud 7,8 grados de la Escala Richter, con una magnitud de ondas superficiales de 7,4 M_s [5] y una intensidad máxima de IX en la escala de Mercalli. El epicentro fue ubicado a 20 Km al Norte de la Ciudad de San Juan, en la localidad de La Laja, departamento Albardón, a una profundidad de 30 Km.

La zona de máxima intensidad fue propagándose y abarcó aproximadamente 200 Km². También ocasionó daños en Mendoza, especialmente en el departamento Las Heras. El sismo fue percibido en las ciudades de Córdoba y Buenos Aires.

El terremoto destruyó casi por completo la Ciudad de San Juan, donde se puede afirmar que los efectos desastrosos del sismo se debieron; no sólo a la violencia del movimiento telúrico, sino también a las edificaciones precarias que existían años antes. Si bien las primeras estimaciones hablaban de 10.000 víctimas, estudios posteriores indicaron que el número de muertos en este terremoto pudo haber llegado a las 20.000 personas.

Cuadro 3. Datos del terremoto San Juan - Argentina	
FECHA	15 de Enero de 1944
TIPO	Fenómenos de licuefacción asociados a terremotos
MAGNITUD	7,8 ML (Escala sismológica de Richter) 7,4 Ms (Escala sismológica de magnitud de ondas superficiales)
INTENSIDAD	IX Mercalli
PROFUNDIDAD	30 Km
DURACION	Sin registro
ZONAS AFECTADAS	Regiones de San Juan y Mendoza
VICTIMAS	10.000 muertos

Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos del INPRES

[5] Escala sismológica de magnitud de Ondas Superficiales, es una escala que se basa en la amplitud máxima producida por las ondas superficiales Rayleigh con período en el rango de 18 a 22 segundos

SISTEMAS DE ALERTAS TEMPRANO.

Introducción

Las instituciones nacionales de protección civil operan en la actualidad sistemas nacionales de alerta en caso de fenómenos de gran magnitud, tales como terremotos. En estos sistemas la entidad nacional de meteorología lleva a cabo el monitoreo de la evolución del fenómeno y recomienda a la institución nacional la emisión de alertas para las regiones del país que las seguirán. Con esta información, la institución nacional emite un comunicado de prensa alertando a la población, para lo cual convoca a los medios masivos de prensa, radio y televisión.

Los aspectos primordiales a considerar en los distintos tipos de sistemas de alerta temprana son:

- ✓ Los sistemas deben integrarse en mejor forma a las instituciones de carácter nacional y/o de protección civil y se debe consolidar una interacción entre el sistema nacional de monitoreo y los sistemas locales para lograr un desarrollo integral de mutuo beneficio.
- ✓ Los sistemas locales son escasamente conocidos por las instituciones nacionales de monitoreo científico, por lo cual se debe fomentar la interacción y planificar con visión integral nacional y continental, según el grado de seguridad que se defina: local/nacional/regional.
- ✓ Se hace necesario introducir a los distintos medios de comunicaciones la difusión de información con respecto a dichos sistemas para concientizar y llegar a la mayoría de la población a proteger.

Principios de funcionamiento.

Los sistemas de alerta temprana (SAT) tienen como objetivo alertar a la población en caso de un fenómeno natural de proporciones tales que pueda causar daños. Se detalla con mayor propiedad y extensión en el Anexo 10.7.

Cualquier sistema de este tipo debe satisfacer el criterio operativo de brindar una alerta con suficiente anticipación para que la población pueda tomar las

precauciones mínimas necesarias en relación al fenómeno que se aproxima. Estos sistemas se integran en base a tres componentes:

- ✓ Monitoreo de condiciones relacionadas al fenómeno en cuestión.
- ✓ Pronóstico de eventos y registro diarios e históricos con backup
- ✓ Alerta a diferentes terminales y Respuesta de ente nacional

Los grandes avances tecnológicos logrados durante los últimos veinte años en las comunicaciones, permiten generar enlaces de alta capacidad; por los que se transmiten telefonía, señales de video y de datos a la velocidad de la luz a través de redes ópticas que tienen velocidad de propagación de 150.000km/seg frente a propagación mecánica de las ondas de un sismo en el orden de metros/segundo por lo cual sí la detección es eficiente, -con cobertura geográfica muy detallada la red- podría llevar señales de alerta temprana a terminales de comunicaciones de los habitantes en la zona con segundos de anticipación a qué les llegue el efecto del sismo y con ello brindar oportunidades de sobrevivir mucho mayor a no recibir aviso previo alguno.

Simultáneamente con el avance en las redes de transporte óptico, importantes desarrollos fueron generados en distintas tecnologías de sensores destinados a determinar diversos parámetros de interés: vibración, presión, etc.. La confluencia de ambas industrias (comunicaciones y sensores) permite generar un sistema de aviso temprano en este caso de sismo pero que es perfectamente aplicable a otra variable de interés que se quiera monitorear para lograr red de protección de la población, reduciendo pérdidas humanas al buscar protección rápidamente y materiales, al poder realizar acción de emergencia como ser cierre de circuitos de gas, eléctricos, etc.

El valor de la información obtenida por la red troncal de sensores ópticos permite, por ejemplo:

- Detección temprana de movimientos sísmicos o volcánicos.
- Generación de señales de alarma y sistemas para la mitigación de efectos (corte de corriente eléctrica, detener o aminorar velocidad de vehículos en marcha, detección programada de ascensores, etc.).
- Control de daños debido a eventos climáticos sobre estructuras, como edificios o puentes.

- Generación de información y modelos predictivos.
- Planificación de sistemas agrícolas y utilización de las tierras.
- Selección de cultivos, determinación de épocas de siembra y cosecha.
- Programación y control de riego.
- Etc.

Los sistemas de alerta temprana son claves en situaciones de desastres como en nuestro caso los sismos para alertar y evitar mayores pérdidas posibles. La Red Federal de Fibra Óptica permitirá disponer de información predictiva en tiempo real a través del sistema de alerta temprana de sismos interactuando con agencias de meteorológicas, gobiernos regionales e Instituciones para la protección de la población civil.

El sistema de alerta temprana de sismos implementado un recurso mínimo de la Red Federal de Fibra Óptica que integrará a toda la Rep. Argentina, reducirá pérdidas humanos y materiales de gran magnitud; ya que la visión de la presente tesis es crear un primer moderno pilar de protección civil en todo el país, creando la Alerta Temprana de Sismos (Earthquakes Early Warning, EEW) y agregando una serie de alertas obligatorias en medios de comunicaciones, generadas automáticamente, sin importar lo que se esté transmitiendo en los medios.

2- ESTADO DE LA TECNOLOGÍA.

2. ESTADO DE LA TECNOLOGIA

INTRODUCCION:

Se describe a continuación el principio de funcionamiento y estado de cada tecnología en forma individual para luego en el próximo ítem 3 desarrollar en base a estos elementos la propuesta de integración de redes ópticas de; detección, transporte y envío automático de alertas a centros locales/nacionales y regionales (Latinoamérica).

Las tecnologías que a continuación se describen son:

- 2.1 - redes ópticas de transporte y acceso. Principio de funcionamiento.
- 2.2 - red óptica "REFEFO", del proyecto "Argentina Conectada".
- 2.3 - redes de sismología de la Rep. Argentina, operada por INPRES.
- 2.4 - redes SCADA, de monitoreo y control a distancia.

2.1 REDES OPTICAS DE TRANSPORTE Y ACCESO: PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO, TOPOLOGIAS CONSTRUCTIVAS Y MATERIALES ASOCIADOS.

Un sistema de Telecomunicaciones consiste en una infraestructura física o no (inalámbrica) denominada Enlace a través de la cual se transporta la información emitida desde una fuente (Nodo A), hasta el destino final (Nodo B o "cliente"). Sobre esta infraestructura básica se transportan los servicios de telecomunicaciones que reciben los clientes (figura 1). A esta infraestructura también se la suele denominar "Red de Telecomunicaciones".

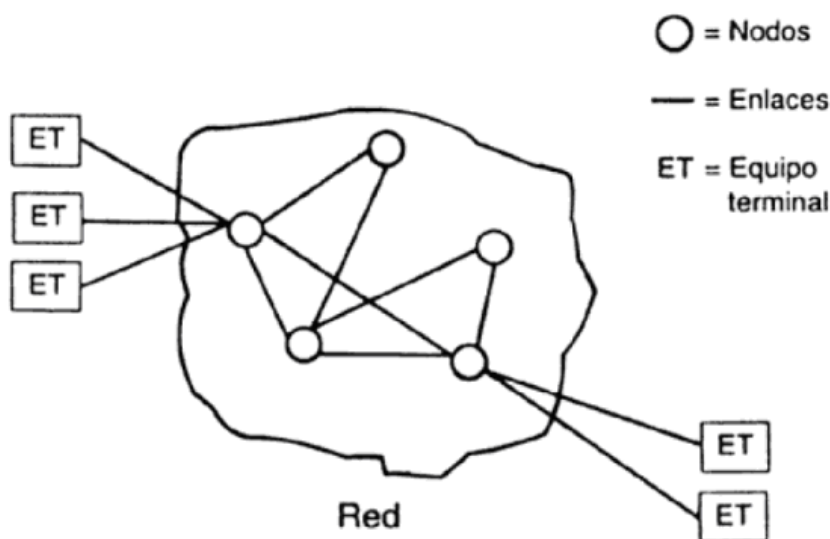


Figura 1: Red y Equipo Terminal.

La definición genérica de red de telecomunicaciones anterior presenta dos segmentos específicos ya sea el transporte de información entre Nodos de la red, denominada “Red de Transporte” y el transporte de información entre un nodo y los clientes (Terminal) denominado en este caso “Red de Acceso”.

Para recibir un servicio de telecomunicaciones, un usuario utiliza un equipo “Terminal” a través del cual obtiene conexión física o inalámbrica con la red de Telecomunicaciones.

Cada servicio de telecomunicaciones tiene distintas características, puede utilizar diferentes redes de transporte y acceso, por lo tanto, el usuario puede requerir distintos terminales. Por ejemplo, para tener acceso a la red telefónica, el equipo terminal requerido consiste en un aparato telefónico; para recibir el servicio de telefonía celular, el equipo terminal consiste en teléfonos celular, para recibir el servicio de TV por aire etc.

2.1.1 Elemento de Red: Enlace.- El conjunto de enlaces y nodos conforman una red de comunicaciones y en ella se observan dos segmentos físicos o intangibles de enlace claramente diferenciados: enlaces dedicados a transporte y enlaces dedicados al acceso.

2.1.1.1 Definición de red de Transporte y Acceso.- Para INPRES ilustrativos, se puede establecer una analogía entre las telecomunicaciones y los transportes. En los transportes, la red está constituida por el conjunto de carreteras de un país y lo que en ellas circulan son los vehículos, que a su vez dan servicio de transporte a personas o mercancías. En las telecomunicaciones se transporta información a través de redes de transporte de información. Cuando una red de comunicaciones:

- ✓ Conecta nodos entre si se denomina: Red de Transporte.
- ✓ Conecta nodos con clientes, se denomina: Red de Acceso.

La principal razón por la cual se han desarrollado las redes de telecomunicaciones es que el costo de establecer un enlace exclusivo o

“dedicado” entre dos usuarios cualesquiera de una red seria elevadísimo, sobre todo considerando que no todo el tiempo todos los usuarios se comunican entre si. Es mejor contar con una conexión dedicada para que cada usuario tenga acceso a la red a través de su equipo terminal, pero una vez dentro de la “red de Transporte” la información/mensajes utilizaran enlaces que son compartidos con otras comunicaciones de otros usuarios. Comparando nuevamente con los transportes, a todas las casas llega una calle en la que puede circular un automóvil y a su vez conducirlo a una carretera, pero no todas las casas están ubicadas en una carretera dedicada a darle servicio exclusivamente a un solo vehículo. Las calles desempeñan el papel de los canales de acceso y las carreteras el de los canales compartidos (transporte).

En general se puede afirmar que una red de telecomunicaciones consiste en tres elementos:

- ✓ Un conjunto de nodos en los cuales se procesa la información
- ✓ Un conjunto de enlaces o canales que conectan los nodos entre si y a través de los cuales se envía la información desde y hacia los nodos
- ✓ Terminales donde el cliente recibe y emite su información.

Desde el punto de vista de su arquitectura y de la manera en que se transporta la información, las redes de telecomunicaciones pueden ser clasificadas como redes de conmutación. Estas redes consisten en una sucesión alternante de nodos y canales de comunicación, es decir, después de ser transmitida la información a través de un canal, llega a un nodo, éste a su vez, la procesa lo necesario para poder transmitirla por el siguiente canal para llegar al siguiente nodo, y así sucesivamente (Figura 2).

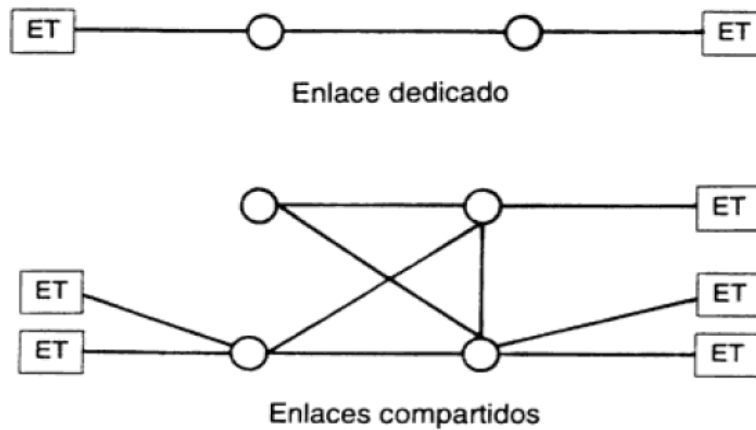


Figura 2: Red Conmutada.

Las redes de conmutación, descrita anteriormente en forma general, pueden ser subdivididas en dos tipos de conmutación: de paquetes o de circuitos. En la conmutación de paquetes, el mensaje se divide en pequeños paquetes independientes, a cada uno se le agrega información de control (por ejemplo, las direcciones del origen y destino), y los paquetes circulan de nodo en nodo, posiblemente siguiendo diferentes rutas.

Al llegar al nodo al que está conectado el usuario destino, se re ensambla el mensaje se le entrega (figura 3). Esta técnica se puede explicar por medio de una analogía con el servicio postal. Supongamos que se desea enviar todo un libro de un punto a otro geográficamente separado. La conmutación de paquetes equivale a separar el libro en sus hojas, poner cada una de ellas en un sobre, poner a cada sobre la dirección de origen/destino y depositar todos los sobres en un buzón postal. Cada sobre recibe un tratamiento independiente, siguiendo posiblemente rutas diferentes para llegar a su destino, pero una vez que han llegado todos a su destino, se puede re ensamblar el libro.

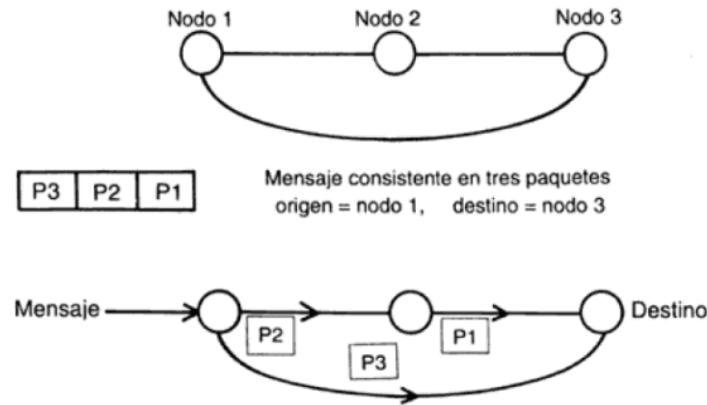


Figura 3: Conmutación de Paquetes.

Por otra parte, en la conmutación de circuitos se busca y reserva una trayectoria entre los usuarios, se establece la comunicación y se mantiene esta trayectoria durante todo el tiempo que se esté transmitiendo o no la información, con ocupación permanente del vínculo hasta que se produce la desconexión del circuito (figura 4).

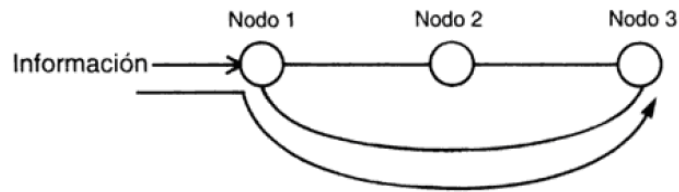


Figura 4: Conmutación de Circuitos.

Para establecer una comunicación con esta técnica se requiere de una señal que reserve los diferentes segmentos de la ruta entre ambos usuarios, y durante la comunicación el canal quedara reservado exclusivamente para esta pareja de usuarios.

2.1.1.2 Medios de Transmisión.- Los medios de transmisión son medios físicos o intangibles a través del cual viaja la información de un punto a otro dentro de la red de comunicaciones. Las características de un medio son de fundamental importancia para una comunicación efectiva, ya que de ellas depende en gran medida la calidad de las señales recibidas en el destino o en los nodos intermedios en una ruta. Los medios de transmisión se dividen en dos clases:

a) Medios de Transmisión Guiados. Por ejemplo: cables de cobre, cables coaxiales y fibras ópticas. Por estos tipos de canales pueden ser transmitidas las siguientes velocidades de transmisión:

Medio Físico	Velocidad de Transmisión Referencial
Cable de Cobre (par trenzado)	Hasta 10/100 Mbps
Cable Coaxial	500/1000 Mbps
Fibra Óptica	>>>20 Tbps

Los cables de cobre son, sin lugar a duda, el medio más utilizado en transmisiones tanto analógicas como digitales; siguen siendo la base de las redes telefónicas urbanas. El material del que están formados (cobre) produce atenuación en las señales, de manera tal que a distancias de entre 2 y 6km, dependiendo de la aplicación deben ser colocadas repetidoras.

Los cables coaxiales tienen un blindaje que aísla al conductor central del ruido en la transmisión; han sido muy utilizados en comunicaciones de larga distancia y en distribución de señales de televisión. Recientemente se han utilizado también en redes de transmisión de datos. La distancia entre repetidoras es similar a la de los cables de cobre, debido a que se utiliza una mayor banda de transmisión, permitiendo mayores tasas en las comunicaciones digitales (figura 5).

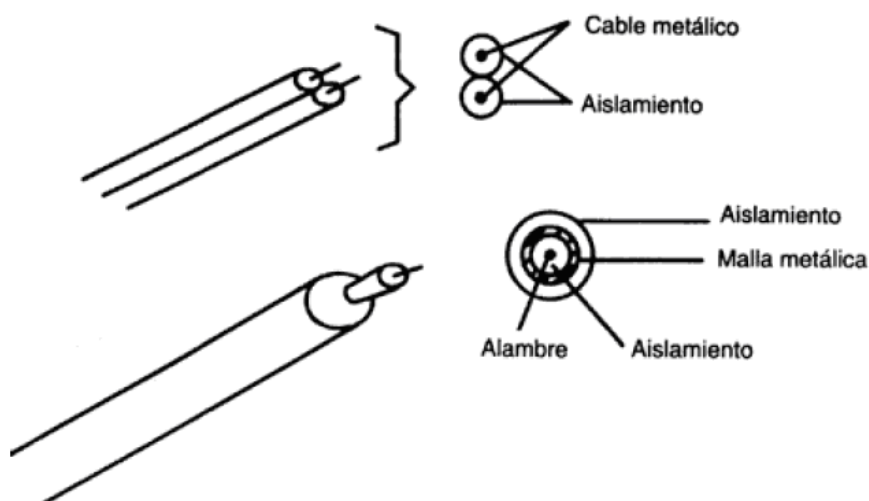


Figura 5: Tipos de cables metálicos.

Finalmente, las fibras ópticas transmiten señales ópticas (fotones) en lugar de las eléctricas (electrones) de los dos casos anteriores. Son muchos más ligeras que en los cables metálicos y permiten transmitir tasas muchísimo más altas que los primeros. Además, aunque las señales se ven afectadas por ruido, no se alteran por ruido del tipo electromagnético y pueden soportar distancias mayores entre repetidoras (del orden de 100/1000/5000 Km). Sus aplicaciones principales son los enlaces de larga distancia, enlaces metropolitanos y redes locales y progresivamente irán relevando servicios tradicional sobre cobre volcados a medios ópticos o ópticos más cable de cobre de reducida longitud (topología FTT"X") que permita mantener alta la velocidad de transmisión y mínimo gasto de mantenimiento.

La diferencia fundamental entre las transmisiones que utilizan fibras ópticas y las de naturaleza puramente eléctrica está en el hecho de que en las primeras la información se sobrepone a señales ópticas, es decir, la información modula alguna característica de una señal óptica. Las ventajas de este tipo de transmisiones son múltiples: son mucho menos sensibles al ruido del tipo eléctrico, y, por el espacio que ocupan en el espectro las señales ópticas, la capacidad de estas transmisiones es mucho mayor que las de los sistemas basados en cables metálicos.

Un área en la cual las fibras ópticas han sido de extraordinaria importancia es la de transmisiones transoceánicas; la demanda de este tipo de transmisiones ha crecido a tasas del orden de 24% al año en el Atlántico, penetrando asimismo el Pacífico, el Caribe y el Mediterráneo. La clave para este tipo de aplicaciones, está en disponer de dispositivos de alta confiabilidad, grandes anchos de banda y pocas pérdidas; esto originó que, alrededor de 1980, surgiera la primera propuesta de un sistema transoceánico basado en fibras ópticas, lo cual, a su vez, permitió instalar en 1988 el primer sistema de este tipo.

b) Medios de Transmisión no Guiados.- El caso típico anterior son las ondas de radio, que incluyen también microondas y enlaces satelitales. Las microondas utilizan antenas de transmisión y recepción de tipo parabólico para transmitir con haces estrechos y tener mayor concentración de energía radiada. Principalmente se utilizan en enlaces de larga distancia, desde luego con repetidoras, pero a últimas fechas se han utilizado también para enlaces cortos punto a punto.

Los enlaces satelitales funcionan de una manera muy parecida a las microondas. Un satélite recibe en una banda las señales de una estación terrena, las amplifica y las transmite en otra banda de frecuencias. El principio de operación de los satélites es sencillo, aunque al transcurrir los años se ha ido haciendo más complejo: se envían señales de radio desde una antena hacia un satélite estacionado en un punto fijo alrededor de la tierra (llamado “geoestacionario” por ello). Los satélites tienen un reflector orientado hacia los sitios donde se quiere hacer llegar la señal reflejada. Y en esos puntos también se tienen antenas cuya función es precisamente captar la señal reflejada por el satélite. De este punto en adelante, la señal puede ser procesada para que por último sea entregado a su destino.

Las ventajas de las comunicaciones vía satélite son evidente: se pueden salvar grandes distancias sin importar la topografía o la orografía del terreno, y se pueden usar antenas que tengan coberturas geográficas amplias, de manera tal que muchas estaciones receptoras terrenas puedan recibir y distribuir simultáneamente la misma señal que fue transmitida una sola vez. Y por lo mismo, las comunicaciones vía satélite han servido para una gran variedad de aplicaciones que van desde la transmisión de conversaciones telefónicas, la transmisión de televisión, las teleconferencias, hasta la transmisión de datos.

Las tasas de transmisión pueden ser desde muy pequeñas (32Kbps) hasta del orden de los Mbps. Los requerimientos en cuanto a acceso múltiple, manejo de diversos tipos de tráfico, establecimiento de redes, integridad de los datos, así como seguridad, se satisfacen con las posibilidades ofrecidas por la tecnología VSAT (terminales de apertura muy pequeña o very small aperture terminals).

Entre los servicios que pueden ser ofrecidos por medio de la tecnología VSAT se encuentran: radio difusión y servicios de distribución, bases de datos, información meteorológica y bursátil, inventarios, facsímil, noticias, música programada, anuncios, control de tráfico aéreo, televisión de entretenimiento, educación, colección de datos y monitoreo, climatología, mapas e imágenes, telemetría, servicio interactivos bidireccionales, autorizaciones de tarjetas de crédito, transacciones financieras, servicios de bases de datos, servicio de reservaciones, servicio a bibliotecas, interconexión de redes locales, correo electrónico, mensajes de emergencia, videoconferencias comprimidas, etc.

Para entender mejor la operación de los sistemas basados en transmisiones vía satélite (y su asociación con “antenas parabólicas”), a continuación se presenta el principio en que se basan este tipo de antenas. La geometría de una parábola es tal, que una emisión que llega a la parábola paralela a su eje es reflejada pasando por su foco, y una emisión que sale de su foco, al incidir sobre la superficie parabólica, es reflejada paralela a su eje (figura 6)



Figura 6: Operación de una Antena Parabólica.

Aplicando estas ideas a las telecomunicaciones se puede ver que si se orienta el eje de la antena parabólica hacia el satélite, las emisiones provenientes del mismo llegaran a la antena paralela a su eje, y aquellas emisiones provenientes del foco de la parábola seguirán una trayectoria paralela al eje de la parábola hasta llegar al satélite. Como consecuencia, en el foco de la parábola debe ser colocado un colector de energía que capte todo lo que proviene del satélite (que fue reflejado por la parábola) y lo envíe a los circuitos de procesamiento. En ese mismo punto debe ser ubicado el transmisor, cuya función consiste en hacer llegar la información hacia el satélite para que éste, a su vez, la retransmita hasta su destino final.

Algunos habrán observado que en muchos puntos de una ciudad existen antenas de tipo parabólico cuyas orientaciones son más horizontales que apuntando hacia un satélite. Éstas son antenas de microondas, en las cuales se utiliza el mismo principio de “direccionalidad” descrito antes.

Cabe destacar finalmente, que la diferencia principal entre emisiones de radio y de microondas está en que las primeras son omnidireccionales (en todas las direcciones), mientras que las segundas son unidireccionales: por lo tanto, la radio no requiere antenas de tipo parabólico. Aunque, estrictamente hablando, el término radio incluye todas las transmisiones electromagnéticas, las aplicaciones de la radio se asignan de acuerdo con las bandas del espectro en que se realizan las transmisiones.

Como la longitud de onda de una señal depende de su frecuencia, hablar de un segmento espectral en específico es equivalente a hablar del rango en que se encuentra la longitud de las ondas en ese segmento. Por ejemplo, a las frecuencias entre 1GHz y 300 GHz (1 GHz= 1000 MHz) se les llama microondas: las longitudes de onda están contenidas en un rango de 100 cm y 1 mm, aunque al rango entre 30 GHz y 300 GHz (correspondientes a longitudes de onda entre 10 mm y 1mm) también se lo conoce como ondas milimétricas.

En el siguiente cuadro se presentan las aplicaciones de los distintos rangos del espectro.

Banda	Nombre	Aplicaciones
30-300 Khz	LF (low frequency) - baja frecuencia	navegación aérea y marítima
300-3000 Khz	MF (medium frequency) - frecuencia media	navegación, radio, comercial AM, enlaces privados fijos y móviles
3-30 Mhz	HF (high frequency) - alta frecuencia	radiodifusión onda corta, enlaces fijos y móviles
30-300 Mhz	VHF (very high frequency) - muy alta frecuencia	televisión, radio FM, enlaces fijos y móviles
300-3000 Mhz	UHF (ultra high frequency) - frecuencia ultra alta	televisión y microondas, navegación meteorología
3-30 Ghz	SHF (super high frequency) - frecuencia super alta	microondas y satélites
30-300 Ghz	EHF (extra high frequency) - f extra alta	experimental

Finalmente, cabe hacer hincapié en que una red moderna de telecomunicaciones normalmente utiliza canales de distintos tipos para lograr la mejor solución a los problemas de telecomunicaciones de los usuarios; es decir, con frecuencia existen redes que emplean canales de radio en algunos segmentos, canales vía satélite en otros, microondas en algunas rutas, radio en otras y, desde luego, en muchos de sus enlaces, la red pública telefónica.

2.1.2 Elemento de Red: Nodo.- Los nodos, parte fundamental en cualquier red de telecomunicaciones, son los equipos encargados de realizar las diversas funciones de procesamiento que requieren cada una de las señales o mensajes que circulan o transitan a través de los enlaces de la red.

Desde un punto de vista topológico, los nodos proveen los enlaces físicos entre los diversos canales que conforman la red. Los nodos de una red de telecomunicaciones son equipos activos eléctricos u ópticos que se instalan Indoor/Outdoor y conforman un punto de concentración en una red de comunicaciones. Se los denomina en redes POTS “Centrales” por estar asociado a la conmutación clásica y también se denominan como “Planta Interna” en un esquema tradicional de red.

Las funciones que realiza son:

- a) *Establecimiento y verificación de un protocolo.*** Los nodos de la red de telecomunicaciones realizan los diferentes procesos de comunicación de acuerdo con un conjunto de reglas que les permiten comunicarse entre sí. Este conjunto de reglas se conoce con el nombre de protocolos de comunicaciones, y se ejecutan en los nodos para garantizar transmisiones exitosas entre sí, utilizando para ello los canales que los enlazan.
- b) *Transmisión.*** Existe la necesidad de hacer un uso eficiente de los canales, por el cual, en esta función, los nodos de la red adaptan al canal la información o los mensajes en los cuales está contenida, para su transporte eficiente y efectivo a través de la red.
- c) *Interfaces.*** En esta función el nodo se encarga de proporcionar al canal las señales que serán transmitidas, de acuerdo con el medio de que está formado el canal. Esto es, si el canal es de radio, las señales deberán ser electromagnéticas a la salida del nodo, independientemente de la forma que hayan tenido a su entrada y también de que el procesamiento en el nodo haya sido por medio de señales eléctricas.
- d) *Recuperación.*** Cuando durante una transmisión se interrumpe la posibilidad de terminar exitosamente la transferencia de información de un nodo a otro, el sistema, a través de sus nodos, debe ser capaz de recuperarse y reanudar un cuanto sea posible la transmisión de aquellas partes del mensaje que no fueron transmitidas con éxito.
- e) *Formateo.*** Cuando un mensaje transita a lo largo de una red , pero principalmente cuando existe una interconexión entre redes que manejan distintos protocolos, pueden ser necesario que en los nodos se modifique el formato de los mensajes para que todos los nodos de la red (o de la conexión de redes) puedan trabajar exitosamente con dicho mensaje; esto se conoce con el nombre de formateo (o, en su caso, de reformateo) (ver figura 7).

Señal inicio	Dirección	Control	Información	Detección de errores	Fin
-----------------	-----------	---------	-------------	-------------------------	-----

Figura 7: Formato Típico de un Paquete.

f) Enrutamiento. Cuando un mensaje llega a un nodo de la red de telecomunicaciones, forzosamente debe tener información acerca de los usuarios de origen y destino; es decir, sobre el usuario que lo generó y aquel al que está destinado. Sin embargo, cada vez que el mensaje transita por un nodo u considerando que en cada nodo hay varios enlaces conectados por los que, al menos en teoría, el mensaje podría ser enviado a cualquiera de ellos, en cada nodo se debe tomar la decisión de cuál debe ser el siguiente nodo al que debe enviarse el mensaje para garantizar que llegue a su destino rápidamente. Este proceso se denomina enrutamiento a través de la red. La selección de la ruta en cada nodo depende, entre otros factores, de la situación instantánea de congestión de la red, es decir, del número de mensajes que en cada momento están en proceso de ser transmitidos a través de los diferentes enlaces de la red.

g) Repetición. Existen protocolos que entre sus reglas tienen una previsión por medio de la cual el nodo receptor detecta si ha habido algún error en la transmisión. Esto permite al nodo destino solicitar al nodo previo que retransmita el mensaje hasta que llegue sin errores y el nodo receptor pueda, a su vez, retransmitirlo al siguiente nodo.

h) Direccionamiento. Un nodo requiere la capacidad de identificar direcciones para poder hacer llegar un mensaje a su destino, principalmente cuando el usuario final está conectado a otra red de telecomunicaciones.

i) Control de Flujo. Todo canal de comunicaciones tiene una cierta capacidad de manejar mensajes, y cuando el canal está saturado ya no se deben enviar más mensajes por medio de ese canal, hasta que los mensajes previamente enviados hayan sido entregados a sus destinos.

Dependiendo de la complejidad de la red, del número de usuarios que tiene conectados y a quienes les proporciona servicio, no es indispensable que todas las redes de telecomunicaciones tengan instrumentadas todas las funciones precedentes en sus nodos. Por ejemplo, si una red consiste solamente en dos nodos a cada uno de los cuales están conectados una variedad de usuarios, es evidente que no se requieren funciones tales como direccionamiento o enrutamiento en los dos nodos que forman la red. Se han descrito aquí, sin embargo, las funciones más importante que deben tener instrumentadas los nodos de una red compleja.

Una vez expuesta las componentes de una red de telecomunicaciones, a través de la cual se transmite información entre los usuarios, cabe mencionar que lo que realmente da valor a las telecomunicaciones es el conjunto de servicios que se ofrecen por medio de las redes y que se ponen a disposición de los usuarios. Es decir, el valor depende del tipo de comunicación que puede establecer un usuario y del tipo de información que puede enviar a través de la red.

Por ejemplo, a través de la red telefónica se prestan servicios telefónicos a personas y empresas. Entre estos servicios destinados a la comunicación oral están el servicio telefónico local (tanto residencial como comercial e industrial), el servicio telefónico de larga distancia nacional y el servicio telefónico de larga distancia internacional, aunque en los últimos años se pueden hacer también por esta red transmisiones de datos. Por medio de una red de televisión por cable se pueden prestar servicios de distribución de señales de televisión a residencias en general, pero últimamente se han iniciado servicios restringidos a ciertos tipos de usuarios, como son los servicios del tipo “pago por ver”. Hoy es posible, gracias a los avances tecnológicos en diversos campos, estén interconectadas las redes de telefonía con las de televisión por cable y celular, y a través de esta interconexión los usuarios podrán explotar simultáneamente la gran capacidad de servicios y conexión permanente, sumado a movilidad.

2.1.3 Elemento de Red: Terminal.- Los terminales, parte fundamental en cualquier red de telecomunicaciones, son los equipos encargados de recibir/enviar información desde el cliente a la red de comunicaciones y viceversa debiendo estar adecuado a las diversas funciones de procesamiento que requieren cada una

de las señales o mensajes que circulan o transitan a través de los enlaces de la red.

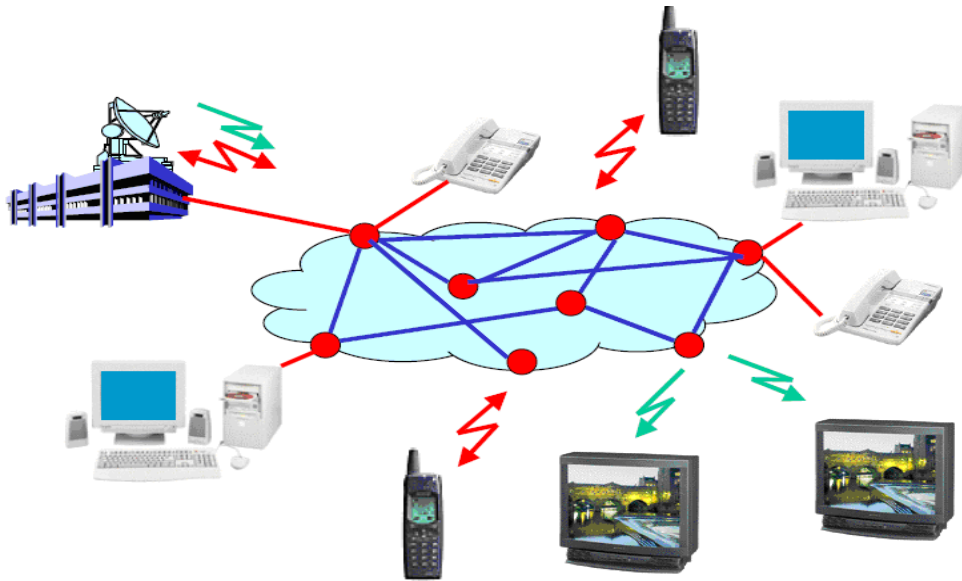


Figura 8: Terminales – Evolución hacia la próxima generación de redes.

Este como los demás elementos de una red de comunicaciones ha evolucionado en el tiempo desde el primer Terminal de telegrafía, pasando por el teléfono, llegando a la fecha con los terminales multiservicio (telefonía, datos, televisión) y denominándose en forma amplia Network Terminal o “NT” equipo activo de terminación de la red de comunicaciones en el domicilio del cliente y en él se conecta el terminal final que brindara el servicio requerido al cliente (ejemplo: teléfono analógico en red POTS, teléfono digital en red ISDN, teléfono IP en red de paquetes).

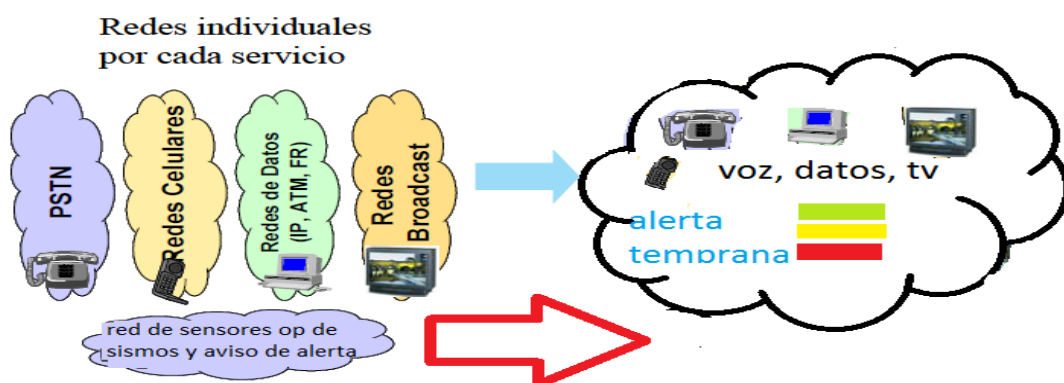


Figura 9: convergencia de redes y servicios – Evolución utilizada por el "Sistema de Aviso Temprano de Sismos" sobre REFEFO.

2.1.4 Análisis: La Luz como Soporte de la Información en las Comunicaciones.-

Se puede admitir que en las comunicaciones se pone en juego un intercambio de energía, la cual puede ser clasificada de diferentes modos siendo uno de estos el espectral. En este concepto se relacionan dos parámetros entre sí, siendo uno espacial y el otro temporal.

Considerando el parámetro espacial, longitud de onda, esta refleja la propagación espacial (periódica), y el otro parámetro es el temporal al cual se lo denomina frecuencia.

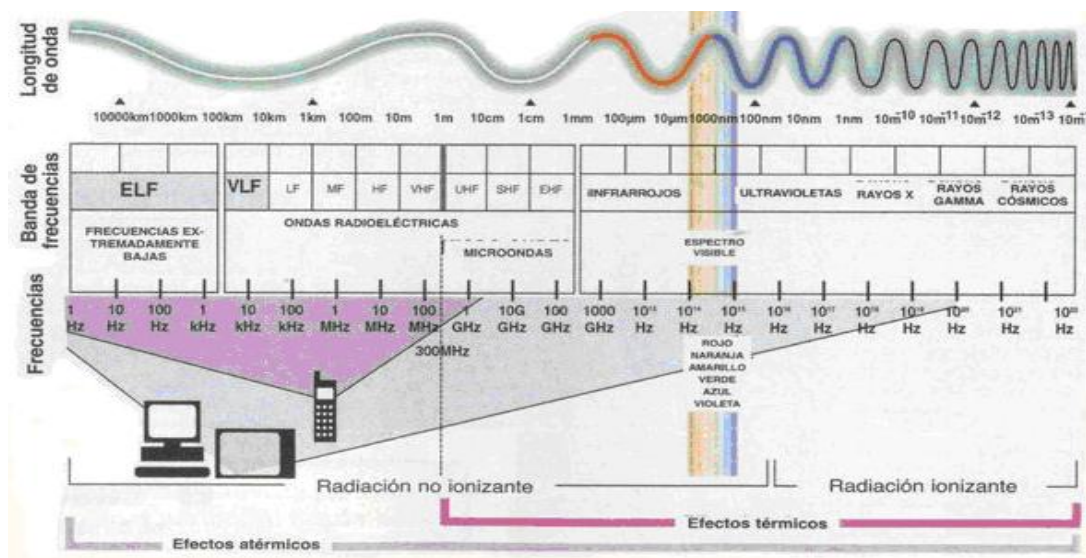


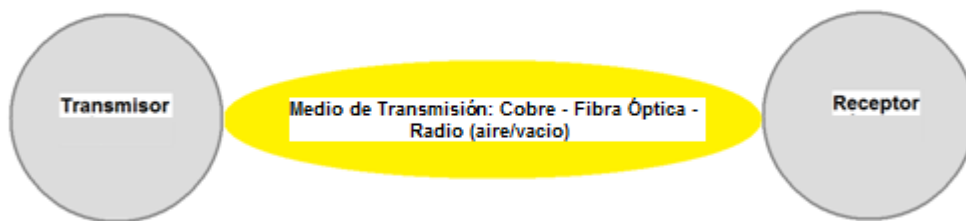
Figura 9: Espectro de Ondas Electromagnéticas.

Si nos situamos en el parámetro temporal (frecuencia) en los conductores metálicos de pares podemos transmitir energías entorno a los 1000 MHz en forma teórica, lo cual difiere de la práctica en donde se alcanzan 100 MHz (UTP STD). En el caso de los radios enlaces se llega a no más de 20/40 GHz en la práctica, siendo el valor teórico de hasta 10¹¹ Hz. Si a dichas señales se utilizan para aplica las técnicas de modulación de frecuencia, estas serán las “portadoras” y si a estas son empleadas sobre canales de transmisión de un determinado ancho de banda se obtendrá una optimización del mismo, permitiendo así transmitir mayores cantidades de señales que sin esta técnica.

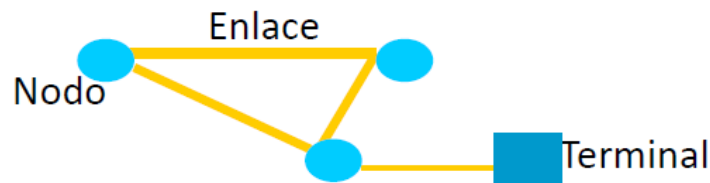
En los sistemas en que se emplean fibras ópticas como medio de transmisión la zona espectral óptica la frecuencia se encuentra en torno a los 10¹⁴ Hz y suponiendo que se emplean técnicas de modulación de frecuencia, se pueden conseguir capacidades de transmisión de 10⁷ veces mayor que en un conductor metálico y del orden de 10⁴ veces la de un radio enlace.

Esto es la justificación física del empleo en aumento de las fibras ópticas en todos los sistemas de telecomunicación del baja/media y alta capacidad de transmisión donde no se observa un “techo” o limite de velocidad del lado del “medio de transmisión o Enlace”, solo siendo acotado por el equipo activo óptico que años tras años evoluciona.

2.1.5 Resumen: Elementos que constituyen un Sistema de Comunicaciones Óptico Estándar.- Se pretende generar un el concepto de cómo se va construye una red de comunicaciones real en base a un modelo “canónico” de comunicaciones. Para poder realizar una comunicación se debe partir de:



En base a este modelo canónico se forma el modelo básico de comunicación:



Realizando una comparación entre el modelo canónico y el básico, podemos decir que el medio de transmisión de uno pasa a ser el enlace del otro y en cambio el transmisor y receptor migran a lo que se llamo nodo y terminal. Pero dependiendo de en que localización este el transmisor y el receptor variara la importancia y la capacidad de información que emitan; por ejemplo en un nodo serán equipos de transmisión de alta capacidad y en un terminal seria un teléfono o modem dependiendo del servicio.

Ahora si juntamos varios modelos básicos se forma una red de comunicaciones real, como lo pone de manifiesto la siguiente figura.

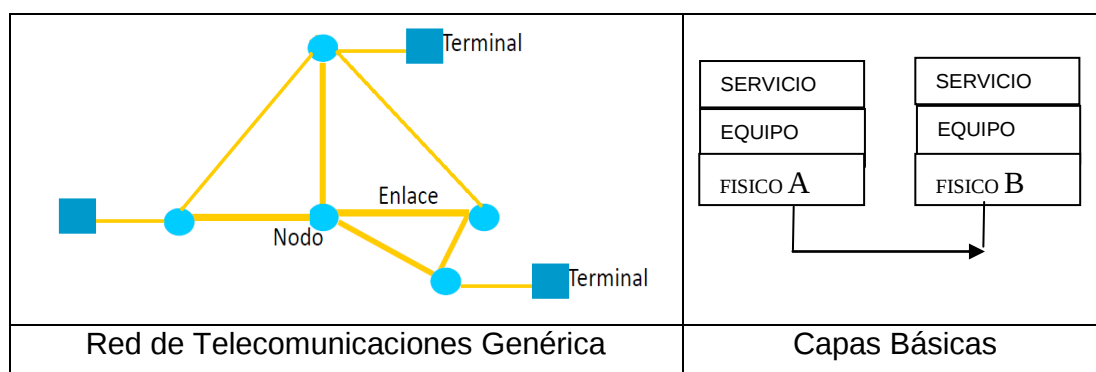


Figura 10: Red de Telecomunicaciones. Diagrama en block básico.

2.1.6 ¿Por qué la Fibra Óptica?.- Uno de los objetivos en el mundo de las telecomunicaciones fue buscar un medio físico de transmisión capaz de transportar grandes cantidades de información y que ésta sufra el menor deterioro posible a grandes distancias. En esa búsqueda se encontraron conductores como el cobre (cable coaxial, par telefónico), la fibra óptica y el mismo aire (radio enlaces, satélites); obteniéndose de todos estos diferentes virtudes y defectos para su aplicación en el campo de las telecomunicaciones. De los medios físicos capaces de transportar información mencionados se destaca sobre los demás la fibra óptica, ya sea por el costo de su aplicación, más económico que un link o enlace satelital, como por la capacidad de transportar información, mayor ancho de banda que los radio enlaces y el cobre a grandes longitudes de link. Las ventajas que presenta la fibra óptica como medio de transmisión son:

- a) Baja Atenuación:** Las fibras ópticas son el medio físico de transmisión con menor atenuación, dado que se pueden establecerse link's directos, o sea sin repetidores, de unos 100 a 200Km; con el consiguiente incremento de la fiabilidad y reducción en el costo del equipamiento electrónico.
- b) Gran Ancho de Banda:** La capacidad de transmisión es muy elevada con sistemas de transmisión en una sola longitud de onda. Esta capacidad puede ser incrementada con métodos que multiplexan longitudes de ondas, como lo son los sistemas **WDM (Wavelength Division Multiplexing)**. Por ejemplo 2 fibras ópticas pueden transportar todas las conversaciones telefónicas de un país, siempre que los equipos de transmisión sean

capaces de manejar tal cantidad de información (entre 100Mhz/Km a 10Ghz/Km).

- c) Peso y tamaño reducidos:** El diámetro de una fibra óptica es similar al de un cabello humano. Un cable de 60 fibras ópticas tiene un diámetro total de 15 a 20 mm y un peso medio de 250 Kg/Km, en cambio un cable de cobre de 900 pares calibre 0,4 posee un diámetro que varía entre 40 y 50 mm y un peso medio de 4.000 Kg/Km; si comparamos estos valores se puede deducir que el cable de fibra óptica incrementa la facilidad y el costo de instalación.
- d) Gran flexibilidad y recursos disponibles:** Los cables de fibra óptica se pueden construir totalmente con materiales dieléctricos y la materia prima implementada en la fabricación es el dióxido de silicio (SiO_2), el cual es uno de los recursos de más abundancia en la superficie terrestre.
- e) Aislamiento eléctrico:** Al no existir conductores metálicos no se pueden inducir corrientes en el cable (valido para cables de fibras ópticas sin armaduras), por lo tanto pueden ser instalados en lugares donde existen peligros de cortes eléctricos.
- f) Ausencia de radiación emitida:** Las fibras ópticas transportan luz y no emiten radiaciones electromagnéticas que puedan interferir con equipos electrónicos, tampoco se ve afectada por radiaciones emitidas por otros medios que la rodean, por lo tanto constituye un medio de transmisión seguro para transportar información de alta calidad y para ser implementado en sitios en los cuales la emisión de radiación electromagnética no es aceptada.
- g) Costo y Mantenimiento:** Los cables de fibra óptica y la tecnología asociada con su fabricación e instalación ha caído drásticamente en los últimos años; por eso hoy en día el costo de la construcción de una planta de fibra óptica es comparable con una planta de cobre. Otro punto importante es el mantenimiento de la planta, lo cual en una planta de fibra

óptica no se necesita casi mantenimiento o son sensiblemente inferior comparada con la de cobre.

Por lo tanto con lo expuesto se puede concluir que la fibra óptica, dependiendo de los requerimientos de la comunicación en particular, puede constituir el mejor medio físico para transportar grandes cantidades de información sin que ésta sufra deterioros por agentes externos.

2.2 REDES OPTICAS DE TRANSPORTE: PROYECTO RED FEDERAL DE FIBRA OPTICA.

La banda ancha es la infraestructura indispensable del siglo XXI como lo fue crear caminos de tierra primero y luego el ferrocarril hace un siglo. Es una plataforma de oportunidades que estimula el crecimiento económico, la innovación y la igualdad de oportunidades.

En el mundo actual en el que vivimos los nuevos desarrollos de las comunicaciones electrónicas, están continuamente evolucionando adaptándose a las exigencias permanentes de los seres humanos, cambiando la manera de educar a nuestros hijos, de brindar asistencia médica, de administrar la energía, de comprometer al gobierno, de garantizar la seguridad pública y la protección civil proporcionando nuevas formas de pedir ayuda y recibir información de emergencia con eficiencia y rapidez.

En el marco del plan nacional de telecomunicaciones Argentina Conectada, nace la Red Federal de Fibra Óptica que es un proyecto de infraestructura a nivel nacional que tiene como finalidad primordial la conectividad de todo el territorio de la República Argentina, cubriendo regiones que actualmente no cuentan con este tipo de infraestructura y llegando a las zonas que los operadores tradicionales no cubren por decisiones comerciales.

El proyecto "Argentina Conectada" define un rol destacado al Estado en el ámbito de las telecomunicaciones, impulsando la creación de un operador nacional de telecomunicaciones, ARSAT S.A. empresa argentina de soluciones satelitales que administrará la Red Federal de Fibra Óptica desde el nodo central construido en Benavidez, Prov. de Buenos Aires. donde serán coordinados y controlados todos los nodos primarios y secundarios de la red fija y satelital en forma remota.

En el mercado mayorista, el rol de ARSAT S.A. involucra la gestión y comercialización de los servicios para proveer a las cooperativas, PyMEs y operadores locales el ancho de banda necesario para garantizar la prestación de un servicio de calidad a los usuarios en todo el territorio nacional.

La Red Federal de Fibra Óptica estará dividida en 9 regiones, esta red totalizara alrededor de 18mil Km. en una primera etapa. La misma permitirá la interconexión de cada uno de los centros provinciales de operaciones y puntos provinciales de acceso a la red con el centro nacional de operaciones y el punto nacional de acceso a la red que se ubica en la localidad de Benavidez, este tendido se complementa con el intercambio de 12mil Km. pertenecientes a otras empresas de comunicaciones existentes, que sumadas a las redes provinciales totalizaran un objetivo final de mas de 40mil Km. de longitud, así en conjunto con los servicios satelitales también provistos por ARSAT S.A., se garantizara la inclusión de todos los habitantes del territorio. Entre los alcances que presenta esta red; se encuentra la contribución tecnológica de mejora de las telecomunicaciones en el ámbito nacional que permitirá reducir la "brecha digital" como proyecto transformador, situándose este como un pilar estratégico para la mejora continua de la gestión gubernamental y aporte concreto al plan de conectividad regional.



Red Federal de Fibra Óptica.



Red Prov. de Fibra Óptica

Fuente: http://www.argentinaconectada.gob.ar/contenidos/red_federal_de_fibra_optica.html

La Red Federal de Fibra Óptica presenta dos etapas:

- ✓ Etapa I: Utilización de redes de fibra óptica existentes en Argentina.
- ✓ Etapa II: Construcción de red Troncal y Provincial
 - Red Troncal Federal: Construcción en 9 regiones.
 - Redes y anillos provinciales

2.2.1 Etapa I: Utilización de Redes de Fibra Óptica existentes

IRU`s 12.000 km. aprox, (Contratos de Derecho Irrevocable de Uso).

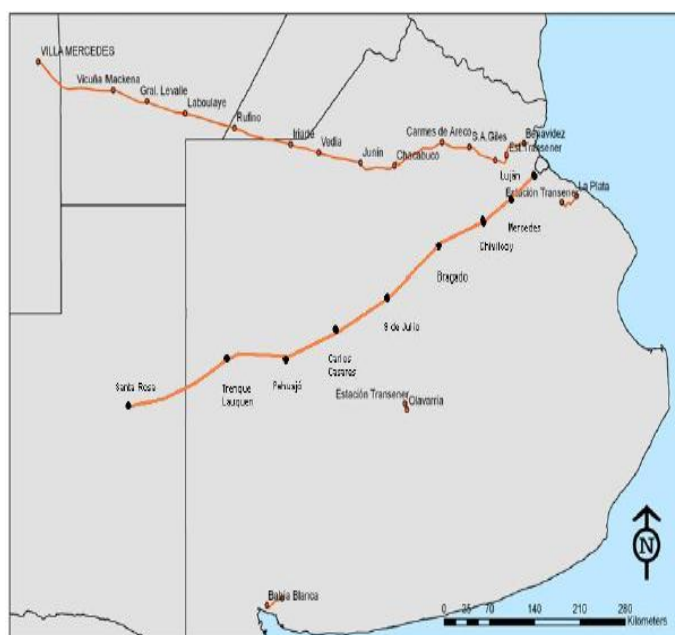
Distribucion de IRU`s por operador	KM Parcial	Localidades	KM totales
A	447	Bs As - M del Plata	2016
	560	Tres Arroyos - 9 de Julio	
	532	BB Neuquen	
	477	M del Plata BB	
B	381	Usuhaia Pampa del rincon	1845
	352	Posadas Pasos de los libres	
	322	Posadas Corrientes	
	351	Zarate Concordia	
	208	Cordoba Serrezuela	
	231	Catamarca Tucuman	
C	537	Cordoba Tucuman	2804
	326	Tucuman Salta	
	100	Salta Jujuy	
	425	V Mercedes (SL) Lincoln	
	402	Catrilo Chivilcoy	
	217	Bariloche P del Aguila	
	231	Bariloche V la Angostura	
	566	Bs As - M del Plata	
D	611	S Tome P de los Libres	1287
	437	S Tome Rafaela	
		S Fransisco Rafaela	
		S Fransisco Arroyito	
		Arroyito Rio Primero	
		Rio Primero Cordoba	
	239	Cordoba Rio Cuarto	
E		Benavidez Resistencia	1125
F		Abasto Malargue	2060
			11137

2.2.2 Etapa II: Construcción en 9 regiones, 17.100Km Troncal.

Nro.	LP N°	Región	Km Troncales por región	Provincias	Km Tramos Troncales por provincia	Km Tramos Provinciales por provincia	Km de Derivaciones	Km Totales de Troncal publicado	P Ejecucion (meses)
1		Centro Este	1249	Buenos Aires	1356		538	1787	18
				Santa fé	50				
				Córdoba	230				
				La Pampa	101				
				San Luis	50				
2		Centro Oeste	2502	Neuquén	1039		321	2823	21
				La Pampa	635				
				Mendoza	632				
				Rio Negro	517				
3		Región Misiones	498	Misiones	694		196	694	12
4		NOA Norte	1738	Jujuy	1038		430	2168	20
				Salta	591				
				Tucumán	539				
5	02/2011	NOA Sur	1800	Catamarca	450		720	2520	20
				La Rioja	1045	568			
				San Juan	755	514			
				Mendoza	35				
				Córdoba	235				
6	03/2011	NEA Norte	2219	Formosa	929	965	492	2731	20
				Chaco	856	872			
				Corrientes	8				
				Salta	600				
				Santiago del Estero	196				
				Jujuy	142				
7		NEA Sur	1149	Santa Fé	1059		430	1579	15
				Santiago del Estero	383				
				Tucumán	60				
				Córdoba	37				
				Entre Ríos	40				
8	04/2011	Patagonia Norte	659	Rio Negro	669		10	669	8
9	06/2011	Patagonia Sur	2106	Santa Cruz	1258	763	87	2193	20
				Chubut	935				
			13920		17164	3682	3224	17164	
			Km Troncales por región		Km Troncales por provincia	Km provinciales por provincia	Km de Derivaciones	Km totales de troncales	

Tramos nuevos a construir, que son Regiones definidas en el proyecto Red Federal de Fibra Óptica:

a) Región Centro Este.



DATOS RELEVANTES	
Nro Provincias:	5
Troncal:	2.410 Km
Derivaciones:	748 Km
Provincial:	5373 Km

FUENTE: <http://www.prensario.net/1691-El-gobierno-argentino-presenta-la-red-federal-de-fibra-optica.note.aspx>

Figura 11: Región Centro Este.

b) Región Centro Oeste.



DATOS RELEVANTES	
Nro Provincias:	4
Troncal:	2.823 Km
Derivaciones:	321 Km
Provincial:	A definir

FUENTE: <http://www.prensario.net/1691-El-gobierno-argentino-presenta-la-red-federal-de-fibra-optica.note.aspx>

Figura 12: Región Centro.

Nota: esta red de fibra óptica es especialmente importante para ser empleado dos pelos de fibra para medición remota de sismos ya que cubre zona de alto potencial de sismos (ver plano de sismicidad Argentina en hoja 50 figura Nro. 3).

**DATOS RELEVANTES**

Nro Provincias:	5
Troncal:	2.520 Km
Derivaciones:	720 Km
Provincial:	1.078 Km

FUENTE: <http://www.prensario.net/1691-El-gobierno-argentino-presenta-la-red-federal-de-fibra-optica.note.aspx>

Figura 15: Región NOA Su.

Nota: esta red de fibra óptica es especialmente importante para ser empleado dos pelos de fibra para medición remota de sismos ya que cubre zona de alto potencial de sismos (ver plano de sismicidad Argentina en hoja 50 figura Nro. 3).

f) Región NEA Norte.

**DATOS RELEVANTES**

Nro Provincias:	6
Troncal:	2.731 Km
Derivaciones:	492 Km
Provincial:	2.517 Km

FUENTE: <http://www.prensario.net/1691-El-gobierno-argentino-presenta-la-red-federal-de-fibra-optica.note.aspx>

Figura 16: Región NEA Norte.

g) Región NEA Sur



Figura 17: Región NEA Sur.

Description: Patagonia Norte.jpg

The map shows a route through Patagonia Norte, Argentina. The route starts at San Carlos de Bariloche, passes through Comallo, Clemente Onelli, Lago Jacobacci, Maguncho, Los Menucos, Sierra Colurada, Valcheta, and ends at San Antonio del Oeste. A scale bar indicates distances up to 240 Kilometers, and a north arrow is present.

DATOS RELEVANTES	
Nro Provincias:	6
Troncal:	2.731 Km
Derivaciones:	492 Km
Provincial:	2.517 Km

Figura 18: Región Patagonia Norte.

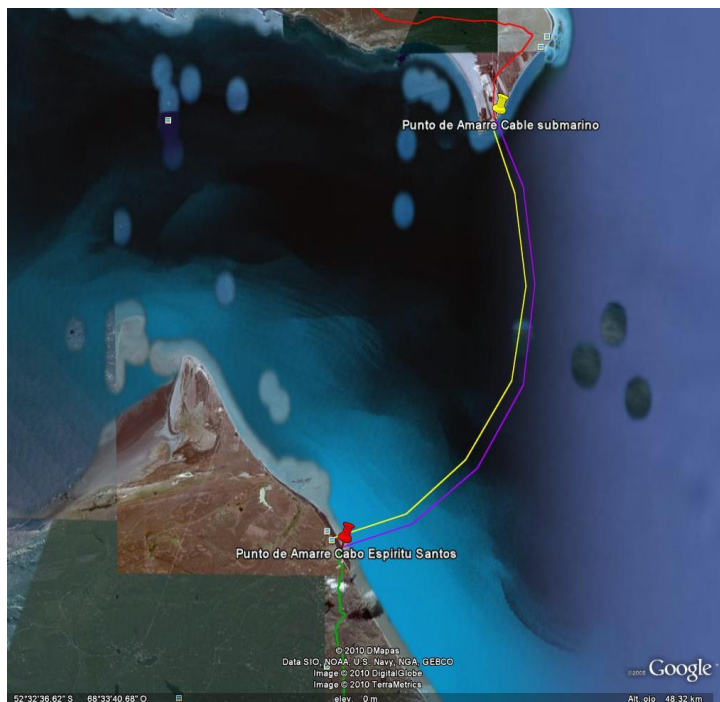
i) Región Patagonia Sur y Tierra del Fuego



Figura 19: Región Patagonia Sur.

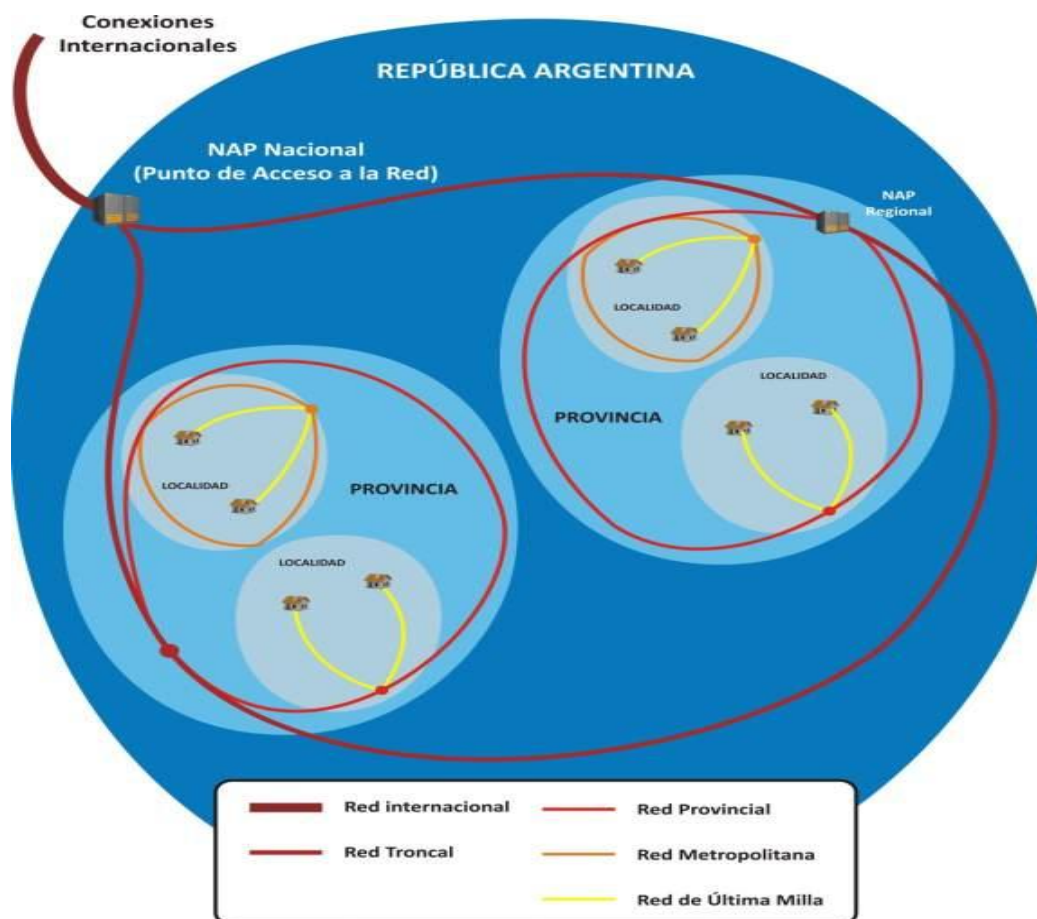
DATOS RELEVANTES	
Nro Provincias:	2
Troncal:	2.193 Km
Derivaciones:	100 Km
Provincial:	763 Km

FUENTE: <http://www.prensario.net/1691-El-gobierno-argentino-presenta-la-red-federal-de-fibra-optica.note.aspx>

Figura 20: Región Patagonia Sur y Tierra de Fuego.
(Cruce Estrecho de Magallanes).

DATOS RELEVANTES	
Troncal	
FO Submarino:	40 Km

Esquema general de la Red Federal de Fibra Óptica



Medición remota de la Red de Fibra Óptica federal para asegurar mínimo tiempo de reparación

La falta de detección rápida ante una degradación/corte de la red troncal de fibra óptica es la principal razón para el no cumplimiento de SLA en redes de transporte óptico de alto nivel.

La Red Federal de Fibra Óptica empleará como parte constitutiva una red remota de medición óptica en tiempo real y con posicionamiento por GPS de tal manera que ante una degradación del enlace óptico este sea detectado, registrado en una base de datos y emitido un ticket de manera automática desde el NOC Master de Benavidez, con replica a la región del país donde se haya producido físicamente el problema.

La definición anterior permitirá:

- actuar en el menor tiempo posible, cumpliendo con los SLA contratados por ARSAT con los diferentes organismos/provincias/entes del país, que utilicen sus servicios.
- generar registro de calidad de los parámetros ópticos de la Red Federal como "histórico" y con ello realizar acciones preventivas que mantengan la Red Federal en óptimas condiciones de transporte de la información, en el tiempo.

- reducir la inversión en instrumentos ópticos de los equipos de mantenimiento tanto sea de la Red Federal como Provincial, al realizar la determinación de las fallas de manera remota sin necesidad de contar o transportar instrumental óptico en grandes cantidades

Se ilustra a modo de ejemplo en la figura siguiente el esquema básico de medición remoto de la “Red Federal de Fibra Óptica”, partiendo de un OTDR en cada nodo que se conecta por una red de datos a un servidor dedicado.

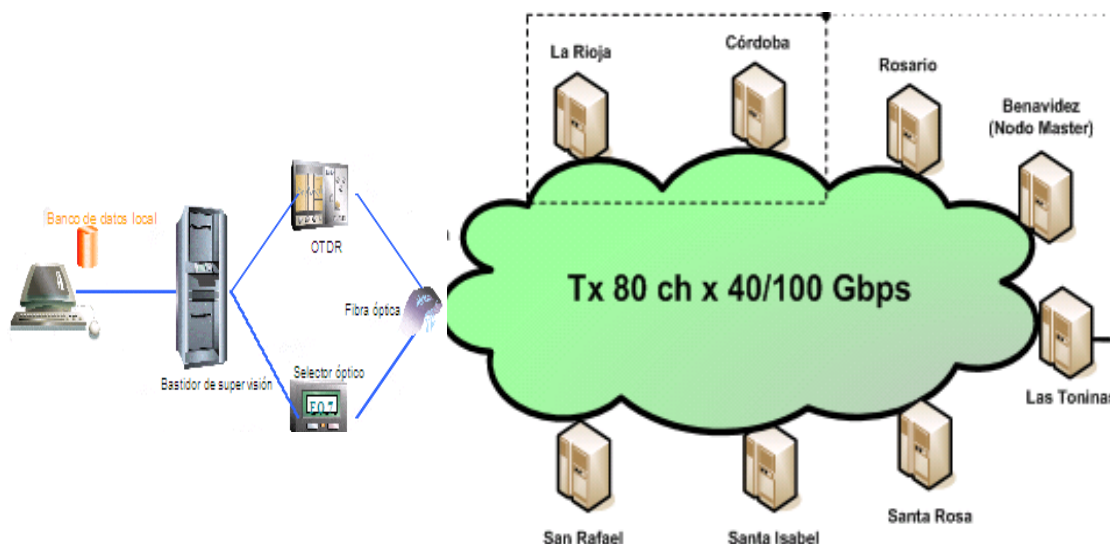


Figura 21: Esquema de Medición Remoto básico para la Red Federal y Provincial de Fibra Óptica.

Resumen:

- se observa una red óptica con un alcance de miles de km y alta capilaridad (2500 ciudades) que cubre un alto porcentaje de la Rep. Argentina con lo cual cumplirá su objetivo de generar alta conectividad nacional y con calidad (baja latencia y mínimo BER $10E-12$) sumado a la alta seguridad por disponer de múltiples caminos de enrutamiento para el tráfico en cada nodo (4 a 9 grados de libertad por nodo) hace que sea una infraestructura óptica apropiada para emplear en redes de aviso temprano de sismos u otro cataclismo natural, por ejemplo.

- la conexión en nodos principales por regiones (cantidad 7) hace factible la conexión de sensores locales y con activación local de mensajes de alerta temprana en la zona del evento, con salidas directa a terminales de celulares o tv también regionales de manera directa por medio de una sistema de gestión de alarmas unificado y con salida a cada servicio de comunicaciones que se pretende utilizar como vinculo con los habitantes (ejemplo celular/TV)

2.3 RED NACIONAL DE ESTACIONES SISMOLOGICAS ARGENTINA INPRES.

Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES).- El INPRES tiene como responsabilidad primaria realizar estudios e investigaciones básicas y aplicadas de sismología e ingeniería sismorresistente, destinados a la prevención del riesgo sísmico mediante el dictado de reglamentos que permitan en forma óptima la estabilidad y permanencia de las estructuras civiles existentes en las zonas sísmicas del país.

La Red Nacional de Estaciones Sismológicas está compuesta por cincuenta (50) estaciones distribuidas en todo el territorio nacional. Por razones topográficas y de interconectividad, su distribución se ha integrado conformando cinco aéreas de riesgo sísmico y agrupadas en tres zonas a saber: Red Zonal Norte, Red Zonal Centro y Red Zonal Sur.

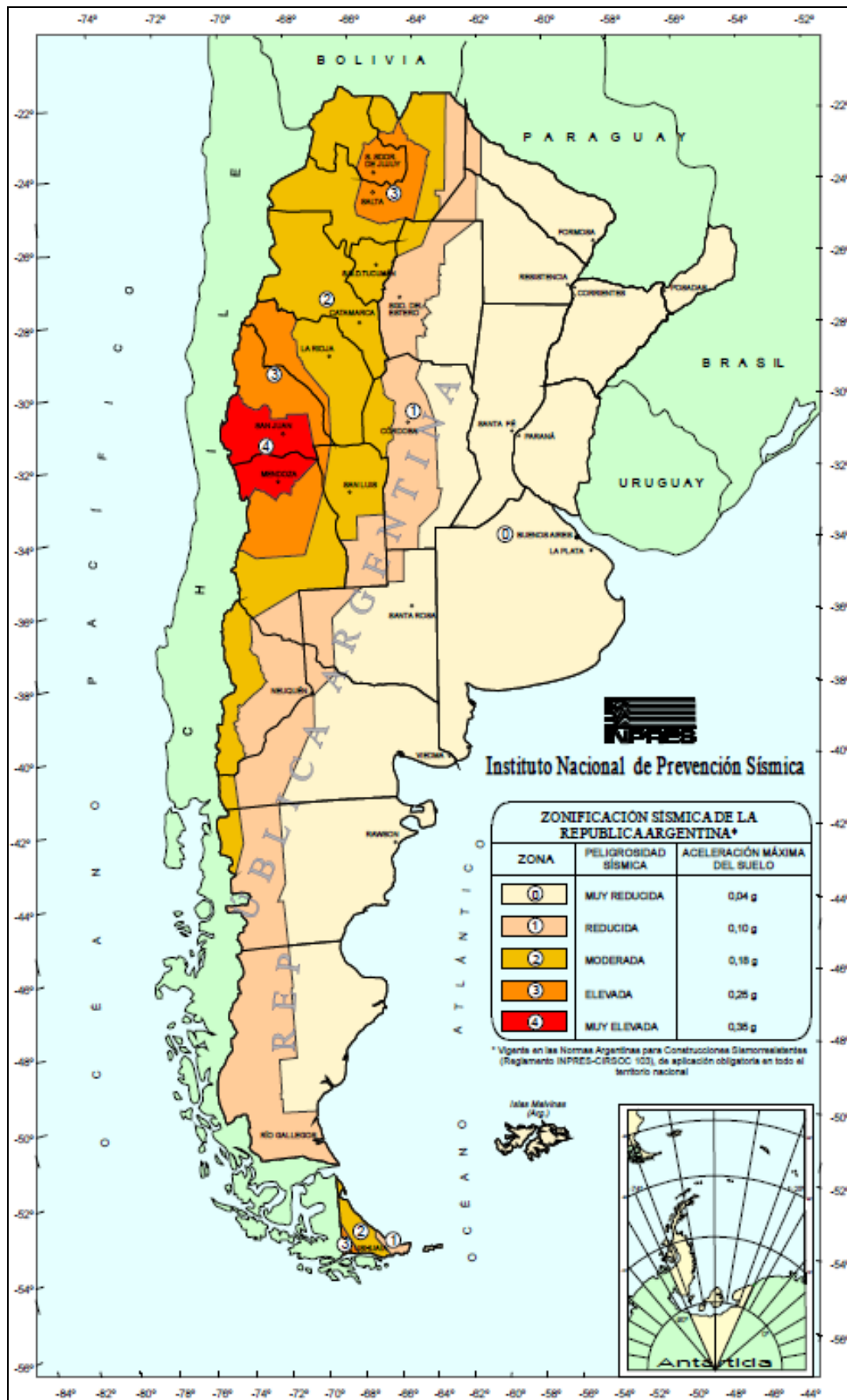


Figura 1: Zonificación de la Republica Argentina en función al grado de peligrosidad sísmica.

FUENTE: INPRES.

La República Argentina se divide en cinco zonas de acuerdo al grado de su peligrosidad sísmica, de acuerdo a la siguiente tabla:

ZONAS	PROVINCIAS	LOCALIDADES
ZONA 4	SAN JUAN	Calingasta - Ullún - Albardón - Angaco - Zonda - Rivadavia Chimbab - Capital - Santa Lucía - San Martín - Pocito Parte de Caucete - Rawson - 9 de Julio - Sarmiento 25 de Mayo
	MENDOZA	Las Heras - Parte de Lavalle - Godoy Cruz - Luján de Cuyo Capital - Guaymallén - Maipú - San Martín - Junín
ZONA 3	SALTA	Parte de Orán - La Caldera - Gral. Güemes - Capital Parte de Rosario de Lerma Chicoana - Cerrillos - Metán Parte de Anta - Parte de Guachipas
	JUJUY	Parte de Tumbaya - Tilcara - Valle Grande Capital - Ledesma - San Antonio - El Carmen San Pedro - Santa Bárbara
	LA RIOJA	Parte de Independencia - Gral. Sarmiento - Gral. La Madrid Parte de Gral. Juan Facundo Quiroga - Gral. Lavalle Parte de Rosario Vera Peñaloza
	MENDOZA	Parte de Lavalle - Tupungato - Rivadavia - Tunuyán Santa Rosa - Parte de La Paz - San Carlos Parte de San Rafael
	SAN JUAN	Parte de Caucete - Iglesia - Jáchal - Valle Fértil
	SAN LUIS	Parte de Ayacucho - Parte de Belgrano
	TIERRA DE FUEGO	Parte de Río Grande - Parte de Ushuaia
ZONA 2	LA RIOJA	Famatina - San Blas de los Sauces - Chilecito - Arauco Castro Barros - Sanagasta - Capital - Gobernador Gordillo Parte de Independencia - Gral. Belgrano - Gral. Ocampo Gral. Angel V. Peñaloza - Parte de Rosario Vera Peñaloza Parte de Gral. Juan Facundo Quiroga - Gral. San Martín
	CATAMARCA	En su totalidad
	CORDOBA	Cruz del Eje - Minas - Pocho - San Alberto - San Javier
	MENDOZA	Parte de La Paz - Gral. Alvear - Parte de San Rafael Parte de Malargüe
	NEOQUEN	Minas - Chos Malal - Ñorquín - Loncopué - Picunches Aluminé - Huiliches - Lácar - Los Lagos
	RIO NEGRO	Parte de Pilcaniyeu - Bariloche - Parte de Ñorquínco
	SALTA	Santa Victoria - Iruya - Parte de Orán - Parte de Rivadavia Gral. José de San Martín - Los Andes - La Poma - Cachi Parte de Rosario de Lerma - Molinos - San Carlos - Cafayate Parte de La Viña - Candelaria - Rosario de la Frontera Parte de Anta - Parte de Guachipas
	CHUBUT	Parte de Cushamen - Parte de Futaleufú
	JUJUY	Santa Catarina - Yavi - Rinconada - Cochinoca Susques - Humahuaca - Parte de Tumbaya
	STGO DEL ESTERO	Parte de Pellegrini - Parte de Copo
	SAN LUIS	Parte de Ayacucho - Junín - Parte de Belgrano - Capital Coronel Pringles - Libertador Gral. San Martín - Chacabuco Parte de Gral. Pedertera
	TIERRA DE FUEGO	Parte de Río Grande - Parte de Ushuaia

Fuente: Elaboración propia en base al INPRES (Reglamento INPRES – CIRSOC 103)

ZONAS	PROVINCIAS	LOCALIDADES
ZONA 1	CORDOBA	Sobremonte - Ischilín - Parte de Tulumba - Punilla - Colón Totoral - Parte de Río Primero - Capital - Santa María Parte de Río Segundo - Calamuchita - Río Cuarto Parte de Gral. San Martín - Juárez Celman Parte de Tercero Arriba - Parte de Gral. Roca Parte de Presidente Roque Sáenz Peña
	CHACO	Parte de Almirante Brown - Parte de Gral. Güemes
	CHUBUT	Parte de Cushamen - Languiñeo - Tehuelches - Río Senguer Parte de Futaleufú
	MENDOZA	Parte de Malargüe
	NEOQUEN	Pehuenches - Añelo - Zapala - Confluencia Catán Lil Picún Leufú - Collón Curá
	RIO NEGRO	Parte de Gral. Roca - Parte de El Cuy - Parte de Pilcaniyeu Parte de 25 de Mayo - Parte de Ñorquínco
	SALTA	Parte de Rivadavia
	SAN LUIS	Parte de Gral. Pedernera - Gobernador Dupuy
	SANTA CRUZ	Lago Buenos Aires - Río Chico - Lago Argentino - Güer Aike
	FORMOZA	Ramón Lista - Matacos
	LA PAMPA	Rancul - Chical Co - Parte de Chalileo - Puelén
	STGO DEL ESTERO	Parte de Pellegrini - Parte de Copo - Parte de Alberdi Jiménez - Río Hondo - Banda - Figueroa - Guasayán Capital - Robles - Silípica - San Martín - Choya Loreto - Atamisqui - Parte de Ojo de Agua
	TIERRA DEL FUEGO ANTARTIDA ISLAS DEL ATLANTICO SUR	Parte de Río Grande - Parte de Ushuaia
ZONA 0	CORDOBA	Río Seco - Parte de Tulumba - Parte de Río Primero San Justo - Parte de Río Segundo - Parte de Tercero Arriba Parte de Gral. San Martín - Unión - Marcos Juárez Parte de Presidente R. Sáenz Peña - Parte de Gral. Roca
	BUENOS AIRES	En su totalidad
	CORRIENTES	En su totalidad
	CHACO	Parte de Almirante Brown - Parte de Gral. Güemes - Maipú Libertador Gral. San Martín - Chacabuco - 9 de Julio Gral. Belgrano - Independencia - Comandante Fernández Quitilipi - 25 de Mayo - Presidente de la Plaza Sargento Cabral - Gral. Donovan - 1° de Mayo - Bermejo 12 de Octubre - O'Higgins - San Lorenzo - Libertad Fray Justo Sta. María de Oro - Mayor Luis J. Fontana Tapenagá - San Fernando
	CHUBUT	Gastre - Telsen - Biedma - Paso de los Indios - Mártires Gaiman - Rawson - Florentino Ameghino - Sarmiento Escalante
	ENTRE RIOS	En su totalidad
	FORMOZA	Bermejo - Patiño - Pilagás - Pilcomayo - Pirané - Formosa Laishi
	LA PAMPA	Relaico - Chapaleufú - Trenel - Maracó - Conhelo Quemú-Quemú

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE AL INPRES (REGLAMENTO INPRES – CIRSOC 103)

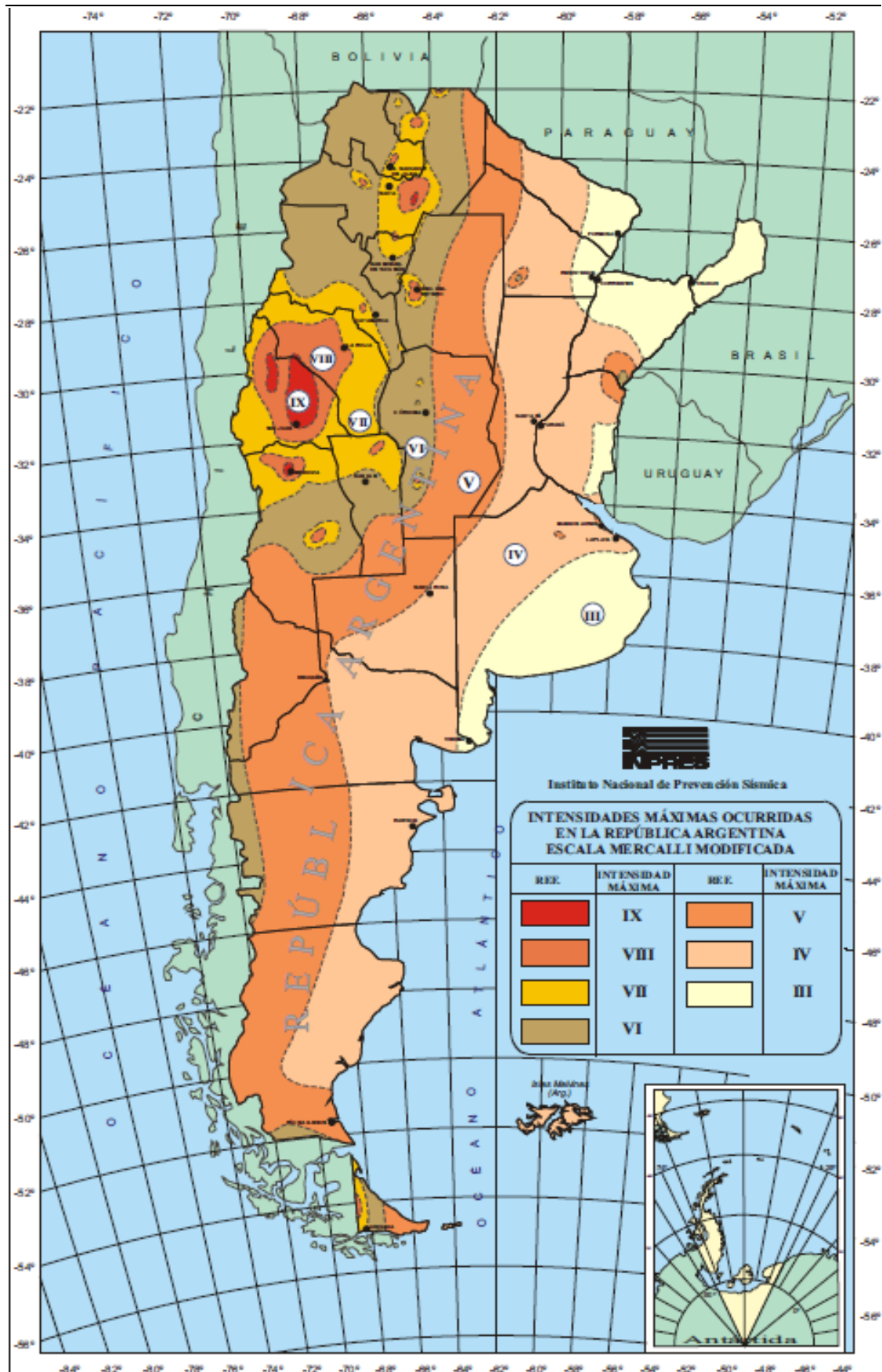


Figura 2: Mapa de Intensidades máximas en la Rep. Argentina

FUENTE: INPRES

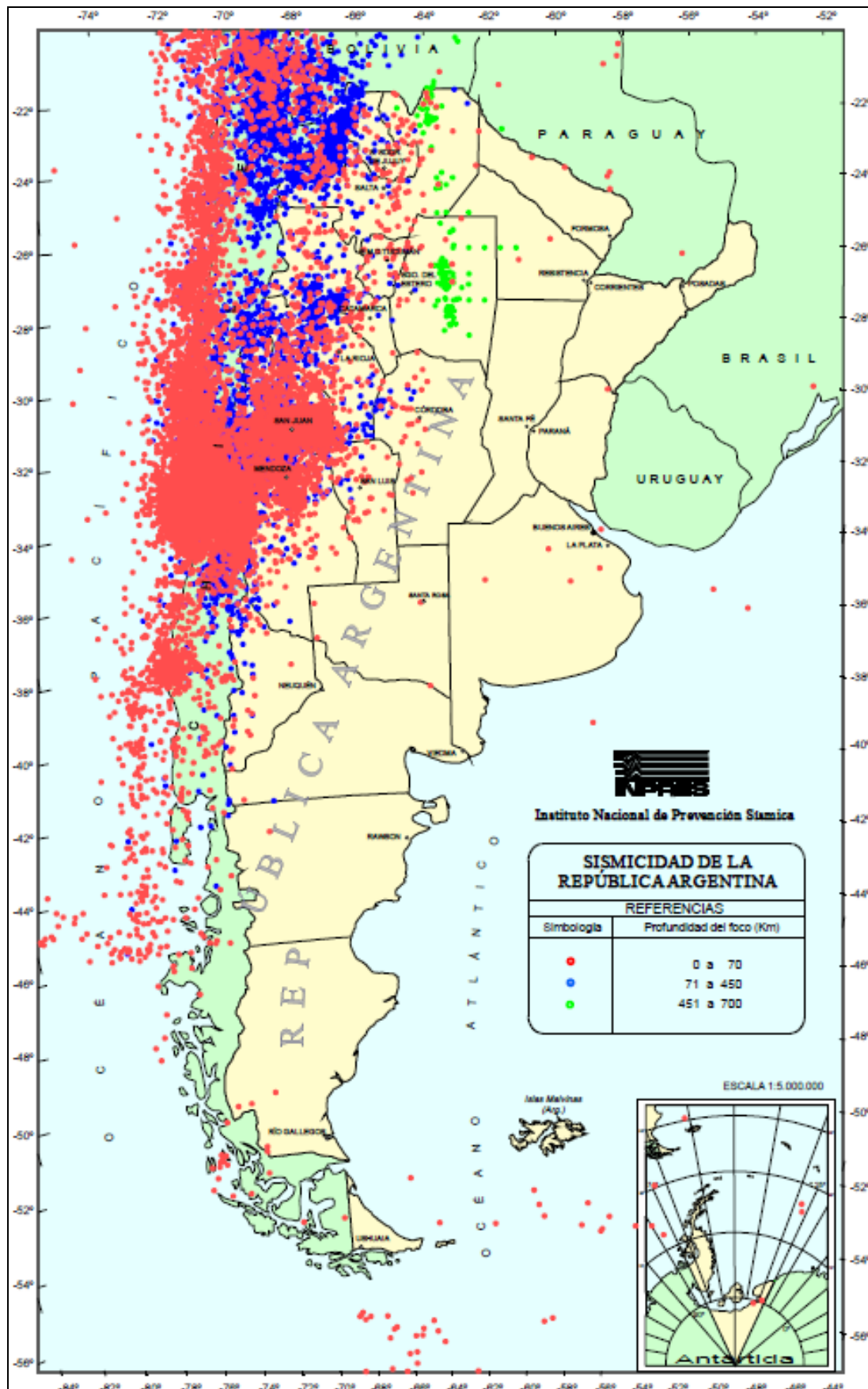


Figura 3: Mapa de Sismicidad de la Republica Argentina

FUENTE: INPRES

2.3.1 Red Sísmica.- Las redes sísmicas están compuestas por estaciones de campo y estaciones centrales de registro. Los instrumentos que se sitúan en distintas estaciones pueden detectar velocidad (red tradicional) o aceleración (red denominada de movimiento fuerte) en el suelo ante un evento sísmico.

a) Estaciones de Campo: alberga el sensor o geófono que detecta y amplifica el movimiento del suelo, equipo necesario para convertir la señal mecánica del suelo en una señal electromagnética que pueda ser transmitida a la estación central de registro, la antena que emite dicha señal, las baterías que proporcionan energía a los demás elementos y un panel solar acompañado de un regulador que mantiene cargadas las baterías. Los sensores modernos son, básicamente, un péndulo amortiguado cuyas oscilaciones pueden ser convertidas en una señal eléctrica. Las oscilaciones del péndulo pueden tener lugar en un plano vertical o en uno horizontal dependiendo de cómo se sujete la masa pendular; en el primer caso tendríamos un sensor vertical (denominado normalmente componente Z); en el segundo caso tenemos dos grados de libertad, dando lugar a un sensor Norte-Sur (componente NS) y finalmente un sensor Este –Oeste (componente EW).

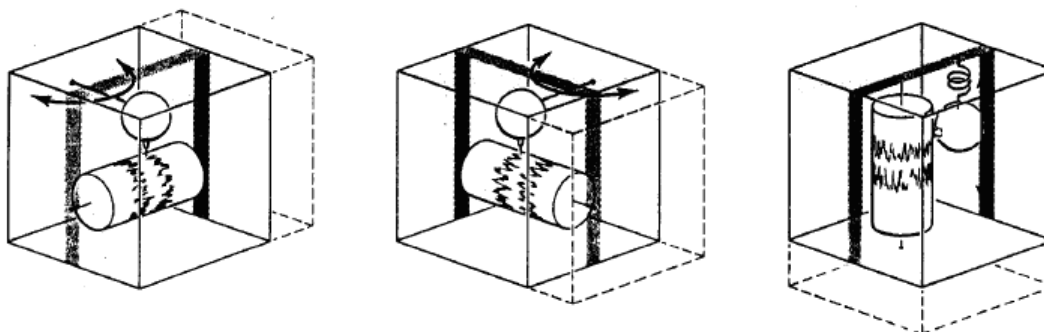


Figura 4: Geófonos o Sensores modernos, Sensores Horizontales (Componentes NS – EW) y Sensor Vertical (Componente Z)

A demás los sensores pueden detectar la velocidad o aceleración del suelo; Los primeros (componentes NS – EW) están diseñados para detectar actividad sísmica moderada y son elementos básicos en la vigilancia sísmica de una zona; En el segundo caso (componente Z), reciben el nombre especial de "acelerómetros", y están preparados para detectar la actividad sísmica fuerte, siendo prácticamente insensibles a moderada y pequeña escala.

Los sismómetros se caracterizan por la denominada "respuesta característica" (Alguacil ,1986; Payo, 1986; Kulhanek ,1991); ésta refleja el comportamiento del sismómetro en conjunto y, por tanto, de la apariencia del sismograma. La respuesta característica no es más que un grafica en la que se representa la amplificación del movimiento que el sismómetro detecta frente a la frecuencia de oscilación que perturba al instrumento.

Las estaciones de campo están desplegadas en una zona de interés por su actividad sísmica. Se sitúan en puntos alejados del "ruido sísmico", es decir, poblaciones, vías de comunicación, vegetación abundante, costas y enclaves que no estén resguardados de fenómenos meteorológicos adversos como, por ejemplo, el viento. Además las estaciones de campo pueden ser fijas o móviles; en el primer caso, se trata de equipos que funcionan continuamente desde un mismo punto y con un escaso mantenimiento técnico; en el segundo caso, se trata de equipos desplazados ad hoc en una zona por el interés eventual de la misma (por ejemplo, en el caso de un enjambre sísmico o swarm, que es la ocurrencia de un conjunto de eventos sísmicos en un área específica durante un periodo de tiempo).

b) Estación Central de Registro, recibe y registra la información detectada y enviada por las estaciones de campo. La señal eléctrica que llega a la estación central de registro sufre dos tratamientos:

- ✓ Es convertida de nuevo en una señal mecánica y esta se registra por un medio de impresión cinta banda (registro analógico)

- ✓ Se digitaliza y es registrada en un medio informático (registro digital)

Los registros se denominan, respectivamente, sismogramas analógicos o digitales que son los datos fundamentales de los que el investigador puede extraer información acerca del fenómeno sísmico, y el tratamiento y proceso de los mismos son parte crucial en la información de cualquier sismólogo.

2.3.2 Estaciones Análogas con Registro IN-SITU.- Este grupo está conformado por las primeras estaciones que se instalaron en el país y su configuración permite registrar una, tres o seis componentes del movimiento del suelo. Están equipadas con sistemas sismográficos analógicos, típico de la tecnología de esos tiempos, la señal sísmica es amplificada y graficada sobre una banda de papel cuya duración es de 24 horas. El registro así obtenido es llamado "sismograma". Estos registros, además de capturar las ondas sísmicas, cuentan con una marca horaria, indispensable para su análisis, la señal horaria es incorporada al registro a partir de un reloj de alta precisión, que se encuentra en la estación, el cual es corregido mediante radiofrecuencia diariamente desde el INPRES Central.

2.3.3 Estaciones Telemétricas.- Este tipo de estaciones se clasifican en dos clases principales:

- a) Estaciones telemétricas analógicas.-** En estas estaciones, las que también se las conoce como "estaciones remotas", las señales sísmicas analógicas, proveniente de los sensores emplazados en la misma, son amplificadas y acondicionadas para ser transmitidas, mediante enlaces radioeléctricos, de manera continua y sin interrupciones, en forma directa o a través de estaciones repetidoras, a una estación receptora distante, donde se le incorpora la señal horaria y es digitalizada y transferida a un sistema de análisis. Las estaciones remotas pueden registrar, una o tres componentes según sea el caso, para lo cual cuentan con un sistema analógico de amplificación y transmisión de la información en tiempo real que permita tales alternativas. En los enlaces radioeléctricos, son utilizados equipos de radio en las bandas de VHF o UHF con modulación de frecuencia (FM), para asegurar una

buena fidelidad en la información transmitida. Ver figura Nro. 5 con sistema de transmisión por "dial up".

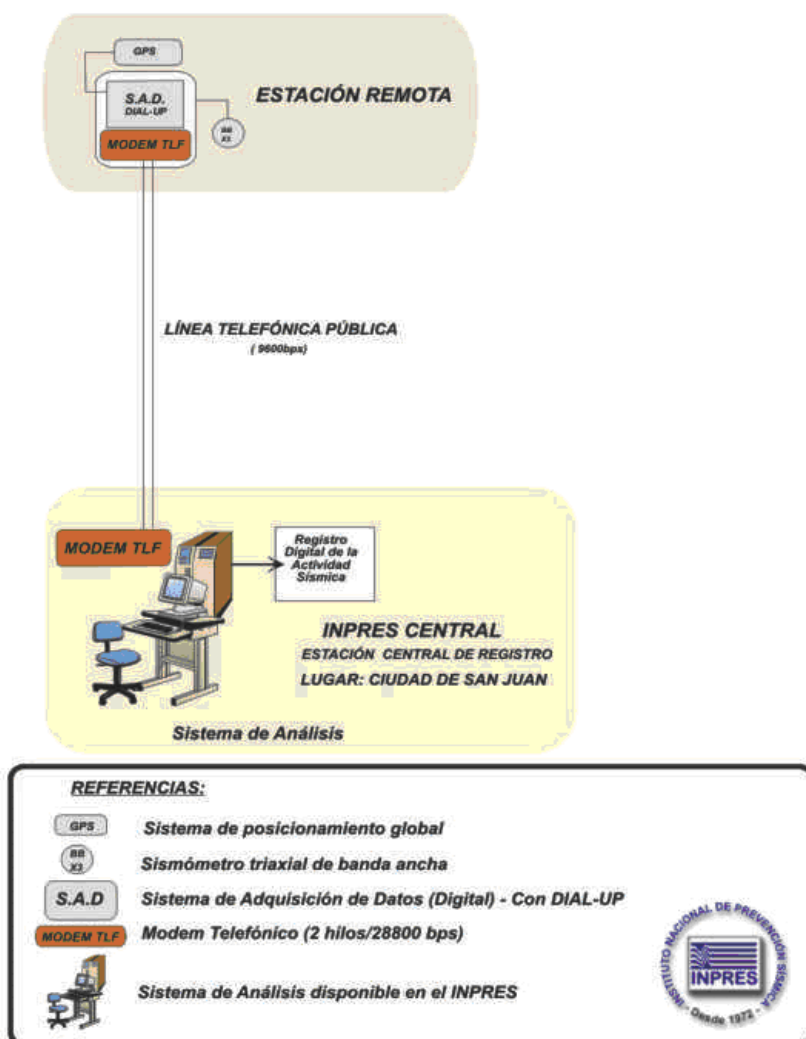


Figura 5: Instrumentación de una Estación Telemétrica Remota para Monitoreo de la Actividad Sísmica DIAL-UP

Fuente: INPRES.

- b) Estaciones telemétricas digitales.-** En ellas se utilizan sistemas de adquisición de datos digitales. Estos son equipos programables, que utilizan microprocesadores de última generación, de muy bajo consumo y alta confiabilidad. Los mismos cuentan con una unidad de memoria suficiente para almacenar los programas operativos y permitir instrucciones de control para la incorporación de comandos operativos adicionales que le permitan funcionar como estación remota inteligente, transmitiendo la información adquirida en tiempo real mediante enlaces radioeléctricos bidireccionales en bandas de VHF o UHF con modulación de frecuencia (FM).

La información del registro de la hora, minutos y segundos, para la identificación de los eventos, proviene de un reloj incorporado de muy alta estabilidad; con precisión del orden de una parte por millón (PPM) /°C para temperaturas entre -20 a + 60°C, con un corrimiento menor que 10mseg por mes, el cual es sincronizable; a demás de una señal horaria externa de tiempo universal, mediante un sistema horario de ajuste automático vía satélite (GPS). Este reloj entrega una señal codificada de año, día, hora, minuto y segundo, la que es puesta en hora y ajustada automáticamente. Es semejante al reloj patrón utilizado en redes de transporte óptico con tecnologías SDH.

Con el fin de evitar pérdidas de la información adquirida, ante una interrupción de las comunicaciones, los equipos de adquisición de datos digitales, utilizan como medio de almacenamiento un soporte magnético, la capacidad del orden de 3Gb. Esta configuración, permite que el equipo siga adquiriendo información por un periodo suficiente, hasta tanto se restablezca el enlace o el inconveniente que ocasionó la interrupción de la transferencia de la información.

2.3.3 Subcentros.- Los subcentros, como su nombre lo indica, son los sitios donde se reciben los registros obtenidos en las estaciones remotas que integran una Red Zonal, la comunicación desde estas estaciones al subcentro se hace mediante enlaces radio eléctricos bidireccionales en las bandas de VHF o UHF y desde éste a la Central vía telefónica (Dial-Up). El equipamiento instalado, está compuesto por un sistema de adquisición de datos con almacenamiento de alta capacidad, un módem de RF, un módem telefónico y programas de comunicación para las dos vías.

2.3.4 Centro de Recolección, Tratamiento y Análisis de la Información.- Este centro se encuentra ubicado en la sede del Instituto, donde se almacena, clasifica, se procesa y analiza toda la información.

2.3.5 Equipo móvil.- Como su nombre lo indica, está conformado por un número determinado de estaciones sismológicas portátiles, las que se instalan, durante un periodo de tiempo, en lugares estratégicos para obtener registros de la actividad sísmica en una zona específica para efectuar estudios especiales, tales como:

- ✓ Detección de réplicas: Determinación con mayor precisión, de la actividad sísmica posterior a la ocurrencia de un sismo de grandes proporciones, mediante la instalación de varios equipos en el área afectada. Esta acción complementa a la información obtenida en la Red Nacional de Estaciones Sismológicas.
- ✓ Estudios de sismicidad en zonas determinadas.
- ✓ Determinación de la actividad sísmica inducida por el llenado de presas.
- ✓ Determinación de la actividad sísmica de una falla geológica.
- ✓ Determinación del ruido sísmico, para la selección de la ubicación y emplazamiento de equipos sensibles a las vibraciones.

Las estaciones portátiles, con que cuenta el Instituto en la actualidad, se clasifican en dos tipos distintos:

a) Estaciones portátiles con tecnología analógica: Este tipo de estaciones están conformadas con:

- Un sismómetro.
- Un canal de registro continuo.
- Un reloj de alta estabilidad.
- Un amplificador con ganancia y filtro seleccionables.
- Un tambor de registro sobre papel, la inscripción puede ser de tinta o sobre papel ahumado. La velocidad del papel de registro es seleccionable.

Un sistema de baterías incorporadas, con autonomía del orden de 72 horas.

b) Estaciones portátiles con tecnología digital: Este tipo de estaciones están conformadas con:

- Un sistema de adquisición de datos programable de hasta seis canales de registro, con sus correspondientes sismómetros.
- Amplificadores de banda ancha y filtros programables de alto rango dinámico.
- Digitalizadores de hasta 24 bits.
- Reloj de alta estabilidad controlado mediante GPS.
- Soportes magnéticos para el almacenamiento de los registros.
- Baterías incorporadas, con autonomía de hasta un mes, dependiendo de la modalidad de registro.

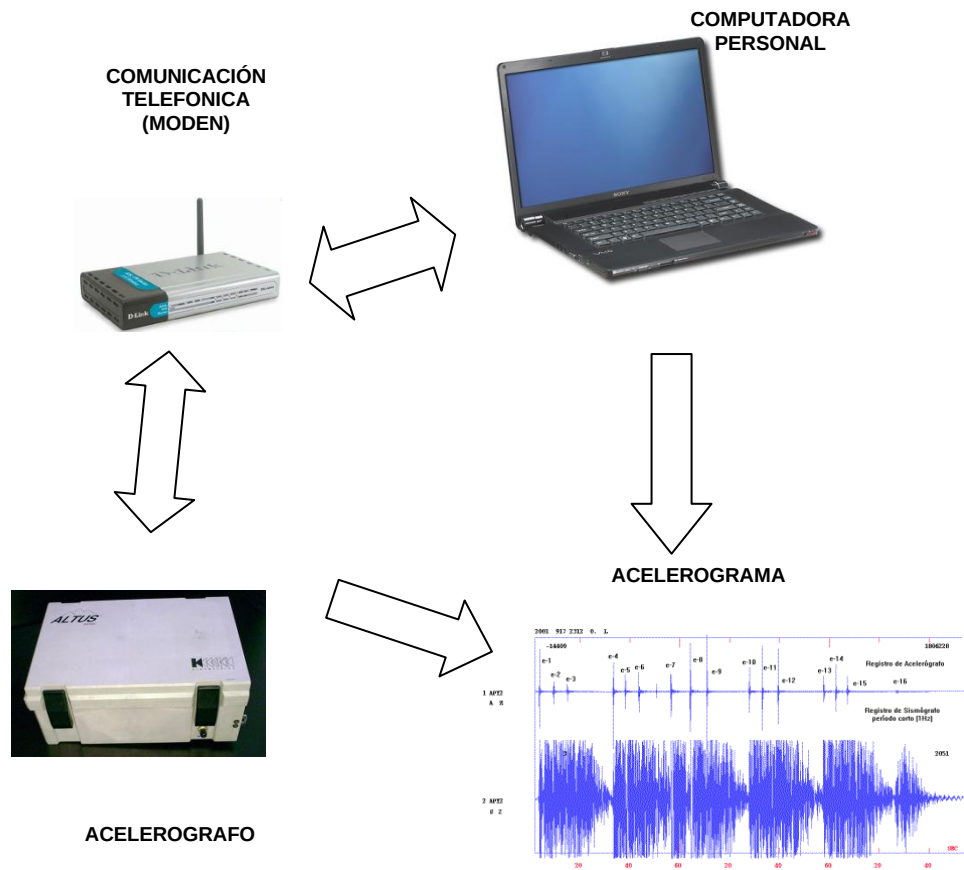
- Sistemas de enlaces radioeléctricos, si se requiere incorporar sensores remotos, para una mayor área de cobertura.

2.3.6 Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES)

Dentro de sus principales funciones podemos destacar las siguientes:

- ✓ Planificar y realizar el estudio de la sismicidad del territorio nacional, evaluando el riesgo sísmico en todas y cada una de las zonas del mismo.
- ✓ Operar en todo el territorio nacional la Red Nacional de Estaciones Sismológicas, la Red Nacional de Acelerógrafos y, en la sede del Instituto Nacional, el Laboratorio de Estructuras Sismorresistentes.
- ✓ Proyectar y aconsejar reglamentos que regulen la construcción de cada una de las zonas sísmicas del país.
- ✓ Proyectar y realizar estudios tecnológicos y brindar asistencia técnica referente a materiales y sistemas de construcción sismorresistente.
- ✓ Realizar campañas de divulgación en todos los niveles, destinadas a crear una conciencia del problema sísmico y sus soluciones y efectuar publicaciones de divulgación técnica.
- ✓ Prestar asistencia técnica específica en los casos de desastre ocasionados por sismos, a fin de solucionar los problemas derivados de la destrucción de edificios e infraestructura civiles.
- ✓ Actuar como autoridad de validación a nivel nacional, desde el punto de vista sísmico, en grandes obras de infraestructura tales como complejos hidroeléctricos, establecimientos mineros, centrales nucleares, etc., instaladas o a instalarse en el territorio nacional.
- ✓ Implementar la Política Nacional de Prevención Sísmica.

El INPRES, tiene a su cargo la instalación y el mantenimiento de la Red Nacional de Acelerógrafos (RNA) La misma cuenta en la actualidad con 143 aparatos, distribuidos en todo el país. Con los últimos 70 instalados, se han incorporado los mayores avances tecnológicos en la materia, como por ejemplo el registro digital, la adquisición de datos directamente a través de una computadora personal (PC), la obtención de registros de muy alta definición, y la posibilidad del manejo a distancia, por medio de módem (comunicación con el aparato instalado en cualquier lugar del país por teléfono, desde la sede del INPRES, a través de una computadora).

**Figura 6: Componentes de una RNA**

FUENTE: ELABORACION PROPIA



Figura 7: Mapa de la Red Nacional de Acelerógrafos (143 Puntos)

FUENTE: INPRES.

**Cuadro: Sitios de Emplazamiento de Acelerógrafos
en la República Argentina**

PROVINCIAS	LOCALIDADES
SAN JUAN	Calingasta - Ullún - Albardón - Barreal - Zonda - Rivadavia - Caucete Chimbas - Encon - Jachal - Las Flores - Media Agua - Pie de Palo Pocito - Rawson - Rode - San Juan - San Martín - Santa Lucía Tamberías - Valle Fértil
MENDOZA	El Carrizal - Gñral. Alvear - La Paz - Las Heras - Malargüe - Mendoza Lavalle - Godoy Cruz - Luján de Cuyo - Guaymallén - Maipú - Tunuyán San Rafael - San Martín - Uspallata
SALTA	Cafayate - Chachapoya - San Ramón de la Nueva Orán - El Tunal Guemes - La Merced - Laviña - Metán - Rosario de la Frontera - Salta Salvador Maza - San Lorenzo - Tartagal - Cnel. Moldes
CORDOBA	Carlos Paz - Córdoba - Cosquín - Dean Funes Río Cuarto - Río Tercero - Salsacate Sampacho - Villa Dolores
TUCUMAN	Burruyacu - Concepción - El Cadillal J.B. Alberdi - Tucumán - Tafi del Valle San Pedro de Colalao
LA RIOJA	Anillado - Capial - Chilecito Chamical - Chepes La Rioja - Patquia
CATAMARCA	Belen - Catamarca Choya - Santa María Tinogasta
JUJUY	Humahuaca - Jujuy La Quiaca - San Martín San Pedro
SAN LUIS	Merlo - Quines San Luis - Villa Mercedes
NEOQUEN	Alta Banda - Buta Ranquil Piedra de Águila - Zapala
STGO DEL ESTERO	Frias - Santiago del Estero - Termas de Río Hondo
LA PAMPA	Colonia 25 de Mayo - Santa Isabel
CORRIENTES	Ituzaingó - Yacyretá
RIO GRANDE	Bariloche
CHUBUT	Esquel

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE AL INPRES

Resumen:

- se observa una red de INPRES de sensores de sismos distribuidos en zonas sísmicas y cantidad mas de 100, conectados a un nodo central por radio (VHF) o cobre, de existir líneas telefónicas, mediante dial up.

- contar con mayor puntos de medición aporta mas información relevada por el sistema INPRES y asegura mejores registro de eventos sísmicos, por lo cual contar con mas cantidad de sensores es útil pero su conexión desde el lugar de muestreo de terreno al nodo sigue siendo un pto complejo ya que se censa zonas aisladas y hasta la fecha (2012) el INPRES no contaba con otro tipo de redes para alcanzar el nodo central y adquirir datos que las propias. Hoy es posible mejorar esta red de recolección de información empleando la REFEFO como veremos mas adelante.

2.4 SISTEMA SCADA DE RELEVAMIENTO Y CONTROL DE VARIABLES MULTIPLES APLICADO A REDES OPTICAS.

Los sistemas de Control de Supervisión y Adquisición de Datos (SCADA) son aplicaciones diseñadas para controlar y supervisar datos geográficamente dispersos como sensores ambientales. Estos sistemas se basan en la adquisición y transmisión entre un ordenador central SCADA y un numero de unidades terminales remotas (RTUs) y/o controladores lógicos programables (PLC), el servicio central y los terminales de operador mejorando la eficiencia del proceso de monitoreo y control.

Estos sistemas pueden ser relativamente simples, como supervisión de condiciones ambientales de un pequeño edificio de oficinas (figura 1) o muy complejas como la supervisión de una planta nuclear o la actividad sísmica de un territorio nacional sectorizado.

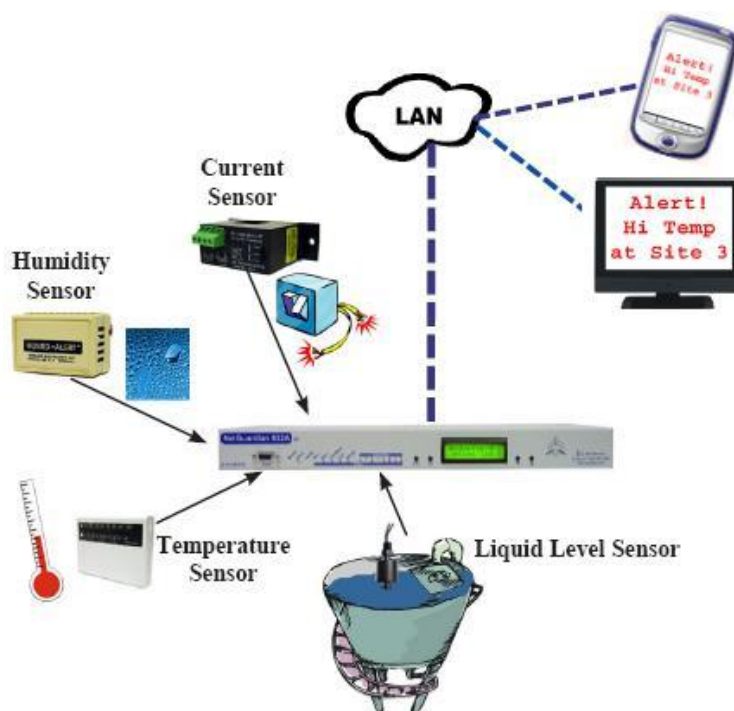


Figura 1: Sensores ambientales.

Fuente: DPS TELECOM.

Tradicionalmente, los sistemas SCADA han hecho uso de la red pública conmutada (PSTN) a efectos de control o sistemas de radio, típicamente VHF. Hoy

en día muchos sistemas son monitoreados utilizando la infraestructura de red de área local (LAN) y las redes de área amplia (WAN). Las tecnologías inalámbricas están siendo ampliamente desplegado para propósitos de monitoreo.

Una Aplicación SCADA tiene dos elementos:

- a) El proceso/sistema/maquinaria (process/system/machinery) que se requiere monitorear o controlar, esto puede ser una planta de energía, un sistema de agua, una red, un sistema de luces de tráfico o cualquier elemento que se desee supervisar.
- b). Una red de dispositivos inteligentes que se conecta con el primer sistema a través de sensores y salidas de control.

Un sistema SCADA realiza cuatro funciones:

- ✓ Adquisición de datos (Data acquisition).
- ✓ Red de comunicaciones de datos (Network Data Communications).
- ✓ Presentación de datos (Data presentation).
- ✓ Control.

Las cuatro funciones SCADA son realizadas por cuatro tipos de componentes SCADA:

a) Sensores (digital o analógico) y Relés de control que interactúan directamente con el sistema administrado.

b) Unidades Remotas de Telemetría (Remote Telemetry Units, RTUs). Son dispositivos electrónicos controlados por microprocesadores que interconectan los objetos al mundo físico mediante la transmisión de datos, estos dispositivos son desplegados en sitios específicos, en donde puntos de adquisición de datos locales reciben los estados de los sensores y entregan comandos a los relés de control.

c) SCADA Unidades Maestras (Master Units, MTU). Son los grandes servidores de computadora que sirven como procesador central en el sistema SCADA. Las unidades maestras proveen una interfaz humana (Human Machine Interface, HMI) para apoyar al sistema de comunicaciones y supervisar, controlar de forma remota los datos de campo ubicados en los

dispositivos de interfaz.

d) La red de comunicaciones es la que conecta la unidad maestra SCADA a las unidades remotas de telemetría (RTUs).

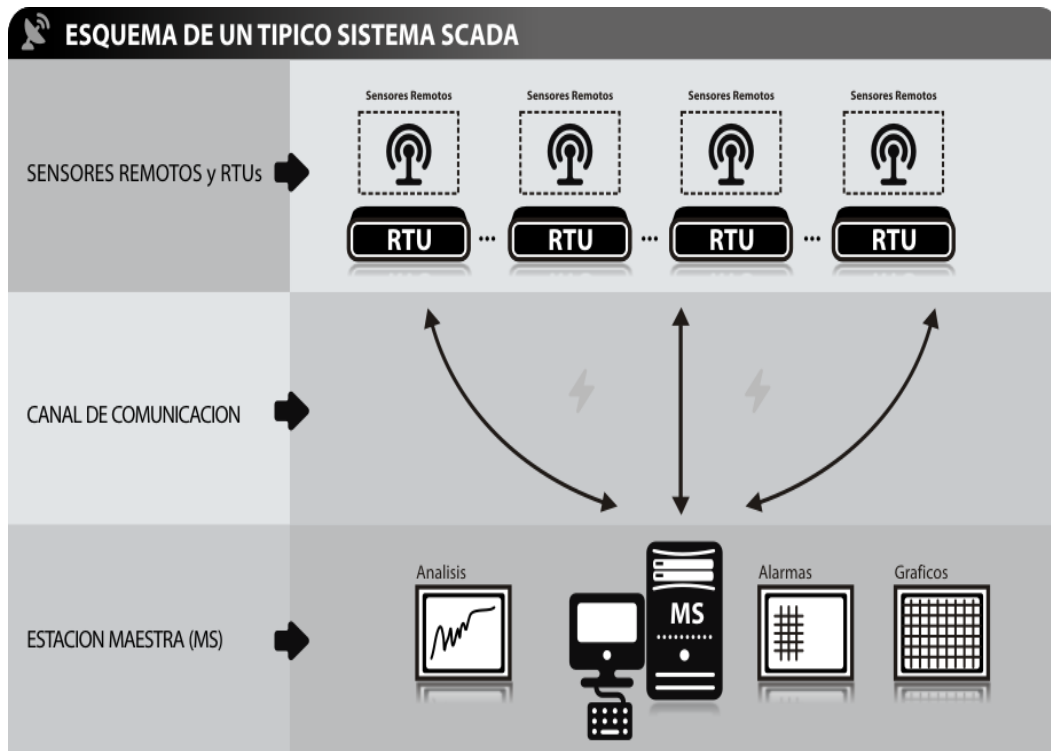


Figura 2: Esquema SCADA.

Fuente: GLOBALSCADA.

2.4.1 Alarmas Discretas Vs. Analógicas.- Algunos sensores detectan condiciones on/off que se reportan como encendido y apagado, tal es el caso de un sistema de acceso a edificios como se representa en la figura 4, en el cual se accesa mediante una tarjeta única o digitación de código de autenticación personal, que se puede representar como un valor analógico que cruza un umbral, otros sensores miden situaciones más complejas, en donde la medición exacta es muy importante y de precisión como en el caso de umbrales de sismicidad para clasificación de las alarmas.

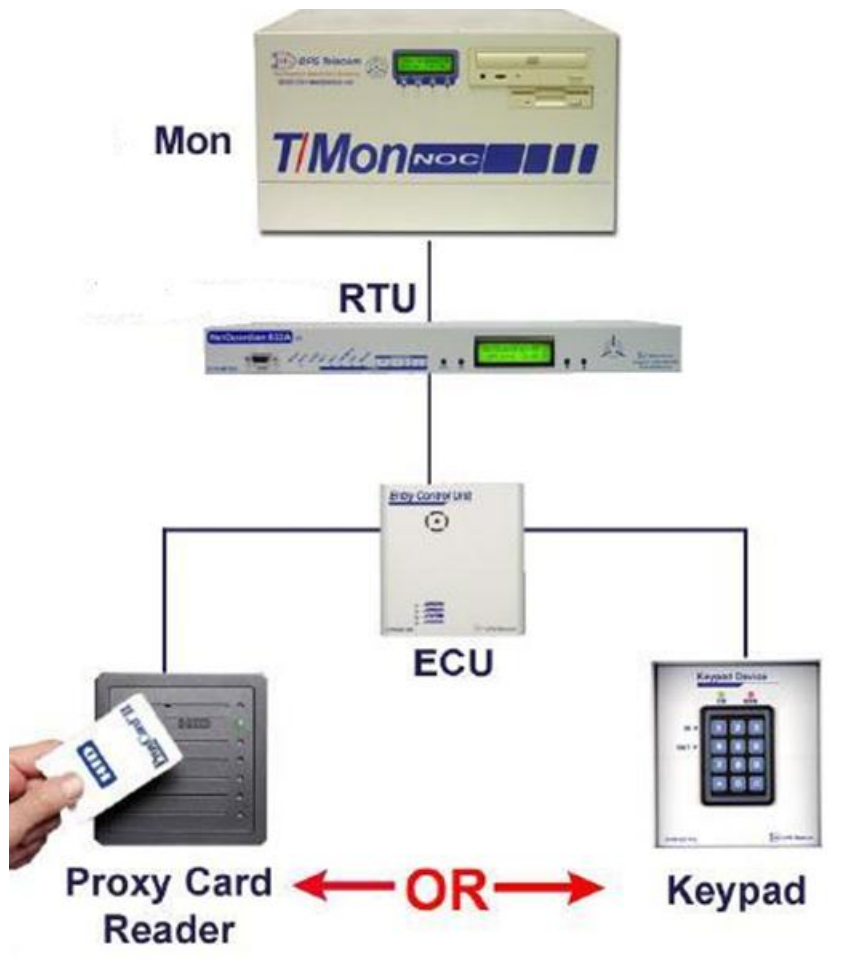


Figura 3: Building Access System (BAS)

Fuente: DPS TELECOM.

Para la mayoría de las medidas analógicas, lo ideal deseado es mantener el valor entre un nivel medio y un nivel superior. Por ejemplo, es posible que se desee que la temperatura en una sala de servidores permanezca continua entre valores de 16 y 22 grados Celsius o también es posible que se desee supervisar una planta industrial manejando variables de tensión, temperatura, presión, emanación de gases, etc. Notificando inmediatamente si los sensores detectan condiciones fuera de ese rango.

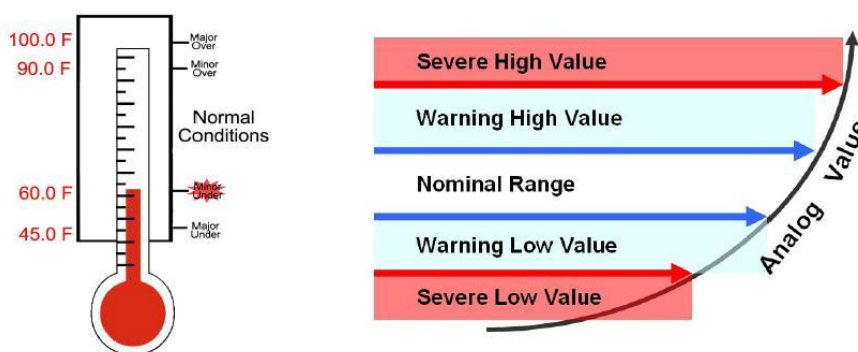


Figura 4: Valores de Umbrales.

Fuente: DPS TELECOM.

En los sistemas más avanzados, hay cuatro detectores de umbral ver figura 4 o mas valores definidos por el usuario que le ayudaran a distinguir la "gravedad de las alarmas", indicando cuando ha pasado de un valor determinado a otro, como por ejemplo una alerta de sismicidad mínimo y provincia, fuera de los rangos de umbral que amenaza a la población, fijado por INPRES.

Una de las principales ventajas de la utilización de "sensores analógicos" para la vigilancia ambiental es la capacidad de controlar el cambio de valores analógicos en tiempo real. Esto ayuda a tomar decisiones rápidas y priorizadas ante cualquier eventualidad previamente sectorizando los puntos críticos de medición de sismicidad distribuida centralizada de la zona afectada.

2.4.2 Alimentación de los sensores.- Opciones principales para la alimentación de los sensores del sistema SCADA:

- a) **Energía Comercial.-** Esta es una forma sencilla implementación de energía de sensores SCADA. Sin embargo, cuando los sitios remotos experimentan un corte de energía, también lo hacen sus sensores y están desprotegidos frente a una subida de tensión.
- b) **Energía RTU.-** La forma ideal de proporcionar energía a los sensores es a través de un suministro seguro de alimentación redundante. Usando SCADA como fuente de alimentación, los sensores están protegidos contra fallas de energía comerciales, ya que se están ejecutando en la misma protección de batería.

2.5 SENSORES AMBIENTALES OPTICOS Y SUS APLICACIONES.

Las fibras ópticas han aportado fuertemente al desarrollo de la industria de las telecomunicaciones, así como en el área de sensores desde hace ya más de tres décadas. Debido a que se necesita seguir obteniendo mayor aprovechamiento de las características especiales que tiene la fibra, se han construido dispositivos ópticos como acopladores DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), amplificadores y sensores ambientales que han contribuido al desarrollo continuo de nuestras redes debido a que son intrínsecamente de baja pérdida y pueden ser interconectados a distintas redes que transportan señales complejas. Con estos sistemas, llamados “All Fiber”, se ha disminuido una de las limitantes que tiene cualquier sistema de comunicación a larga distancia, la cual es la pérdida por atenuación de las señales.

La fotónica cubre un amplio espectro de actividades relacionados con el estudio de los fenómenos de interacción de la luz con materiales puros o impurificados con átomos o moléculas, que actúan como centros ópticamente activos, en ella se estudian los procesos de emisión de luz, propagación, transmisión deflexión, amplificación y su detección. La fotónica ha impulsado vertiginosamente la búsqueda de materiales que puedan tener una aplicación en tecnologías de la comunicación óptica; detectores de radiación, pantallas fluorescentes de color, filtros ópticos, convertidores de frecuencia óptica, como medios activos para láseres entonables en frecuencia, en dispositivos de opto electrónica; medios transmisores de información, direccionadores y controladores ópticos de radiación, memorias ópticas, etc.

Sensores basados en esta tecnología pueden utilizarse para medir muchos parámetros diferentes, como temperatura, presión, desplazamiento, campo eléctrico, índice de refracción, la rotación la posición, las vibraciones, emisiones volcánicas, etc. Su diseño incluye multiplexados de diversos tipos (WDM, TDM, etc.) y métodos de codificación de señales semejantes a las utilizadas en dispositivos electrónicos, lo cual disminuye sustancialmente el costo de los sistemas. Las distintas variantes posibilitan el desarrollo de sensores discretos por ej. veinte sensores en una fibra (en ciertas aplicaciones hasta mil sensores por fibra) o continuos (figura 5)

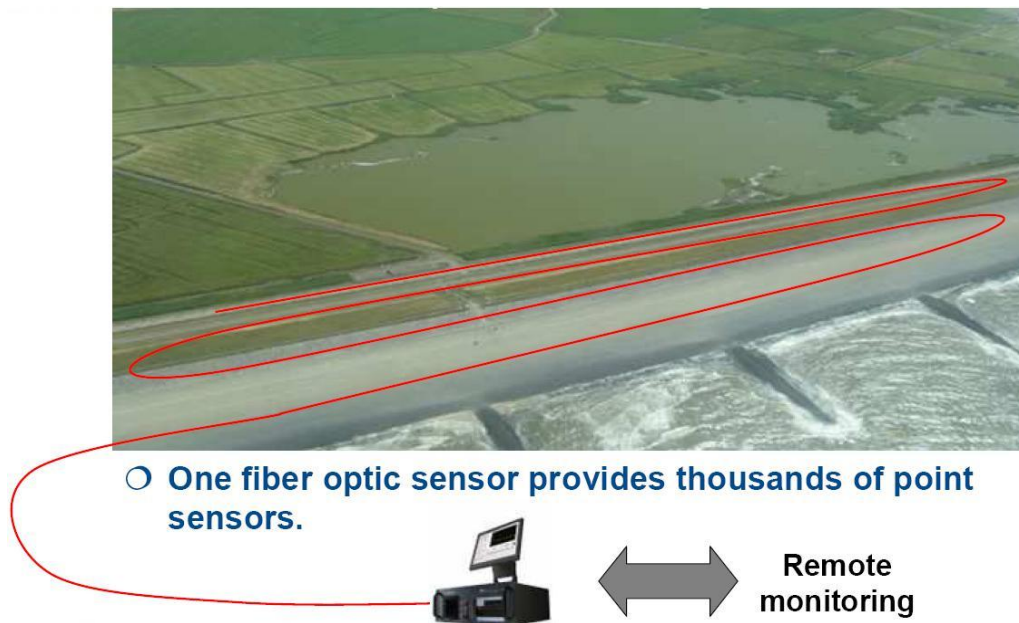


Figura 5: Distribución de sensado óptico con un cable continuo.

Fuente: ESANDS.com.

Entre los sensores de tipo discreto podemos citar los sensores interferométricos de fibra óptica y particularmente, a los generados por variaciones de índice de refracción de tipo periódico generadas en el núcleo de una fibra fotosensible (redes de Bragg, redes de período largo), los cuales tienen numerosas ventajas sobre otros sensores de fibra óptica.

Una de las principales ventajas de los sensores basados en redes de Bragg se atribuye a la identificación por longitud de onda de la información del parámetro externo censado transmitida por la red. Dado que la longitud de onda es un parámetro absoluto, las señales reflejadas por las FBG (Fiber Bragg Grating) se pueden procesar de manera que su información permanezca inmune a las fluctuaciones de potencia a lo largo de la trayectoria óptica. Esta característica inherente a los sensores de FBG hace muy atractivo para su aplicaciones en ambientes hostiles, estructuras inteligentes y mediciones in situ. Son ampliamente usadas en el desarrollo de técnicas de sensado óptico, actuando como sensores puntuales de monitoreo en tiempo real, gracias a múltiples ventajas entre ellas el ancho de banda ilimitado y la inmunidad al ruido.

Tal como hemos mencionado los tipos de sensado pueden ser clasificados como:

- a) SENSADO PUNTUAL: Un solo sensor por cada hilo de fibra, ubicado en un punto de interés particular.
- b) SENSADO CASI DISTRIBUÍDO: Varios sensores en un mismo hilo de fibra, interrogados por multiplexación (ej. tecnología FBG)
- c) SENSADO DISTRIBUÍDO: Sistema de medición en el que la misma fibra actúa como un sensor distribuido capaz de sensar en todos los puntos a lo largo del enlace basado en efectos no lineales (efecto Raman o Brillouin).

Las ventajas generales que presentan los sensores de fibra óptica, son las siguientes:

- ✓ Inmunidad contra interferencia electromagnética, aplicable en:
 - Campos electromagnéticos o ambientes de alto voltaje.
 - Medios explosivos, corrosivos o químicamente agresivos.
 - Altas y bajas temperaturas.
 - Ambientes expuestos a radiaciones nucleares / ionizantes.
- ✓ Livianos, tamaños pequeños, flexibles, baja conductividad térmica.
- ✓ Aislamiento eléctrico, bajas pérdidas, transmisión de señales a larga distancia sin necesidad de repetidores (sensado remoto).
- ✓ Eléctricamente pasivos.
- ✓ Químicamente inertes.
- ✓ Fáciles de instalar.
- ✓ Capacidad de interrogación remota, funcionando la fibra como elemento transductor y como medio de transmisión.
- ✓ Gran ancho de banda

Los sensores de fibra óptica aceleran la transición de toda la industria de Telecomunicaciones en su paso de la electrónica digital al mundo fotónico digital.

2.5.1 Ventajas particulares de los sensores basados en FBG.

Podemos citar las siguientes:

- ✓ Capacidad de Multiplexación (Sensor Networks) de varios transductores para compartir un equipo terminal costoso y reducir la cantidad de cableado necesario.
- ✓ Instalación embebida (“smart structures - estructuras inteligentes”)
- ✓ Codificación de longitudes de onda.
- ✓ Producción en masa a costo razonable.
- ✓ Resistentes a altas deformaciones.
- ✓ Resistentes a altas y bajas temperaturas (Desde 4 grados Kelvin hasta 1000 grados Celsius).
- ✓ Posibilidad de lograr largas distancias entre los sensores y los dispositivos de adquisición de datos.

La tecnología de FBG proporciona más alta capacidad de multiplexación, mayor precisión en comparación con tecnologías distribuidas y una medida codificada en un parámetro absoluto como es la longitud de onda de las señales (auto-referenciación). Se pueden implantar con FBG:

- Sensores de temperatura
- Galgas extensiométricos
- Acelerómetros
- Sensores de presión
- Inclínómetros
- Sensores de desplazamiento

2.5.2 Aplicaciones en la Industria.- La tecnología de FBG puede emplearse en las siguientes áreas:

- **Monitoreo de estructuras civiles:** Puentes, Túneles, Presas, Autopistas. Variables importantes como: Deformación, Desplazamiento, Presión, Temperatura y Vibración de vigas, pilares, plataformas, puentes, muros de contención y otros elementos estructurales. El requerimiento más importante que los

sensores de deformación deben cumplir es la estabilidad a largo plazo de los datos de salida del sistema, lo cual puede ser logrado por un sistema de medida casi libre de calibración como la tecnología FBG en cuestión.

- **Monitoreo de Pozos de petróleo:** ubicados tanto en tierra como en el fondo del océano. Variables importantes como: Temperatura, Presión y Fluido.
- **Monitoreo de Gasoductos de transporte:** una de las estructuras más críticas en el mundo, dado que la mayoría se encuentran en sitios de difícil acceso y exigen un monitoreo estricto para prevenir catástrofes ecológicas. Si algún daño ocurre, el monitoreo en tiempo real de los sensores FBG puede ayudar a disminuir el tiempo y los costos de reparación, ya que es posible conocer la ubicación exacta del daño. Variables como: Deformación y Temperatura.
- **Monitoreo de tanques de almacenamiento de petróleo:** para identificar fugas y fluidos que puedan contaminar el suelo o el agua, debido a posibles derrames de hidrocarburos. Variables como: Detección de fugas.
- **Monitoreo de Plantas Hidroeléctricas:** Variables como: Vibración y Temperatura.
- **Monitoreo de Cables de Transmisión.** Variables como: Vibración.
- **Monitoreo de Transformadores de Potencia.** La degradación del material aislante entre los devanados, el error de cálculo de comportamiento térmico eléctrico, el efecto de sobrecargas eléctricas, generan aumentos en la temperatura, lo que a su vez puede generar fallas en el funcionamiento del transformador, o si este se encuentra localizado en una subestación, generará apagones en amplias zonas geográficas. Variables como: Vibración y Temperatura.

3 - HIPOTESIS DE TRABAJO

3. HIPOTESIS DEL TRABAJO

3.1. OBJETIVO GENERAL.- Se propone interconectar la red de telecomunicación del proyecto "Argentina Conectada" con la red nacional de sismología de INPRES y sumar a esto el uso de nuevos detectores ópticos desarrollados por CIOP, Univ. de la Plata, para crear un "Sistema de Alerta Temprano de Sismos" con salidas de aviso automático a medios de comunicación vía: SMS/TDA/CATV/Radios/etc. creando una nueva aplicación para la " Red Federal de Fibra Óptica" de amplia cobertura y capilaridad territorial/regional con un mínimo costo adicional y contribuyendo con la mejora de la red de INPRES al ampliar la cantidad de ptos de monitoreo.

La hipótesis anterior se puede ampliar luego a otras variables de riesgo que se defina conveniente su monitoreo a nivel nacional e interconectado con otros países de la regional/Latinoamericano creando en etapas una red de aviso temprano de sismos u otros fenómenos naturales de riesgo.

3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.- Para alcanzar la hipótesis general de trabajo anterior se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Utilizar la Red Federal Fibra Óptica como base fundamental del sistema.
- Sumar a la actual red de acelerógrafos de INPRES nuevos y mayor cantidad (1500) puntos de monitores en zonas críticas (Noreste y Cuyo) por su alto potencial de sismos e instalar sensores en puntos críticos.
- Desarrollar y utilizar en la red propuesta anterior nuevos sensores ópticos para la detección de vibraciones terrestres, transmitiendo la información mediante enlaces de comunicaciones ópticas a los centros de procesamiento, recepcionando, registrando y analizando la información permanente a través de un datacenter centralizado.
- Detectar y Administrar la información de riesgo con backup en datacenter.
- Gestionar las alarmas de manera concentrada y por prioridad evitando avisos falsos o realizar avisos antes detección confirmada.

3.3. ALCANCE.- El siguiente documento técnico describe las principales características para crear un Sistema de Alerta Temprana en forma general y hace foco en los sensores que requerirá desarrollo específico para su prueba operativa y evaluación por parte de INPRES, por lo cual se fija como límite del presente documento las siguientes aspectos:

- ✓ analizar y confirmar o no la factibilidad de emplear redes de telecomunicaciones ópticas del proyecto "Argentina Conectada" como nuevo soporte e integración con redes existente de acelerómetros de INPRES. No se evalúan costos de interconexión hasta no definir cada empresa el modelo final de red integrada.
- ✓ analizar, seleccionar y proponer detector óptico adecuado no solo por sensibilidad sino por facilidad operativa para su integración con REFEFO. Pruebas de campo exceden a este primer estudio pero se recomendará en "futuras líneas de investigación",
- ✓ generar propuesta abierta y modular para un posterior análisis crítico de cada actor y generación posterior de planes de trabajo específicos de Hw y SW que analicen: requerimientos específicos del proyecto, etapas, costos, tiempos de ser de interés su realización. Los pto. anteriores no son tratados por ese motivo en este documento.

4 - SOLUCION PROPUESTA

4. SOLUCION PROPUESTA.

INTRODUCCIÓN

Se describe a continuación las redes y elementos que al ser integrados producen la propuesta de innovación.

Por ultimo se realiza una tabla comparativa de las principales definiciones alcanzadas y que luego se presentan como conclusiones y futuras líneas de investigación, haciendo foco en la parte practica del laboratorio realizado para el caso de los sensores ópticos que se detallan en el ítem 5 de manera separada para presentar con mayor detalle los beneficios de trabajar con sensores de nueva generación con posible fabricación nacional y múltiples aplicaciones en el campo industrial, superando su aplicación puntual como acelerómetros en una red de detección de sismos y alerta temprana

Los temas que a continuación se describen son:

- 4.1 - comparación de red sismográfica y red de fo (REFEFO).
- 4.2 - convergencia de redes de telecomunicaciones y medición sísmica.
- 4.3 - modelo de integración propuesto y detalle de montaje básico
- 4.4 - análisis impacto social y económico de la propuesta.

4.1. COMPARACION DE RED NACIONAL DE SISMOGRAFICA

ARGENTINA Y RED FEDERAL DE FIBRA OPTICA PROYECTADA PARA TELECOMUNICACIONES.

La Red Nacional de Acelerógrafos 44 Estaciones Sismológicas instaladas en:

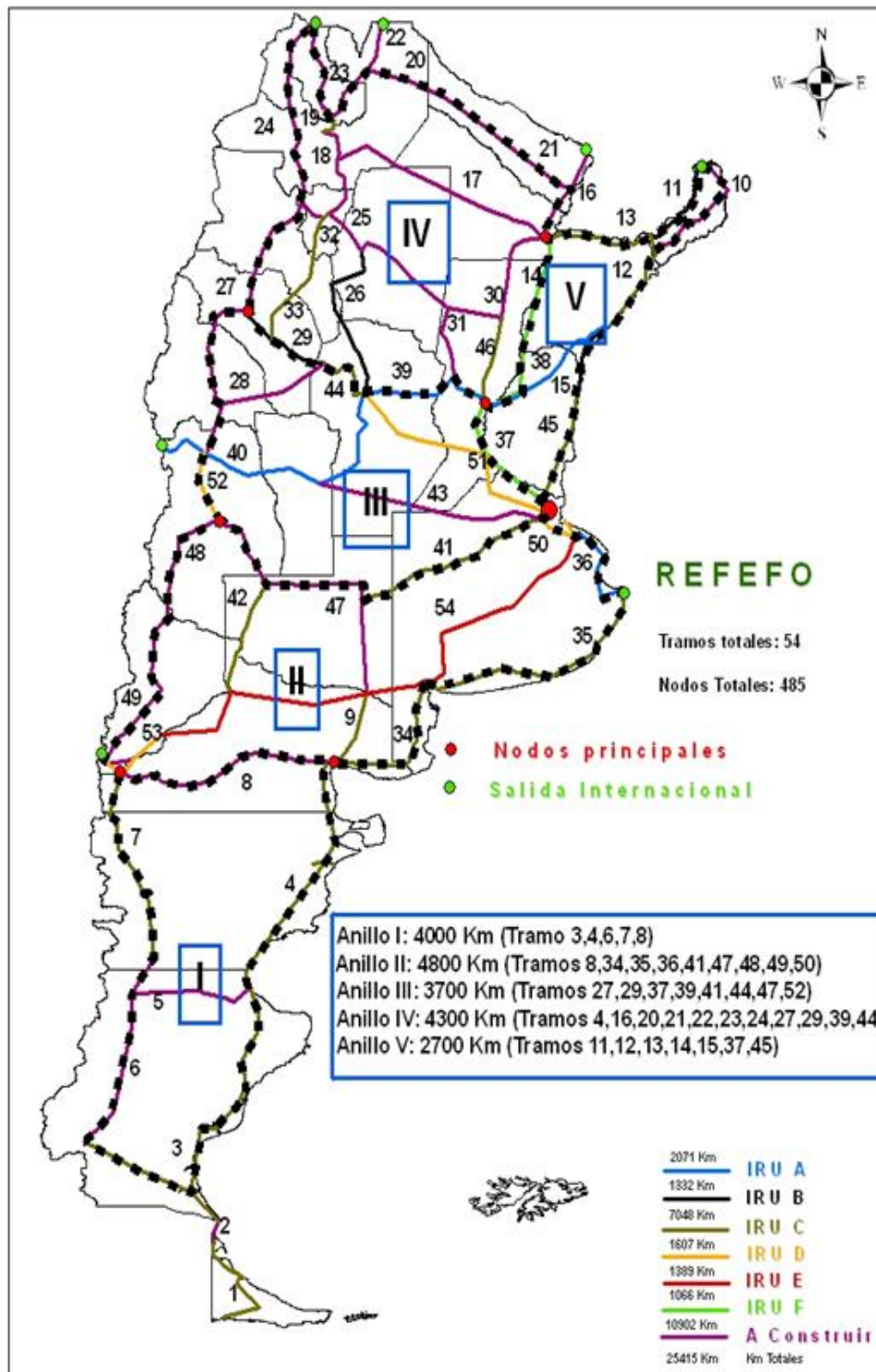
PROVINCIA	NUMERO DE ESTACIONES SISMOLOGICAS 
SAN JUAN	12
MENDOZA	6
LA RIOJA	5
JUJUY	4
SALTA	4
SAN LUIS	2
CORDOBA	2
TUCUMAN	1
CATAMARCA	1
SANTA FE - PARANA	1
CORRIENTES	1
POSADAS	1
BUENOS AIRES - LA PLATA	1
NEOQUEN	1
VIDMA	1
USHUAIA	1
TOTAL INSTALADAS	44

FUENTE: ELABORACION PROPIA EN BASE AL INPRES

En la actualidad la Red Nacional de Estaciones Sismológicas está compuesta por cincuenta 50 estaciones distribuidas en todo el territorio nacional,

Ahora analizamos seguidamente la Red Federal de Fibra Óptica. Sumando los conceptos anteriores y conformando una única estructura: integrada con:

- 54 tramos de red óptica federal, Agrupados en cinco anillos).
- 8 nodos principales
- 485 nodos secundarios
- 8 salidas internacionales (7 Terrestres y 1 Cable submarino).
- cobertura norte sur de toda la cordillera de los Andes.
- 1000 cajas de empalme en zona sísmica NOA y Cuyo que pueden alojar detectores ópticos de vibraciones (red de Bragg) sobre 10.000 cajas de empalme de FO para 40.000 km de red óptica total país.
- 3 o mas grados de libertad o conexión física en cada nodo, con alta seguridad por redundancia de caminos ópticos.
- red física óptica convergente en dos puntos de concentración de trafico nacional y con ello manejo de alarmas en in/out al, "centro validar de alarmas" con registro con nivel de seguridad de datacenter y donde conectara al sistema de gestión nacional de INPRES, responsable de la gestión nacional de la red de acelerómetros de Argentina., obteniendo: concentración de detectores y alarmas en único nodo (dos uno este y otro nodo lado oeste del país), mayor seguridad en datos y reducción de costos de operación y mantenimiento.
- utilización la misma red de fibra óptica de transporte -REFEFO- como detector óptico + transporte óptico hasta el nodo sobre un único par de pelos al permitir los sensores ópticos su conexión en serie y sin perder su identificación unívoca al ser "grabados la red de Bragg con un lambda especifica", que lo identifica en toda la red óptica, con menor costo de instalación y mantenimiento que un sensor conectado por radio VHF.
- utilización de los canales de transmisión de transporte DWDM como reenvío de los medición ya que la onda del sismo se desplaza a 5km/seg aprox y la detección y transmisión al nodo principal y de allí a las áreas en las impactará el sismo -mediante la red de fo (REFEFO) y equipos asociados- a 200.000km/seg ($v=2E8$ m/seg $L= 2000$ km $t=1$ mseg) donde aviso con segundos de anticipación antes de arribar el evento natural.



**ESTRUCTURA OPTICA DE LA "RED FEDERAL DE FIBRA OPTICA" -
REFEFO-**

FUENTE: PROYECTO REFEFO- presentación ARSAT SA 23-09-11

En el anterior mapa se muestran 54 Tramos agrupados en cinco (V) anillos, que conectan al territorio argentino, de la siguiente manera:

ANILLO	TRAMO NUMERO	PROVINCIA
I	1,2,3	TIERRA DE FUEGO
	4,5,6	SANTA CRUZ
	7,8	CHUBUT - PARTE DE RIO NEGRO
II	8,9,34,35,36	RIO NEGRO - NEOQUEN
	41,42,47,48	PARTE DE LA PAMPA - PARTE DE BUENOS AIRES
	49,50,53,54	PARTE DE MENDOZA
III	27,28,35,36,37,38	PARTE DE LA PAMPA - PARTE DE BUENOS AIRES
	39,40,41,43,44,47	PARTE DE MENDOZA - SAN LUIS - CORDOBA - PARTE DE SAN JUAN
	50,51,52,54	PARTE DE LA RIOJA - PARTE DE SANTA FE
IV	16,17,18,19,20	PARTE DE :CORDOBA - LA RIOJA -SAN JUAN - CATAMARCA
	21,22,23,24,25,26	SANTIAGO DEL ESTERO - PATE DE SALTA - PARTE DE JUJUY
	27,29,30,32,33,39,46	PARTE DE SNATA FE - PARTE DE CHACO - PARTE DE FORMOSA
V	10,11,12	MISIONES
	13,14,15	CORRIENTES
	37,38,45	ENTRE RIOS

FUENTE: ELABORACION PROPIA EN BASE AL PROYECTO REFEFO ANTERIOR

4.2 CONVERGENCIA TECNOLÓGICA "REFEFO-RED SISMOLOGICA". DEFINICIÓN DE USO DE RED ÓPTICA DE TRANSPORTE (REFEFO) EN FUNCIÓN DE LOS ZONAS DE RIESGO SÍSMICO.

En la Red Federal de Fibra Óptica, con respecto a la Zonificación en función del Grado de Peligrosidad Sísmica y la Red Nacional de Estaciones Sismológicas, se puede enfocar como puntos críticos a tomar en cuenta para las instalaciones de nuestros sensores ópticos en primera instancia, la siguiente distribución:

- ✓ El anillo III, cubre un área primordial ya que alcanzará localidades de las zonas: 4 – 3 – 2 – 1 – 0; según mapa de zonificación sísmica, además podrá conectarse y trabajar conjuntamente con las Estaciones Sismológicas de: San Luis – Córdoba – Mendoza – San Juan – La Rioja Buenos Aires.
- ✓ El anillo IV, cubre el área que abarca localidades de las zonas: 4 – 3 – 2 1, según mapa de zonificación sísmica, además podrá conectarse y trabajar conjuntamente con las Estaciones Sismológicas de: Tucumán Catamarca – Salta – Jujuy – La Rioja – San Juan.

- ✓ El anillo II, cubre el área que abarca localidades de las zonas: 4 – 3 – 2 1– 0, según mapa de zonificación sísmica, además podrá conectarse y trabajar conjuntamente con las Estaciones Sismológicas de: Neuquén Río Negro – La Pampa (Santa Rosa) – Mendoza y Nuevas Estaciones en proceso de instalación.
- ✓ El anillo I, cubre el área que abarca localidades de las zonas: 0 – 1 –2– 3, según mapa de zonificación sísmica, además podrá conectarse y trabajar conjuntamente con las Estaciones Sismológicas de: Tierra de Fuego (Ushuaia) – Santa Cruz (Río Gallegos) – Chubut (Rawson) y Nuevas Estaciones en proceso de instalación.
- ✓ Finalmente el anillo V, cubre el área que abarca localidades de las zonas: 0 1– 2, según mapa de zonificación sísmica, además podrá conectarse y trabajar conjuntamente con las Estaciones Sismológicas de: Corrientes – Misiones (Posadas) – Santa fe y Catamarca y Nuevas Estaciones en proceso de instalación

4.3 CONVERGENCIA TECNOLÓGICA CREANDO RED DE AVISO TEMPRANO DIRECTO A LOS HABITANTES (INTERNET, CELULAR POR SMS Y TELEVISIÓN TDA, CATV, RADIOS).

Introducción.

Se observa que la hipótesis de la tesis presenta tres escenarios de integración de las redes descritas anteriormente, esto es:

.- integración de red de sensores actuales de INPRES sumados o convertidos a conexión óptica (hoy conexión por radio de VHF) y conectados a REFEFO. Se dispondría además de conectar desde las cajas de empalme (cant 1500 en NOA y cuyo) de Red Federal de Fibra Óptica como puntos posibles de colocación de fibra detectoras y soldadas al cable de fibra de transporte principal que conectaría el sensor óptico de vibraciones con el nodo cercano ya sea de ARSAT SA o de IMPRES, según sea mas conveniente por distancia; nodo-detector.

- integración de red de transporte: utilizando la Red Federal de Fibra Óptica como transmisión de la información recolectada en un nodo secundario, remoto o de la red actual de IMPRES funcionando con los mas de 100 acelerómetros.

- integración de gestión de alarmas y salidas de aviso a otras redes como ser: celular (SMS prioritario), Televisión Abierta Digital (TDA), Televisión cerrada comunitaria (CCTV), radios, etc., que estarán presente todos los servicios anteriores en el nodo Master de Benavidez, facilitando la conexión con las redes destino de la señalización de alerta de sismo.

Una posibilidad adicional es, concentrar en nodo Master Benavidez y luego salir por transmisión óptica -retransmitiendo detección/alarmas- a edificio IMPRES en Pcia de San Juan, según sea más conveniente por los tiempos de detección, y disparo de alarmas.

En cuanto a la recepción de las alarmas en los terminales de los habitantes, observamos que su posible aplicación es inmediata en las redes celulares por su amplia difusión en el país y en el mundo. Es conocido el significativo desarrollo que ha tenido el mercado de la telefonía móvil celular en el mundo, según la Unión Internacional de Telecomunicaciones se estimo del 2011 aproximadamente 6.000 millones de abonados, lo que representa una tasa de penetración mundial de 86.7%; En nuestro país existen aproximadamente 57,87 millones de abonados (1,44 por habitante, INDEC) alcanzando una penetración del servicio de 117%, por otro lado, las necesidades de las comunicaciones de datos móviles han permitido que las redes celulares que originalmente fueron diseñadas para el transporte de comunicaciones de voz, brinden una mayor tasa de transferencia de datos, brindando así nuevos servicios al usuario, por lo cual se propone como un canal para enviar el alerta temprano de sismo, vía SMS o mediante una aplicación del gobierno instalada en todos los terminales 2G, 3G o LTE, de nueva generación.

Otro canal de comunicación de las alarmas automáticas es la Televisión Digital Abierta. En la actualidad el despliegue de Televisión Digital Abierta continúa incrementándose con la instalación de nuevas estaciones de transmisión de Televisión Digital Terrestre, en distintos puntos del país como se muestra en el Figura 1 y descripción respectiva Cuadro 1.

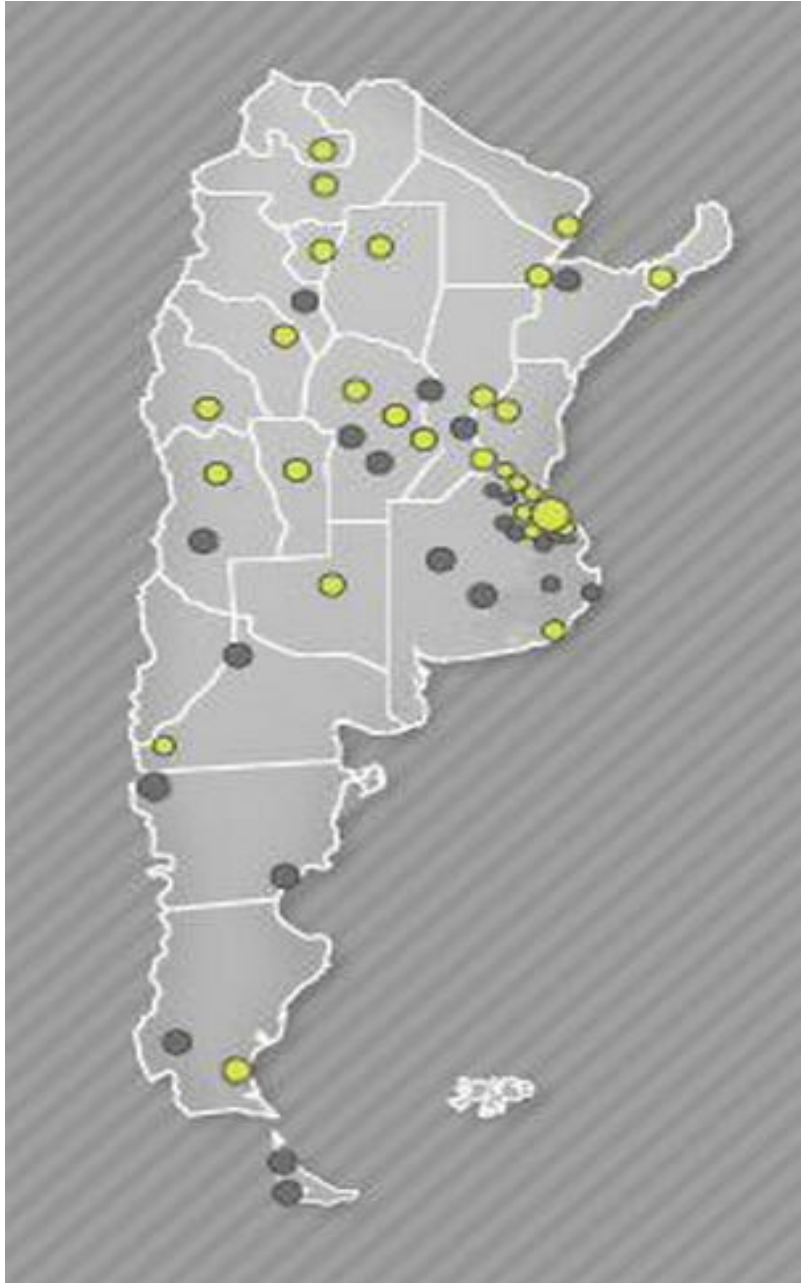


Figura 1: Mapa de Cobertura TDT

Fuente: tda.tvdigitalargentina.gob.ar

TRANSMITIENDO	PREVISTAS
Ciudad Aut. de Buenos Aires (MOP)	Frontera, Prov. Sta. Fe
Ciudad Aut. de Buenos Aires (Edificio ALAS)	Río Turbio, Prov. de Sta. Cruz
Villa Martelli, Prov. de Buenos Aires	Cte. Piedrabuena, Prov. de Sta. Cruz
La Plata, Prov. de Buenos Aires	Comodoro Rivadavia, Prov. de Chubut
Campana, Prov. de Buenos Aires	Santo Tomé, Prov. de Corrientes
Baradero, Prov. de Buenos Aires	Lago Puelo, Prov. de Chubut
Cañuelas, Prov. de Buenos Aires	Ushuaia, Prov. de Tierra del Fuego
Pinamar, Prov. de Buenos Aires	Neuquén, Prov. de Neuquén
San Clemente del Tuyú, Prov. Buenos Aires	Viedma, Prov. Río Negro
Coronel Suárez, Prov. Buenos Aires	Jachal, Prov. San Juan
Mar del Plata, Prov. de Buenos Aires	Villa Angela, Prov. de Chaco
Luján, Prov. de Buenos Aires	Caleta Olivia, Prov. de Sta. Cruz
San Nicolás, Prov. de Buenos Aires	Quimili, Prov. Santiago del Estero
Dolores, Prov. de Buenos Aires	Puerto Deseado, Prov. de Sta.Cruz
Necochea, Prov. Buenos Aires	Pico Truncado, Prov. Sta. Cruz
Olavarría, Prov. de Buenos Aires	
Salta, Prov. de Salta	
Resistencia, Prov. de Chaco	
San Salvador de Jujuy, Prov. de Jujuy	
Formosa, Prov. de Formosa	
Córdoba, Prov.de Córdoba	
Villa María, Prov.de Córdoba	
Leones, Prov. de Córdoba	
La Rioja, Prov. de La Rioja	
San Juan, Prov. de San Juan	
San Carlos de Bariloche, Prov. de Río Negro	
San Miguel de Tucumán, Prov. de Tucumán	
Paraná, Prov. de Entre Ríos	
Posadas, Prov. de Misiones	
Río Gallegos, Prov. de Santa Cruz	
Villa Gobernador Galvez, Prov. de Santa Fe	
Santo Tomé, Prov. de Santa Fé	
Santiago del Estero, Prov. de Santiago del Estero	
Santa Rosa, Prov. de La Pampa	
San Luis, Prov. de San Luis	
Mendoza (Cerro Arco), Prov. de Mendoza	
Chascomús, Prov. de Buenos Aires	
Las Flores, Prov. de Buenos Aires	
Navarro, Prov. de Buenos Aires	
Brandsen, Prov. de Buenos Aires	
Azul, Prov. de Buenos Aires	
Arrecifes, Prov. de Buenos Aires	
Cañada De Gómez, Prov. de Santa Fe	
Trenque Lauquen, Prov. de Buenos Aires	
Rafaela, Prov. de Santa Fe	
Catamarca, Prov. de Catamarca	
Añatuya, Prov. de Santiago del Estero	
Viedma, Prov. de Río Negro	
Villa Dolores, Prov. de Córdoba	
La Matanza, Prov. de Buenos Aires	
(refuerzo de cobertura para 2.000.000 de habitantes)	

Cuadro 1: Ciudad con cobertura en Transmisión y TDAFuente: tda.tvdigitalargentina.gob.ar

La convergencia tecnológica entre las distintas tecnologías descritas como la Red Federal de Fibra Óptica que gestionara los datos obtenidos de la red de sensores ópticos y el INPRES desde Benavidez, será el encargado de la distribución de datos a los habitantes del país en los sectores que precisen la orientación de cómo proceder mediante distintos tipos de alarmas audibles y de texto, activando planes de contingencias, interactuando con las redes celulares previo acuerdo de interconectividad, generando datos desde estas redes vía SMS o banda ancha móvil mediante aplicaciones de estado para usuarios con terminales inteligentes y la transmisión de información desde redes de televisión digital terrestre/móvil que al tener los sistemas de control de televisión directa y de transmisión en ARSAT se podría interrumpir la programación activando procesos interactivos de información de lo que esta sucediendo, estableciendo así una red convergente nacional de emergencias ante desastres naturales que integre funcionalidades de nueva generación (NG911) y que soporte comunicaciones multimedia con el personal de emergencia en todo el territorio nacional.

4.4 MODELO DE CONVERGENCIA-INTEGRACION DE REDES PROPUESTO Y DETALLE DEL MONTAJE BASICO.

En base a los conceptos volcados anteriormente se propone:

- reunir e integrar desde el sensor óptico que registra como acelerómetro las vibraciones desde el terreno por donde se instale la Red Federal de Fibra Óptica mediante el uso de una fibra óptica dedicada a la medición y registro de sismos en un circuito en serie de detectores ópticos grabados por red de Bragg que brinda identificación única a cada "pelo de fibra" y
- con un montaje mecánico para permitir funcionar esta "pig tail de fibra grabada" desde cada caja de empalme REFEFO que el INPRES indique como mas conveniente por su ubicación en el terreno y
- con distancias a nodos del orden de 50km por la potencia necesaria de la fuente de luz del detector, coincidiendo con el esquema de transmisión de REFEFO que tiene saltos ópticos de 100km aprox con lo cual el sensor tomaría las posiciones intermedias del enlace para asegurar su transmisión al nodo

secundario o regional y desde allí por un canal de DWDM dedicado al sistema sísmico alcanzar por transmisión general los nodos de destino: a) nodo Master Benavidez y b) nodo para conexión con red actual INPRES.

- luego en los nodos la señal de transmisión se bajarían a un sistema gestor con doble función: a) registro de las mediciones reunidas como total país 7x24x365 días y b) input del sistema de alarmas que realizaría las funciones de aviso, envió zonas/entes/redes de comunicaciones enlazadas (internet/celular/TDA) de acuerdo con las instrucciones "almacenadas" en el programa correspondiente y nivel del sismo por ejemplo como pto de priorización de acciones, Ejemplo: aviso a empresas de energía, gas, electricidad, etc para cierre por emergencia de sus instalaciones en zonas que se afectarán en los prox segundos.

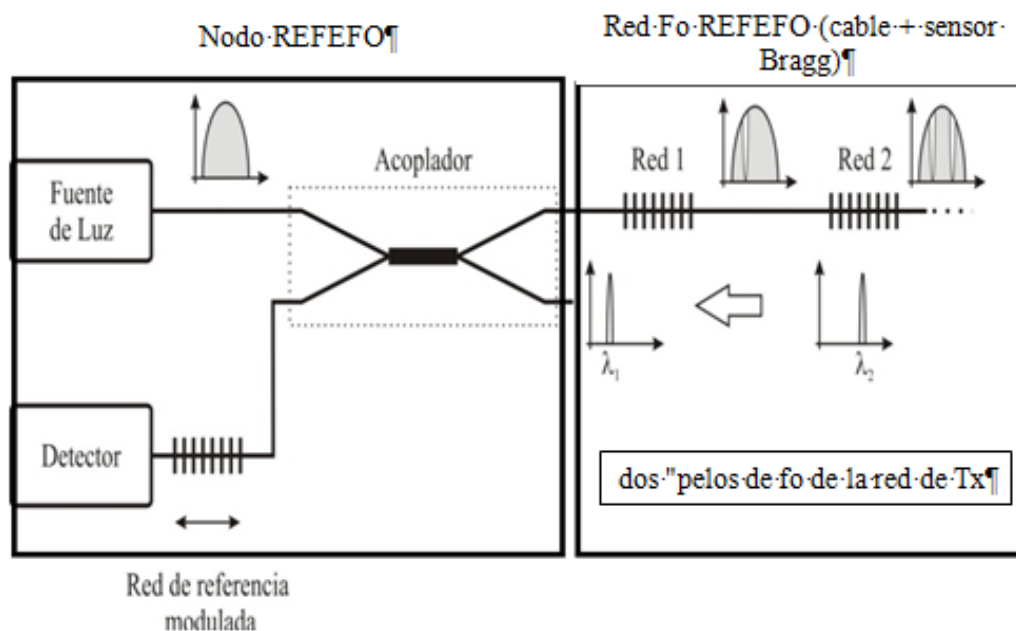
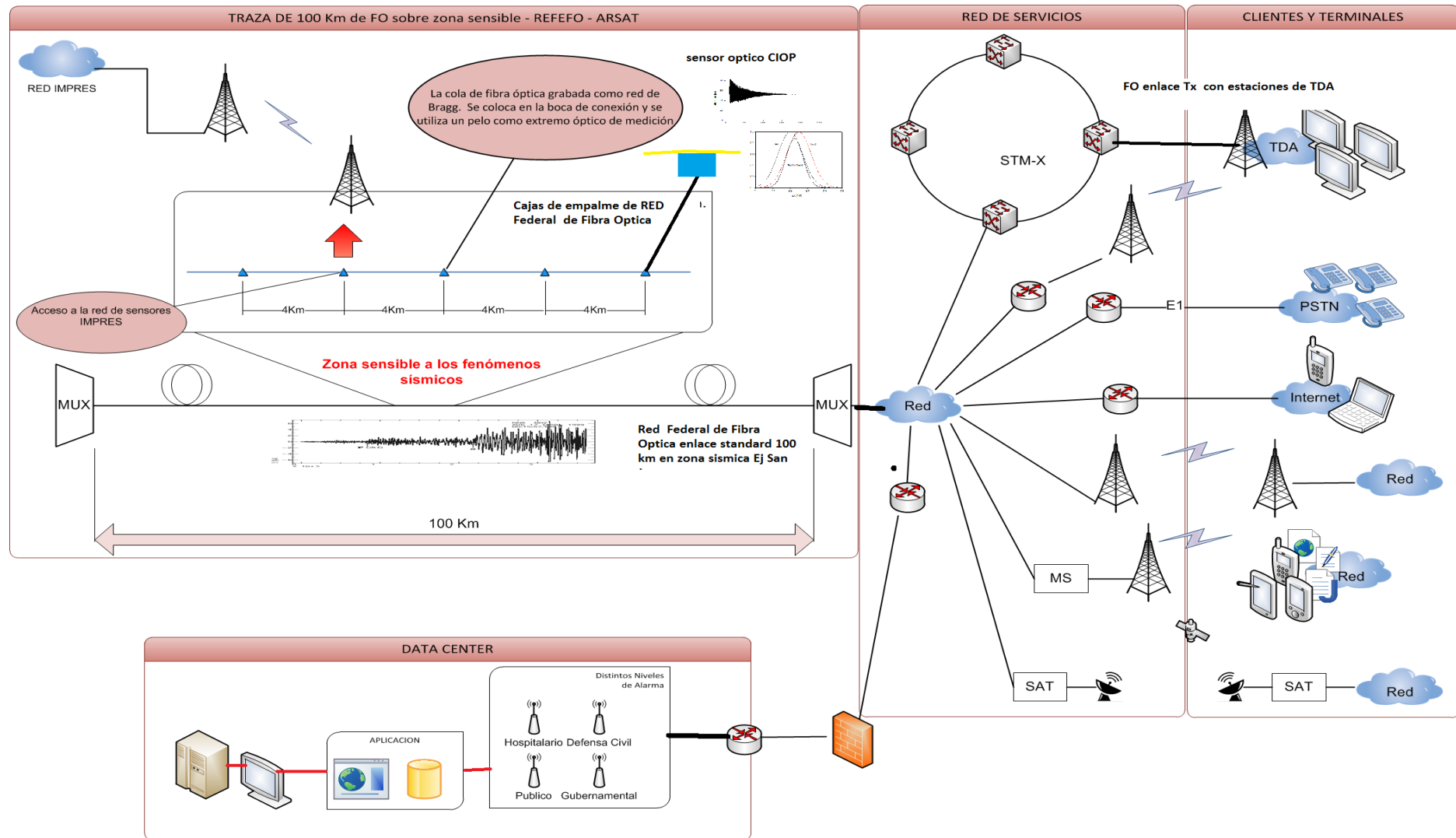


Figura-13: Esquema de un sistema de medición con redes de Bragg en fibra óptica.

Los sensores se analizan y d, fundamente elección y se detalla diseño en capítulo 5, pág. 122

4.4.1 Gráfico de esquema propuesto "ROSATS".



4.5 ANALISIS IMPACTO SOCIO-ECONOMICO DE LA IMPLEMENTACION DE LA PROPUESTA.-

El sistema de alerta sísmica para una nación, región o localidad podrá informar a las personas sobre un peligro inminente; reducir muerte, lesiones, y pérdidas materiales. A continuación presentamos algunos aspectos considerados con relación al impacto socio-económico de la propuesta:

- Reducción de pérdidas humanas.
- Integrar redes de telecomunicaciones de alcance nacional con redes de sensado de sismos y obtener sinergia entre ambas, sumado aviso temprano a la sociedad -facilitado por el uso de nuevas tecnologías- y aportando de manera concreta al cuidado y seguridad de los habitantes de un país por el estado.
- Disponibilidad de información inmediata en tiempo real para la prevención y mitigación en caso de sismos u otro evento natural.
- Integración entre la agencia meteorológicas, el INPRES, el estado y Entes involucrados en casos de sismos, que permitirá informar a los medios de comunicación, pasando por un centro de validación de alarmas en, por ejemplo, Benavidez (NOC Master de ARSAT SA) a todos los medios de comunicación para la alerta civil.
- Protección vital para la sociedad civil que brinda un estado moderno.
- Costos menores en reparación y daños a la propiedad nacional.
- Contribuir activamente con las localidades en riesgo sísmico.
- Distribuir eficazmente mensajes y alertas, y garantizar una preparación constante de las localidades con mayor riesgo por su ubicación en el mapa sísmico de INPRES, y estadística de sismos. Ejemplo: Pcia. de San Juan.
- Realizar upgrade tecnológico de red acelerómetros actuales por nueva generación ópticos desarrollados en el país.

5 - SENSORES DE FIBRA OPTICA

5. SENSORES DE FIBRA OPTICA

5.1 Introducción

Los avances de la tecnología fotónica como consecuencia de las telecomunicaciones y las características propias de la tecnología de fibra han posibilitado el desarrollo de múltiples dispositivos de interés en dicha área [1-3]. Muchos de dichos dispositivos fueron generados para el campo de sensores de fibra óptica en sectores o “nichos de aplicación” en donde los sensores tradicionales no funcionan correctamente o simplemente no funcionan. Así se están empleando en ambientes con grandes campos electromagnéticos (Ej. Centrales generación eléctrica), o en el entorno donde la generación de señales eléctricas es peligroso. (Ej. Oleoductos, centrales de producción de biogás, aviones), o en aplicaciones donde se precisan sistemas de pequeño tamaño y compatibles con el objeto u organismo a medir (Ej. Sensores biomédicos) o bien en lugares donde la temperatura ambiente es tan elevada que los sensores tradicionales no funcionan adecuadamente debido a múltiples factores (Ej. Acerías, fundiciones, soldadura).

La configuración general de un sensor de este tipo se muestra en la Fig. 1 y como puede observarse en el esquema, consta de una fuente de luz, un sistema de sensado y un detector óptico interconectados con fibra óptica.

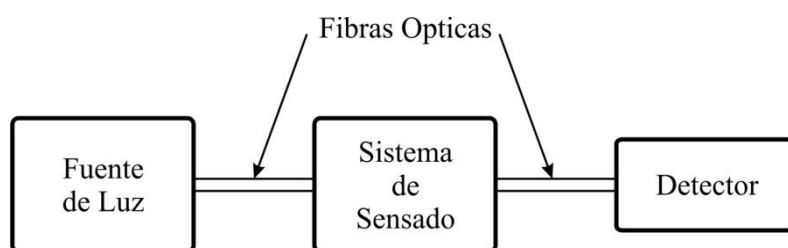


Figura 1: Esquema básico de un sensor de fibra óptica.

En función de cómo se realice la medición de la perturbación externa se clasifican usualmente en dos grandes clases: extrínsecos e intrínsecos. En los esquemas de la Fig. 2 se muestran en forma simple su diferencia fundamental.

a) Sensores extrínsecos.- Comprende aquellas aplicaciones en las que la fibra actúa solamente como guía de onda llevando luz hasta una “caja negra”, que modula el haz en respuesta al parámetro que se pretende medir. Bajo este

enfoque, se modula o imprime la información por algún método particular y la fibra sólo se utiliza para conducir la radiación desde la fuente y hacia el dispositivo sensor. Esta información puede estar codificada en intensidad, fase, frecuencia, estado de polarización, contenido espectral, etc. (Fig. 2.a)

b) Sensores intrínsecos.- También llamados “all-fiber sensors”, utilizan la fibra óptica como guía de onda hasta el lugar donde la magnitud de interés se quiere medir, pero a diferencia del caso anterior, la perturbación externa actúa directamente sobre la fibra. La luz permanece dentro de la fibra en todo momento (Fig. 2.b).

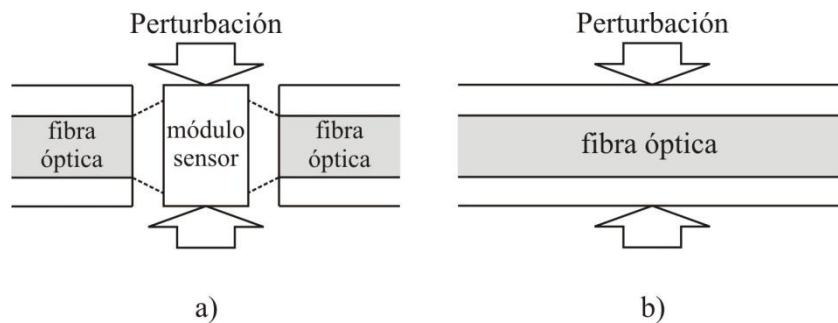


Figura 2: Tipos básicos de sensores de fibra óptica: a) extrínseco; b) intrínseco

Dado que la luz provee los medios para medir una perturbación externa en un sensor de fibra óptica, podrán tenerse tantos tipos de sensores como propiedades de la onda sean posibles modular.

5.2 PARÁMETROS PRINCIPALES.

La ecuación con la que se representa usualmente el vector campo eléctrico de una onda electromagnética, pone de manifiesto todas las propiedades que pueden ser moduladas por una perturbación externa:

$$\vec{E} = E_0 \sin(\omega t - kx + \varphi) \quad (5.1)$$

donde: E_0 es la amplitud de la onda

ω es la frecuencia angular

k es el número de onda igual a $2\pi/\lambda$ (λ longitud de onda)

φ es la constante de fase

El tipo de sensor más simple que se puede construir es uno en el que la perturbación modifique directamente la amplitud de la luz, lo que resulta en un cambio de intensidad en el detector (relacionada con el cuadrado de ésta). El mayor desafío en este tipo de diseño y su mayor limitación, es separar la fluctuación en la intensidad debido a la perturbación externa de la fluctuación generada por otras causas espurias (variación de la luz proveniente de la fuente, variación en la alimentación eléctrica, etc.).

Los sensores interferométricos en cambio, están desafectados de esta limitación pues la perturbación externa genera una diferencia de fase entre dos ondas luminosas. De esta forma la información codificada es insensible a variaciones de intensidad, siendo un ejemplo en el que se puede realizar una medición a partir de la modulación de fase. Los diseños son considerablemente más complejos, pero proveen resoluciones muy altas.

La frecuencia o longitud de onda de la luz tiene un rol decisivo en los dos casos anteriores, pues tienen alguna relación funcional tanto con la absorción, reflexión y los interferométricos debido a que el cambio de fase depende de la longitud de onda.

La naturaleza vectorial de la luz se aprovecha muy eficientemente con sensores de tipo polarimétricos donde el estado de polarización de la onda se ve afectado por la perturbación externa [3]

5.3 DISEÑOS DE SENSORES.

Distintos tipos de diseño de sensores son adaptables al *monitoreo de vibraciones estructurales*, particularmente los de posición y los interferométricos. Nos centraremos particularmente en estos.

5.3.1 Sensores de intensidad.- En algunos casos, el tipo de sensor más simple de construir es aquel basado en la modulación de intensidad. Se trata de sensores inherentemente simples, que requieren unos pocos elementos y componentes electrónicos.

En la Fig. 3 se muestra un sensor que consiste en dos fibras ópticas dispuestas muy cerca una de la otra, en este caso conforma un sensor de vibración. La luz que se propaga a lo largo de la fibra forma un cono de luz cuyo ángulo depende de la diferencia de los índices de refracción del núcleo y la cobertura o *cladding*.

La luz que pueda ser capturada por el otro extremo de la fibra dependerá igualmente del ángulo de aceptación propio y de la distancia “d” de separación entre las dos fibras. Cuando esta distancia cambia, ya sea por una vibración o un desplazamiento, la intensidad de luz variará en consecuencia. El agente externo modulante es bien representado por una intensidad de luz proporcional, en ciertos rangos fáciles de reconocer.

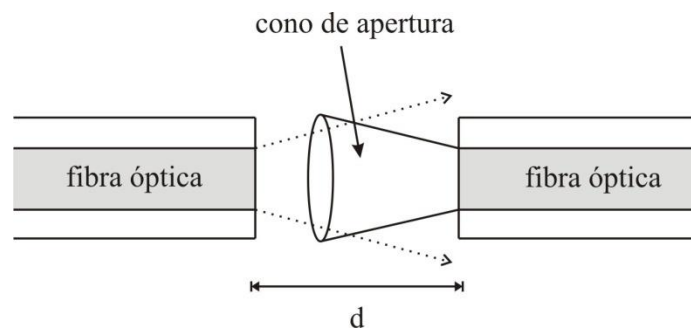


Figura 3: Sensor de fibra óptica de intensidad. La luz proveniente de la primera fibra es acoplada a la segunda a partir del cono de apertura característico de la segunda fibra.

A menudo, muchas aplicaciones no permiten una disposición como la mostrada, por ello una variación frecuentemente empleada se muestra a continuación en la Fig. 4.

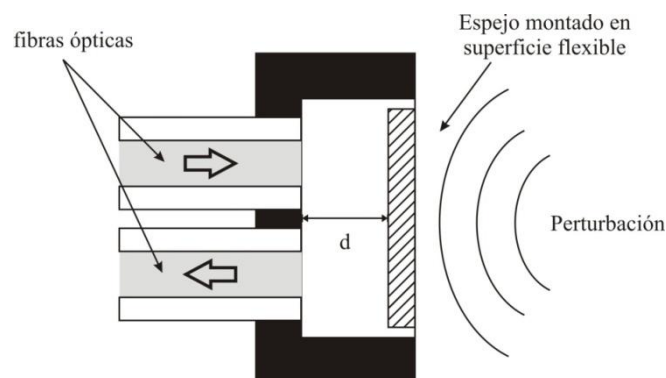


Figura 4: Alternativa de sensor de fibra óptica de intensidad utilizando un espejo flexible, o bien montado en una superficie sensible a la perturbación que se quiere medir.

En esta configuración se utiliza un espejo, o simplemente una superficie suficientemente espejada o pulida que pueda responder a una perturbación externa, como ejemplo la presión de una onda acústica. En este esquema la luz inyectada por una de las fibras se expande y refleja en el espejo para luego ser acoplada parcialmente por la segunda. El grado de acoplamiento dependerá de la distancia de separación entre las fibras y el espejo, y el ángulo de aceptación de la fibra de salida.

A medida que el espejo o reflector varía su posición relativa a causa de la perturbación, se modifica la separación efectiva, generando modulación de intensidad en la segunda fibra. Este tipo de sensores es especialmente útil en aplicaciones donde se desee conocer una información de tipo binaria (on/off, cerradura de puertas, interlocks, etc.). Sin embargo, dependiendo de la calidad del diseño mecánico, puede utilizarse, y es apto, para mediciones análogas como detección de vibraciones y ondas de sonido, presión, desplazamientos y distancias.

5.3.2 Sensores de intensidad por doblamiento.- Una manera más compleja en la que la luz que atraviesa una fibra module su intensidad es mediante una disminución debido a pérdidas en el núcleo por doblamiento o “bending”. Si una fibra óptica es sometida a una curvatura mayor a la permitida (parámetro conocido como *bending radius*), se degrada la condición fundamental para la transmisión por reflexión interna total entre el núcleo y el recubrimiento, generando pérdidas de luz. Los mejores resultados prácticos se han logrado con micro-dobles, que generan en forma local una modulación conveniente y controlada útil para medición de presión, vibración y otros efectos ambientales [4-7].

La Fig. 5 muestra el esquema típico, consistente en una fuente de luz, un tramo de fibra óptica con una sección dentro de un dispositivo con un perfil tal que pueda modular convenientemente la perturbación externa a partir de micro curvaturas controladas que no destruyan la fibra.

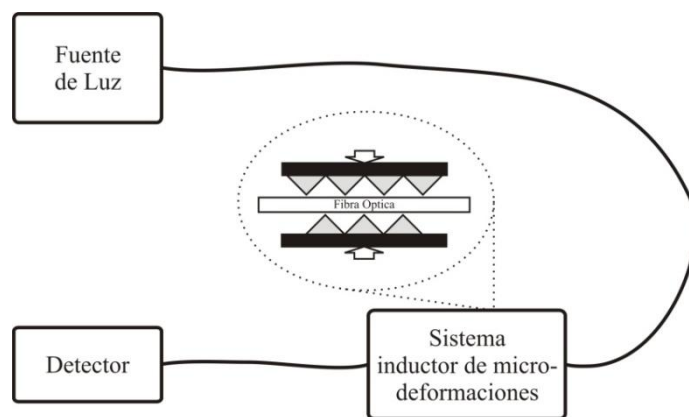


Figura 5: Sensor de fibra óptica modulado en intensidad por micro-dobles.

Este es un ejemplo de sensor de fibra óptica intrínseco, debido a que es la fibra en si misma la que modifica la manera en que la luz es transmitida. Este tipo de sensores tienen un muy buen desempeño en la zona lineal, aquella en la que las curvaturas son aproximadas a lo largo del núcleo como una senoide. Deben tenerse especiales cuidados en el diseño para no generar daños irreversibles a la guía. *Corke et al.* [8] han hecho una revisión de esta técnica, mientras que *Giles et al.* [9, 10] reportaron una linealidad de 1% y mejoras utilizando técnicas de switching óptico.

5.3.3 Sensores interferométricos de fibra óptica.- Los sensores interferométricos ocupan gran parte de la atención de científicos e ingenieros desde hace varias décadas. Sus propiedades y gran versatilidad los han posicionado en un variado tipo de aplicaciones que van desde simples mediciones de temperatura, hasta el control inteligente de grandes estructuras como puentes y edificios y la industria aeroespacial. Dado que requieren un montaje de mucha estabilidad, son altamente sensibles a vibraciones.

En este tipo de sensores, la fibra está en íntima relación con el mecanismo de medición, puesto que la luz puede permanecer dentro del núcleo para interactuar con el campo a medir. La fase óptica de la luz que se propaga es modulada por el parámetro a ser detectado, siendo luego detectada interferométricamente por comparación con la fase de la luz de una referencia.

Además de las ventajas heredadas de la fibra óptica, tiene otras adicionales entre las que se destacan su versatilidad geométrica como elemento sensor, su gran rango dinámico, bajas pérdidas y su extremadamente alta sensibilidad.

La interferometría basada en fibras ópticas puede ser dividida en dos grandes categorías: aquellas en las que intervienen dos haces interferentes, como las configuraciones tipo *Michelson*, *Sagnac*, y *Mach-Zehnder*; y los interferómetros de múltiples haces, representados mayoritariamente por la cavidad tipo *Fabry-Pèrot*.

5.3.3.1 Sensores interferométricos Mach-Zehnder y Michelson.- Los interferómetros de doble-haz permiten la medición de cambios en la diferencia de fase extremadamente pequeños generados por la perturbación. En una primera aproximación, el retardo en la fase óptica que la luz sufre al pasar por una fibra óptica es:

$$\Phi = nkL \quad (5.2)$$

donde n es el índice de refracción del núcleo de la fibra, k es el vector de onda en el vacío ($k=2\pi/\lambda$, λ siendo la longitud de onda), y L es el largo del tramo de fibra. La magnitud " nL " es, por lo tanto el "camino óptico".

La Fig. 6 muestra los elementos básicos que forman un Interferómetro *Mach-Zehnder*: una fuente de luz, usualmente un diodo láser aislado, de longitud de coherencia suficientemente grande. Un primer acoplador direccional monomodo que divide la radiación incidente, generando dos haces de luz, en general de igual intensidad que son acoplados a los dos brazos del sensor: uno de ellos constituye el sensor en sí, y el otro es empleado como referencia.

El transductor ubicado en el brazo de sensado, está convenientemente diseñado para medir un efecto del entorno aislando el brazo de referencia de la perturbación externa, generando en consecuencia una diferencia de camino óptico entre los dos haces.

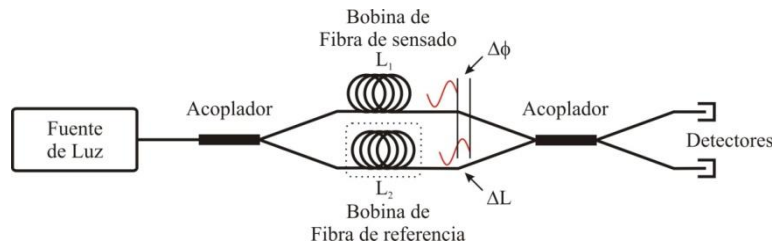


Figura 6: Interferómetro tipo Mach-Zehnder.

Estas dos señales, se recombinan por medio de un segundo acoplador, para formar una señal de interferencia que serán detectadas por sendos fotodiodos.

Asumiendo coeficientes de acoplamiento de los acopladores k_1 y k_2 , y pérdidas ópticas α_1 y α_2 en cada uno de los tramos de fibra, se pueden escribir las ecuaciones del campo eléctrico como de cada brazo como:

$$\begin{aligned} E_1 &= E_0 \sqrt{\alpha_1 k_1 k_2} \cdot \cos(\omega_0 t + \phi_1) \\ E_2 &= E_0 \sqrt{\alpha_2 (1-k_1)(1-k_2)} \cdot \cos(\omega_0 t + \phi_2) \end{aligned} \quad (5.3)$$

Si se toma en cuenta que la intensidad óptica, promediada temporalmente para períodos muy mayores a $2\pi/\omega_0$, puede ser expresada como:

$$I = \langle E_1^2 \rangle + \langle E_2^2 \rangle + 2\langle E_1 \cdot E_2 \rangle \quad (5.4)$$

y además, que los coeficientes de acoplamiento conviene elegirlos de modo tal que sean $k_1 = k_2 = 0,5$, mientras que las pérdidas en la fibra pueden aproximarse como $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$, (págs. 274-277, [1]), entonces la ec. (5.4) toma la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} I &= \frac{I_0 \alpha}{2} \cdot [1 + \cos(\Delta\phi)] \\ I' &= \frac{I_0 \alpha}{2} \cdot [1 - \cos(\Delta\phi)] \end{aligned} \quad (5.5)$$

donde I e I' representan las salidas de ambos brazos del interferómetro, siendo I' la salida complementaria (reemplazando k_2 por $1-k_2$, y viceversa en), I_0 es la intensidad promedio del haz de luz, y $\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2$ es el retraso de fase sufrido entre los dos caminos.

Finalmente, si se considera que la variación de fase puede separarse en dos miembros, es decir:

$$\Delta\phi = \phi + d\phi = \phi_d + \phi_s \sin(\omega t) \quad (5.6)$$

y se asume que el diferencial de cambio de fase $d\phi$ tiene cierta amplitud ϕ_s y frecuencia ω , mientras que ϕ_d representa un cambio cuya variación es lenta, entonces las ecs. (5.5) se pueden re-escribir como:

$$\begin{aligned} I &= \frac{I_0 \alpha}{2} \cdot \{1 + \cos[\phi_d + \phi_s \cdot \sin(\omega t)]\} \\ I' &= \frac{I_0 \alpha}{2} \cdot \{1 - \cos[\phi_d + \phi_s \cdot \sin(\omega t)]\} \end{aligned} \quad (5.7)$$

Estas señales pueden ser convertidas a señales eléctricas mediante los fotodiodos de los detectores y combinadas con amplificadores diferenciales:

$$i = (I - I') = \varepsilon I_0 \alpha \cdot \cos[\phi_d + \phi_s \cdot \sin(\omega t)] \quad (5.8)$$

donde ε es la responsividad de los fotodetectores. Mediante un tratamiento matemático simple, según se muestra en el Cap. 10 de la referencia [11], se llega a:

$$di \approx \varepsilon \cdot I_0 \cdot \sin(\phi_d) \cdot \phi_s \cdot \sin(\omega t) \quad (5.9)$$

La ec. es significativa y pone de manifiesto un factor limitante debido a que la amplitud depende de $\sin(\phi_d)$. Ocurre que ϕ_d es dependiente de varios factores del entorno, por ejemplo la temperatura, si se aproxima a un

múltiplo de π la señal tenderá a desvanecerse, mientras que para múltiplos impares de $\pi/2$ se hará máxima.

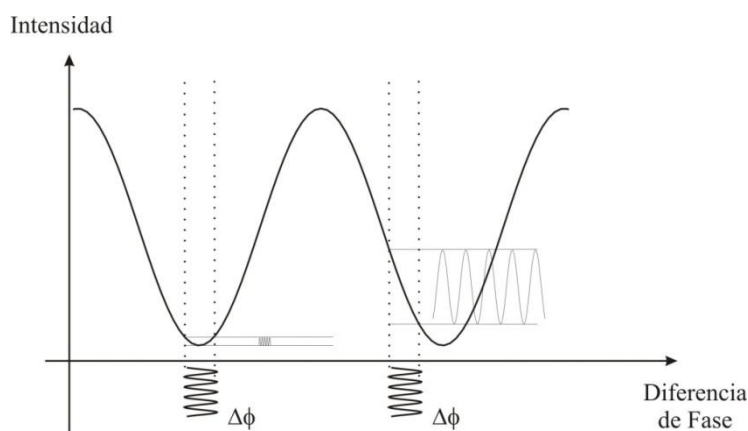


Figura 7: Transferencia generada en los interferómetros en fibra.

La Fig. 7 explica en forma gráfica el problema, a partir de una curva de Intensidad en función de la fase relativa de los haces de luz en cada brazo del dispositivo. Se observa que para una misma diferencia de fase, la salida del dispositivo puede verse disminuida a causa de la degradación de sensibilidad ($\phi_d \rightarrow n\pi$, *fading effect*).

Una manera usual de superar este inconveniente, es introducir en uno de los brazos un dispositivo piezoeléctrico que estire la fibra, induciendo así un aumento del camino óptico que compense los efectos espurios a la medición.

Para la demodulación de las señales interferentes existen básicamente dos técnicas homodinas: activa y pasiva. En la que la referencia es derivada de la misma fuente original antes de ser modulada, sin embargo se han utilizado numerosos esquemas en los que la técnica de demodulación es heterodina, pues hace un batido de la señal de prueba con otra propia conocida comúnmente como "local [12].

a) Detección homodina activa.- Consiste en generar una compensación a las derivas para llevar los sistemas a la cuadratura antes de coleccionar los datos. En los primeros años de la interferometría con fibras, los investigadores agregaban compensadores contruidos con bobinados de

fibra en anillos piezoeléctricos, de forma tal que al aplicar una tensión la fibra a su alrededor es sometida a un estiramiento aumentando el largo efectivo del brazo de referencia. En sus comienzos este control fue realizado en forma manual, para luego mejorarse por medio de un sistema de realimentación electrónico. Este enfoque fue luego complementado por otras vías, como por ejemplo la variación de la corriente de alimentación del Led láser, debido a que en algunos casos de estas fuentes de semiconductor en infrarrojo cercano presentan una deriva de la longitud de onda central con respecto a la corriente de alimentación (apenas unos pocos GHz/mA) [13], que permite una variación ΔL de algunos centímetros.

Una mejora considerable con este método es que no hay simplificaciones ni aproximaciones, así la salida es lineal en fase, lo que brinda un mejor rango dinámico [14]. De todas maneras, la detección activa tiene dos grandes cuestionamientos que limitan su aplicación casi obligatoriamente al laboratorio: la limitación en el rango dinámico de los elementos de realimentación necesitan un reestablecimiento o “reset” que complica la capacidad del sistema para detección de cambios de fase en el orden micro-radianes.

La segunda razón es que el esquema complica la implementación en los sistemas multiplexados, pues la fuente solo puede mantener un interferómetro compensado, comprometiendo la estabilidad del resto. En razón de todo esto, es que la detección homodina pasiva, si bien recurre a ciertas simplificaciones y aproximaciones, tiene una mayor aplicación y aceptación.

b) Detección homodina pasiva.- La aproximación básica y una de las primeras empleadas, consiste en la generación de dos señales desfasadas ópticamente en 90° [15], de forma que ahora las señales sean:

$$\begin{aligned} i &= \frac{\varepsilon I_0 \alpha}{2} \cdot [1 + \cos(\Delta\phi)] \\ i' &= \frac{\varepsilon I_0 \alpha}{2} \cdot [1 + \sin(\Delta\phi)] \end{aligned} \quad (5.10)$$

Y su respuesta a los pequeños cambios en la fase será, por lo tanto

$$\begin{aligned}
 di &= \frac{\varepsilon I_0 \alpha}{2} d\phi \cdot \sin(\Delta\phi) \\
 di'' &= \frac{\varepsilon I_0 \alpha}{2} d\phi \cdot \cos(\Delta\phi)
 \end{aligned}
 \quad (5.11)$$

A partir de estas ecuaciones y la Fig. 8, puede verse que cuando una de las señales está en un mínimo, la complementaria es máxima y viceversa. El resultado empleando esta técnica resulta en una medición directa de la diferencia de fase.

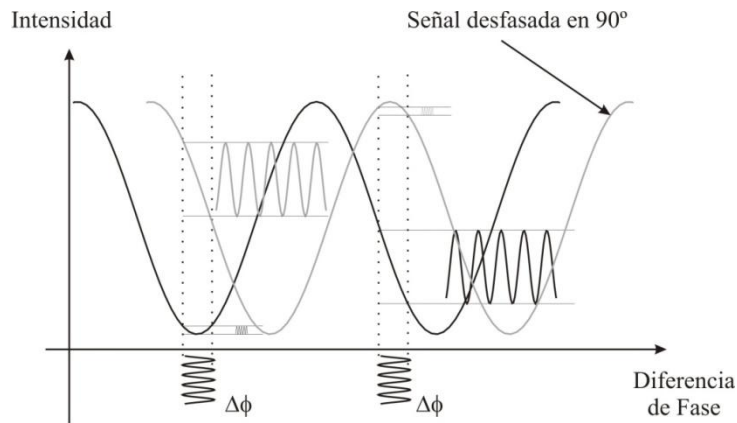


Figura 8: Dos señales generadas con una diferencia de 90° en fase, para detección en cuadratura.

Puede observarse como en cualquiera de las situaciones, siempre es posible rescatar una de las señales. Existen varias maneras de manipular estas dos salidas para evitar el problema del desvanecimiento, una de las primeras y simples consiste en sumar los diferenciales elevados al cuadrado y luego tomar la raíz cuadrada

$$\Delta i = \sqrt{di^2 + di''^2} = \frac{\varepsilon I_0 \alpha}{2} d\phi \quad (5.12)$$

Debe aclararse que en todos estos procedimientos se asume una $d\phi \ll 1$, para cualquier otra situación, el tratamiento se hace más complejo y queda excluido de esta introducción. Más información puede recabarse en las referencias [15-17].

El esquema de la Fig. 9 muestra otro de los interferómetros clásicos de doble haz, que puede ser implementado en fibra óptica. En este caso sólo

hay un divisor de haz, utilizado tanto para dividir como para recombinar el haz. Al igual que el caso anterior, la luz que se propaga desde la fuente se divide en dos brazos, la referencia y el sensor.

Una vez recorrido el largo de los brazos, la luz vuelve a retroalimentarse por espejos que están dispuestos al final de cada fibra. El mismo divisor de haz ahora recombina la señal y, al igual que el caso anterior, genera dos salidas complementarias: una directamente disponible desde el cuarto puerto del divisor donde se encuentra el fotodetector, y la otra reinyectada por acoplador hacia la entrada donde se ubica la fuente [18].

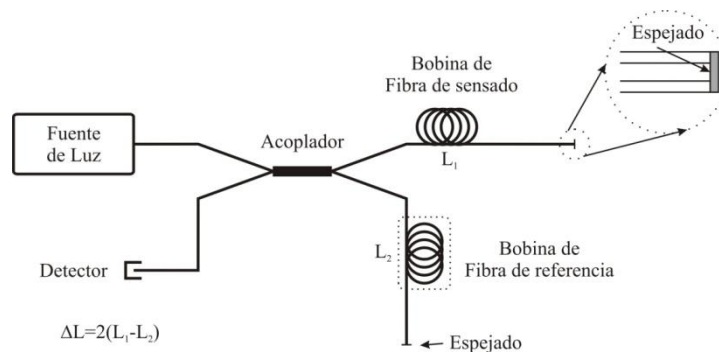


Figura 9: Configuración típica para un interferómetro de Michelson en fibra óptica.

Este interferómetro recibe el nombre de *Michelson* y es considerado frecuentemente por muchos como un interferómetro *Mach-Zehnder* “plegado” por el centro. Desde este punto de vista, las pérdidas ópticas son similares y lo mismo ocurre con la señal de salida.

Las diferencias de la configuración *Michelson* son que requiere sólo un acoplador de fibra óptica, así como un solo detector óptico. Por otro lado, debido a que la distancia recorrida por la luz en ambos brazos es el doble, el cambio en la fase óptica por unidad de longitud de fibra óptica también se ve afectado de igual manera. Desde el punto de vista práctico, el interferómetro es más fácil de armar e implementar (aunque obviamente depende de la aplicación) [19,20]

En cuanto a sus desventajas, podría mencionarse la necesidad de utilizar espejos, que en realidad son espejados formados en la cara transversal de la fibra, que no son fáciles de conseguir comercialmente. En contraposición,

ambos se construyen con acopladores que son comunes y gran disponibilidad.

5.3.3.2 Sensores actuando en el dominio espectral.- Los sensores de fibra óptica de intensidad tienen una serie de limitaciones impuestas por pérdidas variables en el sistema que no están relacionados con el efecto a ser medido. Existen varias fuentes de errores potenciales como pérdidas por conectores, curvatura excesiva de los cables, desalineaciones, ya sea mecánicas o en las fuentes y detectores.

Los sensores de fibra óptica basados en el dominio espectral ofrecen una solución ya que dependen de un haz de luz modulado en longitud de onda por algún efecto o perturbación externa. Discutiremos dos casos de interferómetros de fibra: a) tipo Fabry-Perot y b) redes de Bragg grabadas en fibra.

a) Sensor tipo Fabry-Perot.- El potencial del interferómetro de *Fabry-Pèrot* (*F-P*) en fibra óptica es ampliamente conocido por la precisión sub-micrométrica que brinda en operación, en aplicaciones como medición de temperaturas [4], de presión, desplazamiento o vibraciones [5-8]. Su uso está muy difundido en aplicaciones tales como micrófonos ópticos [9], filtros [10], y otras aplicaciones [21-22].

Cuando la fineza de una cavidad *Fabry-Pèrot* elaborada con componentes de fibra óptica es baja (normalmente menor que 5), o la longitud de la cavidad formada por las superficies de los elementos reflectantes (superficie espejada, cara cribada de fibra, etc.) es mucho mayor que el diámetro del núcleo de la fibra utilizada (de manera que solo el primer orden del haz reflejado por el final de la fibra y una pequeña parte del haz de primer orden transmitido que es retro-reflejado por el segundo elemento reflectante acoplado nuevamente en la fibra, contribuyen a generar la señal de interferencia), el dispositivo puede ser apropiadamente denominado Interferómetro *Fizeau* extrínseco. Debido a la simpleza de este interferómetro, numerosas aplicaciones fueron concebidas a lo largo de los años, tanto para la industria como para el área biomédica [23-25].

Sea una onda incidente A_0 que incide en la cavidad en forma prácticamente normal a la superficie generando una sucesión de haces reflejados y transmitidos.

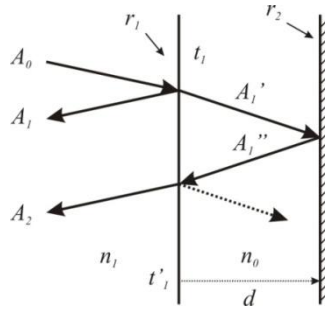


Figura 10: Esquema para la deducción teórica de una cavidad de interferencia de múltiples haces entre dos superficies genéricas con coeficientes de reflexión y transmisión r_1 , r_2 y t_1 , respectivamente.

Dicho haz se propagará difractándose hasta ser reflejado por el segundo espejo y acoplado nuevamente a la fibra de origen

$$A_2 = r_2 t_1 t'_1 A_0 \sqrt{\beta} \cdot e^{i\varphi} \quad (5.13)$$

El ángulo φ de esta modulación tiene en cuenta el desfase producido por la diferencia de camino recorrido por los diferentes haces y se define como

$$\varphi = \frac{4\pi n_0 d}{\lambda} \quad (5.14)$$

donde n_0 es el índice de refracción del medio en la cavidad, (por ser aire, en general $n_0 \approx 1$), λ es la longitud de onda de trabajo, y d la distancia entre las superficies de la cavidad. El parámetro β , conocido como eficiencia del acople óptico, es igual a [16]:

$$\beta = \frac{1}{1 + \left(\frac{d}{k\omega^2} \right)^2} \quad \text{con:} \quad \begin{cases} \omega = \frac{a}{\ln(\nu)} \\ k = \frac{2\pi n}{\lambda} \end{cases} \quad (5.15)$$

dependiendo de la distancia de la cavidad d , del radio del núcleo de la fibra óptica a , de la longitud de onda λ y de ν la frecuencia normalizada.

En este caso, donde se emplea fibra monomodo, puede aceptarse como válida la suposición de propagación *gaussiana* dentro del núcleo, de forma que ω sea la cintura del haz coincidente con el radio de la fibra a [17]. El análisis de las multireflecciones que genera el dispositivo produce una salida dada por la ecuación:

$$I_R = I_0 \left[R_1 + R_2 (1 - R_1)^2 \beta + 2\sqrt{R_1 R_2 \beta} (1 - R_1) \cos\varphi \right] \quad (5.16)$$

Donde hemos tomado en cuenta la intensidad como la parte real de la expresión

$$I_R = A_R \cdot A_R^* \quad (5.17)$$

La eq. 5.16 puede expresarse más simplemente como

$$I_R = I_0 [a + b \cos\varphi] \quad (5.18)$$

donde a y b son

$$\begin{aligned} a &= R_1 + R_2 (1 - R_1)^2 \beta \\ b &= 2\sqrt{R_1 R_2 \beta} (1 - R_1) \end{aligned} \quad (5.19)$$

A fin de llegar a una expresión normalizada de la transferencia se puede plantear la siguiente relación

$$\frac{I_R}{I_{medio}} = \frac{I_0 [a + b \cos\varphi]}{I_0 [a + b]} = \frac{a}{a + b} + \frac{b}{a + b} \cos\varphi \quad (5.20)$$

o también como

$$\frac{I_R}{I_N} = 1 + \frac{2\sqrt{R_1 R_2 \beta} (1 - R_1)}{R_1 + (1 - R_1)^2 R_2 \beta} \cos\varphi \quad (5.21)$$

con $I_N = I_0.a$. Suponiendo una variación de distancia en una dirección **el espaciado entre máximos equivale a $\lambda/2$, demostrando que su sensibilidad es menor que dicho valor (del orden de $0.1\mu\text{m}$)** [26, 27].

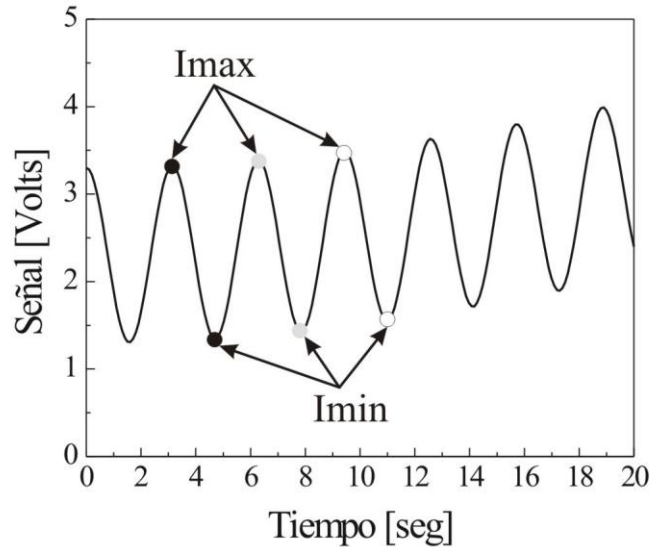


Figura 11: Señal de salida sin normalizar en función de un desplazamiento continuo.

b) Sensores basados en Redes de Bragg grabadas en fibra.

En este tipo de sensores, si bien pueden ser clasificados como sensores espectrales, tienen características muy particulares que merecen su tratamiento a parte. En estos dispositivos la fibra óptica tiene un papel central: no solo se comporta como guía de onda segura con bajas pérdidas, sino que su estructura en sí es utilizada para la codificación espectral del parámetro a medir.

El núcleo de la fibra óptica presenta una perturbación periódica (o aperiódica), del índice de refracción efectivo (Fig. 12). Ésta perturbación suele extenderse longitudinalmente desde apenas unos milímetros hasta algunos centímetros, con períodos que van desde décimas de micrón a fracciones de milímetro para el caso de las redes de período largo.

La perturbación del núcleo provoca una reflexión de la luz en un rango muy pequeño de longitudes de onda, para las cuales se cumple la condición de *Bragg*, en tanto que las restantes no resultan prácticamente afectadas. La longitud de onda central de reflexión de una red de *Bragg* es

$$\lambda_B = 2 \cdot \Lambda_B \cdot n_{ef} \quad (5.22)$$

donde Λ_B es el período de la perturbación y n_{ef} el índice de refracción efectivo del núcleo de la fibra óptica. El ancho de banda de estas redes, típicamente menores al nanómetro, depende tanto del largo como del perfil de modulación del índice.

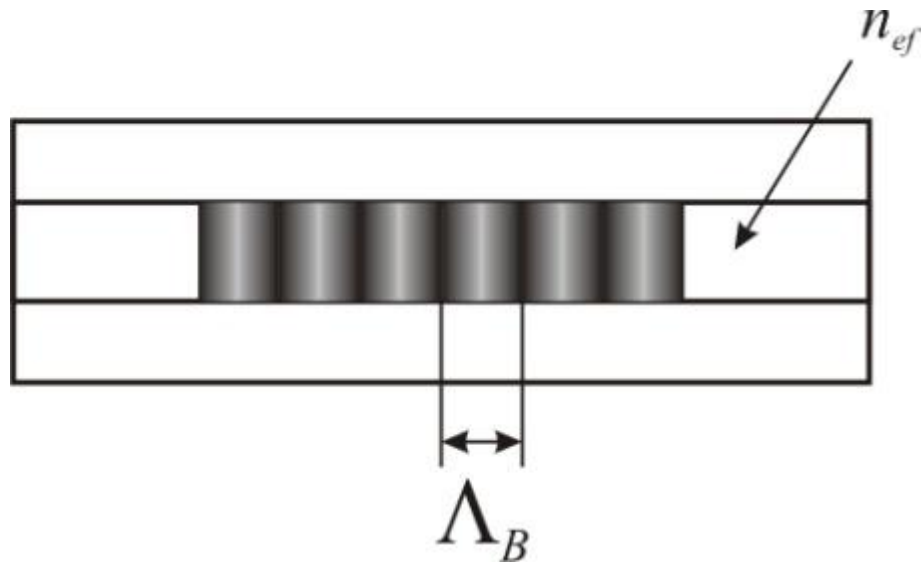


Figura 12: Red de Bragg.

Para su fabricación, es preciso trabajar el núcleo para formar una estructura particular. La técnica básica, a grandes rasgos, es siempre la misma: se proyecta un patrón de interferencia de haces en el rango UV, sobre una fibra óptica especial cuyo índice de refracción es fotosensible. Hay dos maneras de lograrlo: ya sea por interferencia de dos haces coherentes, o mediante una máscara de fase. Este último se impuso por la simplicidad y robustez del esquema experimental, pero es más costoso que el primero, menos versátil pues una máscara sirve para un solo tipo de red, y requiere un láser de corta longitud de onda (244 nm), con pulsos cortos y de gran energía.

En la actualidad las redes grabadas en fibra están muy difundidas y numerosas empresas las comercializan, en tanto que muchos laboratorios de óptica están en condiciones de construirlas para su propio uso y aplicaciones. Tienen un papel importante en el diseño de los sistemas de

comunicación por fibra óptica, donde se pueden usar como filtros en multiplexores, demultiplexores, filtros de *Add-Drop* [28-31], con sensibilidades comparables y aún mejores a los convencionales “*strain-gauges*”.

Dado que la longitud de onda de mayor reflectividad depende además de la temperatura y la deformación mecánica (propiedades foto-elásticas de la fibra) [32], las redes de *Bragg* son también ampliamente usadas para la formación de sensores de temperatura y deformación. Por ejemplo el esfuerzo aplicado en forma transversal, induce birrefringencia y así longitudes de onda de *Bragg* dependientes de la polarización [33, 34]. Para redes de *Bragg* centradas en 1300 nm, se pueden lograr sensibilidades de hasta 1 pm por cada 1 $\mu\epsilon$ y/o 0,1 °C [35], lo que requiere de técnicas de demodulación especiales, entre las que se cuentan aquellas que emplean etalones e interferómetros [36,37], entre otros.

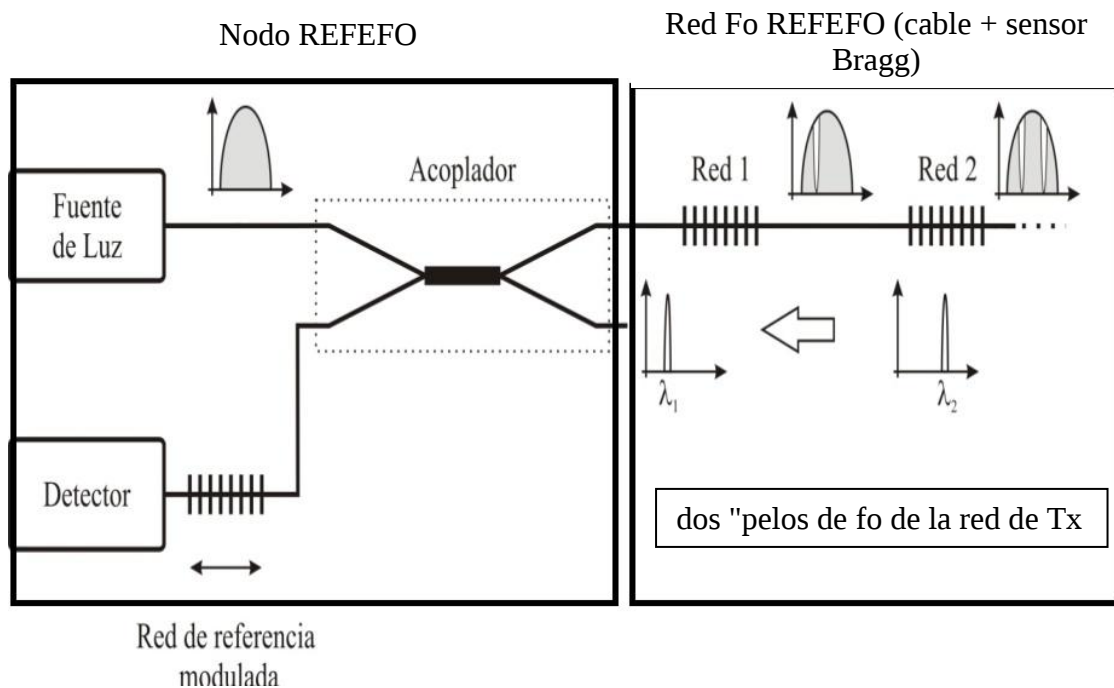


Figura 13: Esquema de un sistema de medición con redes de Bragg en fibra óptica.

La Fig. 13 ilustra un esquema usual muy conocido, en el que se emplean varias redes actuado como sensores independientes cada uno con una longitud de onda de *Bragg* diferente, en tanto que se dispone otra red de *Bragg* de referencia ubicada entre la salida del acoplador y la entrada del detector. La fuente de banda ancha es aplicada a todos los sensores que actúan con reflectores para cada una de las longitudes de onda respectivas.

La respuesta de cada uno de los sensores depende de las condiciones a las que esté sujeto.

Cada red reflejará esta longitud de onda y sus correspondientes variaciones. Se puede observar de una manera sencilla, como se modifica el espectro inicial de la fuente, conforme se propaga en cada red. Lo interesante de este diseño, es que cada reflexión en su contra-propagación puede atravesar las redes anteriores sin sufrir pérdidas considerables.

De esta forma, en la salida del acoplador están presentes todas las longitudes de onda de correspondientes a cada sensor. Para acceder a la información de todas y cada una de ellas, puede recurrirse a un espectrómetro, en cuyo caso es posible conocer el estado de los “n” puntos de medición en simultáneo.

Esta técnica, muy conveniente, no siempre es posible debido el costo elevado del instrumental. No obstante, existe otra manera de detección más ingeniosa que implica un barrido en longitud de onda dentro de la ventana de trabajo del sistema. Exige algunas consideraciones adicionales, pero es una solución mucho más económica.

Para el caso de la figura, se emplea otra red de *Bragg* como referencia que puede ser usada como sintonizador, ajustando su respuesta mediante métodos mecánicos como actuadores piezoeléctricos, tornillos micrométricos, etc. Varios trabajos e implementaciones prácticas se han logrado con esta técnica, llegando a construirse sistemas precisos de demodulación a lazo cerrado [31,36]

5.4 DESARROLLO DE SENSORES DE VIBRACIONES PARA EL MONITOREO SÍSMICOS.

Tal como hemos mencionado, tanto sensores de posición como muchos de los interferométricos, son de adaptación sencilla para el monitoreo de vibraciones. Discutiremos dos casos: Fabry-Perot y red de Bragg. En ambos casos los distintos bloques del sistemas de sensado se pueden condensar en tres subsistemas

básicos: la unidad de la instrumentación consiste en una fuente óptica y el sistema de monitoreo basado en una unidad opto-electrónica para el análisis, un microprocesador y componentes informáticos; una fibra óptica es utilizada para la transmisión de luz al punto de sensado y del haz (que contiene la información), reflejado o transmitido, desde ese punto en dirección al sistema de monitoreo; y, por último, el transductor óptico como un interferómetro Fabry Perot (si uno de los espejos es de baja reflectividad se denomina Fizeau), una red de Bragg (ambos de fibra), etc., componentes acondicionados para la medición del parámetro de interés y ubicado en el punto de sensado.

5.4.1 Caso 1: A continuación mencionaremos una aplicación de un sensor tipo Fizeau en el estudio de contracción de polímeros, aplicable hoy en la industria química. Esta aplicación servirá de ejemplo para introducirnos a esta técnica [27]:

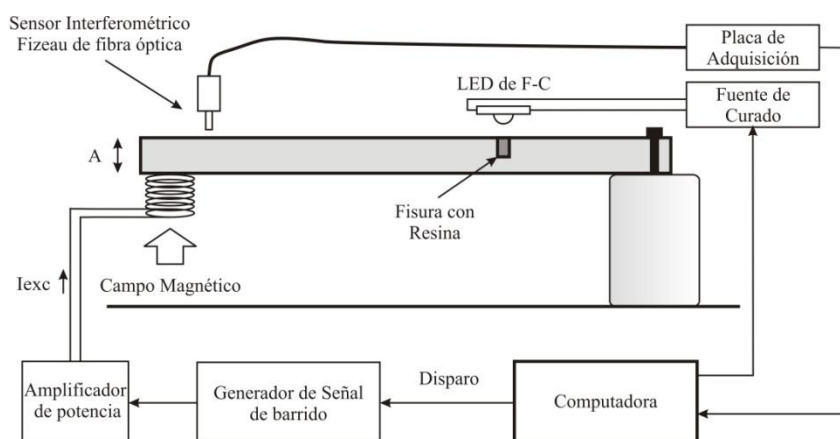


Figura 14: Esquema experimental para el análisis de contracción de polímeros

La excitación de la barra se produjo mediante una pequeña bobina o solenoide (1 cm de diámetro y 25 vueltas de cable de cobre de diámetro aproximado a 0,2 mm), ubicada en el extremo libre de la barra y de peso despreciable comparado al peso de la barra. Este solenoide fue puesto en la cercanía de un imán permanente, en forma tal que su campo magnético puede considerarse con una densidad uniforme para las dimensiones del arrollamiento.

En estas condiciones, una variación en la corriente de excitación del solenoide genera una fuerza magnética que es aplicada sobre la viga, forzando una perturbación (vibración) proporcional a ella. En este caso, en el que se alimentó el arrollamiento con corriente senoidal de frecuencia variable e intensidad

pico de 300 mA, se generaron vibraciones en la viga comprendidas entre unas décimas a decenas de micrón, y fueron detectadas mediante el sensor interferométrico de *Fizeau* construido en fibra óptica, emplazado a 1,4 cm del extremo libre.

Se adquirieron unos ciclos del interferograma por cada frecuencia de excitación, que fue precisamente seleccionada con un generador de señales. Para seguir en forma cierta y correcta la resonancia del material, que variaba a medida que se producía el curado de un polímero ubicado en la ranura generada en la barra, se generaron barridos de frecuencia (*Frequency Sweeping*) disparados en forma controlada por la placa de adquisición, conectada a una entrada específica del generador (*external trigger*).

Por otro lado, este esquema de excitación, provee una forma sencilla y práctica para barrer en frecuencia dentro del rango de interés a fin de localizar en forma dinámica la resonancia y su evolución en el tiempo. En todo momento se aseguró que la corriente sobre el solenoide mantuviera siempre amplitud constante y sin distorsiones para descartar variaciones espurias en la medida.

En la Fig. 15. se muestra un interferograma típico, del que se obtienen los gráficos de resonancia. Este es el aspecto típico de una señal interferométrica cuando la superficie bajo medición oscila en forma senoidal.

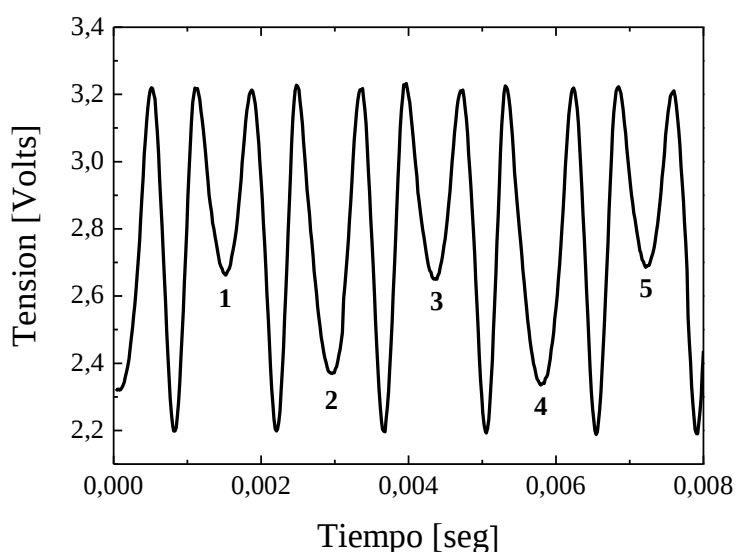


Figura 15. Interferograma correspondiente a la vibración de la barra con resina sin curar excitada a 349,65 Hz.

Los puntos marcados corresponden a las posiciones máximas y mínimas de la oscilación. Si cambiamos la frecuencia en forma continua podemos encontrar los valores de resonancia del cantiléver+polímero, el cual depende del grado de polimerización. Para un estado fijo, obtenemos la respuesta siguiente.

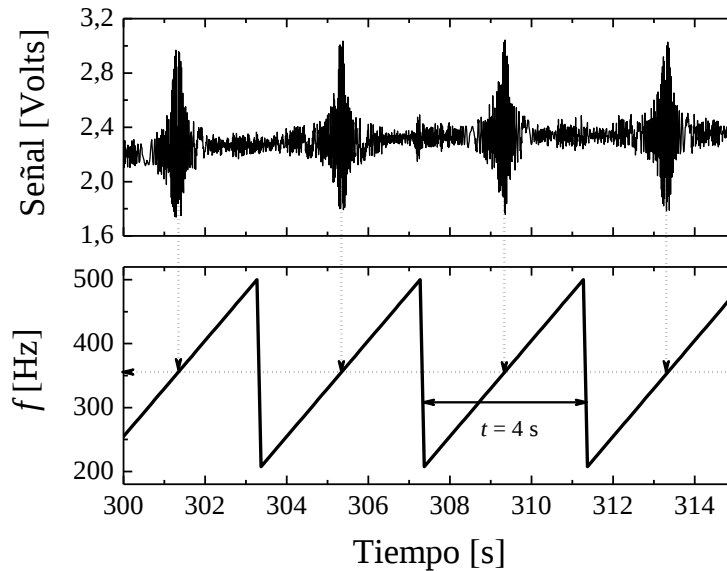


FIGURA 16: Método para medición dinámica de la frecuencia de resonancia. Arriba: señal interferente correspondiente al barrido continuo. Abajo: perfil de barrido en frecuencia empleado ($f_0 \approx 360$ Hz).

La Fig. 16 explica el concepto en forma más detallada. En la parte inferior de muestra el perfil con el que se varió la frecuencia de excitación del solenoide, con lo cual se aplico una vibración a la viga que permite medir la resonancia mostrada en la parte superior. Es notable el paso de la barra por la resonancia, cuando experimenta su mayor amplitud. Por la dimensión de la viga empleada no hay desfase entre la vibración y la frecuencia de excitación. Vale decir que si se determina la ventana de trabajo (4 segundos) y a partir de allí se mide el tiempo para el cual se obtiene máxima señal, entonces se puede calcular sencillamente la frecuencia a la que esta ocurre.

Este mismo sistema, sin el polímero ni la excitación de tipo magnético, es posible de realizar para detectar oscilaciones del cantiléver (barra) debido a efectos estructurales en edificios o sísmicos y se aplica en esta tesis.

Medición de pequeñas vibraciones: Si el sensor es sometido a una superficie que está vibrando dentro del rango soportado (hasta 300 μm aproximadamente),

los interferogramas cambian ligeramente evidenciando un quiebre de fase que marca una simetría a sus lados. Si dicho quiebre puede determinarse con seguridad, es posible reconstruir la vibración original, teniendo en cuenta que en cada quiebre hay que invertir sucesivamente el sentido según se trate de una contracción o expansión.

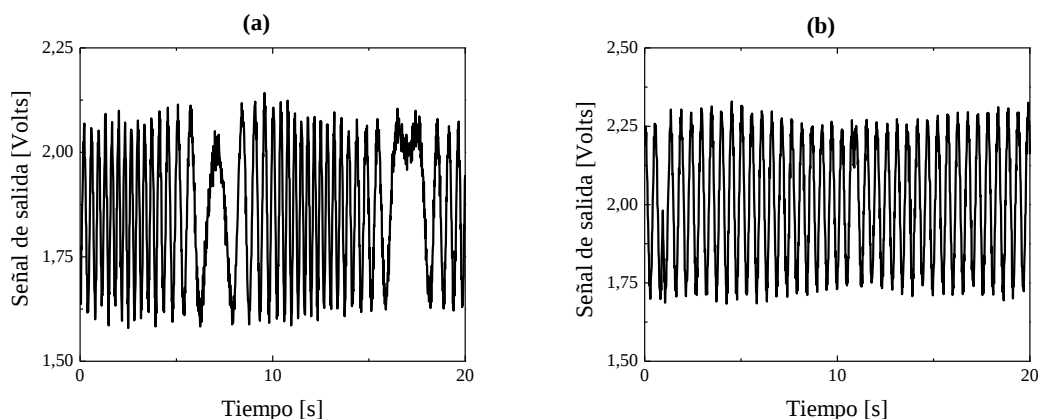


Figura 17: Interferogramas para vibraciones senoidal (a) y triangular (b), ambas de período 20 s y amplitud constante.

En la Fig. 17 se muestran interferogramas obtenidos oscilando en forma senoidal y triangular respectivamente.

Para lograr estas oscilaciones se dispuso un pequeño transductor constituido por un solenoide en presencia de un campo magnético suspendido adecuadamente y solidario con la superficie, por el que se hizo circular una corriente convenientemente adaptada proveniente de un generador de señales. Un laser de 1310 nm genera franjas cuyos máximos están separados $\lambda/2 = 655$ nm.

Se produjo una oscilación de amplitud constante y frecuencia 50 MHz de tipo senoidal (Fig. 17 a) y triangular (Fig. 17 b). En ambos es notable el quiebre y su simetría en los puntos de derivada nula.

El procesamiento, similar en cuanto a su desarrollo, implicó determinar los tiempos para los cuales se sucedieron esos quiebres, para modificar el sentido del incremento en $\Delta d = \lambda/2$. Los resultados son mostrados en las Fig. 18.a y Fig. 18 b respectivamente. En ellos se puede apreciar la buena reconstrucción de la

oscilación, tanto en su amplitud como en su frecuencia. Los errores de los resultados mostrados son menores al tamaño de los puntos.

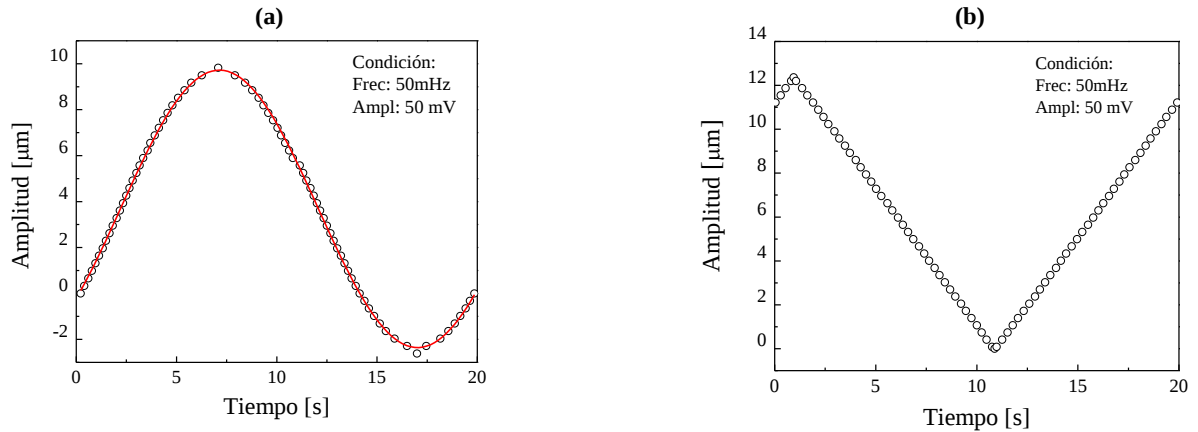


Figura 18: Resultados del procesamiento de las señales mostradas en la Figura 17.

5.4.2 Caso 2:

Dentro de esta amplia lista de dispositivos ópticos de interés tecnológico, el desarrollo de redes de "Bragg" (FBG) grabadas en fibra fotosensible, mediante el uso de un láser en la zona del ultravioleta, es un ejemplo concreto. Las dimensiones de estas redes pueden ser de algunos milímetros a varios centímetros de fibra y son empleadas en sistemas de comunicaciones actuales en diversas aplicaciones. Son usadas como filtros, compensadores de dispersión, sistemas "add and drop" de señal para enlaces tipo WDM (wavelength división multiplexing), etc. Por otro lado, sus propiedades son ideales para el desarrollo de sensores de fibra: como transductores de deformaciones, vibraciones, temperatura, etc.; como elementos de la cavidad en el desarrollo de fuentes coherentes (láseres de fibras en general), etc.. Ello es debido a sus propiedades espectrales (tanto en reflexión como en transmisión) permitiendo, por ejemplo, el filtrado de señales dentro de un ancho de banda menor a 0.1 nm con muy baja pérdida de potencia debido a su baja pérdida de inserción.

En este sentido, los sistemas de sensado óptico basados en redes de Bragg grabadas en fibras ópticas, combinan un alto nivel de confiabilidad, exactitud, resolución y estabilidad. Sensores basados en estos componentes están siendo instalados por todo el mundo en una gran variedad de ambientes de funcionamiento y con una gran diversificación de aplicaciones.

Entre sus ventajas se incluyen sensado de tipo intrínseco, sensado a distancia, ser eléctricamente pasivo (al tratarse de un material dieléctrico no genera chispas y puede utilizarse en ambientes explosivos), puede operar a altas temperaturas, posee capacidad de sensado en puntos múltiples utilizando la misma fibra (Ej.: utilizar solo un pelo de fibra óptica de un enlace de transporte), sensado de varios parámetros; componentes comunes a telecomunicaciones lo cual implica menores costos, etc.

Las redes de Bragg (variaciones periódicas del índice de refracción del material) son elementos intrínsecos que se pueden grabar en el núcleo de una fibra óptica fotosensible mediante radiación ultravioleta. La longitud de grabado es de unos pocos centímetros. Cuando un haz de luz de banda ancha es transmitido por la fibra, la red produce una reflexión de banda angosta donde la longitud de onda es proporcional al período de la modulación espacial del índice de refracción (espaciado entre franjas). El resto de la luz pasa por la red sin alterarse y se la puede utilizar para interrogar a otras redes grabadas en diversas longitudes de onda. Esta característica hace de las redes de Bragg un componente importante para la industria de las telecomunicaciones, porque sirve como la base para la multiplexación por división de longitud de onda (WDM), generando la capacidad de llevar múltiples canales de datos simultáneamente por una sola fibra. Para los propósitos de la supervisión permanente, la tecnología WDM permite el montaje de múltiples sensores ópticos por una sola fibra.

Su aplicación como sensor está basada en los cambios que tanto una variación de temperatura como un esfuerzo producen sobre la red grabada en la fibra. En ambos casos el material puede dilatarse o comprimirse, produciendo el mismo efecto sobre el espaciado de la red. Dado que la longitud de onda del haz reflejado depende de dicho parámetro, la red de Bragg traduce variaciones térmicas o deformaciones longitudinales a variaciones en longitud de onda (o frecuencia óptica) en forma proporcional. Así, estos dispositivos pueden utilizarse como un strain gauge óptico. Mediante un diseño adecuado, puede generar un sensor de vibraciones en un amplio rango de frecuencias.

5.4.1 Grabado de redes de Bragg

Una de los métodos más efectivos para inscribir redes de Bragg en fibra fotosensible es la técnica de la máscara de fase (Hill et al., 1993; Othonos y Lee, 1995). Dicha técnica emplea un elemento óptico difractivo (la máscara de fase, básicamente una red de difracción que funciona por transmisión) para modular espacialmente el haz UV de escritura. Al irradiar dicho elemento con un único haz UV (típicamente en la región espectral $\sim 240\text{-}260\text{ nm}$, donde el proceso de fotosensibilización en fibras ópticas es más eficiente), la luz difractada por los dos primeros órdenes forma al interferir, un patrón de intensidad periódico y de alto contraste que foto-imprime la modulación de índice de refracción del núcleo de la fibra óptica.

El contraste de esta distribución de intensidades es fuertemente dependiente de la longitud de coherencia del haz por tratarse de un fenómeno interferométrico. Las fuentes láser de emisión continua poseen una mayor longitud de coherencia que las pulsadas, lo que permite obtener redes con mayores profundidades de modulación de índice y, por consiguiente, mayores reflectividades.

Cuando un haz luminoso UV incide sobre una máscara de fase, éste es difractado en varios órdenes $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$. Los órdenes incidente y difractados satisfacen la siguiente condición:

$$\Lambda_{pm} = \frac{m\lambda_{uv}}{\left(\sin \frac{\theta_m}{2} - \sin \theta_i\right)} \quad (5.23)$$

donde Λ_{pm} es el período de la máscara de fase, λ_{uv} es la longitud de onda del haz UV incidente, $\theta_m/2$ es el ángulo del orden m difractado y θ_i es el ángulo de incidencia sobre la máscara. Si el haz UV incide perpendicularmente, los órdenes difractados son solamente $m = 0$ y ± 1 . Habitualmente las máscaras de fase se diseñan de modo de minimizar el orden 0. De este modo, la máscara de fase actúa como una red de difracción de precisión, cuyos dos haces de salida crean un patrón de interferencia en la región del espacio donde se solapan.

El período de la máscara de fase se relaciona con el período de la modulación de índice generada en la fibra (Λ_{red}) y con la longitud de onda de Bragg (λ_{Bragg}) de la siguiente manera:

$$\Lambda_{red} = \frac{\Lambda_{pm}}{2} = \frac{\lambda_{Bragg}}{2n_{eff}} \quad (5.23)$$

donde n_{eff} es el índice de refracción efectivo del núcleo de la fibra. Así por ejemplo, una red de Bragg diseñada para operar en la región de $\sim 1.5 \mu m$ tendrá un período de unos 500 nm.

Centrándonos en los órdenes -1 y +1, a la salida de la máscara se forma un patrón de interferencia normal a la misma cuya periodicidad es independiente de la longitud de onda del haz láser UV incidente. Colocando una fibra fotosensible detrás y en contacto con la máscara, y orientando sus corrugaciones perpendicularmente al eje de la fibra, se grabará sobre el núcleo la modulación deseada del índice de refracción (FBG) como se observa en la Figura 19.

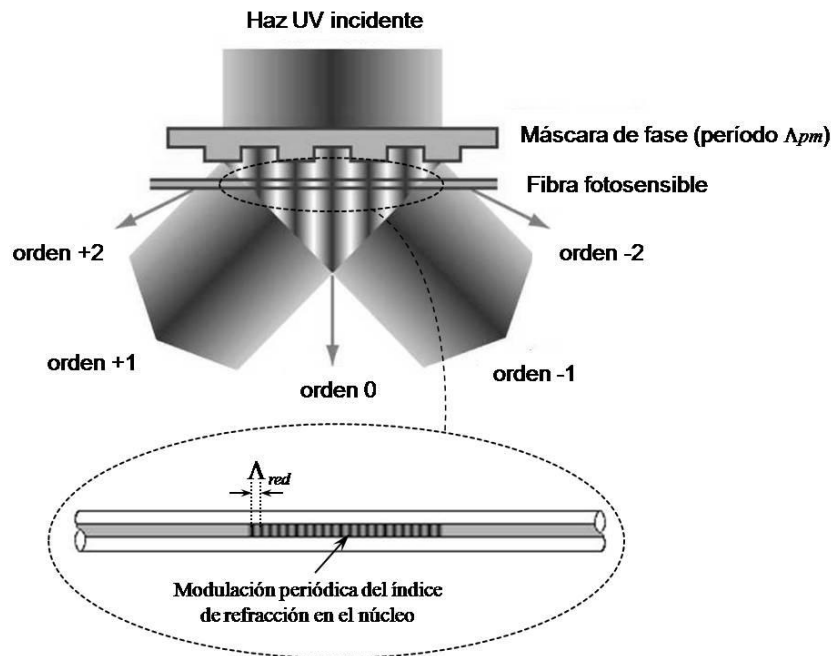


Figura 19: Diagrama esquemático del proceso de grabado de FBG con máscara de fase.

El esquema experimental se muestra en la Figura 20. La fuente de UV es un láser de Nd-YAG capaz de entregar pulsos de 650 mJ en 1064 nm, con una frecuencia de repetición máxima de 10 Hz. Con la ayuda de dos cristales dobladores de frecuencia se obtiene emisión en 266 nm. Sin embargo, dado que la eficiencia de los cristales no es de 100%, el haz de salida contiene algo de radiación infrarroja (1064 nm) y visible (532 nm, salida del primer doblador). Utilizando un prisma Pellin-Brocca es posible separar angularmente la energía contenida en las diferentes longitudes de onda, y utilizar sólo aquella porción correspondiente al UV. Luego de ser expandido y colimado, el haz incide sobre una lente cilíndrica

montada sobre un microposicionador (MP1), generando una línea horizontal a la distancia focal de la lente, donde se coloca la máscara de fase. En contacto con la cara de la máscara por donde emerge el haz se coloca la fibra óptica fotosensible tratando de garantizar un apoyo homogéneo a lo largo de la red. Tanto la máscara como la fibra se encuentran montadas en un microposicionador X-Y (MP2) a fin de poder alinear el sistema y enfocar el haz sobre la máscara.

Para lograr el seguimiento del proceso de grabado se conecta un extremo de la fibra fotosensible (mediante un conector FC-APC) a un interrogador de redes de 4 canales, de alta resolución y exactitud. A través de la conexión remota de este instrumento a una PC, se monitorea la evolución del grabado de la red observando en el monitor de la computadora el espectro por reflexión de la misma. Esta información in-situ es muy importante ya que da un panorama al instante de cómo se produce el proceso de grabado, permitiendo realizar si es necesario, los ajustes pertinentes a fin de optimizar dicha operación. Las características relevantes evaluadas fueron: ancho espectral, reflectividad máxima, longitud de onda central, supresión de lóbulos laterales, etc. En la Figura 21 se muestran fotografías de la estación implementada para el grabado de redes de Bragg en fibra.

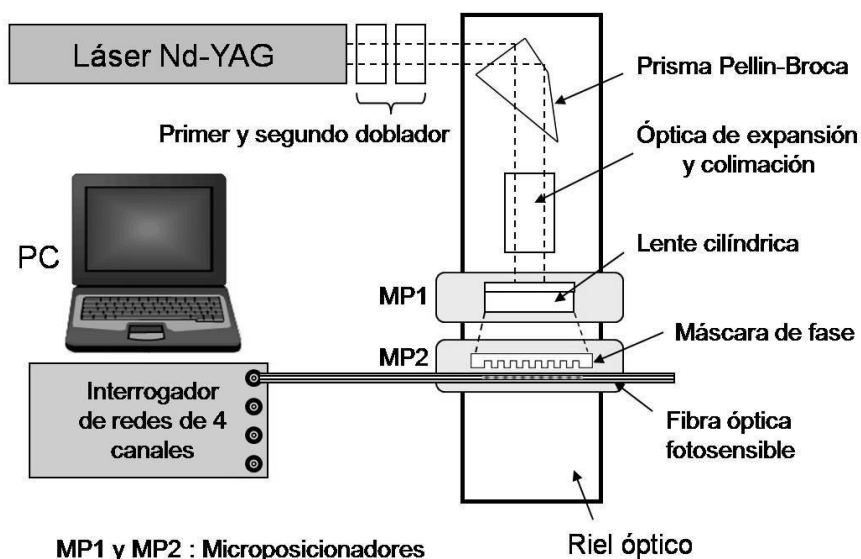


Figura 20: Esquema experimental del sistema para grabado de redes de Bragg en fibra óptica



Figura 21: Montaje experimental del grabado de redes.

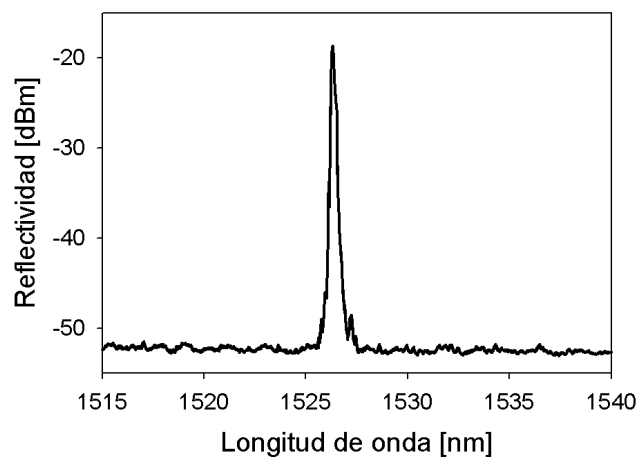


Figura 22: Espectro de una red de Bragg grabada en el CIOp.

Como se observa en la figura 22, se lograron obtener redes con espectros de reflexión como el mostrado, donde la longitud de onda de máxima reflexión (λ_{Bragg}) es de 1526.325 nm y su ancho espectral a -3dB es de 0.14 nm.

Dependencia de una red de Bragg respecto a parámetros externos.

a) Dependencia con la temperatura (red con longitud de onda de Bragg = 790nm).

La figura muestra una dependencia lineal a los cambios térmicos.

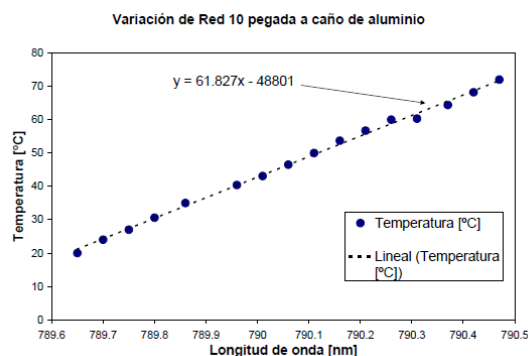


Figura 23 : Dependencia de una red con la temperatura

b) Dependencia con la deformación

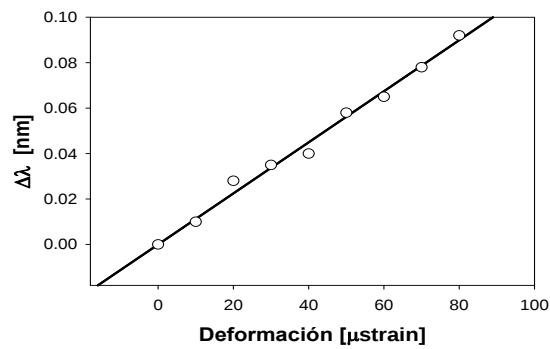


Figura 24: Respuesta lineal con la deformación

5.5 ENSAYOS REALIZADOS SENSORES OPTICOS EN LAB CIOP ARGENTINA

5.5.1 Construcción del sensor.- Utilizamos dos redes de alta reflectividad levemente separadas espectralmente (una fija y la otra con posibilidad de deformarse a través de los esfuerzos sobre el cantiléver generado por vibraciones).

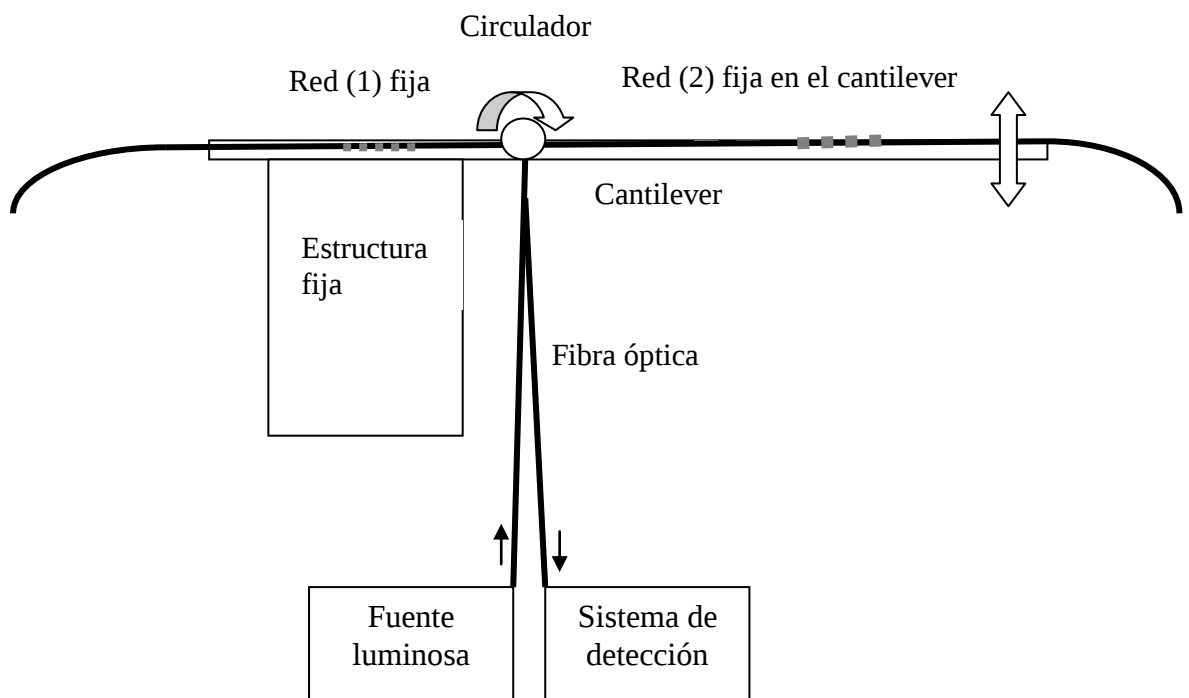


Figura 25 : Montaje experimental del sistema sensor.

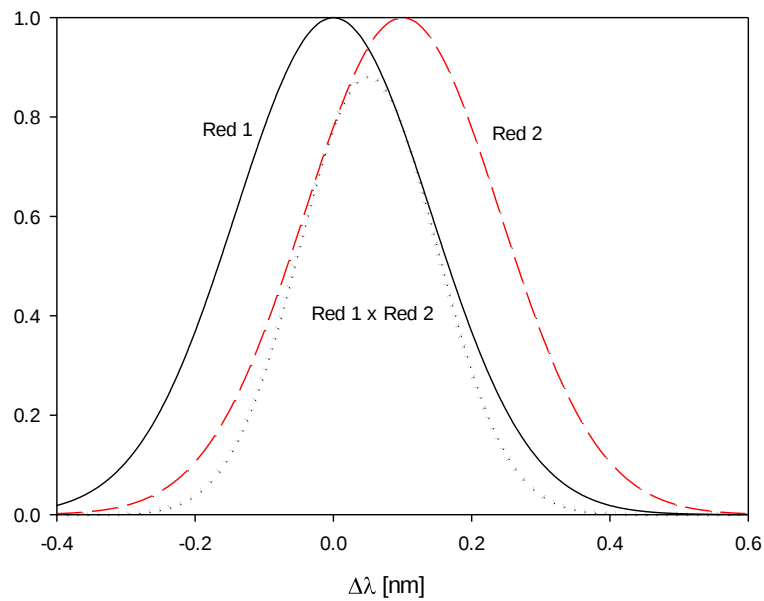


Figura 26 Espectros de reflectividad de redes utilizadas y función de transferencia (teóricos)

Al desplazarse la red 2 espectralmente al deformarse por la oscilación del cantilever, cambia el grado de superposición entre ambas, cambiando la intensidad reflejada que recibe el detector..

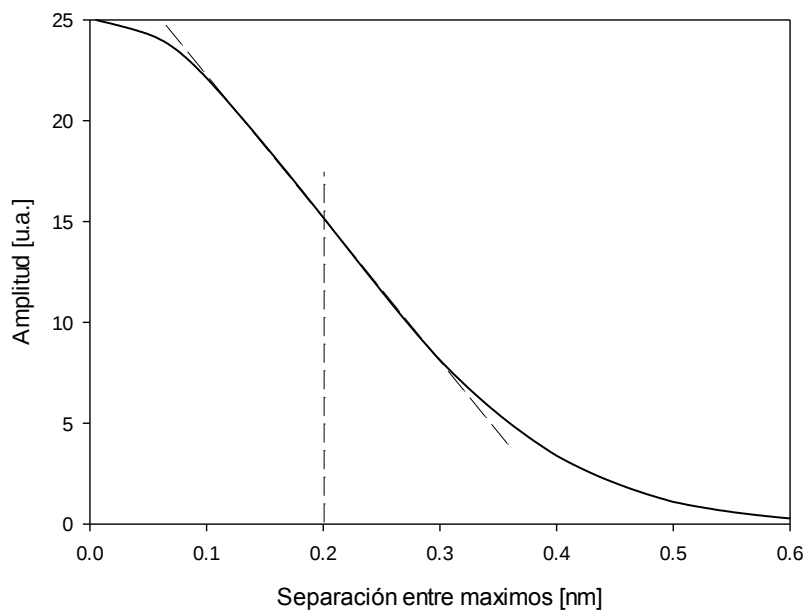


Figura 27 : Respuesta del sistema (intensidad vs. separación espectral de las redes)

Se observa que la respuesta es lineal con la variación de longitud de onda y por ende respecto de la deformación generada sobre el cantiléver por la vibración mientras dicha variación espectral no supere el semiancho de la red.

5.5.2 Determinación del grado de sensibilidad del dispositivo óptico

Cambios de ambos parámetros (temperatura y deformación) generan cambios proporcionales (lineales) en la longitud de onda de Bragg. En el caso del esquema propuesto inicialmente, implica que ambas redes deben mantenerse en el mismo ambiente a fin de que las variaciones térmicas no influyan en el método (se corren simultáneamente).

La deformación en el soporte de la red se traduce directamente en una oscilación que puede visualizarse en un osciloscopio. La sensibilidad es dependiente de la fuente óptica, del tipo y tamaño de cantiléver utilizado y en la sensibilidad del sistema de detección óptica. Dado que la frecuencia es baja, altos valores de señal pueden ser obtenidos (algunos $\mu\text{W/pm}$)



Figura 28

Ejemplo experimental de la propuesta

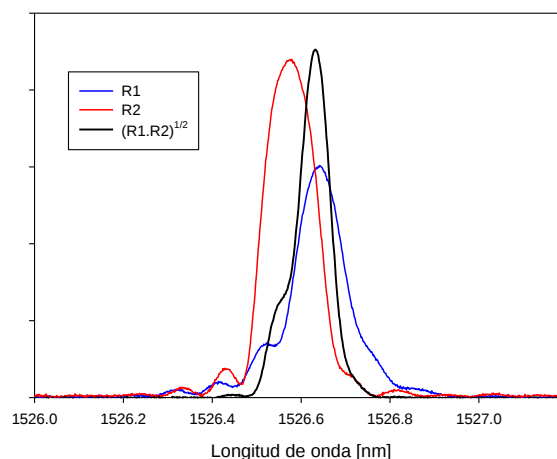


Figura 29: Espectros de reflectividad de redes utilizadas y función de transferencia

La figura 29 muestra los espectros de reflectividad de redes grabadas en el CIOp (R1 y R2) y función de transferencia del sistema reflectivo $((R1.R2)^{1/2})$. R1 corresponde una red montada sobre un cantiléver que puede vibrar, y R2 a una red fija.

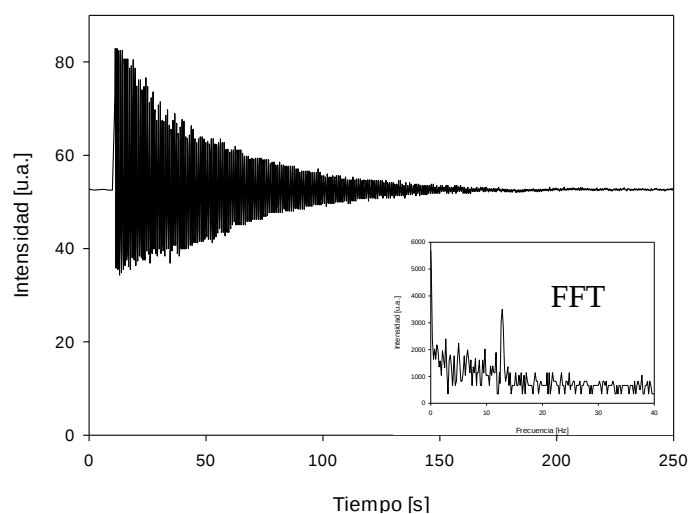


Figura 30: Señal monitoreada con el sistema al generar un impulso al cantiléver y transformada de Fourier de la misma.

5.5.3 Determinación del rango de trabajo del sensor óptico (monitoreo continuo/discontinuo)

El rango de trabajo es dependiente del montaje donde se ubican las redes. Por ej. en el caso de medición de temperatura, la pendiente dependerá si la red está totalmente adherida o no a un soporte (por ej. aluminio), pues depende directamente del coeficiente de dilatación térmica del material.

5.6 Resultado de primeros ensayos de sensores ópticos

Los resultados obtenidos muestran una transferencia prácticamente lineal de los transductores analizados. En los estudios se han utilizado láseres (sensores interferométricos) o fuentes de banda ancha tipo LED (sensores por redes de Bragg), aunque dada la alta respuesta de los transductores la intensidad de dichas fuentes no suele ser limitante. El ancho de banda de los sensores depende del montaje, pero fácilmente supera los requerimientos establecidos para esta aplicación. Por otra parte, los sistemas ópticos son de bajo costo y pueden compactarse adecuadamente. Su multiplexado es una ventaja adicional.

Referencias.

1. Udd E., *Fiber Optics Sensors – An introduction for Engineers and Scientists*, ed. E. Udd. 1991: John Wiley & Sons.
2. Yu F. T. S. and Yin S., *Fiber Optic Sensors*. 2002: CRC Press.
3. Udd E. *Fiber Optic Sensors*. 1992. Boston, Massachusetts.
4. Snow, J.W. A fiber optic fluid level sensor: Practical considerations. in *Proc. SPIE*. 1983.

5. D. R. Miers, D. Raj, and J.W. Berthold, *Design and characterization of fiberoptic accelerometers*. Proc. SPIE, 1987. **838**: p. 314-317.
6. Berthold J. W., Ghering W. L., and Varshneya D., *Design and characterization of a high temperature, fiber optic pressure transducer*. IEEE J. Lightwave Tech., 1987. **LT-5**: p. 1-6.
7. Rui H., Shenfang Y., Yun J., and Baoqi T., *Intrinsic microbend fiber optic sensors*, in *Proceedings of SPIE, the International Society for Optical Engineering*. 2002. p. 148-153
8. M. Corke, F. Gillham, A. Hu, D.W. Stowe, and L. Sawyer, *Fiber optic Pressure Sensors Employing Reflective Diaphragm Techniques*. Proc. SPIE, 1988. **985**: p. 164-171.
9. Giles et al, pp 233-239., *Self-Compensating Technique for Remote Optic Intensity Modulated Transducers*. SPIE Fibre Optics' 85 (Sira), 1985. **522**: p. 233-239.
10. I. P. Giles, S. McNeill, and B. Culshaw, *A Stable Remote Intensity Based Optical Fibre Sensor*. J. Phys. E (GB), 1985. **18**(6): p. 502-504.
11. Dandridge, A., *Fiber Optic Sensors Based on the Mach-Zehnder and Michelson Interferometers*, ed. E. Udd. 1991. 273-277.
12. Dandridge A., *Fiber optic sensors based on the Mach-Zehnder and Michelson interferometers*, in *Fiber Optic Sensors: An Introduction for Engineers and Scientists*, Eric Udd, ed. 1991.
13. Dandridge A. and Goldberg L., *Current-induced frequency modulation in diode lasers*. Electron. Lett., 1982. **18**(7): p. 302-304.
14. Marfal, L.A.P., J.V.F. Leao, G. Nader, E.C.N. Silva, R.T. Higuti, and C. Kitano, *Analysis of Linearity and Frequency Response of a New Piezoelectric Flexensional Actuator Using a Homodyne Interferometer and the J1-J4 Method*, in *Instrumentation and Measurement Technology Conference, Proceedings of the IEEE*. 2005. p. 1048 - 1053.
15. Sheem S. K., Giallorenzi T. G., and Koo K., *Optical techniques to solve the signal fading problem in fiber interferometers*. Appl. Opt., 1982. **21**(4): p. 689-693.
16. Dandridge A. and Tveten A., *Thermal phase compensation in fiber-optic interferometers*. J. Lightwave Tech., 1984. **2**(2): p. 73-75.
17. Cole J., Danver B., and Bucaro J., *Synthetic-heterodyne interferometric demodulation*. IEEE J. Quantum Electron., 1982. **18**(4): p. 694-697.
18. M. Corke, A. D. Kersey, and D.A. Jackson, *All Fibre Michelson Thermometer*. Electronic Lett., 1983. **19**: p. 471.
19. Tsuda H., Koo J.-H., and Kishi T., *Detection of simulated acoustic emission with Michelson interferometric fiber-optic sensors*. J. Mater. Sci. Lett., 2001. **20**(1): p. 55-56.
20. Yuan L., Yang J., Liu Z., and Sun J., *In-fiber integrated Michelson interferometer*. Opt. Lett., 2006. **31**(18): p. 2692-2694.
21. Omega, *High Temperature Blackbody Calibrators*, in www.omega.com. 2007.
22. Berthold III J. W., *Industrial Applications of Fiber Optic Sensors*. 1991: p. 414.
23. Christensen D. A. and Ives J. T., *Fiber optic temperature probe using a semiconductor sensor*. Proc. NATO Advanced Studies Institute, Dordrecht, The Netherlands, 1987: p. 361.
24. www.oceanoptics.com/products/sensors.asp, *Ocean Optics Optical Sensors*.
25. Woerdeman D. L. and Parnas R. S., *Model of a Fiber-Optic Evanescent-Wave Fluorescence Sensor*. Appl. Spectrosc., 2001. **55**(3): p. 331-337.
26. Arenas, G.F., Russo, N. Duchowicz, R. "Fiber optic based interferometric methods applied to photopolymerization analysis" En *Interferometry Principles and Applications* Editors: Mark E. Russo, Nova Publishers, New York, USA, ISBN: 978-1-60741-050-8, 2011
27. Duchowicz R., Arenas G. and Vallo C. "Determination of dental composites properties by using a FIZEAU fiber interferometer". en "Handbook of Interferometers; Research, Technology and Applications". Halsey David and Raynor William, Eds. Nova Publishers, New York, USA, ISBN: 978-1-60741-050-8, 2009 (Hardcover y e-Book)
28. E. J. Post, *Sagnac Effect*. Rev. Modern Physics, 1967. **39**: p. 475.
29. H. J. Arditty and H. C. Lefevre, *Sagnac Effect in Fiber optic Gyroscopes*. Opt. Lett., 1981. **6**: p. 401.
30. Ulrich R. and Johnson M., *Fiber-ring interferometer: polarization analysis*. Opt. Lett., 1979. **4**(5): p. 152-154.
31. Ulrich R., *Fiber-optic rotation sensing with low drift*. Opt. Lett., 1980. **5**(5): p. 173-175.
32. Kintner E. C., *Polarization control in optical-fiber gyroscopes*. Opt. Lett., 1981. **6**(3): p. 154-156.
33. Fredricks R.J. and Ulrich R., *Phase error bounds of fibre gyro with imperfect polariser/depolariser*. Electron. Lett., 1984. **20**(8): p. 330-332.
34. *Fiber Optic Sensors*, ed. Yu F. T. S. and Yin S. 2002, USA: CRC Press.
35. G. D. Peng and P. L. Chu, *Optical Fiber Hydrophone Systems*, Cap. 9, ed. Francis T. S. Yu and S. Yin. 2002.
36. G. W. Day, K. B. Rochford, and A. H. Rose, *Fundamentals and problems of fiber current sensors*. Optical Fiber Sensors, Capítulo 11 1996: p. 124-128.
37. Y. N. Ning, B. C. B. Chu, and D. A. Jackson, *Rev. Sci. Instrument*. 1992. **63**: 57-71.

6 - Conclusiones

CONCLUSIONES.

- Se observa en la muestra de eventos sísmicos analizados que la relación de epicentro del sismo con respecto a la distancia en km a los principales centros urbanos que tiene densidad poblacional alta (con ello mayor riesgo humano y material), presentan distancia de 150km y la onda mecánica del sismo que se desplaza en 5km/seg demora varios segundos -30 seg en este ejemplo- en alcanzar las poblaciones densamente pobladas e impactar en ellas.
- Del análisis de la red óptica de transporte de telecomunicaciones de proyectos nacionales de envergadura única como ser "Argentina Conectada", su "Red Federal de Fibra Óptica" (REFEFO) brindará la posibilidad de cubrir en km la mayoría del país (60.000km) con una red de alta capacidad, capilaridad, seguridad y extensión, con tiempos de transmisión de 1 a 2 miliseg cada 1000km aprox -para la fo- por lo cual supera en ordenes de magnitud la velocidad de propagación de la onda mecánica del sismo y permitiría crear un "sistema de alerta temprana de sismos" con aviso directo a la zona de impacto vía celular/TDA etc. Se agrega valor a su proyecto original de red nacional como propone ITU (ver pág.5, Ref.1) a mínimo costo incluyendo el empleo de modernos sensores ópticos de fabricación nacional (CIOP UNLP) que completan la "Red Óptica como Sistema de Alerta Temprano de Sismos" de manera concreta y complementando a la red actual de INPRES de sensores conectados por radio a conexión por fo, reduciendo costos, fundamentalmente de mantenimiento.
- La detección de los sensores se gestionaría a diferentes niveles como; alarmas locales/municipales/provinciales/nacionales e incluso regionales (ejemplo: un país Argentina avisa en tiempo real y de manera automática a Chile y Bolivia por ejemplo) creando el concepto de "red de aviso temprano de sismo nacional" con potencialidad de ser escalable y alcanzar Sudamérica en conjunto, brindado preaviso a población que hoy no dispone de esa información vital

- El aviso de la alarma se brindaría por medio de interfaces directas desde nodos principales/secundarios y central de ARSAT SA a todos los terminales (SMS/TDA/radio) del área del siniestro con priorización a los de menor distancia al epicentro ya que serán los habitantes que tendrán que protegerse lo antes posible y tomar acción (cierre/desconexión) sobre los servicios locales de gas, electricidad, etc. para evitar daños críticos.
- Queda pendiente la modelización del proceso de tareas que debe seguir las directivas del Ente responsable de la gestión de la red de sismología INPRES y las directivas en materia de seguridad ante siniestros naturales, para luego volcarlo en un gestor (soft + hard) acorde que asegure ejecutar esas acciones necesarias de alerta temprana, que impactarán en los diferentes servicios de comunicaciones de la región pero con visión integral-nacional, siempre y teniendo un centro validador de alarmas previo al público.
- Definido el pto anterior se podrá valorizar en detalle por cada enlace de REFEFO el costo de agregar sensores, mas equipo de transmisión del sensor hasta el nodo secundario y de allí por interface dedicados al sistema de alarma (no compartido con otro servicio por la criticidad del mismo) por TX DWDM llegará a nodo regional principal (Ejemplo Cuyo) para su gestión y resguardo de alarmas 7 x 24 x 365 días, ampliando la red nacional de INPRES, sumando: a) mayor cantidad de muestras desde el terreno y b) con detección óptica de nueva generación de fabricación nacional c) alta seguridad por conexiones redundantes y d) reducción de costos de instalación y mantenimiento al pasar de sensores activos en nodos de radio a sensores pasivos y sobre red optica hasta el nodo.

7. FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACION

7. FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACION

- Realizar un plan de desarrollo científico-industrial asociado al rubro "Sensores Ópticos", por el interesante futuro de este producto y por contar Argentina con capacidad técnica para desarrollo inmediato y sumar de esta manera, nuevo recurso técnico/económico al país.

Desde hace décadas, la tecnología de sensores de fibra óptica ha experimentado una revolución de la mano del crecimiento de productos de fibra óptica para telecomunicaciones. Estas nuevas áreas de oportunidades incluyen la potencial sustitución de la mayoría de los sensores ambientales en existencia, así como la apertura de mercados en donde no existen sensores con capacidad comparable. Estas nuevas tecnologías, combinadas con los avances en transductores ópticos, han permitido el monitoreo remoto de vibraciones utilizando paquetes de instrumentos compactos de tipo portátil inclusive en ambientes críticos. Además, los sensores de fibra óptica pueden ofrecer mediciones sin contacto y libre de perturbaciones.

Actualmente se han potenciado como una tecnología prometedora en diversas aplicaciones en donde sobresalen, además del monitoreo de procesos sísmicos naturales, la de prospección de petróleo y gas. Desde hace un par de años ha iniciado en el CIOp el diseño experimental un geófono sísmico basado en redes de-Bragg grabadas en fibra óptica (SG-BGS). Dichas redes son a su vez grabadas en el mismo laboratorio.

El paso siguiente es implementar un modelo de ingeniería adaptable a la aplicación en campo que requiera la industria Argentina y Latinoamericana.

La figura muestra el crecimiento de la tecnología de sensores de vibración por redes de Bragg a través del número de publicaciones en el tema por año.

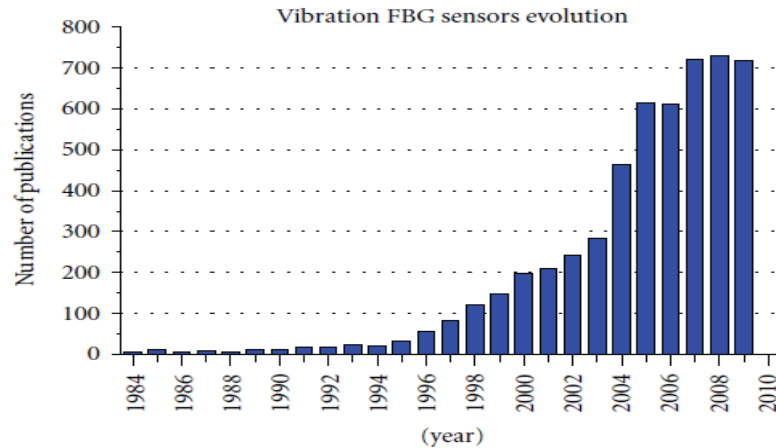


Figura 1: Plot publicado en Journal of Sensors, Volume 2010, Article ID 936487 Hindawi Publishing Corporation “Vibration Detection Using Optical Fiber Sensors” (Review Article) Autores: Y.Rodríguez García, J. M. Corres, and J. Goicoechea

- realizar prueba de campo completa con circuito óptico integral detector-nodo - TX DWDM a saber:

- a) evaluación de sensor por red de Bragg colocado en caja de empalme de REFEFO en los ptos. de medición recomendado por el INPRES
- b) analizar la inclusión y tipo de amplificador óptico para transmisión de señal del detector al nodo concentrador de ARSAT SA más próximo y la gestión en el nodo de la señal recibido en base al Soft específico para la red temprano de aviso.
- c) envío de la detección por canal de TX DWDM hacia nodo principal para su backup automático
- d) determinar retardo (Delay) de la señal desde cada detector al nodo para establecer tiempos muertos de detección y acción de la gestión remota al identificar un evento peligroso (sismo mayor a 4 por ejemplo)

- realizar propuesta de normalización de la tecnología de detección en los países de Latinoamérica para establecer codificación única de alarmas y gestores que simplifiquen la tarea y evite demoras al conectar en el futuro un país con otro.

- realizar estudio y normalización de output de alarma para todos los terminales (SMS/TDA/radio) del área del siniestro con priorización a los de

menor distancia al epicentro ya que serán los habitantes que tendrán que protegerse lo antes posible y tomar acción sobre los servicios locales de gas, electricidad, etc. para evitar daños críticos.

- realizar modelización del sistema del proceso de tareas que debe seguir las directivas del Ente responsable en materia de seguridad ante siniestros naturales, para luego volcarlo en un interface (soft + hard) acorde que asegure ejecutar las acciones necesarias de alerta temprana y que impactará en los diferentes servicios de comunicaciones de la región pero con visión integral-nacional, siempre.

8 - Bibliografía

8. BIBLIOGRAFIA

- **REFEFO. 2012.** Red Federal de Fibra Óptica:
[En Línea] www.argentinaconectada.gob.ar
- **INPRES.2012.** Instituto Nacional de Prevención Sísmica:
[En Línea] www.inpres.gov.ar
- **UNESCO. 1ra Edición, Barcelona: Blume, 1980.** Terremotos: evaluación y mitigación de su peligrosidad.
- **UNESCO, 2011.** CONCEPTOS Y HERRAMIENTAS SOBRE SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA Y GESTIÓN DEL RIESGO PARA LA COMUNIDAD EDUCATIVA:
[En Línea] www.unesco.org
- **UNESCO, 2007.** MANUAL SOBRE SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA:
[En Línea] www.unesco.org
- **NACIONES UNIDAS, 2012.** ESTRATEGIA INTERNACIONAL PARA LA REDUCCION DE DESASTRES – CAP 5.5 SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA.
[En Línea] www.eird.org/vivir-con-el-riesgo
- **CENTRO DE INSTRUMENTACIÓN Y REGISTRO SÍSMICO a.c. 2012.** Sistema de Alerta Sísmica (SAS) de la ciudad de México - Sistema de Alerta Sísmica de Oaxaca SASO.
[En Línea] www.cires.org.mx
- **BANGASH, M Y H. Editorial: SPRINGER-VERLAG W, Edición: 2010.** Earthquake Resistant Buildings: Dynamic Analyses, Numerical Computations, Codified Methods.
- **DR. MIGUEL HERRÁIZ SARACHAGA. Editorial CISMID, febrero 8, 2011.** Conceptos Básicos de Sismología para Ingenieros: ORIGEN DE LOS TERREMOTOS - FALLAS Y ONDAS SÍSMICAS - PROCESO EN EL FOCO, APROXIMACIÓN DE FOCO PUNTUAL - FOCO EXTENSO. MODELOS COMPLEJOS - PARÁMETROS DE LOCALIZACIÓN - PARÁMETROS DE TAMAÑO - DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE TERREMOTOS - MICROSISMICIDAD, APLICACIONES - TRANSMISIÓN DE ONDAS SÍSMICAS: ATENUACIÓN Y ESPARCIMIENTO - REGISTROS EN EL CAMPO PRÓXIMO: ACELEROGRAMAS, ESPECTROS DE RESPUESTA PELIGROSIDAD Y RIESGO SÍSMICO
- **NADC, La National Data Buoy Center - NOAA, La National Oceanic and Atmospheric Administration**
[En Línea] www.ndbc.noaa.gov

- **ANTONIO M. POSADA CHIMCHILLA. Departamento de Física Aplicada Universidad de Almería e Instituto Andaluz de Geofísica y Prevención de Desastres Sísmicos, Almería 1994.** Estudios Sismológicos con Redes Sísmicas Locales.

- **Ingeniería de Fibra Óptica. Teoría y Práctica.** Autor: Ing. Miguel Angel Ibañez. ISBN 978 987 33 2322-5

9 - Anexo I

Fenómenos sísmicos.-

9. ANEXOS II

9.1 FENÓMENOS SÍSMICOS.-

La deformación de los materiales rocosos produce distintos tipos de ondas sísmicas. Un deslizamiento súbito a lo largo de una falla, por ejemplo, produce ondas longitudinales de empuje-tiro (P) y transversales de cizalla (S). Los trenes de ondas P, de compresión, establecidos por un empuje (o tiro) en la dirección de propagación de la onda, causan sacudidas de atrás hacia adelante en las formaciones de superficie. Los desplazamientos bruscos de cizalla se mueven a través de los materiales con una velocidad de onda menor al agitarse los planos de arriba a abajo.

Cuando las ondas P y S encuentran un límite, como la discontinuidad de Mohorodovicic (Moho), que yace entre la corteza y el manto de la Tierra, se reflejan, refractan y transmiten en parte y se dividen en algunos otros tipos de ondas que atraviesan la Tierra. Los intervalos de propagación dependen de los cambios en las velocidades de compresión y de onda S al atravesar materiales con distintas propiedades elásticas. Las rocas graníticas corticales muestran velocidades típicas de onda P de 6 km/s, mientras que las rocas subyacentes máficas y ultramáficas (rocas oscuras con contenidos crecientes de magnesio y hierro) presentan velocidades de 7 y 8 km/s respectivamente.

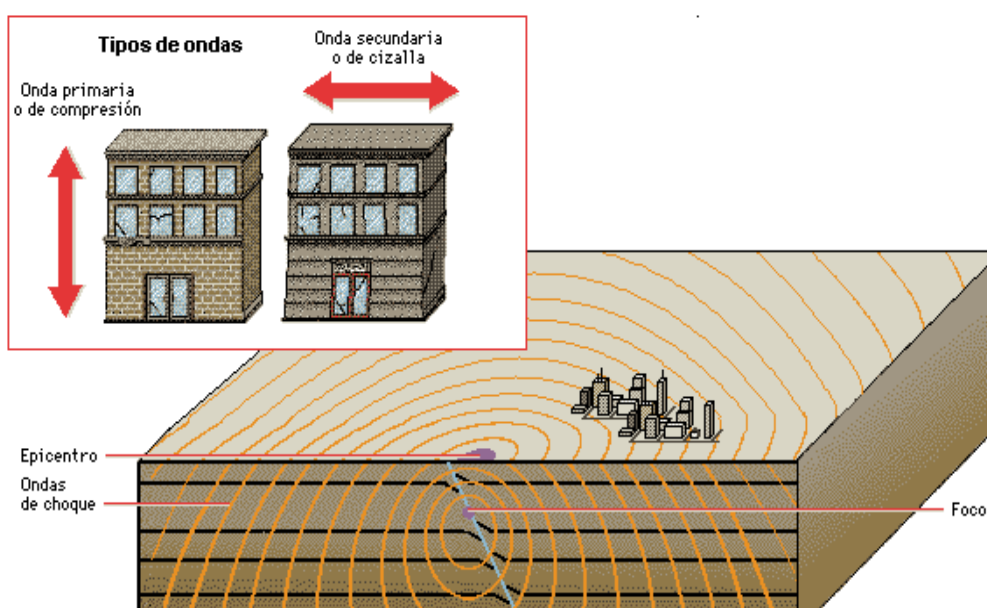


GRAFICO 1: FOCO – EPICENTRO – OMDAS DE CHOQUE

Además de las ondas P y S (ondas de volumen o cuerpo), hay dos ondas de superficie, ondas Love, llamadas así por el geofísico británico Augustus E. H. Love, que producen movimientos horizontales del suelo y las ondas Rayleigh, por el físico británico John Rayleigh, que producen movimientos verticales y son conocidas como ondas R. Estas ondas viajan a gran velocidad y su propagación se produce sobre la superficie de la Tierra.

La Sismología es la rama de la Geofísica que estudia los sismos y fenómenos conexos. Además, investiga la estructura interna de la tierra, mediante el análisis de la propagación de las ondas sísmicas por el interior y la superficie de la misma.

El origen de los terremotos de acuerdo a la teoría del "rebote elástico" (Reid, 1911), que está ilustrada en el grafico 2, establece que existen ciertas zonas preferenciales de la corteza terrestre (figura a) donde se van acumulando lentamente grandes esfuerzos que son soportados por los materiales (rocas) que la constituyen. Estos esfuerzos ocasionan en las rocas deformaciones elásticas cada vez mayores (figura b) hasta que se supera la resistencia de las mismas (figura c), y se produce entonces una liberación casi instantánea de la energía acumulada a través del tiempo.

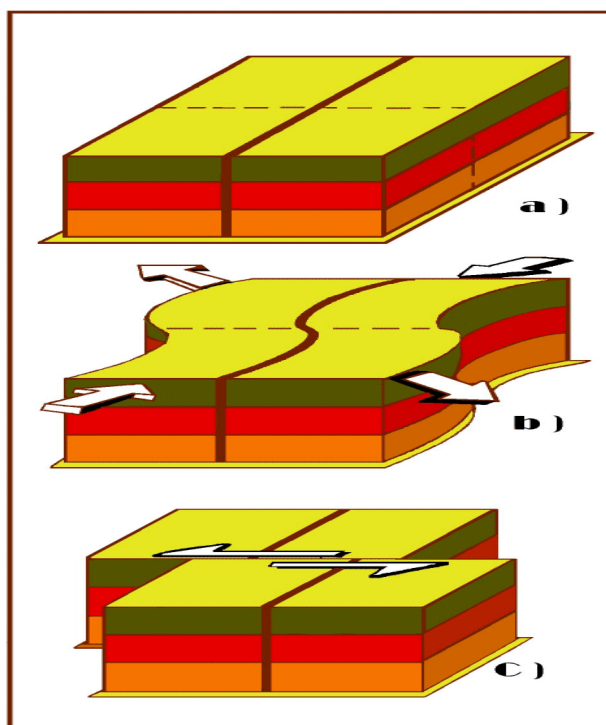


GRAFICO 2: TEORIA DEL REBOTE ELASTICO

El resultado de este mecanismo es la propagación de la energía liberada, en forma de ondas sísmicas y el retorno a un estado de equilibrio elástico de la zona previamente sometida a esfuerzos, con la presencia de una fractura o falla geológica, muchas veces visible en la superficie de la tierra.

Este modelo mecánico que explica el origen de los terremotos fue aceptado inmediatamente, pero quedó sin aclarar el por qué de la existencia de zonas preferenciales de concentración de esfuerzos.

9.2 MEDIOS DE ESTUDIO DE LA SISMOLOGIA.- Las ondas sísmicas longitudinales, transversales y superficiales provocan vibraciones allí donde alcanzan la superficie terrestre. Los instrumentos sísmicos están diseñados para detectar estos movimientos con métodos electromagnéticos u ópticos. Los instrumentos principales, llamados sismógrafos, se han perfeccionado tras el desarrollo por el alemán Emil Wiechert de un sismógrafo horizontal, a finales del siglo XIX. Algunos instrumentos, como el sismómetro electromagnético de péndulo, emplean registros electromagnéticos, esto es, la tensión inducida pasa por un amplificador eléctrico a un galvanómetro. Los registradores fotográficos barren a gran velocidad una película dejando marcas del movimiento en función del tiempo. Las ondas de refracción y de reflexión suelen grabarse en cintas magnéticas que permiten su uso en los análisis por ordenador.



GRAFICO 3: SISMÓMETRO ELECTROMAGNÉTICO RUSO TIPO GALIZIN



GRAFICO 4: SISTEMA DE REGISTRO EN TINTA SOBRE PAPEL

Los sismógrafos de tensión emplean medidas electrónicas del cambio de la distancia entre dos columnas de hormigón separadas por unos 30 m. Pueden detectar respuestas de compresión y extensión en el suelo durante las vibraciones sísmicas. El sismógrafo lineal de tensión de Benioff detecta tensiones relacionadas con los procesos tectónicos asociados a la propagación de las ondas sísmicas y a los movimientos periódicos, o de marea, de la Tierra sólida. Invenciones aún más recientes incluyen los sismógrafos de rotación, los inclinómetros, los sismógrafos de banda ancha y periodo largo y los sismógrafos del fondo oceánico.

Hay sismógrafos de características similares desplegados en estaciones de todo el mundo para registrar señales de terremotos y de explosiones nucleares subterráneas. La Red Sismográfica Estándar Mundial engloba unas 125 estaciones.

9.3 ESCALAS DE MAGNITUD - INTENSIDAD.- Uno de los mayores problemas para la medición de un terremoto es la dificultad inicial para coordinar los registros obtenidos por sismógrafos ubicados en diferentes puntos ("Red Sísmica"), de modo que no es inusual que las informaciones preliminares sean discordantes ya que se basan en informes que registraron diferentes amplitudes de onda. Determinar el área total abarcada por el sismo

puede tardar varias horas o días de análisis del movimiento mayor y de sus réplicas. La prontitud del diagnóstico es de importancia capital para echar a andar los mecanismos de ayuda en tales emergencias.

A cada terremoto se le asigna un valor de magnitud (Richter) único, pero la evaluación se realiza, cuando no hay un número suficiente de estaciones, principalmente basada en registros que no fueron realizados forzosamente en el epicentro sino en puntos cercanos. De allí que se asigne distinto valor a cada localidad o ciudad e interpolando las cifras se consigue ubicar el epicentro.

Una vez coordinados los datos de las distintas estaciones, lo habitual es que no haya una diferencia asignada mayor a 0.2 grados para un mismo punto. Esto puede ser más difícil de efectuar si ocurren varios terremotos cercanos en tiempo o área. Aunque cada terremoto tiene una magnitud única, su efecto variará grandemente según la distancia, la condición del terreno, los estándares de construcción y otros factores.

a) Magnitud (Escala de Richter).- Mide la energía liberada en el foco de un sismo. Es una escala logarítmica con valores entre 1 y 9; un temblor de magnitud 7 es diez veces más fuerte que uno de magnitud 6, cien veces más que otro de magnitud 5, mil veces más que uno de magnitud 4 y de este modo en casos análogos. Se estima que al año se producen en el mundo unos 800 terremotos con magnitudes entre 5 y 6, unos 50.000 con magnitudes entre 3 y 4, y sólo 1 con magnitud entre 8 y 9. En teoría, la escala de Richter no tiene cota máxima, pero hasta 1979 se creía que el sismo más poderoso posible tendría magnitud 8,5. Sin embargo, desde entonces, los progresos en las técnicas de medidas sísmicas han permitido a los sismólogos redefinir la escala; hoy se considera 9,5 el límite práctico.

TABLA I: MAGNITUD – ESCALA DE RICHTER

Magnitud en Escala Richter	Efectos del terremoto
Menos de 3.5	Generalmente no se siente, pero es registrado
3.5 - 5.4	A menudo se siente, pero sólo causa daños menores
5.5 - 6.0	Ocasiona daños ligeros a edificios
6.1 - 6.9	Puede ocasionar daños severos en áreas muy pobladas.
7.0 - 7.9	Terremoto mayor. Causa graves daños
8 o mayor	Gran terremoto. Destrucción total a comunidades cercanas.

b) Intensidad (Escala Mercalli).- Mide la intensidad de un temblor con gradaciones entre I y XII. Puesto que los efectos sísmicos de superficie disminuyen con la distancia desde el foco, la medida Mercalli depende de la posición del sismógrafo. Una intensidad I se define como la de un suceso percibido por pocos, mientras que se asigna una intensidad XII a los eventos catastróficos que provocan destrucción total. Se expresa en números romanos y es proporcional, de modo que una Intensidad IV es el doble de II, por ejemplo.

TABLA II: INTENSIDAD – ESCALA DE MERCALLI

Grado I	Sacudida sentida por muy pocas personas en condiciones especialmente favorables.
Grado II	Sacudida sentida sólo por pocas personas en reposo, especialmente en los pisos altos de los edificios. Los objetos suspendidos pueden oscilar.
Grado III	Sacudida sentida claramente en los interiores, especialmente en los pisos altos de los edificios, muchas personas no lo asocian con un temblor. Los vehículos de motor estacionados pueden moverse ligeramente. Vibración como la originada por el paso de un carro pesado. Duración estimable
Grado IV	Sacudida sentida durante el día por muchas personas en los interiores, por pocas en el exterior. Por la noche algunas despiertan. Vibración de vajillas, vidrios de ventanas y puertas; los muros crujen. Sensación como de un carro pesado chocando contra un edificio, los vehículos de motor estacionados se balancean claramente.
Grado V	Sacudida sentida casi por todo el mundo; muchos despiertan. Algunas piezas de vajilla, vidrios de ventanas, etcétera, se rompen; pocos casos de agrietamiento de aplanados; caen objetos. Se observan perturbaciones en los árboles, postes y otros objetos altos. Se detienen de relojes de péndulo.
Grado VI	Sacudida sentida por todo mundo; muchas personas atemorizadas huyen hacia afuera. Algunos muebles pesados cambian de sitio; pocos ejemplos de caída de aplanados o daño en chimeneas. Daños ligeros.
Grado VII	Advertido por todos. La gente huye al exterior. Daños sin importancia en edificios de buen diseño y construcción. Daños ligeros en estructuras ordinarias bien construidas; daños considerables en las débiles o mal planeadas; rotura de algunas chimeneas. Estimado por las personas conduciendo vehículos en movimiento.

Grado VIII	Daños ligeros en estructuras de diseño especialmente bueno; considerable en edificios ordinarios con derrumbe parcial; grande en estructuras débilmente construidas. Los muros salen de sus armaduras. Caída de chimeneas, pilas de productos en los almacenes de las fábricas, columnas, monumentos y muros. Los muebles pesados se vuelcan. Arena y lodo proyectados en pequeñas cantidades. Cambio en el nivel del agua de los pozos. Pérdida de control en la personas que guían vehículos motorizados.
Grado IX	Daño considerable en las estructuras de diseño bueno; las armaduras de las estructuras bien planeadas se desploman; grandes daños en los edificios sólidos, con derrumbe parcial. Los edificios salen de sus cimientos. El terreno se agrieta notablemente. Las tuberías subterráneas se rompen.
Grado X	Destrucción de algunas estructuras de madera bien construidas; la mayor parte de las estructuras de mampostería y armaduras se destruyen con todo y cimientos; agrietamiento considerable del terreno. Las vías del ferrocarril se tuercen. Considerables deslizamientos en las márgenes de los ríos y pendientes fuertes. Invasión del agua de los ríos sobre sus márgenes.
Grado XI	Casi ninguna estructura de mampostería queda en pie. Puentes destruidos. Anchas grietas en el terreno. Las tuberías subterráneas quedan fuera de servicio. Hundimientos y derrumbes en terreno suave. Gran torsión de vías férreas.
Grado XII	Destrucción total. Ondas visibles sobre el terreno. Perturbaciones de las cotas de nivel (ríos, lagos y mares). Objetos lanzados en el aire hacia arriba.

La Intensidad puede ser diferente en los diferentes sitios reportados para un mismo terremoto (la Magnitud Richter, en cambio, es una sola) y dependerá de lo siguiente:

- ✓ La energía del terremoto.
- ✓ La distancia de la falla donde se produjo el terremoto.
- ✓ La forma como las ondas llegan al sitio en que se registra.
- ✓ Las características geológicas del material subyacente del sitio donde se registra la Intensidad.
- ✓ Cómo la población sintió o dejó registros del terremoto.

Los temblores con intensidades entre II y III son casi equivalentes a los de magnitud entre 3 y 4 en la escala de Richter, mientras que los niveles XI y XII en la escala de Mercalli se pueden asociar a las magnitudes 8 y 9 en la escala de Richter.

9.4 PREDICCIÓN DE TERREMOTOS.- Los intentos de predecir cuándo y dónde se producirán los terremotos han tenido cierto éxito en los últimos años. En la actualidad, China, Japón, Unión Soviética y Estados Unidos son algunos de los países que apoyan estas investigaciones. Una de las pistas que puede llevar a una predicción es una serie de temblores de baja

intensidad, llamados sacudidas precursoras. Otras pistas potenciales son la inclinación o el pandeo de las superficies de tierra y los cambios en el campo magnético terrestre, en los niveles de agua de los pozos e incluso en el comportamiento de los animales. También hay un nuevo método en estudio basado en la medida del cambio de las tensiones sobre la corteza terrestre. Basándose en estos métodos, se estudia pronosticar muchos terremotos, aunque estas predicciones no sean siempre acertadas y no existe a la fecha (2012), metodología científica probada.

10- Anexo II

Sismos, antecedentes.

Anexo II:

10.1 ANILLO DE FUEGO.- El Anillo de Fuego o Cinturón Circumpacífico

(ver grafico 1) está situado en las costas del océano Pacífico y se caracteriza por concentrar algunas de las zonas de subducción^[1] más importantes del mundo, lo que ocasiona una intensa actividad sísmica y volcánica en las zonas que abarca e incluye (en sentido anti horario) a Chile, parte de Argentina, parte de Bolivia, Perú, Ecuador, Colombia, Centroamérica, México, parte de los Estados Unidos, parte de Canadá, luego dobla a la altura de las Islas Aleutianas y baja por las costas e islas de Rusia, Japón, Taiwán, Filipinas, Indonesia, Papúa Nueva Guinea y Nueva Zelanda.

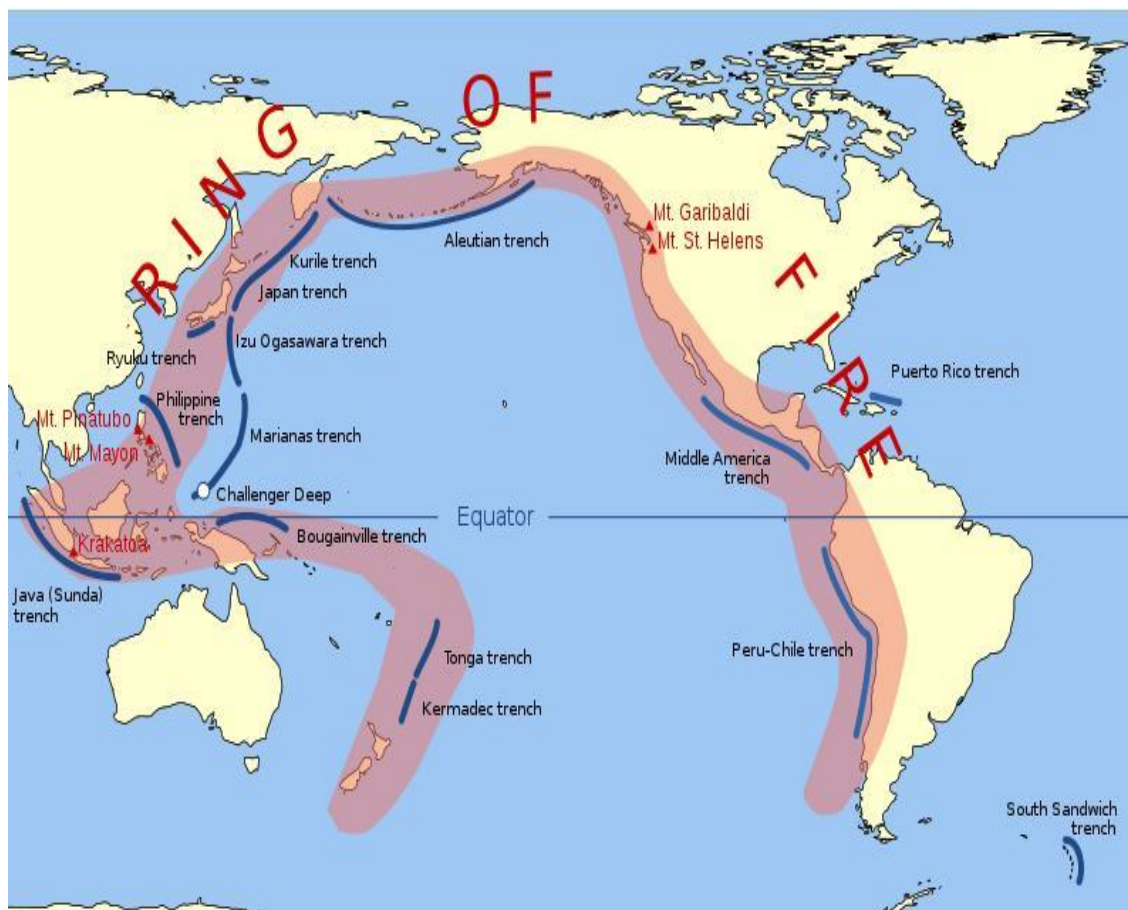


GRAFICO 1: ANILLO DE FUEGO

FUENTE: http://en.wikipedia.org/wiki/Pacific_Ring_of_Fire

[1] La subducción de placas es un proceso de hundimiento de una placa litosférica bajo otra en un límite convergente, según la teoría de tectónica de placas.

La capa del océano Pacífico reposa sobre varias placas tectónicas, las cuales están en permanente fricción y que a su vez acumulan tensión que al ser liberada ocasiona terremotos en los países del cinturón. Además, la zona concentra actividad volcánica constante. En esta zona las placas de la corteza terrestre se hunden a gran velocidad (varios centímetros por año) y a la vez acumulan enormes tensiones que deben liberarse en forma de sismos.

El Anillo de Fuego se extiende sobre 40.000km a lo largo del pacífico, tiene 452 volcanes y concentra más del 75% de los volcanes activos e inactivos del mundo. Alrededor del 90% de los terremotos del mundo y el 80% de los terremotos más grandes del mundo se producen a lo largo del Anillo de Fuego. La segunda región más sísmica (5-6% de los terremotos y el 17% de terremotos más grandes del mundo) es el anillo Alpide, el cual se extiende desde Java a Sumatra a través del Himalaya, el Mediterráneo hasta el Atlántico. El cinturón de la dorsal Meso atlántica es la tercer región más sísmica.

El Anillo de Fuego es el resultado directo de la tectónica de placas, el movimiento y la colisión de las placas de la corteza terrestre. La sección oriental del Cinturón es el resultado de la subducción de la placa de Nazca y la placa de Cocos debajo de la placa Sudamericana que se desplaza hacia el oeste. La placa de Cocos se hunde debajo de la placa del Caribe en Centroamérica.

Una porción de la placa del Pacífico, junto con la pequeña placa Juan de Fuca se hunden debajo de la placa Norteamericana. A lo largo de la porción norte del anillo, la placa del Pacífico, que se desplaza hacia el noroeste, esta siendo subducida debajo del arco de las Islas Aleutianas. Más hacia el oeste, la placa del Pacífico está subducida a lo largo de los arcos de la península de Kamchatka en el sur más allá de Japón. La parte sur es más compleja, con una serie de pequeñas placas tectónicas en colisión con la placa del Pacífico, desde las Islas Marianas, Filipinas, Bougainville, Tonga, y Nueva Zelanda. Indonesia se encuentra entre el *Anillo de Fuego* a lo largo de las islas adyacentes del noreste, incluyendo Nueva Guinea, y el *anillo Alpide* a lo largo del sur y oeste de Sumatra, Java, Bali, Flores y Timor.

10.2 PLACAS TECTONICAS.- La teoría de placas tectónicas establece que la litosfera (la porción superior más fría y rígida de la Tierra) esta fragmentada en una serie de placas que se desplazan sobre la astenósfera (ver grafico 2). La litosfera terrestre esta dividida en macro placas y micro placas en donde existe una concentración de actividad sísmica, volcánica y tectónica en estos bordes y esto da lugar a formación de grandes cadenas y cuencas.

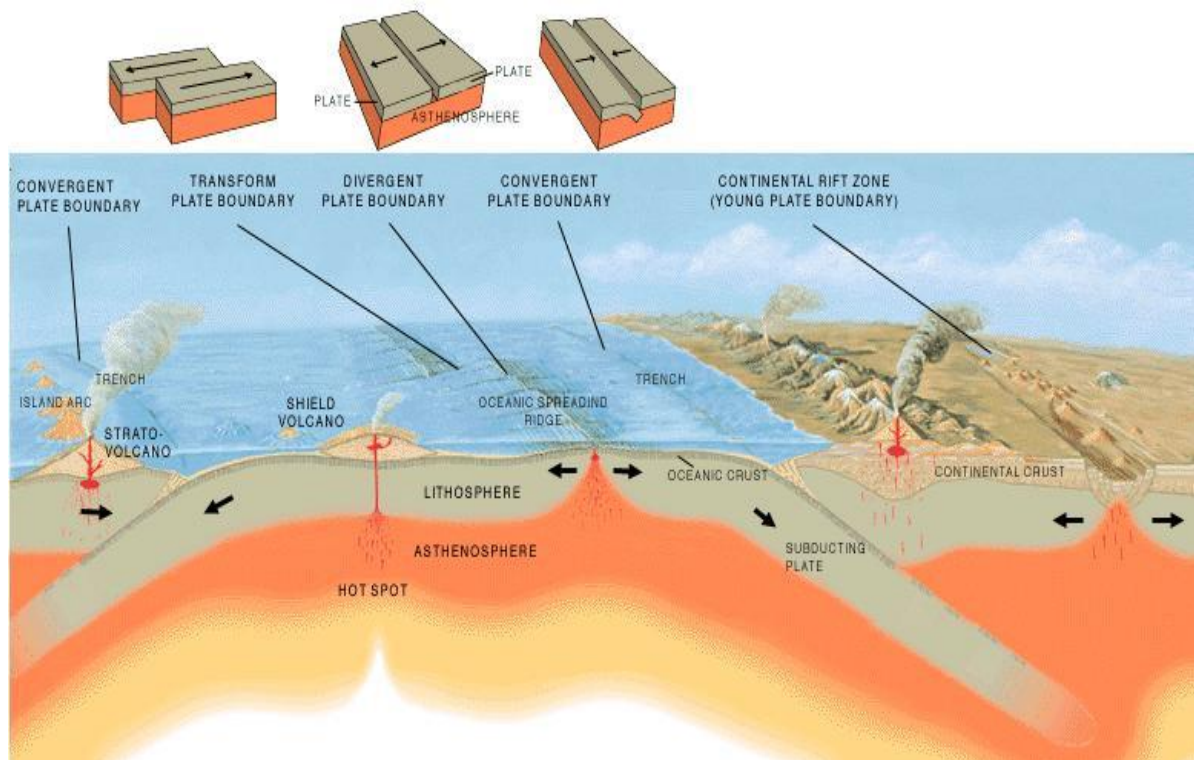


GRAFICO 2: FRAGMENTACION DE LA LITOSFERA

FUENTE: http://en.wikipedia.org/wiki/Plate_tectonics

Las zonas de las placas contiguas a los límites, los bordes de placa, son las regiones de mayor actividad geológica interna del planeta. En ellas se concentran:

- **Vulcanismo:** La mayor parte del vulcanismo activo se genera en el eje de las dorsales, en los límites divergentes. Por ser submarino y de tipo fluida, poco violento, pasa muy desapercibido. Detrás se ubican las regiones contiguas a las fosas por el lado de la placa que no subduce.
- **Orogénesis:** es decir, surgimiento de montañas. Es simultánea a la convergencia de placas, en dos ámbitos: a) donde ocurre subducción. Se

levantan arcos volcánicos y cordilleras, como los Andes, ricas en volcanes;
b) en los límites de colisión, donde el vulcanismo es escaso o nulo y la sismicidad es particularmente intensa.

- Sismicidad: Suceden algunos terremotos intraplaca, en fracturas en regiones centrales y generalmente estables de las placas, pero la inmensa mayoría se origina en bordes de placa. Las circunstancias del clima y de la historia han hecho concentrarse buena parte de la población mundial en regiones continentales sumamente sísmicas, las que forman los cinturones orogénicos, junto a límites convergentes.

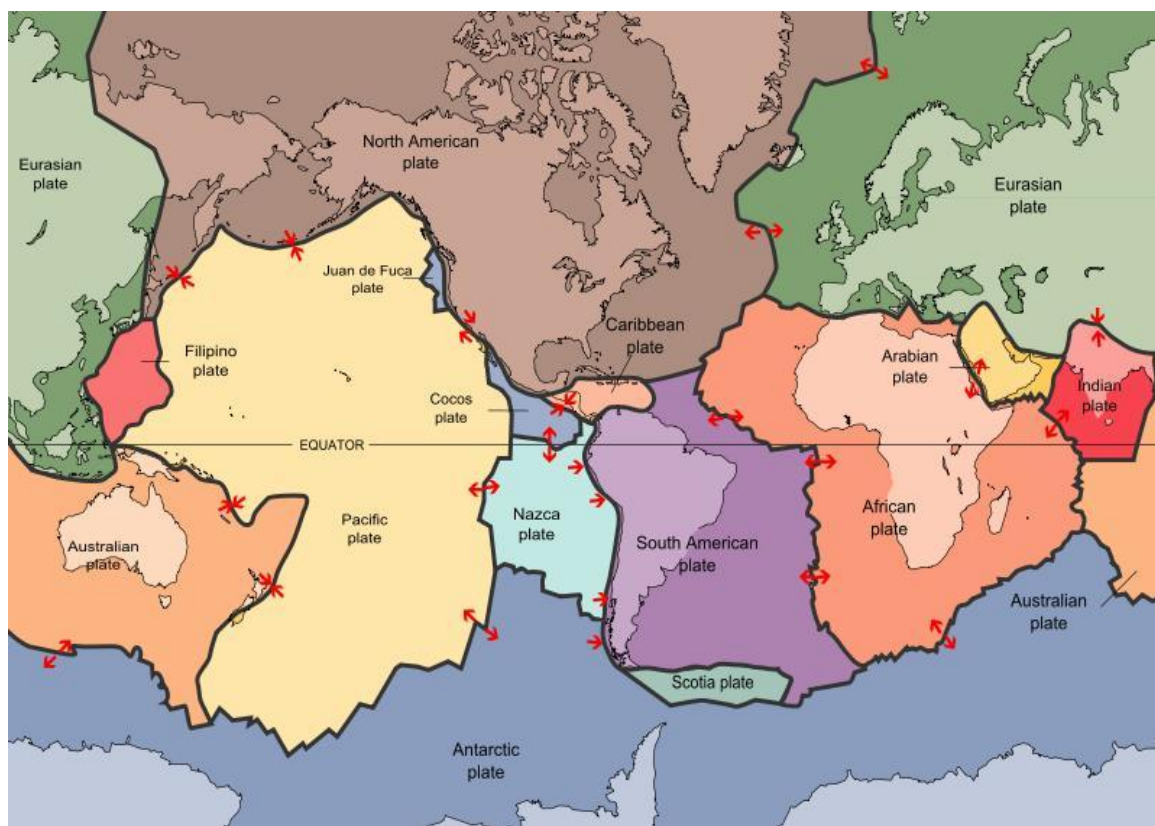


GRAFICO 3: PLACAS TECTONICAS

FUENTE:: http://en.wikipedia.org/wiki/Pacific_Ring_of_Fire

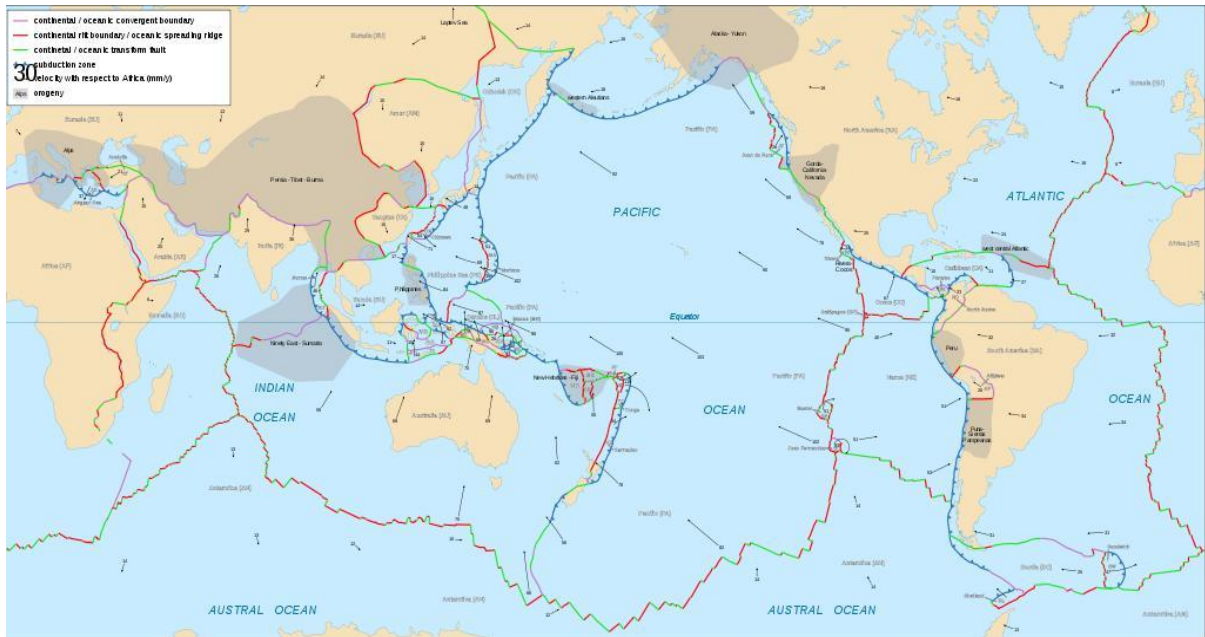


GRAFICO 4: LIMITES DE LAS PLACAS TECTONICAS DETALLADO

FUENTE: http://en.wikipedia.org/wiki/Plate_tectonics

10.3 UBICACIÓN GEOGRAFICA

CASO JAPON.



GRAFICO 5: TERREMOTO Y TSUNAMI

FUENTE: www.wikipedia

10.4 UBICACIÓN GEOGRAFICA CASO CHILE.

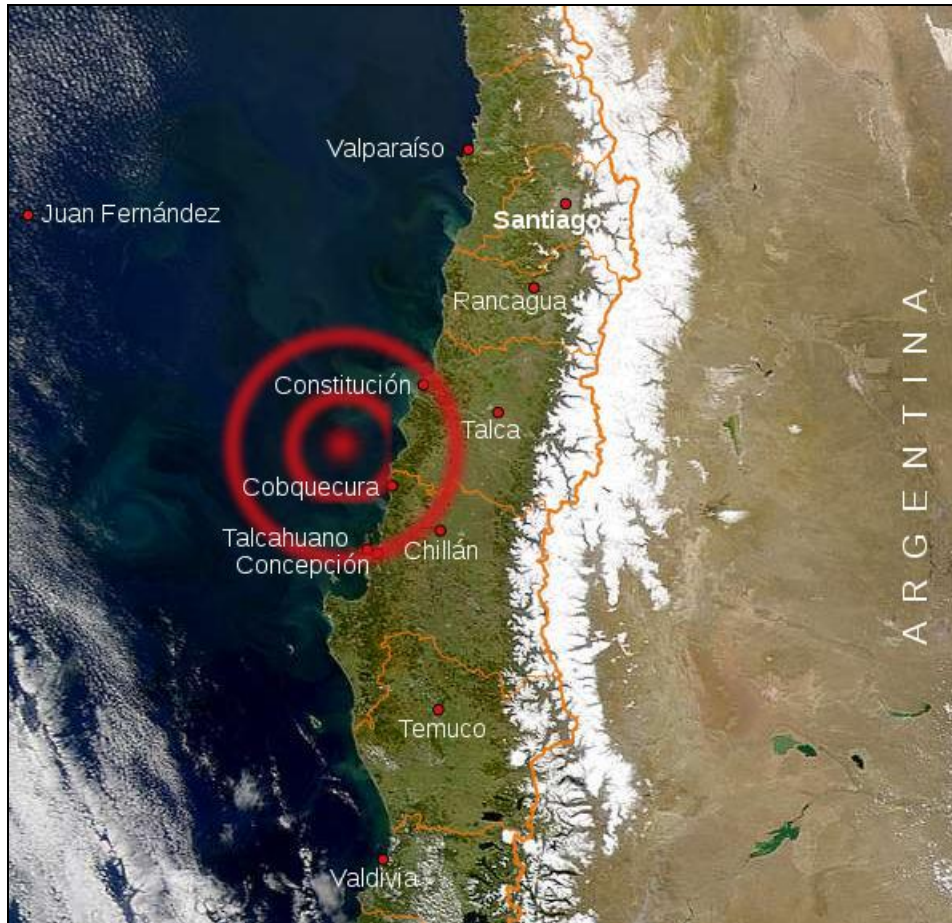


GRAFICO 6: TERREMOTO DE LA COSTA CHILENA

FUENTE: www.wikipedia

10.5 EL ENTORNO DE LOS SATs EN LA GESTION PARA LA REDUCCION DE RIESGOS.- En el marco conceptual asociado a la temática de desastres se definen los riesgos como la combinación de amenazas y vulnerabilidades sociales. El riesgo como un proceso que se genera mediante la construcción de entornos sociales vulnerables (viviendas, infraestructura, servicios, energía, comunicaciones y telecomunicaciones, etc) a lo largo de muchos años, en zonas donde se manifiestan amenazas de distintos tipos. Como es de esperarse, el resultado de este proceso es el Desastre, el cual ocurre cuando la amenaza se torna en evento o fenómeno natural de tales proporciones que ocasiona múltiples daños en el entorno social. Reconociendo que para reducir los desastres se debe reducir los riesgos, se deben reducir las vulnerabilidades y minimizar lo más posible la exposición a las amenazas.

De la anterior definición, se puede deducir lo siguiente:

$$\textbf{RIESGO} = \textbf{AMENAZA} \times \textbf{VULNERABILIDAD} \times \textbf{DEFICIENCIAS EN PREPARACIÓN}$$

Como se observa, el Riesgo aumenta conforme aumentan las Amenazas y las Vulnerabilidades y en la medida en la cual la población no cuenta con una Preparación adecuada para afrontar los eventos cuando se manifiestan. Sin embargo, el Riesgo se puede disminuir implementando medidas para preparar a la población para que responda adecuadamente ante la eventualidad de un desastre natural.

En esta definición las actividades de Preparación enfocan el conjunto de medidas que se toman antes y durante un fenómeno natural, que tienen como objetivo reducir el impacto. Los sistemas de alerta temprana (SATs) en caso de eventos de distinta naturaleza (Huracanes, Terremotos, Tsunamis, etc.) son un ejemplo típico de medidas de este tipo, que tienen como objetivo el alertar a los miembros de las regiones, sobre posibles eventos catastróficos antes de que ocurran.

Se puede definir a la Prevención como el conjunto de medidas que se adoptan para reducir o minimizar la exposición a amenazas naturales. En contraste la Mitigación enfoca el conjunto de medidas que se adoptan para reducir la vulnerabilidad.

Aunque las medidas de Prevención y Mitigación son útiles para reducir los riesgos, existen fenómenos naturales para los cuales no existen medidas de prevención simples. En estos casos, se hace necesario preparar y organizar a la población de alguna manera para que pueda minimizar los daños causados por dichos fenómenos y para evitar pérdidas materiales y en especial, humanas a causa de dichos fenómenos. En este caso, se habla de medidas diseñadas en el contexto de la Preparación.

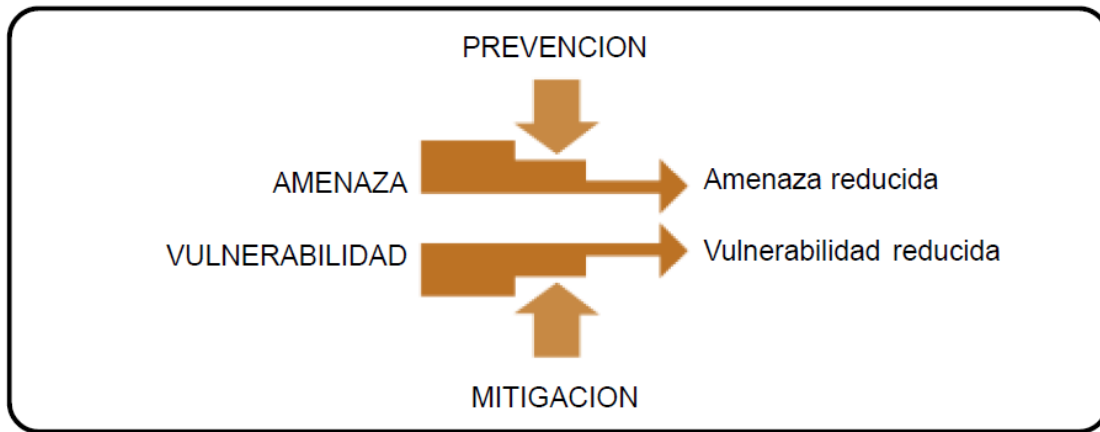


GRAFICO 7: APLICACIÓN DE LA PREVENCION Y MITIGACION

Como se observa en el grafico, la amenaza y la vulnerabilidad se reducen mediante medidas de prevención y mitigación respectivamente.

10.6 DIFUSION DE ALERTAS.- Uno de los tres componentes principales de cualquier sistema de alerta temprana es la difusión de las alertas a las regiones que serán afectas por los eventos. Por tal motivo, se hace necesario desarrollar esquemas de difusión de las alertas y protocolos para normar la declaración de las alertas.

La difusión de la alerta tiene como objetivo final la ejecución de actividades de preparación, tendientes a la movilización de estructuras locales y población en general. En el caso de las estructuras locales, las alertas inician la ejecución de los planes de emergencia, que acaparan actividades tales como búsqueda y rescate, montaje y operación de albergues o refugios temporales, primeros auxilios y actividades de coordinación general. En el caso de la población, las alertas tienen como objetivo despertar una respuesta eficiente que involucra evacuación en algunos casos o la implementación de medidas de protección.

Es de esperarse que en la medida en la cual se consolidan los Comités Nacionales de Operaciones de Emergencias con sus protocolos de operaciones, en esa medida se inicie un fortalecimiento de los Sistemas de Alerta Temprana -SATs- existentes mediante la redacción e implementación de protocolos para la difusión de alertas.

Los protocolos de difusión de alertas deben enfocar los siguientes aspectos:

- ✓ Condiciones preexistentes que deben dar lugar a la emisión de alertas.
- ✓ Condiciones determinantes para difundir los distintos tipos de alertas (verde, amarilla, naranja y roja)
- ✓ Contenidos de los mensajes que se emiten en las alertas, formatos de divulgación: boletín, conferencias de prensa, notificación a entidades de carácter regional o nacional, etc.
- ✓ Difusión de Alertas mediante medios de difusión (medios masivos o el uso de sirenas en comunidades locales, etc.)
- ✓ Bitácora de avisos

A continuación se describe en forma más detallada cada uno de estos puntos relacionados con la difusión de alertas.

a) Condiciones preexistentes para las emisiones de alerta.- Una vez que el comité o unidad encargada de análisis y pronóstico manifiesta la inminente presencia de un fenómeno natural, es responsabilidad del operador encargado del sistema iniciar actividades para la difusión de alertas. Para facilitar la operación de esta fase del sistema de alerta temprana se requiere que el operador encargado del sistema cuente con un manual de procedimientos, que debe incluir:

- ✓ A quién o quienes se debe notificar sobre un posible evento.
- ✓ Cómo debe hacer la notificación sobre el posible evento.
- ✓ Cuándo debe proceder a hacer la notificación.
- ✓ Dónde se debe hacer la notificación.

Típicamente esta información se debe encontrar en el manual o los manuales de procedimientos que acompañe al SAT.

b) Los distintos Tipos de Alertas.- Reconociendo que algunos fenómenos como los terremotos pueden predecirse con algún tiempo de antelación, se puede entonces elaborar protocolos para la emisión de 4 tipos de alertas distintas:

- ✓  **Verde:** cuando existen las condiciones generales para que se presenten fenómenos.

- ✓  **Amarilla:** cuando se están generando las condiciones específicas para un fenómeno potencialmente grave.
- ✓  **Naranja:** cuando se han concretado las condiciones necesarias para que se presente el fenómeno y sólo sea cuestión de minutos y horas para que se manifieste el fenómeno.
- ✓  **Roja:** cuando ya se manifestó el fenómeno y ha causado o está causando daños.

En cualquiera de estos cuatro casos es necesario que se cuente con protocolos que indiquen qué actividades se deben ejecutar, qué procedimientos se deben implementar y cómo se debe dar un seguimiento al evento. Es importante que en el manual de procedimientos se indique:

- ✓ A quien se debe notificar de acuerdo al tipo de alerta a ser emitida.
- ✓ Como debe hacer la notificación con relación al tipo de alerta a ser emitida.
- ✓ Cuando debe proceder a hacer la notificación de acuerdo al tipo de alerta en cuestión.
- ✓ Donde se debe hacer la notificación en cada caso.
- ✓

c) Contenido de mensajes para distintos Tipos de Alertas: Formatos.-

Reconociendo que la información que emana del SAT con respecto a alertas tiene que llegar a las autoridades y a distintos tipos de instituciones, es necesario que cualquier mensaje sea claro, conciso y contenga la información necesaria para explicar la situación que se está presentando. Aunque el formato de redacción de los mensajes no está normado, se recomienda contar con el apoyo de la institución nacional de protección civil o defensa civil para la redacción de los textos y los mensajes para lograr los objetivos que se plantean en el párrafo anterior. El mensaje debe contener la siguiente información:

- ✓ Fecha, día y hora a la cual se emite el mensaje.
- ✓ Fuente o persona que emite el mensaje.
- ✓ Tipo de evento que se está presentando, dimensión o impacto esperado.

- ✓ Acción sugerida o necesaria que se debe tomar, lo que puede incluir el inicio de coordinaciones institucionales.
- ✓ Estado de verificación.

Como se observa, el mensaje debe explicar qué tipo de situación se está presentando y qué clase de acción se debe tomar como resultado del mensaje. El uso de formatos preestablecidos es típico en esta actividad y muy valioso en forma posterior para evaluar la efectividad con la cual se activaron los comités municipales y locales de emergencia durante el evento, así como otras instituciones y los distintos medios de difusión.

Reconociendo que un evento implica la respuesta escalonada de distintas personas e instituciones, en el manual de operaciones del SAT debe quedar normado cuando se debe emitir los mensajes y a quien, para así institucionalizar la operatividad y legitimidad del SAT.

- d) Difusión de Alertas: Medios Masivos.-** Sabiendo que la información que emana del SAT con respecto a alertas tiene que llegar a la población amenazada, se puede hacer uso de medios masivos como la radio, la televisión o la prensa para este fin. El medio a usarse depende del grado de antelación con el cual se cuenta para difundir la alerta. Por ejemplo, en el caso de huracanes, se tiene suficiente tiempo desde que se forman para utilizar los distintos medios para difundir información sobre el fenómeno. Sin embargo, en el caso de inundaciones repentinas, quedan fuera como medios de alerta los periódicos. En estos casos, las radioemisoras y la televisión pueden jugar un papel protagónico. Sin embargo, un punto crítico es siempre el control de los medios para que alerten sin provocar crisis y generar el pánico en la población. En la práctica, existen algunos medios con mayor disposición a apoyar a las instituciones de defensa o protección civil en la difusión de alertas sobretodo siguiendo lineamientos preestablecidos por la entidad. Sin embargo, se debe reconocer la competitividad existente entre los medios por reportar de primero una noticia o mensaje de este tipo. Por tal motivo, se recomienda normar la divulgación de boletín INPRES informativos en horarios pre-

establecidos, con lo cual se evita el favorecer a un medio sobre otro en caso de existir varios en la región donde se difunde la alerta. De igual manera se recomienda el uso de mensajes con formatos pre-establecidos para evitar confusión en la información.

Así como en el caso anterior, los boletín de prensa deberían contener el siguiente formato:

- ✓ *Encabezado: Boletín Numero*
- ✓ Fecha, día y hora a la cual se emite el mensaje
- ✓ Fuente o persona que emite el mensaje
- ✓ Tipo de evento que se está presentando, dimensión o impacto esperado
- ✓ Acción sugerida o necesaria que se debe tomar, lo que puede incluir el inicio de coordinaciones institucionales
- ✓ *Estado de verificación*

Los medios tienen acceso a fuentes de información vía internet y fuentes periodísticas de tipo internacional (CNN, AP, Reuters, etc), de manera que es necesario que los SATs se ganen la confianza de los medios mediante un apego a horarios de difusión y mediante la emisión de mensajes que fortalecen la confianza en la información generada por los operadores del SAT.

Para lograr este objetivo se puede invitar a la prensa a que conozca todas las interioridades del SAT, su estructura y su funcionamiento en épocas no críticas. Se recomienda que este tipo de actividades sea respaldado por parte de la institución nacional de protección civil para consolidar la legitimidad del SAT y la veracidad de la información que genera.

- e) Bitácora de avisos y mensajes.-** El manejo de la información en forma sistemática es un indicador del profesionalismo con el cual opera un SAT. Por tal motivo, se hace necesario dotar a los operadores del SAT con una bitácora en la cual queden archivados todos los mensajes que emanan del mismo. El uso de la bitácora permite a su vez a los operadores llevar a cabo tres tipos de actividades:

- ✓ Operación normada con un control de calidad basado en la emisión de información.
- ✓ Generación de historial de casos, lo que puede ayudar a operaciones más fluidas en base a prácticas o experiencias anteriores.
- ✓ Evaluación de la operación rutinaria y en casos de eventos del SAT para el reconocimiento de puntos críticos, deficiencias existentes y posibles mejoras.

10.7 SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA EN EL MUNDO.- Japón fue el primer país en instalar sistemas de alerta temprana contra tsunamis. Una amplia red de boyas conectadas por satélite (La constelación Iridium) con tierra, detectan cualquier tipo de perturbación que, en conjunto, sea similar a movimiento telúrico bajo el suelo marino, indicando un tsunami inminente.



**GRAFICO 8: BOYA DETECTORA DE TSUNAMIS
EN EL OCEANO PACIFICO**

FUENTE:: <http://www.ndbc.noaa.gov/dart.shtml>

Para asegurar la detección temprana de tsunamis y para adquirir los datos críticos en tiempo real a las previsiones, la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) ha puesto el fondo del océano estaciones de evaluación

e información sobre los Tsunamis, llamadas DART, en los sitios de las regiones con un historial de generar tsunamis destructivos.

Originalmente desarrollado por la NOAA [1], como parte del Programa Nacional de EE.UU. contra los Tsunamis Mitigación de Riesgos (NTHMP), el Proyecto DART fue un esfuerzo para mantener y mejorar la capacidad para la detección precoz y la información en tiempo real de los tsunamis en el océano abierto.

Estas estaciones DART en la actualidad constituye un elemento fundamental del Programa de Tsunamis del NOAA . El Programa de Tsunami es parte de un esfuerzo cooperativo para salvar vidas y proteger la propiedad a través de la evaluación del peligro, la orientación de alerta, la mitigación, la capacidad de investigación, y la coordinación internacional. La National Weather Service (NWS) de la NOAA es responsable de la ejecución general del Programa de Tsunamis. Esto incluye el funcionamiento de los Centros de Alerta de tsunami de Estados Unidos (TWC), así como el liderazgo del Programa de Mitigación de Tsunamis Nacional de Riesgos. También incluye la adquisición, operación y mantenimiento de los sistemas de observación necesarios en apoyo de la alerta de tsunami, como DART, las redes locales de sísmica, costeros y detectores de inundación de zonas costeras. NWS también es compatible con las observaciones y de gestión de datos a través del National Data Buoy Center

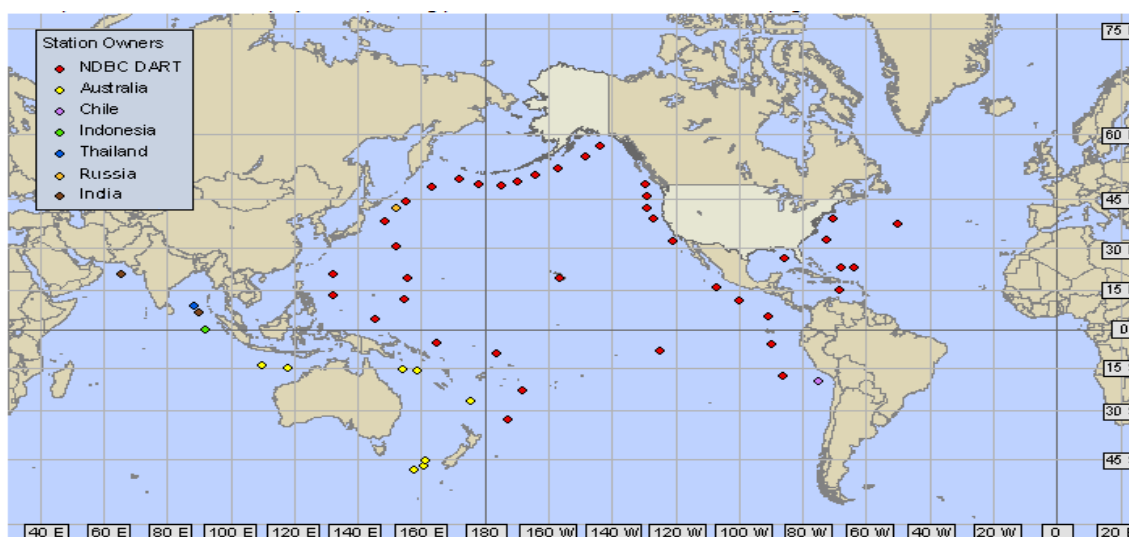


GRAFICO 9: ESTACIONES DART EXISTENTES

FUENTE: <http://www.ndbc.noaa.gov/dart.shtml>

[1] NOAA, La Administración Nacional Oceánica y Atmosférica, es una agencia federal centrada en el estado de los océanos y la atmósfera

[2] DART, son estaciones de fondo de los océanos de evaluación y reportes de Tsunamis desplegados en todo el Océano Pacífico

Los DART consisten en un registrador de presión del fondo marino anclado inferior (BPR) y una boya anclada en la superficie para comunicaciones en tiempo real. Un enlace acústico transmite los datos de la BPR en el fondo marino a la boya de superficie. El BPR, también conocido como el tsunámetro, recopila datos de presión y temperatura en intervalos de 15 segundos. El sistema tiene dos modos, la presentación de datos *estándar* y de *eventos*. El sistema funciona de forma rutinaria en el *modo estándar*, obteniendo cuatro valores puntuales de los datos en intervalos de 15 minutos por altura de la superficie del mar estimado; donde se informa en los tiempos de transmisión programados. Cuando el software de detección del sensor interior identifica un caso, el sistema deja de informar en modo estándar y comienza las transmisiones en *modo eventos*., donde los valores de 15 segundos se transmiten durante los pocos minutos iniciales, seguidas por las actualizaciones a cada minuto. Los avisos de servicio de modo contienen también el momento de la aparición inicial del evento. Una vez iniciado el modo de evento, un aviso inmediato se envía a la boya, lo que provoca que se encienda los transceptores Iridium para la transmisión inmediata de datos a los centros de alerta. El mensaje de sucesos en el primer modo contiene la hora exacta en que el evento se ha detectado, un ID de mensaje, como también la altura media de la columna de agua que provocó el modo de evento.

En la primera generación de DART, los denominados DART I, los sistemas tenían una vía de comunicación del tsunámetro a los Centros de Alerta contra los Tsunamis (TWC) y la National Data Buoy Center (NDBC) a través del Oeste Geoestacionario Operacional del medio ambiente (Satélite GOES West).

Los sistemas DART entraron en funcionamiento desde el 2003. Posteriormente la National Data Bouy Center a sustituido a todos los sistemas de DART I con el DART de segunda generación de sistemas, los actualmente DART II, a principios de 2008. Los DART II transmiten datos en modo estándar una vez por hora y una de sus capacidades mas importante es la forma de dos comunicaciones entre el tsunámetro con los Centros de Alerta contra los

Tsunamis (TWC) y la National Data Buoy Center (NDBC) utilizando el satélite comercial Iridium de comunicaciones del sistema.

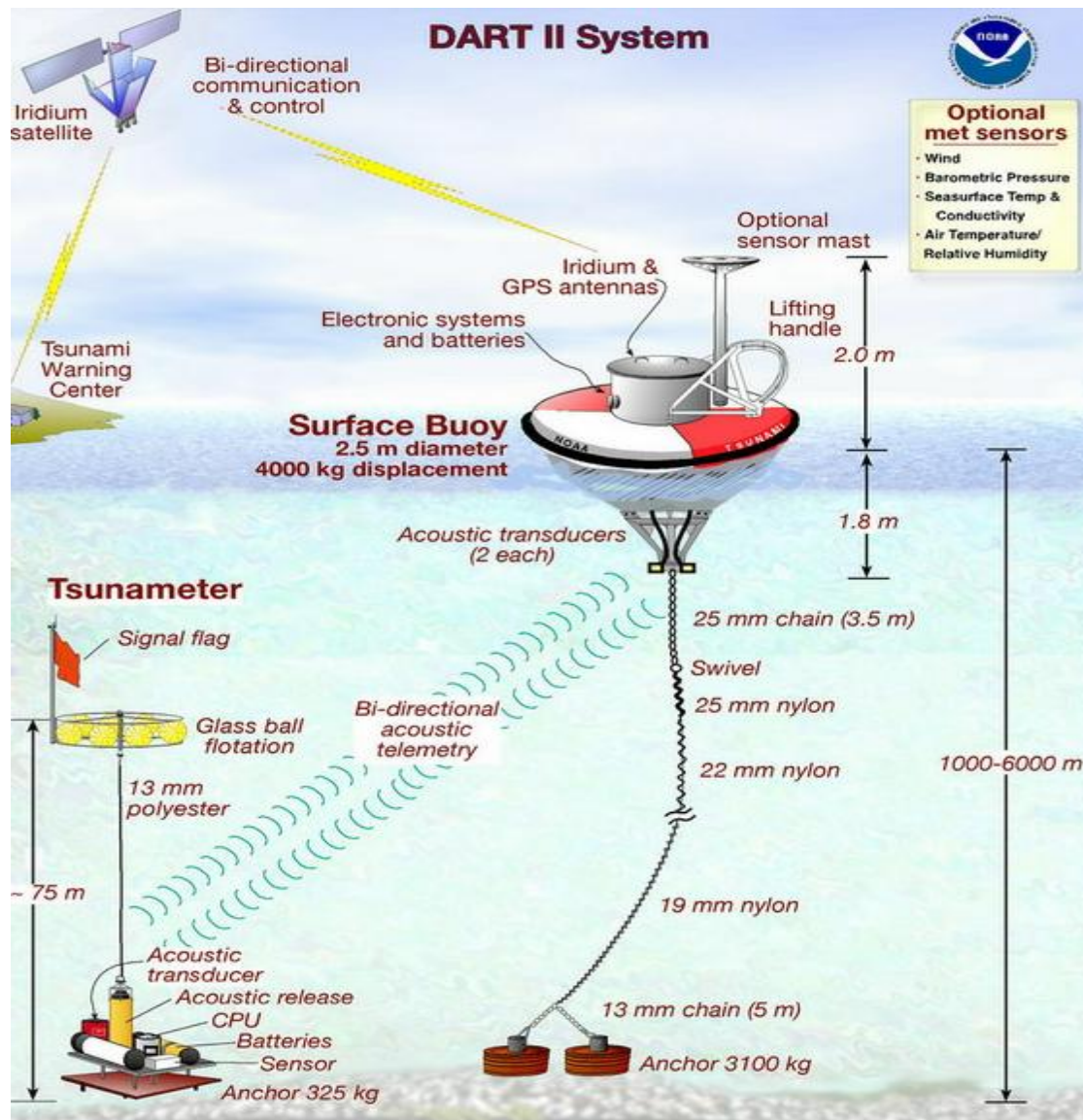


GRAFICO 10: COMPONENTES DE UN SISTEMA DAR

FUENTE: <http://www.ndbc.noaa.gov/dart.shtml>

Las comunicaciones bidireccionales permiten a los Centros de Alerta contra los Tsunamis establecer estaciones en modo de evento en previsión de posibles tsunamis o recuperar alta resolución (15-s intervalos) los datos en bloques de una hora para su análisis detallado. DART II tiene sistemas de transmisión de datos en modo estándar, que estima el nivel del mar por observaciones de la altura en intervalos de 15 minutos, una vez cada seis horas. Las comunicaciones bidireccionales permiten en tiempo real la solución de problemas y diagnóstico de los sistemas. El DART boyas tienen dos sistemas de comunicación independientes y redundantes. La National Data Buoy Center

distribuye los datos de ambos transmisores bajo identificadores de transmisor separados. También recibe los datos de los sistemas DART II, los formatos de los datos agrupados por cuencas oceánicas, para obtener una lista de los encabezados de anuncios utilizados para cada identificador de transmisión, y luego las entrega al Servicio Nacional de Meteorología de Telecomunicaciones de puerta de enlace (NWSTG), que luego distribuye los datos en tiempo real a los Centros de Alerta contra los Tsunamis a través de las comunicaciones y la National Weather Service de nivel nacional e internacional a través del Sistema Mundial de Telecomunicaciones.

Japón presenta otro tipo de alerta temprana a través de un Sistema Urgente de Detección de Terremotos en los trenes japoneses. La Japan Railways, es una de las empresas más importantes y reconocidas de trenes del mundo, operando los famosos Shinkansen. Mover una red de trenes bala a través de un terremoto gigante como el que ocurrió en el Terremoto - Tsunami del 11 de marzo del 2011, es de alto riesgo. Por eso crearon UrEDAS (Urgent Earthquake Detection and Alarm System).



GRAFICO 11: SENSOR UrEDAS

FUENTE: Laboratorio sísmico de Berkeley.

Es un sistema de alarma inteligente y única, que incluye tres sismómetros. Se trata de un sistema de una sola estación que no necesita ninguna organización extra para la creación de redes. Inmediatamente después de la llegada de la onda P, que da información sobre la magnitud, ubicación y profundidad del terremoto en cuatro segundos. Entonces la estimación de daño se hace sobre la base de la magnitud calculada, distancia epicentral y la profundidad. Utilizando

un enfoque similar, al relacionar la profundidad hipocentral magnitud y la distancia entre el punto en alta mar y la línea costera, la estimación del daño potencial de un tsunami también es posible.

En forma rápida en cuanto a una posible situación de un terremoto, la activación de la alarma puede ser emitida dentro de unos segundos para aquellas áreas que son vulnerables a los terremotos y tsunamis. Es innecesario decir que para poder utilizar eficazmente este enfoque, junto con los primeros alarmas, también es necesario educar y preparar a la gente a seguir los procedimientos de reducción de desastres en los terremotos grandes y destructivos. Su principal particularidad es la de ser capaz de detectar, en cuatro segundos desde el inicio del terremoto, su magnitud, epicentro y profundidad. Analiza el movimiento de la onda de choque y determina en que zonas del país será más fuerte y qué trenes deben parar de inmediato. Esto, combinado con varios sismógrafos e instrumentos instalados en el tren mismo frena todo el movimiento en la red Japan Railways (JR).

El sistema UrEDAS fue tan exitoso en evitar desastres y descarrilamientos que fue convertido a uso civil para todo el país, creando el Earthquake Early Warning (EEW). El EEW agrega una serie de alertas obligatorias en Televisión generadas automáticamente, sin importar lo que se esté transmitiendo, así como un sistema de alertas a celular que se dispara inmediatamente y todos los habitantes reciben.

Otro antecedente de SAT analizado fue el Sistema de Alerta Sísmica (SAS) de la ciudad de México, opera de manera continua desde agosto de 1991 y su objetivo es emitir avisos anticipados de alerta sísmica a la ciudad de México, en caso de ocurrir sismos en la región cubierta por las estaciones sensoras en Guerrero. La alerta sísmica tiene 12 estaciones sismo sensoras en la costa de Guerrero que estiman el pronóstico de la magnitud de la actividad sísmica local y la envían por radio hasta la estación central de registro en el Distrito Federal. Con esta información, las computadoras del sistema controlan la emisión automática de los avisos de alerta sísmica, que se difunden en el valle de México y Toluca para anticipar la llegada del efecto del sismo en desarrollo. El

SAS puede emitir avisos de alerta sísmica en el valle de México cuando reconoce el inicio de los sismos grandes que ocurren en la costa de Guerrero. En el Distrito Federal con una distancia poco más de 320 Km de la costa de Guerrero, el efecto más destructivo de un sismo se puede alertar con una oportunidad aproximada a 60 segundos, gracias a la distancia y a la diferente velocidad de propagación de las ondas sísmicas y las de radio.

DISTRIBUCIÓN DE LAS ESTACIONES SENSORAS DEL SAS**FUENTE:** Centro de Instrumentación y Registro Sísmico a.c.**ESTACIÓN SENSORA TÍPICA DEL SAS****FUENTE:** Centro de Instrumentación y Registro Sísmico a.c.

La alerta sísmica se activa automáticamente cuando las estaciones sensoras avisan y confirman el inicio de un sismo de gran magnitud. El aviso anticipado del inicio de un sismo de gran magnitud con un tiempo de alrededor de 60 segundos, al impacto de su efecto en el valle de México y Toluca, que da la oportunidad de ejecutar procedimientos y acciones que aumentan nuestra ventaja para disminuir la posibilidad de sufrir un nuevo desastre sísmico. Una señal de alerta sísmica anticipada es valiosa donde se ensayan simulacros de prevención para protección y resguardo de personas, así como para asegurar procesos industriales riesgosos.

Desde su puesta en marcha, la alerta sísmica ha sido objeto de un programa continuo de actividades que permitan asegurar su servicio estratégico. Es indispensable, además del desempeño rutinario de las actividades de operación y conservación, evaluar cotidianamente su funcionamiento y analizar los resultados para mejorar su eficacia, probar soluciones a diversos problemas técnicos que han llegado o pueden acabar en fallas, así como perfeccionar sus

procedimientos e integrar nuevas tecnologías para asegurar su viabilidad futura.

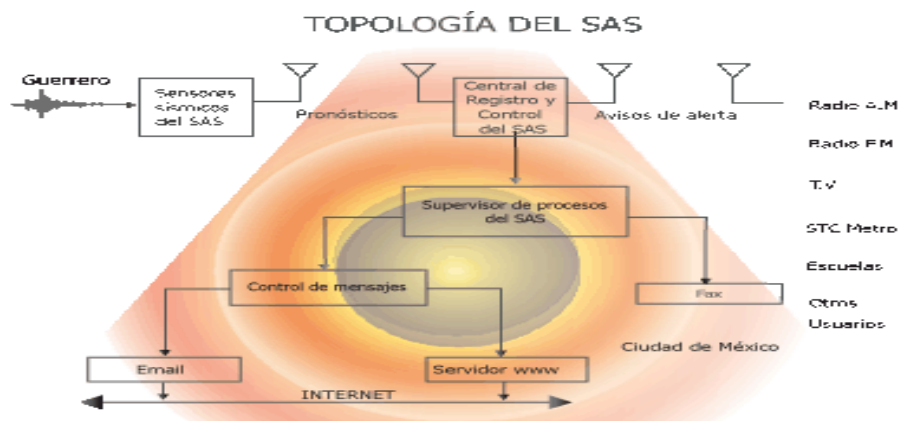


GRAFICO 12: SISTEMA DE ALERTA SÍSMICA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

FUENTE: Ciresalertasismica

El SAS brinda un servicio de alerta pública, para la gente de los valles de México y Toluca, en el 2007 las ciudades de Acapulco y Chilpancingo se incorporaron como usuarios del sistema.

Entre los usuarios de la ciudad de México destaca la Secretaría de Educación Pública, que recomienda a sus escuelas, escuchar las transmisiones de radio de las emisoras que agrupa la Asociación de Radiodifusores del valle de México. Se usan los avisos del SAS en: el Metro, Protección Civil del Distrito Federal y del Estado de México, en los canales de televisión 7, 11, 13, 22, 34 y 40, la Secretaría de Obras y Servicios del DF, la Universidad Nacional Autónoma de México, la Universidad Autónoma Metropolitana, la Unidad Habitacional “El Rosario”, entre otros.

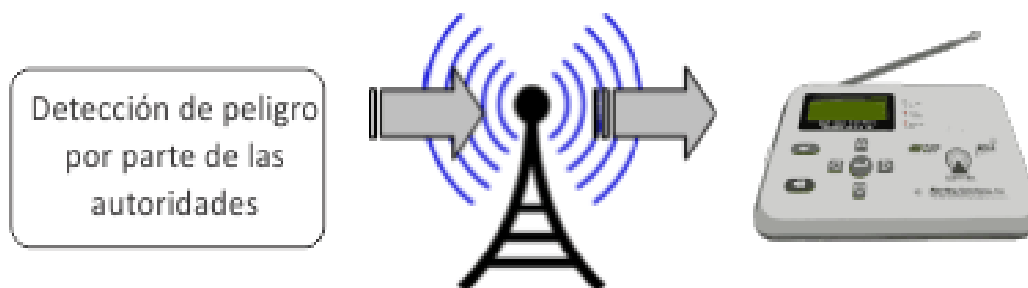


FUENTE: Centro de Instrumentación y Registro Sísmico

Así como existe el SAS también se creó el Sistema de Alerta Sísmica de Oaxaca SASO, que cuenta con 29 de 36 estaciones sismo sensoras

proyectadas, las cuales están localizadas en la costa de Oaxaca al norte y centro del estado, que estiman el pronóstico de magnitud de la actividad sísmica local y la envían por radio, hasta la estación central en la capital del Estado. Con esta información, las computadoras del sistema controlan la emisión automática de los avisos de alerta sísmica que difunden a la ciudad de Oaxaca, para anticipar la llegada del efecto del sismo en desarrollo. El Sistema de Alerta Sísmica del Estado de Oaxaca, difunde avisos automáticos de Alerta Preventiva a los usuarios conectados al sistema, cuando más de una estación sensora en Oaxaca pronostica que el sismo en desarrollo es Moderado. Las estaciones comerciales de radio de Oaxaca difunden una Alerta Pública, cuando el pronóstico del sismo es Fuerte. Utiliza un equipo llamado SASPER, dispositivo encargo de difundir la señal de alerta sísmica, el cual se encuentra actualmente instalado en escuelas públicas y estaciones de radio locales. Así, cuando un sismo es detectado por el SASO, éste envía una señal de radio a los equipos SASPER, señal que será escuchada en los lugares antes mencionados.

El SARMEX es un receptor de radio para alertar una gama de posibles riesgos con diferentes funciones de respuesta rápida, entre ellas la sonorización del Sistema de Alerta Sísmica. Responde con rapidez a las alertas, está diseñado para dar el mayor tiempo de alertamiento ante la advertencia de peligros que emita la autoridad, como la aproximación de un sismo. Es importante mencionar que el receptor está diseñado para operar con los Sistemas de Alertamiento Sísmico de la Ciudad de México SAS y de Oaxaca SASO, así como con diversos sistemas de alertamiento de otros riesgos.



FUENTE: Centro de Instrumentación y Registro Sísmico

Está diseñado para monitorear en silencio uno de los siete canales de frecuencia especificados por La Administración Nacional Oceánica y

Atmosférica y generar una alerta audible cuando el riesgo está próximo. Proporciona una explicación hablada y escrita de lo que está sucediendo ya sea mediante tonos de alarma o los contenidos emitidos por la estación de receptor. Además, el radio puede activar otros dispositivos de advertencia (como un timbre o una luz estroboscópica). Para verificar que el equipo está sintonizado, el SAS emite un mensaje de supervisión cada 3 horas en los siguientes horarios 2:45, 5:45, 8:45, 11:45 14:45, 17:45, 20:45, 23:45 hrs. El receptor al recibir este mensaje, despliega en pantalla el texto "REQUIRED WEEKLY TEST" y activa el indicador amarillo ADVISORY, el cual permanecerá encendido durante 3 horas hasta recibir el siguiente mensaje de supervisión, este mensaje no genera sonido alguno. Cuando el SAS genera un aviso de alerta, el receptor emite el audio oficial de "Alerta Sísmica" con duración de 50 segundos despliega en pantalla el mensaje "ALERTA SISMICA" y activa el indicador rojo WARNING durante 15 minutos.

Sky Alert lanza, en exclusiva para México, tres diferentes modelos de Alerta Sísmica Satelital:

- ✓ SKYALERTPERSONAL USB, dispositivo personal USB de 4GB diseñado para recibir, vía satélite, la Alerta Sísmica Satelital alrededor de 60 segundos de anticipación a la llegada del sismo al Valle de México. Es ideal para todo tipo de personas, con una funcionalidad extra de USB, con 4GB de memoria, con lo que no sólo lleva tú información contigo, sino también la Alerta Sísmica.



- ✓ SKYALERT PRO, es un dispositivo de mensajería crítica diseñado para recibir, vía satélite, la Alerta Sísmica Satelital con hasta 60 segundos de anticipación a la llegada del sismo al Valle de México. Es ideal para uso

residencial o para áreas de trabajo (oficinas, tiendas, comercios). Cuando se recibe la alerta sísmica, emite un sonido intenso (93 decibeles), desplegando la intensidad del sismo en la pantalla, seguido por un mensaje de voz anunciando dicha intensidad; esto permite que el mensaje sea recibido a un cuando el dispositivo no se encuentre en el campo visual de la gente.



- ✓ SKYALERTPLUS, dispositivo de reacción automática ante un sismo, puede realizar hasta 8 comandos específicos en caso de recibir la Alerta Sísmica Satelital y accionar mecanismos de autoprotección para evitar posibles siniestros en las instalaciones. Dentro de sus aplicaciones pueden estar: Detener elevadores, cerrado o abierto de válvulas de gas o cualquier elemento líquido gaseoso, apertura de puertas, encendido de luces de emergencia, detener la operación de maquinaria, entre muchas más. Es ideal para uso en la industria, en edificios corporativos o residenciales, en operaciones de alto riesgo.



11. Anexos III.

Descripción General de los Principios de Transmisión sobre Fibra Óptica.

11.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS PRINCIPIOS DE TRANSMISIÓN SOBRE FIBRA ÓPTICA.

a) Construcción.- El cable de fibra óptica consta de hilos extremadamente finos de silicio ultra-puro diseñado para transmitir señales luminosas. La Figura 1 muestra la construcción de una fibra de vidrio que es el componente básico del cable de fibra óptica. El centro del filamento de fibra se denomina el 'núcleo'. El núcleo guía las señales luminosas que se transmiten.

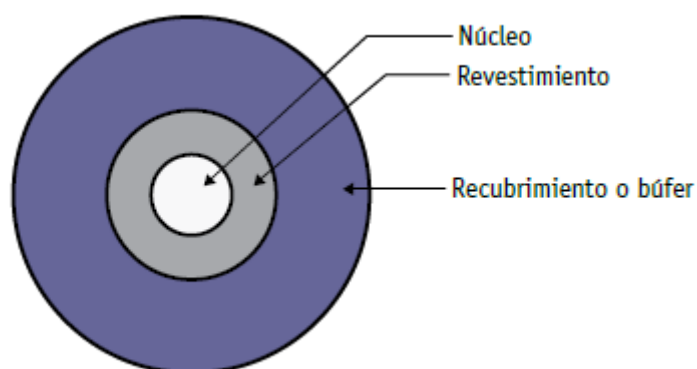


Figura 1: Sección transversal de una fibra óptica.

Una capa de vidrio denominada 'revestimiento' rodea el núcleo. El revestimiento confina la luz en el núcleo. La región externa de la fibra óptica es el 'recubrimiento', normalmente un material plástico, que proporciona protección y preserva la resistencia de la fibra de vidrio. Un diámetro exterior habitual para el revestimiento es de 125 micras (μm) o 0,125mm. El diámetro del núcleo para cable de fibra óptica comúnmente utilizado en las infraestructuras locales es 9, 50 o 62,5 μm . La fibra monomodo tiene el menor diámetro con un valor nominal de 9 μm ; los diámetros mayores de 50 y 62,5 μm definen tipos de fibra multimodo.

b) Reflexión y refracción.- La operación de la fibra óptica se basa en el principio de reflexión interna total. La Figura 2 muestra este principio cuando la luz viaja desde el aire hacia el agua. Cuando la luz llega a la superficie del agua con un ángulo de incidencia menor que el ángulo crítico, se desplaza dentro del agua, pero cambia de dirección en el límite entre el aire y agua

(refracción). Cuando un haz de luz llega a la superficie del agua con un ángulo mayor que el ángulo crítico, la luz se refleja en la superficie del agua. Cada material se caracteriza por un índice de refracción, representado por el símbolo n . Este índice, también llamado índice refractivo, es la proporción entre la velocidad de luz en el vacío (c) y su velocidad en un medio específico (v).

$$n=c/v$$

El índice de refracción en el vacío (espacio exterior) es 1 ($v = c$). El índice de refracción del aire (n_1) es 1,003 o ligeramente superior al del vacío mientras el índice de refracción para el agua es 1,333. Un valor más alto del índice de refracción " n " de un material indica que la luz viaja mas lenta en ese material. La luz viaja más rápido en el aire que en el agua.

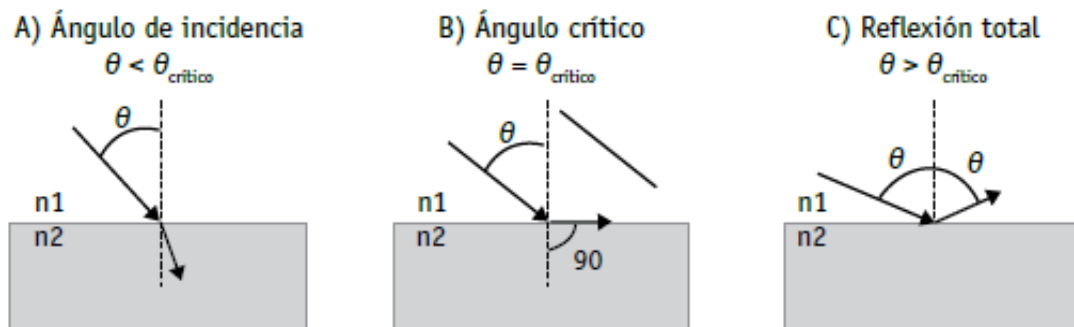


Figura 2: Principio de reflexión total.

El núcleo de una fibra óptica tiene un índice de refracción ligeramente mayor que el revestimiento. La luz que llega al límite entre el núcleo y el revestimiento con un ángulo de incidencia mayor que el ángulo crítico se refleja y continúa su recorrido dentro del núcleo. Este principio de reflexión total es la base para el funcionamiento de la fibra óptica. El ángulo crítico es una función del índice de refracción de los dos medios, en este caso el vidrio del núcleo y el del revestimiento. El índice de refracción para el núcleo es normalmente alrededor de 1,47 mientras que el índice de refracción para el revestimiento es aproximadamente 1,45.

A causa de este principio, podemos describir un cono imaginario con un ángulo relacionado con el ángulo crítico (véase la Figura 3). Si la luz se introduce en el

extremo de fibra desde el interior de este cono, esta sujeta a la reflexión total y viaja por el núcleo. La noción de este cono esta relacionada con el termino apertura numérica, la capacidad de recoger la luz de la fibra. La luz que llegue al extremo de fibra fuera de este cono se refractara en el revestimiento cuando se encuentre con el limite núcleo-revestimiento; y no permanece dentro del núcleo.

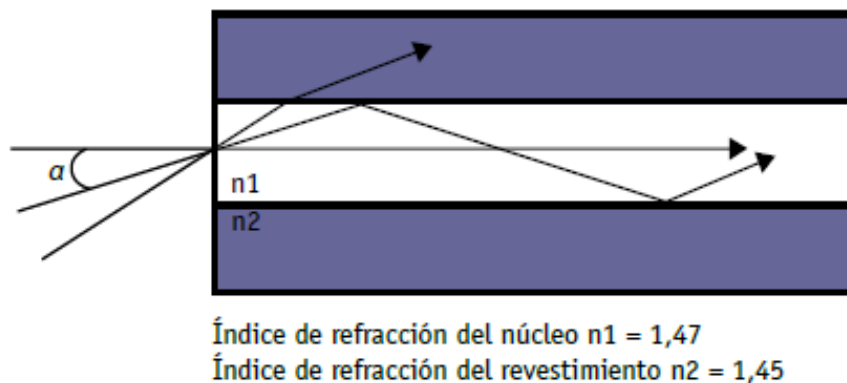


Figura 3: Apertura numérica y reflexión total: La luz que entra en la fibra dentro de un ángulo se desplaza por el núcleo.

c) Señalización.- Las redes de área local como Ethernet y Fibre Channel transmiten pulsos que representan información digital. El bit – abreviatura de dígito binario – es la unidad básica de información digital. Esta unidad solo puede tomar dos valores: 0 o 1. Los datos numéricos se transforman en un número digital. Otros datos como los caracteres se codifican en una cadena de bits. Un estado ‘On’ u ‘Off’ representa electrónicamente el valor de un bit. Asimismo, una cadena consecutiva de pulsos de luz representa la información digital que se transmite a través de un enlace de fibra óptica. El estado “On” representa un bit con valor 1 y el estado ‘Off’ representa un bit con valor 0. La Figura 4 representa una muestra de la información digital tal como se transmite a través de un cable de fibra óptica.

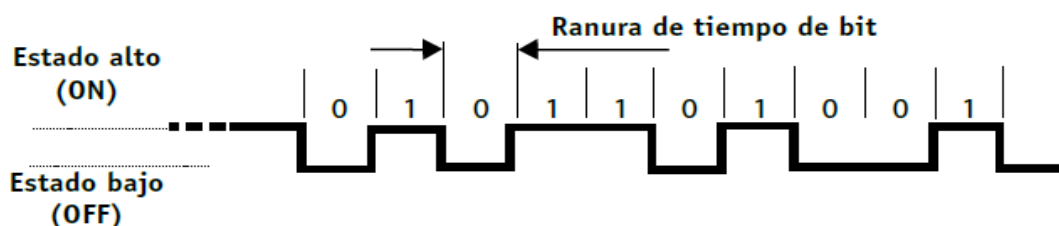


Figura 4: Tren de pulsos típico que representa los datos digitales.

La representación de los pulsos en la Figura 4 esta “idealizada”. En el mundo real, los pulsos tienen tiempos reducidos de subida y bajada. La Figura 5 describe las principales características de un pulso. El tiempo de subida indica la cantidad de tiempo necesaria para cambiar la luz al estado “On”; por lo general se corresponde con el tiempo necesario para la transición del 10 % al 90 % de la amplitud. El tiempo de bajada es lo contrario del tiempo de subida y representa la duración de cambiar la luz de ‘On’ a ‘Off’. Los tiempos de subida y bajada son parámetros críticos; determinan el límite superior de la velocidad a la que el sistema puede generar y transmitir pulsos.

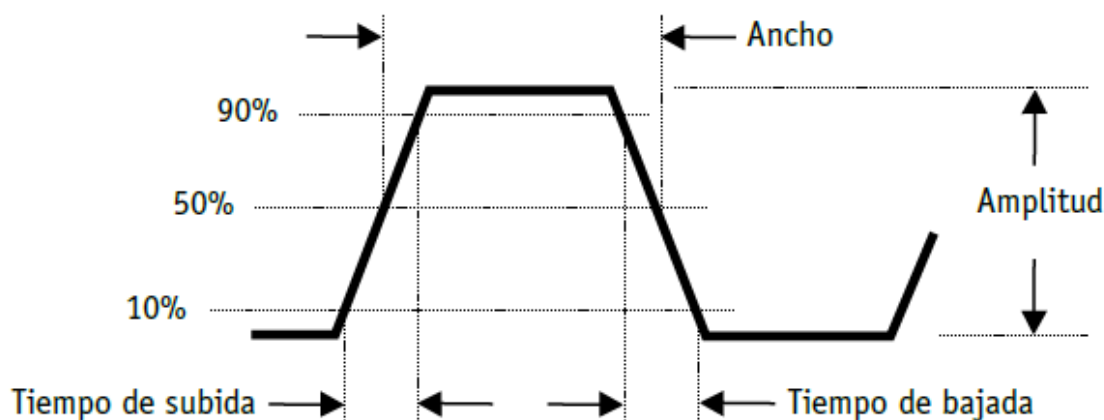


Figura 5: Análisis de un pulso.

Al transmitir mil millones o mas bits por segundo (velocidad de datos de 1 Gbps o mas), las fuentes de luz LED ya no se pueden utilizar debido a los tiempos de subida y bajada de las fuentes LED. Estos sistemas de mayor velocidad solo utilizan fuentes de luz láser. Una fuente muy común en las redes de los edificios es la VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser, o Laser de emisión superficial de cavidad vertical) que transmite luz a la longitud de onda de 850 nm.

d) Requisitos para una transmisión fiable.- El enlace de fibra óptica debe transmitir un tren de pulsos con suficiente fidelidad de señal para que el detector en el dispositivo receptor pueda detectar cada pulso con su verdadero valor de ‘On’ u ‘Off’. Como mínimo son necesarias dos cosas para garantizar la recepción y transmisión fiable, que son las siguientes:

- ✓ **Perdida de inserción de canal:** La máxima pérdida de señal o atenuación de señal permitida en el medio de transmisión desde el dispositivo transmisor al receptor. El termino 'canal' define el medio de transmisión extremo a extremo entre transmisor y receptor. La pérdida de señal esta compuesta por las perdidas acumuladas en el cableado de fibra óptica y en cada conexión o empalme.

- ✓ **Dispersión de señal:** los pulsos de luz tienen una tendencia a esparcirse según viajan por el enlace de fibra debido a la dispersión. El esparcimiento debe limitarse para prevenir que los pulsos lleguen juntos o superpuestos al extremo receptor. Ambos parámetros, pérdida de canal y dispersión de señal, desempeñan un papel crítico en el establecimiento de una transmisión fiable y libre de errores. La dispersión no se puede medir en campo. Los estándares de red definen una longitud de canal máxima para la fibra óptica; la longitud máxima es una función de la velocidad de datos y el índice de ancho de banda de la fibra óptica. El índice de ancho de banda, a su vez, se basa en mediciones de laboratorio para caracterizar la dispersión modal en fibras ópticas multimodo.

- ✓ **Atenuación:** La pérdida o atenuación ha sido un parámetro de rendimiento bien establecido en los estándares de cableado y de aplicación de red. La señal debe llegar al final del enlace de fibra óptica; la entrada al detector en el dispositivo receptor, con suficiente potencia para ser correctamente detectada y decodificada. Si el detector no "ve" claramente la señal, la transmisión, sin duda, ha fracasado.

La atenuación o pérdida de señal en fibra óptica es producida por varios factores intrínsecos y extrínsecos. Dos factores intrínsecos son la dispersión y la absorción. La forma mas común de dispersión, llamada 'Dispersión de Rayleigh', esta causada por las no uniformidades microscópicas de la fibra óptica. Estas no-uniformidades provocan que los rayos de luz se dispersen parcialmente cuando viajan a lo largo del núcleo de fibra y, por lo tanto, se pierde algo de potencia de luz.

La dispersión de Rayleigh es responsable de aproximadamente el 90 % de la pérdida intrínseca en las fibras ópticas modernas. Tiene una mayor influencia cuando el tamaño de las impurezas en el vidrio es comparable a la longitud de onda de la luz. Las longitudes de onda mas largas, por lo tanto, son menos afectadas que las longitudes de onda mas cortas y están sujetas a menor pérdida.

Las causas extrínsecas de atenuación incluyen tensiones durante la fabricación del cableado y curvaturas de la fibra. Se pueden distinguir dos categorías de curvatura: microcurvatura y macrocurvatura. La microcurvatura es causada por imperfecciones microscópicas en la geometría de la fibra resultantes del proceso de fabricación, como la asimetría de rotación, cambios menores en el diámetro del núcleo, o límites desiguales entre el núcleo y el revestimiento. El estrés mecánico, la tensión, la presión o la torsión de la fibra también pueden causar microcurvaturas. La Figura 6 describe la microcurvatura en una fibra y su efecto en el camino de la luz.

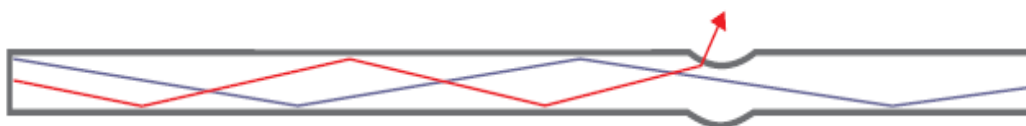


Figura 6: Microcurvatura en una fibra óptica hace que algo de luz se escape del núcleo, lo cual se agrega a la pérdida de señal.

La causa principal de macrocurvatura es una curvatura de pequeño radio. Las normas describen los límites de radio de curvatura como sigue: “Los cables con cuatro o menos fibras destinados al Subsistema de Cableado 1 (cableado horizontal o centralizado) admitirán un radio de curvatura de 25mm (1 pulgada) cuando no estén sujetos a carga de tensión. Los cables con cuatro o menos fibras destinados a ser tendidos en canalizaciones durante la instalación admitirán un radio de curvatura de 50mm (2 pulgadas) bajo una carga de tracción de 220 N (50 lbf). Todos los demás cables de fibra óptica admitirán un radio de curvatura de 10 veces el diámetro exterior del cable cuando no estén sujetos a

carga de tensión y 20 veces el diámetro exterior cuando estén sujetos a carga de tensión hasta el límite nominal del cable”.

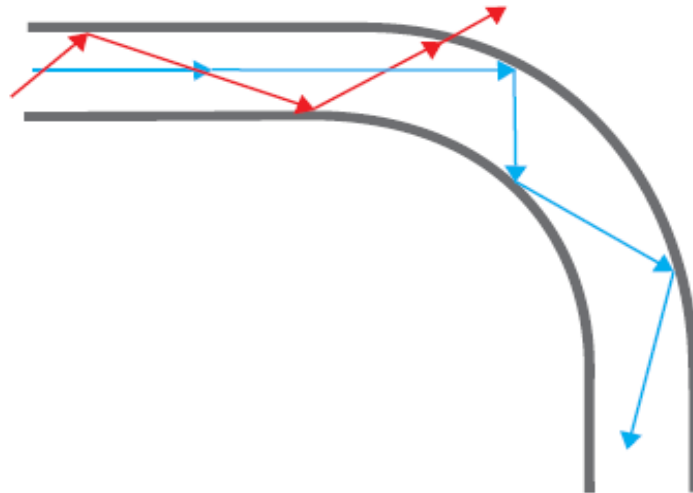


Figura 7: Una macrocurvatura o dobladura con un radio de curvatura reducido hace que los modos de luz de mayor orden se escapen del núcleo multimodo y, por lo tanto, provoca pérdida de señal.

La anterior figura muestra el efecto de una dobladura con un radio menor en el camino de la luz en la fibra. Parte de la luz en los grupos de modos de orden superior ya no es reflejada y guiada dentro del núcleo. La longitud de la fibra y la longitud de onda de la luz que viaja a través de la fibra determinan ante todo el valor de la atenuación.

La pérdida en un enlace de fibra óptica instalado esta compuesta por la pérdida en la fibra mas la pérdida en conexiones y empalmes. Las pérdidas en conexiones y empalmes representan la mayoría de las pérdidas en enlaces de fibra mas cortos, típicos de las aplicaciones de red de edificios. Una herramienta para la solución de problemas como un Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo (OTDR) permite medir y comprobar la pérdida de cada conexión o empalme.

- ✓ **Dispersión:** La dispersión describe como se esparcen los pulsos de luz cuando viajan a lo largo de la fibra óptica. La dispersión limita el ancho de banda de la fibra, reduciendo así la cantidad de datos que puede transmitir la fibra. Limitaremos el debate de la dispersión a la dispersión modal en fibras multimodo.

El termino 'multimodo' se refiere al hecho de que se propagan simultáneamente numerosos modos de rayos de luz a través del núcleo. La Figura 8 muestra como se aplica el principio de reflexión interna total a la fibra óptica multimodo de índice de salto. El termino 'índice de salto' se refiere al hecho de que el índice de refracción del núcleo esta un escalón por encima del índice del revestimiento. Cuando la luz entra en la fibra, se separa en distintos caminos, conocidos como modos.

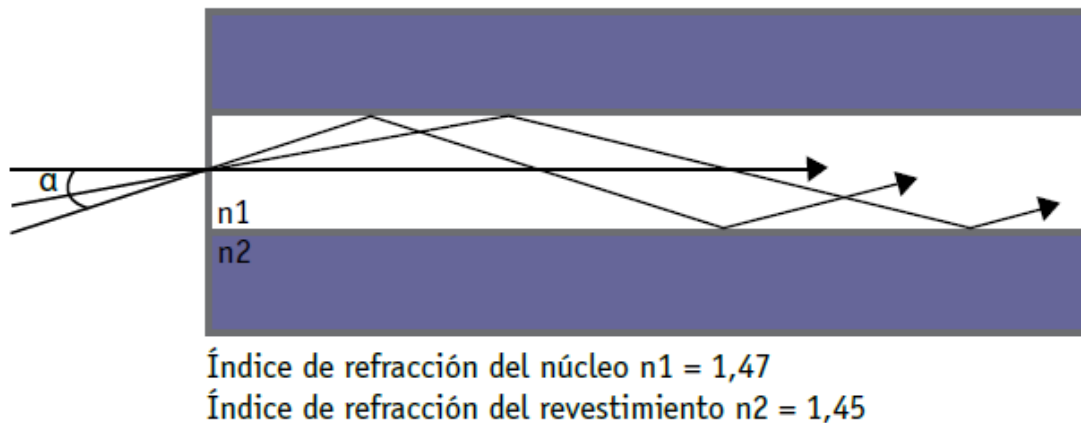


Figura 8: Principio de reflexión interna total.

Un modo viaja directamente por el centro de la fibra, otros modos viajan con ángulos diferentes y rebotan arriba y abajo debido a la reflexión interna. Los modos que mas rebotan se denominan los “modos de orden superior”. Los modos que rebotan muy poco son los “modos de orden inferior”. El camino mas corto es la línea recta. Todas las otras rutas adoptadas por la luz (modos) son mas largas que la línea recta – cuanto mas pronunciado es el ángulo, mas rebotes se producen y mas largo es el camino recorrido.

Según varía la longitud de la ruta, así varia el tiempo de viaje para alcanzar el final del enlace. La disparidad entre los tiempos de llegada de los diferentes rayos de luz también conocida como retardo de modo diferencial (Differential Mode Delay, DMD), es el motivo de la dispersión o esparcimiento de un pulso según se transmite a lo largo del enlace de fibra.

El efecto de dispersión aumenta con la longitud del enlace de fibra óptica. Según viajan más lejos los pulsos, aumenta la diferencia en la longitud del camino y, por lo tanto, aumenta la diferencia en tiempos de llegada y la dispersión de los pulsos sigue creciendo. El efecto es que los pulsos de luz que llegan al final del enlace de fibra mas largo se solapan mutuamente y que el receptor ya no puede distinguirlos, y no es capaz de decodificar su estado (valor). Mayores velocidades de datos suponen el envío de pulsos más cortos en una rápida sucesión. La dispersión limita la velocidad a la que se pueden transmitir pulsos. En otras palabras, la dispersión limita el ancho de banda del cableado.



Figura 9: El efecto neto de la dispersión

Hace que los pulsos transmitidos viajen juntos y se solapen al final del enlace (Entrada del detector). El detector ya no puede reconocer y decodificar el estado de los pulsos individuales.

Para compensar la dispersión inherente en fibra multimodo de índice de salto, se desarrollo la fibra multimodo de índice gradual. El 'índice gradual' se refiere al hecho de que el índice de refracción del núcleo disminuye gradualmente según se aleja del centro del núcleo. El vidrio en el centro del núcleo tiene el índice de refracción mas alto que hace que la luz en el centro del núcleo viaje a la menor velocidad. La luz que recorre el camino mas corto a través de la fibra viaja a una velocidad más lenta. Esta construcción del núcleo permite a todos los rayos de luz alcanzar el extremo receptor aproximadamente al mismo tiempo, reduciendo la dispersión modal en la fibra. Como muestra continuación en la Figura 10, la luz en la fibra multimodo de índice gradual ya no viaja en líneas rectas de borde a borde sino que sigue un camino sinusoidal; poco a poco se refleja de vuelta hacia el centro del núcleo por la continua disminución del índice de refracción del vidrio del núcleo.

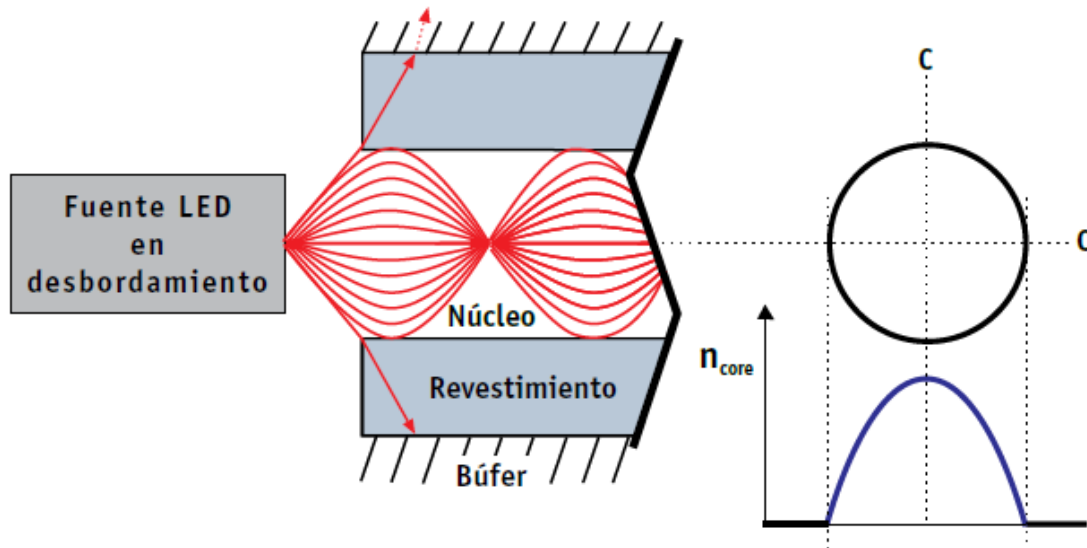


Figura 10: Fibra multimodo de índice gradual.

El índice de refracción del núcleo cambia en todo el núcleo. Es más alto en el centro y disminuye gradualmente hacia el límite del revestimiento. Esto crea caminos de luz (modos) que siguen una ruta sinusoidal, tal como se muestra en el panel izquierdo de esta figura. Los modos inferiores (centro del núcleo) viajan más lentos, mientras que los modos en las regiones exteriores que recorren las mayores distancias viajan más rápidos. La fibra multimodo de índice gradual, por lo tanto, proporciona mejor ancho de banda.

La fibra multimodo optimizada para el láser que se utiliza para las aplicaciones de red mas recientes de alta velocidad (velocidades de datos en el rango del Gigabit por segundo) se construye como la fibra multimodo de índice gradual. Esta fibra multimodo optimizada para el láser también utiliza el diámetro de núcleo mas pequeño de 50 μm . El menor diámetro de núcleo también disminuye el efecto de dispersión en la fibra limitando el numero de modos. La fibra 'monomodo', como su propio nombre indica, solo permite un modo de propagación a longitudes de onda mayores que la longitud de onda de corte¹. La longitud de onda de 1.310 nm que utilizan la mayoría de aplicaciones de red corporativa sobre fibra monomodo (9 μm de diámetro del núcleo) esta muy por encima de la longitud de onda de corte que esta entre 1.150 nm y 1.200 nm. Las fibras monomodo, utilizando longitudes de onda mas largas, conservan la fidelidad de cada pulso de luz sobre mayores distancias ya que no acusan dispersión modal (causada por usar varios modos). Así pues, puede transmitirse mas información por unidad de tiempo sobre distancias mas largas (la perdida intrínseca es inferior a mayor longitud de onda). Esto da a las fibras monomodo mayor ancho de banda en

comparación con la fibra multimodo. El diseño de fibra monomodo también ha ido evolucionando a lo largo del tiempo. Existen otros mecanismos de dispersión y no-linealidades que no cubriremos ya que desempeñan un papel mucho menos importante en las aplicaciones de fibra óptica en redes de edificio. La fibra monomodo tiene algunas desventajas. El menor diámetro del núcleo dificulta el acoplamiento de la luz en el núcleo. Las tolerancias de empalmes y conectores monomodo son más exigentes para lograr una buena alineación del pequeños núcleo. Además, las fuentes de luz láser de mayor longitud de onda son más caras que las VCSEL funcionando a 850 nm.

- ✓ **Ancho de Banda:** Una característica clave de rendimiento de fibra es el ancho de banda, o la capacidad de transportar información de la fibra óptica. En términos digitales, el ancho de banda se expresa en una velocidad de bits a la cual las señales se pueden enviar sobre una distancia dada sin que un BIT interfiera con el BIT anterior o posterior. El ancho de banda se expresa en el producto MHz•km. La interferencia se produce por el fenómeno de dispersión que discutimos anteriormente. El ancho de banda puede definirse y medirse de varias formas. Las tres Especificaciones normalizadas de ancho de banda y las medidas aplicables son Ancho de Banda en Desbordamiento, Ancho de Banda Modal Restringido y Ancho de Banda de Láser o Ancho de Banda Modal Efectivo (Effective Modal Bandwidth, EMB). La razón de estos diferentes Métodos proviene de las diferencias en las características de las fuentes de luz que se usan para transmitir información.

La fuente de luz tradicional para Ethernet a 10 Mbps y 100 Mbps ha sido el diodo emisor de luz (Light Emitting Diode, LED), una opción excelente para aplicaciones operando a velocidades de hasta 622 Mbps. Los LEDs producen una luz uniforme de salida que llena por completo el núcleo de la fibra óptica y utiliza todos sus modos de funcionamiento. Para predecir mejor el ancho de banda de las fibras multimodo convencionales cuando se utilizan con fuentes de luz LED, la industria emplea un método llamado Ancho de Banda en Desbordamiento (Overfilled Bandwidth,

OFL). Tal como se menciono anteriormente, los LEDs no se pueden modular lo suficientemente rápido para transmitir los mil millones o más de pulsos por segundo necesarios para velocidades de datos Gbps. Una fuente de luz común para soportar las velocidades de transmisión Gigabit en aplicaciones de redes ópticas en edificios es la VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser) a una longitud de onda de 850nm. A diferencia de un LED, la salida de luz de un VCSEL no es uniforme. Cambia de VCSEL a VCSEL a través del extremo de la fibra óptica. Como resultado, los láseres no utilizan todos los modos en fibra multimodo sino más bien un conjunto restringido de modos. Y lo que puede ser más importante, cada láser rellena un conjunto diferente de modos en la fibra y con diferentes valores de potencia en cada modo.

Un método óptimo para garantizar el ancho de banda en enlaces de fibra óptica para la implementación de las velocidades Gigabit es la medición del DMD (retardo de modo diferencial)