

MIGUEL DE LA SOTTA CERBINO ING. M.SC.  
 JUAN GUILLERMO DE LA IGLESIA CARRASCO ING.  
 UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE

### RESUMEN

Este trabajo describe el montaje de un enlace digital por fibra óptica entre dos puntos separados por una distancia de 800 metros a una velocidad de símbolos binarios de 10 Mb/s y con una tasa de error de  $10^{-9}$ . En primer término es presentado el diseño del enlace óptico, luego se entrega una breve explicación del tipo de transmisor y receptor utilizado, a continuación se describe el montaje de los terminales ópticos y finalmente se entregan los resultados y conclusiones del trabajo.

### INTRODUCCION

El objetivo de este trabajo es realizar un enlace por fibra óptica para comunicar dos puntos separados a una distancia aproximada de un kilómetro. El enlace es del tipo digital y servirá para interconectar computadores mediante transmisión de símbolos binarios a alta velocidad (10Mb/s) y baja tasa de error ( $10^{-9}$ ).

El criterio aplicado para el montaje es la utilización de componentes de precio reducido y fácil obtención en el mercado, tanto en la parte electrónica como en la óptica. La idea global, es obtener experiencia práctica en manejo de componentes aislados y de diferentes procedencias, para futuras implementaciones en esta tecnología en nuestro país.

### DISEÑO DEL ENLACE OPTICO (1) (2) (3)

El procedimiento general de diseño fue elegir el tipo de receptor y luego el elemento emisor a partir de la fibra que se disponía y de las exigencias del usuario para el sistema.

Las exigencias para el sistema son: velocidad de transmisión 10 Mb/s (NRZ), razón de bits de error  $10^{-9}$  y longitud del enlace 800 metros.

Se disponía de una fibra del largo indicado, de 50  $\mu$ m de diámetro del núcleo, apertura numérica de 0,22, atenuación de 6 dB/Km. y de 2 nS/Km de dispersión total. (ITT 600002-123-003)

Del estudio de diferentes alternativas, se decidió el uso del receptor que es presentado más adelante. La particularidad de este receptor, que cumple con las exigencias pedidas, es que utiliza como elemento de receptor un fotodiodo integrado a un preamplificador. Este detector puede operar con una velocidad de 20 Mb/s (NRZ), BER =  $10^{-9}$ , su tiempo de subida es de 20nS y requiere una potencia mínima incidente de 4  $\mu$ w para las condiciones dadas. (Motorola MF0D402F).

Posteriormente, fue elegido el elemento emisor capaz de entregar la potencia necesaria y a la velocidad pedida. La potencia acoplada a una fibra de 50  $\mu$ m y AN = 0,2 por este elemento es mayor o igual que 24  $\mu$ w y su tiempo de subida es de 15 nS. (Siemens V42253 - E1 - B51). La selección del transmisor para estas condiciones no representó dificultad mayor debido a su simplicidad.

El diseño de un enlace por fibra óptica debe controlar dos parámetros importantes. La atenuación, cuyo control se realiza a través de un balance de potencias y pérdidas, y la velocidad de bits, que implica estudiar los tiempos de subida de los elementos y dispersión de la fibra (Figura 1)

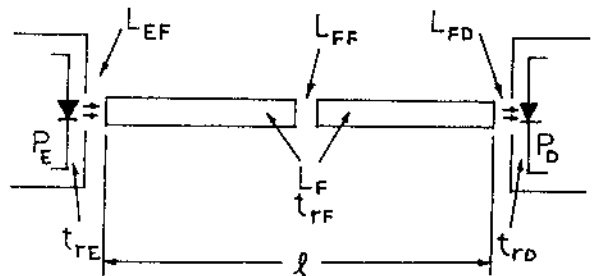


Figura 1. Potencias y tiempos de subida en un enlace por fibra óptica

Balance de Potencias. Potencias y pérdidas en un sistema de transmisión por fibra óptica se relacionan por la ecuación (1)

$$P_E - P_D = L_{EF} + L_{FF} + L_{FD} + L_F + L_M \quad (1)$$

Donde  $P_E$  es la potencia óptica del emisor (dBm),  $P_D$  es la potencia requerida en el detector (dBm),  $L_{EF}$  es la pérdida de acoplamiento emisor-fibra (dB),  $L_{FF}$  pérdida de acoplamiento fibra-fibra (dB),  $L_{FD}$  pérdida de acoplamiento fibra-detector (dB),  $L_F$  pérdida en la fibra (dB),  $L_M$  margen de degradación o seguridad (dB).

Potencia Óptica del Emisor ( $P_E$ ). Se especifica para el elemento emisor que la potencia acoplada a una fibra de 50  $\mu$ m de diámetro y N.A. = 0,2 es mayor o igual a 24  $\mu$ w. Se considerará que esta es la potencia óptica entregada por el emisor.

$$P_E = 10 \log \frac{24 \mu w}{1000 \mu w} = -16,2 \text{ dB}$$

Potencia Óptica Requerida en el Detector ( $P_D$ ). El Detector/Preamplificador integrado para un BER de  $10^{-9}$  y una velocidad de 20 Mb/s, requiere una potencia incidente mínima de 4  $\mu$ w.

$$10 \log \frac{4 \mu w}{1000 \mu w} = -24 \text{ dBm}$$

Sin embargo, de acuerdo a las curvas experimentales de diversos autores, podemos determinar que para una velocidad de 10 Mb/s, la potencia mínima incidente necesaria será, aproximadamente, 3 dB menor que la correspondiente a 20 Mb/s. (Manteniendo una BER =  $10^{-9}$ )

Luego,  $P_D = -27 \text{ dBm}$

Pérdida de Acoplamiento Emisor-Fibra ( $L_{EF}$ ). Como se tiene especificada la potencia acoplada a una fibra de 50  $\mu$ m de diámetro y N.A. = 0,2 por este emisor, la pérdida de acoplamiento Emisor-Fibra será solamente la introducida por mal alineamiento al fijar el conector con la fibra.

Se utilizará un conector Siemens C42334 - A380-A12 el cual está diseñado para fibras de 100 a 140  $\mu$ m de diámetro, por lo que asumirá que al fijarlo cuidadosamente con la fibra de 50  $\mu$ m, la pérdida introducida por mal alineamiento no será mayor que 1 dB

Pérdida de Acoplamiento Fibra-Fibra ( $L_{FF}$ ). El enlace no incluirá uniones Fibra-Fibra, luego  $L_{FF} = 0 \text{ dB}$ .

Pérdida de Acoplamiento Fibra-Detector ( $L_{FD}$ ). El detector MFOD402F posee integrada un segmento de fibra óptica de 200 um de diámetro y Apertura Numérica igual a 0,48. Por lo tanto, como la fibra a utilizar tiene un núcleo de 50 um de diámetro y Apertura Numérica igual a 0,22, no existirá pérdida por diferencia de áreas ni pérdida por diferencia de Apertura Numérica, y las pérdidas por mal alineamiento serán insignificantes. Luego, la pérdida que se producirá será prácticamente la debida a reflexión, la cual, considerando que los índices de refracción de los núcleos son aproximadamente iguales a 1,5 (valor típico), es de 0,35 dB:

$$L_{FD} = 2 \cdot 10 \log \frac{1}{1 - \left( \frac{n_x - n_y}{n_x + n_y} \right)^2} = 0,35 \text{ dB}$$

donde:

$n_x$ : índice refracción núcleo  
 $n_y$ : índice refracción aire

Pérdida en la Fibra ( $L_F$ )  $L_F = (6 \text{ dB/Km}) \cdot (0,8 \text{ Km}) = 4,8 \text{ dB}$

Reemplazando estos valores en la ecuación (1), se obtiene el Margen de degradación del sistema.

$$L_M = -16,2 + 27 - 1 - 0,35 - 4,8 = 4,65 \text{ dB}$$

Con el margen de degradación resultante, la operación del enlace no estará limitada por potencia.

Queda solamente por determinar si el sistema es lo suficientemente rápido como para operar con la velocidad de 10 MB/s.

Estudio de Tiempos de Subida y Dispersión.

La operación del sistema no estará limitada por el ensanchamiento de los pulsos, si se cumple la siguiente ecuación:

$$Tr_S \leq \frac{0,5}{R}$$

donde  $Tr_S$  es el tiempo de subida del sistema  
 $R$  es la velocidad de símbolos binarios en bits/seg.

$$y \quad Tr_S = 1,1 \cdot \sqrt{Tr_E^2 + Tr_F^2 + Tr_D^2}$$

donde:

$Tr_E$  = tiempo de subida del elemento emisor  
 $Tr_F$  = Dispersión total de la fibra  
 $Tr_D$  = Tiempo de subida del elemento detector

Para el caso considerado se tiene:

$$R = 10 \cdot 10^6 \text{ bits/seg} \quad , \quad \frac{0,5}{R} = 50 \text{ ns}$$

$$Tr_E = 15 \cdot 10^{-9} \text{ seg}$$

$$Tr_F = (2 \cdot 10^{-9} \text{ seg/km}) \cdot (0,8 \text{ Km}) = 1,6 \cdot 10^{-9} \text{ seg.}$$

luego, calculando, tenemos:

$$Tr_S = 27,6 \text{ ns}$$

Como  $Tr_S < \frac{0,5}{R}$ , los componentes del enlace son lo suficientemente rápidos como para que el sistema opere correctamente a la velocidad requerida y con la tasa de error pedida

ANALISIS GENERAL DEL TRANSMISOR Y RECEPTOR(2)(4)

Transmisor.

La función del transmisor es aceptar una señal de entrada eléctrica y convertirla en una corriente excitadora adecuada al elemento óptico emisor seleccionado. Las fuentes ópticas a considerar serán las fuentes LED (Diodo emisor de luz) y LD (Diodo Laser).

Las necesidades del circuito pueden variar según el tipo de fuente óptica escogida, (LED o LD), y con el tipo de señal de información (análoga o digital). Sin embargo hay requerimientos comunes los que pueden ser delineados de la siguiente forma:

- El circuito debe entregar una corriente acorde con la recomendada para la fuente óptica a usar.
- El ancho de banda o la rapidez de conmutación del circuito debe ajustarse a las características respectivas de la señal de información.
- Estos circuitos deben ajustarse al rango dinámico de la señal excitadora o moduladora.
- El circuito debe incluir un medio para estabilizar y/o variar la corriente de polarización requerida para la señal excitadora particular.
- El circuito debe tener características especiales de compensación para los problemas de adaptación de impedancia, características no lineales del mismo, problemas de temperatura, etc.

En la figura 2 se muestra el diagrama en bloques del transmisor utilizado. La función del primer bloque es adaptar una familia lógica compatible con la del equipo anterior de donde proviene la información. El segundo bloque entrega la corriente directa requerida por el LED para que este desarrolle la potencia óptica deseada y conmute esta corriente en respuesta a los pulsos de entrada con tiempos de subida y bajada consecuentes con la máxima velocidad de transmisión. El tercer bloque corresponde al propio LED y su conector que emite los pulsos de energía óptica.



Figura 2. Diagrama en bloques del transmisor.

Receptor

El diseño del circuito receptor es más complejo que el diseño del transmisor debido a que éste opera con niveles de señal muy pequeños por lo que los problemas de ruido causados por las interferencias electromagnéticas deben ser cuidadosamente considerados.

El diodo fotodetector es un elemento operado ya sea con un voltaje de polarización cero (modo fotovoltaico), o con voltaje de polarización inverso (modo fotoconductor). En el primer caso, el diodo es considerado como fuente de voltaje, y en el segundo para las consideraciones de diseño como fuente de corriente.

El primer objetivo en el diseño del circuito receptor es maximizar la sensibilidad (maximizar la razón S/N) lo cual depende principalmente del detector óptico elegido y del preamplificador asociado a éste. Para cumplir con este objetivo, se debe minimizar la capacidad de entrada y el ancho de banda de ruido del preamplificador. La capacidad total de entrada está compuesta de la capacidad del detector, la capacidad de entrada del preamplificador, y de otras capacidades del circuito. El ancho de banda de ruido es generalmente mucho más grande que el ancho de banda de señal, y es importante por lo tanto, hacer el diseño del receptor de manera que el ancho de banda total no sea mayor que el absolutamente necesario para la señal.

Para circuitos receptores de señales digitales, el parámetro crítico es la velocidad de respuesta. El circuito preamplificador debe elevar el nivel de la señal del detector a una magnitud que sea manejable por los circuitos de las etapas siguientes sin contribuir al exceso de ruido o a la degradación de la señal.

En la figura 3 se muestra el diagrama en bloques del receptor utilizado, donde el detector óptico es el

elemento que recibe los pulsos de energía óptica y los transforma en pulsos de corriente, los cuales son amplificados y convertidos en señal de voltaje por el segundo bloque (convertor corriente-voltaje). La tercera etapa es el amplificador de voltaje, que amplifica la señal proveniente del convertor corriente-voltaje.

El diferenciador cumple la función de dejar pasar al detector de amplitud solamente los flancos de los pulsos que entrega el amplificador de voltaje. El detector de amplitud regenera la señal que se ha recibido y entrega en su salida la misma señal que ha sido transmitida. Finalmente, la última etapa, genera los niveles lógicos TTL y provee suficiente capacidad de excitación para la interconexión con el equipo siguiente.

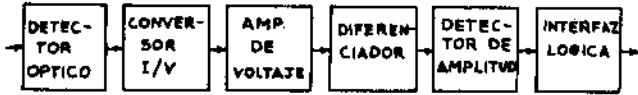


Figura 3. Diagrama en bloques del receptor

En el receptor utilizado se emplea un detector/preamplificador integrado, con lo que se minimiza la captación de ruido en la parte más susceptible a ser afectada por las interferencias electromagnéticas. Además, con mallas diferenciadoras en la entrada del detector de amplitud se logra que este tenga voltajes de referencias fijos y no dependientes del ciclo de trabajo. En general, este receptor está diseñado para que pueda trabajar con velocidades de hasta 20 Mb/s (NRZ) minimizando todas las fuentes de ruido para lograr un BER de 10<sup>-9</sup>.

#### MONTAJE DE LOS TERMINALES OPTICOS (6)

El enlace se montó conectando el transmisor y receptor en los extremos de un carrete de fibra óptica de 800 metros de largo. La fibra utilizada es una de las cuatro incluidas en el cable ITT 600002-123-003 mostrado en la figura 4.

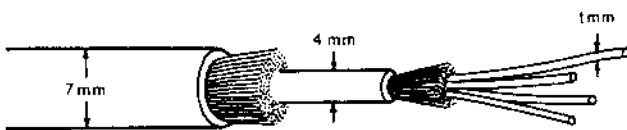


Figura 4. Cable de fibra óptica utilizado.

En el extremo del transmisor se fijó a la fibra el conector Siemens C42334-A380-A12 el cual está diseñado para ajustarse al emisor Siemens utilizado. Este conector posee una perforación de 140 µm de diámetro por lo que se tuvo que tener especial cuidado al centrar la fibra de 50 µm de diámetro.

El procedimiento seguido para fijar la fibra en el conector fue el siguiente:

1) Se extrajo de la fibra de 1 mm. de diámetro las tres capas protectoras en una longitud de aproximadamente 5 mm. dejando solamente el núcleo y el revestimiento como lo indica la figura 5.

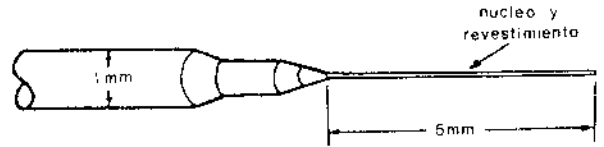


Figura 5. Desprendimiento de las capas protectoras.

2) Se rellenó el conector con pegamento Araldit y se introdujo la fibra a través de su perforación dejando en el extremo un pequeño segmento de fibra el cual se eliminó en el posterior proceso de pulido. (Figura 6)

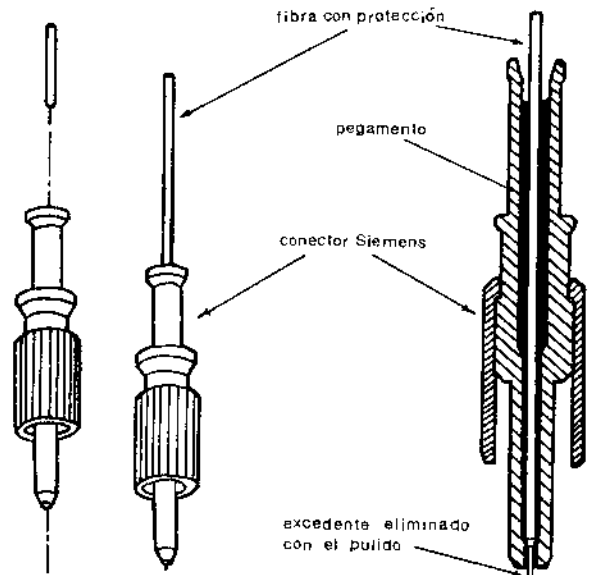


Figura 6. Fijación de la fibra en el conector Siemens.

3) Una vez que la fibra quedó fija, se dejó secar el pegamento durante 24 horas al cabo de las cuales se procedió a pulir la fibra con tres lijas de diferente grosor, comprobando en todo momento el proceso de pulido mediante un microscopio.

4) Después de eliminar completamente la fibra y el pegamento excedente en el extremo del conector, se protegió la superficie pulida con una tapa plástica desmontable.

5) Para dejar utilizables en otras aplicaciones las tres fibras restantes incluidas en el cable, y para proteger la fibra utilizada se realizó el proceso indicado en la figura 7.

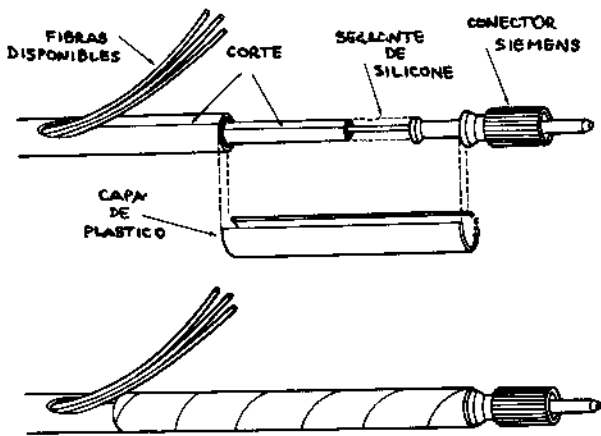


Figura 7. Procedimiento seguido para proteger la fibra utilizada dejando disponibles las restantes y visión final del extremo de la fibra correspondiente al transmisor.

En el extremo del receptor se siguió el mismo procedimiento pero utilizando un conector AMP compatible con el detector usado. En este caso no se extrajo las capas protectoras de la fibra debido a que este conector posee una perforación de 1 milímetro de diámetro (Figura 8).

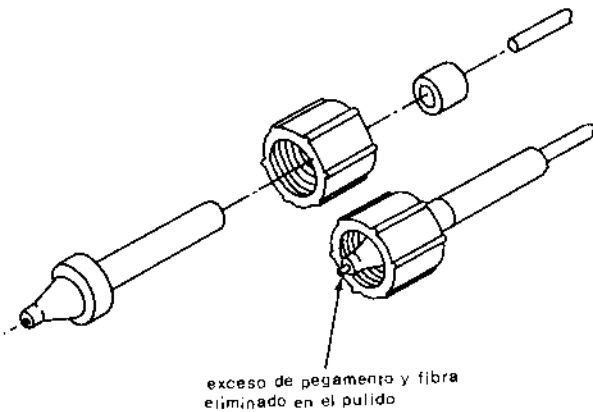


Figura 8. Fijación de la fibra en el conector AMP.

Una vez pulido el extremo del conector, nuevamente se procedió a proteger la fibra utilizada y a dejar disponibles las restantes según el procedimiento indicado en la figura 7.

### RESULTADOS

El montaje del enlace se observa en la figura 9. A la derecha de la fibra se destacan el generador de pulsos, fuente de poder y transmisor. A la izquierda está el receptor y su fuente respectiva.

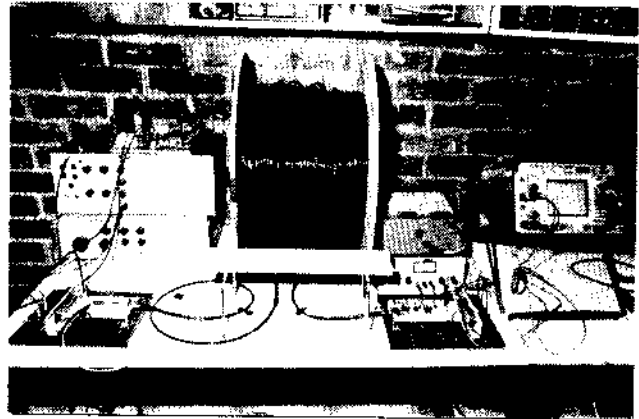


Figura 9. Montaje del enlace

La figura 10 muestra las formas de onda observadas en un osciloscopio (de 100 MHz) al aplicar en la entrada del transmisor un tren de pulsos de 0,1  $\mu$ s de duración, lo cual equivale a una velocidad de 10 Mb/s (NRZ). La forma de onda superior corresponde a la señal eléctrica aplicada en la entrada del transmisor (2v/div, 0,1  $\mu$ s/div) y la inferior a la señal eléctrica recibida en la salida del receptor (2v/div, 0,1  $\mu$ s/div).

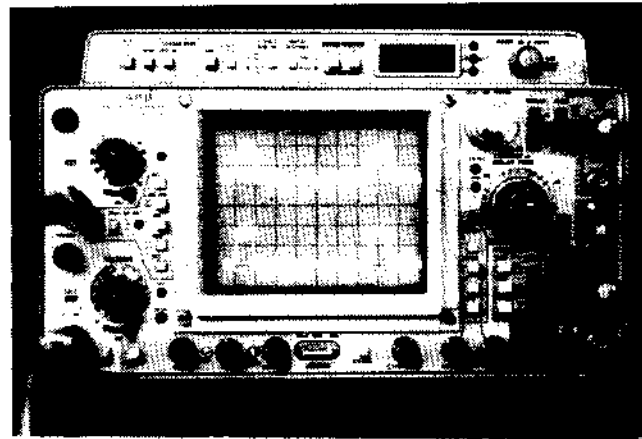


Figura 10. Señal transmitida y señal recibida.

Se realizó además, una prueba con velocidades superiores a 20 Mb/s obteniendo resultados satisfactorios; sin embargo, debemos tener presente que al aumentar la velocidad, el detector nos exige una mayor potencia mínima requerida para mantener la tasa de error ( $10^{-9}$ ), lo que deriva en un margen de seguridad  $L_M$  menor (menor confiabilidad del enlace).

### CONCLUSIONES

Este trabajo entrega un aporte técnico que servirá de base para futuros enlaces a través de fibra óptica en nuestro país.

El enlace montado es el primero en su género en el país y cobra especial importancia el hecho de haber utilizado un LED como emisor y un fotodiodo p-i-n como detector para una distancia apreciable.

La combinación de componentes optoelectrónicos y el tipo de fibra usada permitió factibilizar un enlace

que en principio hacía pensar en un laser como emisor.

De acuerdo a los resultados específicos presentados, el enlace puede funcionar satisfactoriamente a una distancia de 1 Km., o con una velocidad de hasta 20 Mb/s. (Fines científicos).

#### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) M. De La Sotta y R. Del Pedregal, "Un programa para el diseño de sistemas de transmisión por fibra óptica", IX Congreso Copimera, Costa Rica, Noviembre 1982.
- (2) R.W. Hubbard y R.L. Gallawa, "design Handbook for Optical Fiber Systems" (Libro), Information Gatekeepers, Inc. USA, 1976.
- (3) Hewlett Packard Components, "Digital Data Transmission with the HP Fiber Optic System", Application Note 1000.
- (4) Vincent L. Mirtich, "A 20-MBand full duplex fiber optic data link using fiber optic active components", Application Note AN-794, Motorola Semiconductor Products Inc. 1980.
- (5) W.B. Gardner, "Características fundamentales de las fibras ópticas", Boletín de Telecomunicaciones, Vol. 48, Noviembre de 1981.
- (6) Eligius Vancek, "Fundamentos teóricos y prácticos de la transmisión por fibra óptica" Programa de Telecomunicaciones (IEEE). Santiago, Mayo de 1980.
- (7) T. Eppes y J. Bowen, "Optical-fiber transmission links", Noviembre de 1977.
- (8) Catálogos técnicos de productos de tecnología de fibra óptica. ITT, Siemens, Motorola, AMP. 1982.



Miguel Angel De La Sotta Cerbino es Ingeniero de Ejecución e Ingeniero Civil Electricista por la Universidad de Santiago de Chile. Master en Ciencias por COPPE, Universidad Federal de Río de Janeiro, Brasil. En 1981 obtuvo beca de la O.E.A. (Organización de Estados Americanos) basando sus trabajos en el ámbito de las fibras ópticas. Ha presentado trabajos en Congresos Internacionales y dictado conferencias sobre la materia. En la actualidad ejerce

como Profesor Jornada Completa en el Departamento de Ingeniería Eléctrica en la Universidad de Santiago de Chile.



Juan Guillermo De La Iglesia Carrasco, nació el 2 de febrero de 1959 en la Ciudad de Santiago, es Ingeniero de Ejecución Electricista en el Area de Electrónica y Telecomunicaciones por la Universidad de Santiago de Chile. Se ha desempeñado además como Ayudante de Laboratorio de Comunicaciones Ópticas por el período de un año.