



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE NIVEL DE CÁMARA DE CARGA PARA OPTIMIZAR EL CONTROL AUTÓNOMO DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA “CAÑA BRAVA” - CAJAMARCA

Para optar por el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

ELABORADO POR:

Br. Huapaya Chambergó, Juan Pablo Raul
Br. Tapia Hoyos, Hubelder

ASESOR:

Ing. Chaman Cabrera, Lucia Isabel

LAMBAYEQUE – PERU



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA ELECTRONICA

***SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE NIVEL DE CÁMARA DE CARGA PARA
OPTIMIZAR EL CONTROL AUTÓNOMO DE LA GENERACIÓN DE
ENERGÍA EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA “CAÑA BRAVA” –
CAJAMARCA***

Elaborado por los bachilleres:

Br. Huapaya Chambergo, Juan Pablo Raul

Br. Tapia Hoyos, Hubelder

Aprobado por los miembros de jurado:

.....
Ing. Manuel Javier Ramírez Castro
Presidente del Jurado

.....
Ing. Víctor Jara Sandoval
Secretario del Jurado

.....
Ing. Carlos Oblitas Vera
Vocal del Jurado



DEDICATORIA

“El éxito no es para siempre y el fracaso no es el final, lo que cuenta es el valor de seguir adelante...”

Anónimo

“A mis padres, Raúl y Milagros por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida en éxitos y fracasos, a mis hermanas Teresa y Giovanna por enseñarme que no hay nada como la familia y que no hay mejor lugar que el hogar, a mis abuelas Socorro y Marina por estar siempre presentes con sus consejos y experiencias, y por ultimo al amor de mi vida Ramy”

JUAN HUAPAYA



DEDICATORIA

“A Dios por darme la vida, inteligencia, paciencia y fortaleza para afrontar las dificultades, por ello con toda la humildad que de mi corazón pueda emanar dedico este trabajo primeramente a Dios, también a mis padres Edelmira y Marino por que han sabido formarme con buen sentimiento, hábitos y valores, por darme ese amor inmenso para convertirme en una persona de bien. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia y mi coraje para conseguir mis objetivos.

A mis hermanos Wilmer y Lita por regalarme momentos de felicidad y alegría, por estar siempre presentes, acompañándome para poder realizar mis metas. A mi sobrina Antonella quien ha sido y es una motivación, inspiración y felicidad, aunque todavía no puedes leer, un día vas a aprender y por eso también te dedico esta tesis. A mis abuelitas que a pesar de no estar físicamente guían mi camino desde el cielo.”

HUBELDER TAPIA



AGRADECIMIENTO

Queremos agradecer a todas las personas que de manera directa o indirecta han apoyado e inspirado este proyecto, personas como el Ing. Juan Ñeco, quien nos brindó las facilidades, permisos y confianza durante el desarrollo de este proyecto, también por enseñarnos que se puede ser un profesional muy exitoso sin rastros de vanidad, a nuestra asesora Ing. Lucia Chaman por ser un apoyo constante en todo momento a pesar de estar iniciando una nueva etapa en su vida como madre, al Dr. Julio Quispe, por ser una inspiración y modelo a seguir tanto en lo profesional como en lo personal, por motivar a todos sus alumnos a dar lo mejor de sí mismos en todo momento, enseñándonos que las únicas personas que nos pueden poner obstáculos en la vida somos nosotros mismos y que este es el primer paso para lograr lo que vimos en nuestra mejor ventana, al Ing. Francisco Segura, por enseñarnos a lo largo de la nuestra formación profesional lo importante que es estar actualizado, que nuestra carrera está en constante desarrollo, profesionales como el son ejemplos vivos de calidad.

LOS AUTORES



RESUMEN

Se diseñó y construyó un Sistema de transmisión del nivel de agua embalsada en la Cámara de Carga de la C.H. “Caña Brava”, que consta de módulos de transmisión y recepción los cuales se comunican por medio de fibra óptica monomodo, lo que permite conocer en tiempo real y de manera automática el nivel de embalse en la Cámara de Carga de la C.H. “Caña Brava”, el cual se observaba através de una Cámara de Seguridad por un Operador desde Sala de Control de la C.H. “Carhuaquero”, controlando la generación de energía de manera, aumentándola o disminuyéndola. Este sistema consta de módulos ópticos de transmisión y recepción respectivamente lo que permitió que la C.H. “Caña Brava” utilizando la automatización existente, regule autónomamente su generación de energía, es decir que si el caudal de descarga de la C.H. “Carhuaquero”, aumenta o disminuye, en forma proporcional también lo hará el nivel de embalse en la Cámara de Carga, por ende la señal que será enviada a casa de Maquinas de la C.H. “Caña brava” aumentará o disminuirá su generación de energía (0.5 Mw – 5.3 Mw); Este aumento/disminución de la generación de energía implica aumento/disminución del consumo del recurso hídrico lo que permite que el Cámara de carga retome su nivel normal de embalse. Además disminuirá las posibles ¹Salidas forzadas por error de regulación manual la generación de energía, que implica ²multas Impuestas por ³COES, y a la vez la degradación del Generador por parada/arranque. Por lo tanto se logra aumentar la eficiencia de esta central lo que implica mayor cantidad de energía entregada al SEIN⁴ mediante la línea de Transmisión 2240 y un mejor uso del recurso hídrico.

¹ Desconexión intempestiva de un equipo por falla, por defecto [14].

² Sanción por Disponibilidad: Cuando no se encuentra disponible la unidad de generación luego de haber sido convocada por requerimiento del SEIN[15].

³ Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional.

⁴ Sistema Eléctrico Interconectado Nacional.



INDICE GENERAL

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	V
RESUMEN	VI
INDICE GENERAL	VII
1. CAPÍTULO 1	1
1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	2
1.2. JUSTIFICACIÓN	4
1.3. OBJETIVOS	6
1.3.1. OBJETIVOS GENERAL	6
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
2. CAPÍTULO 2	7
2.1. PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES	8
2.1.1. CLASIFICACIÓN DE LAS SEÑALES	8
2.1.2. CONVERSION ANALOGA-DIGITAL Y DIGITAL-ANALOGA	10
2.2. TRASMISIÓN DE DATOS	11
2.2.1. TRANSMISION ANALOGA	11
2.2.2. TRANSMISION DIGITAL	12
2.2.3. MEDIOS DE TRANSMISIÓN INDUSTRIAL	13
2.2.4. MODOS DE TRANSMISIÓN	14
2.3. INTERFAZ FÍSICA INDUSTRIAL	15
2.3.1. INTERFAZ RS-232	15
2.3.2. INTERFAZ RS-485	16
2.3.3. FIBRA OPTICA	16
2.4. MICROCONTROLADORES PIC	23
2.4.1. ARQUITECTURA GENERAL DE LOS MICROCONTROLADORES PIC	24
2.4.2. CARACTERISTICAS ESPECIALES DEL PROCESADOR	28
2.4.3. GAMA DE MICROCONTROLADORES PIC	29



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA ELECTRONICA

2.5. CENTRALES HIDROELECTRICAS.	31
2.5.1. TIPOS DE CENTRALES HIDROELÉCTRICA.	31
2.5.2. PARTES DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA	33
2.5.3. FUNCIONAMIENTO DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA	36
2.5.4. VENTAJAS E INCONVENIENTES DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA.	36
3. CAPÍTULO 3	38
3.1. PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN.	39
3.1.1. LIMITACIONES O ALCANCE DE DISEÑO	39
3.2. DIAGRAMA DE BLOQUES.....	40
3.2.1. CAPTURA DE SEÑAL Y ENTREGA DE SEÑAL	41
3.2.2. CONVERSION ADC.....	41
3.2.3. MICROCONTROLADOR TX y RX	41
3.2.4. TX Y RX ÓPTICOS	42
3.3. SELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE COMPONENTES.	42
3.3.1. CONVERSOR A/D - ADS7841.	42
3.3.2. CONVERSOR D/A – AD420.....	44
3.3.3. MICROCONTROLADORES	46
3.3.4. DIPOSITIVOS ÓTICOS TX y RX	47
3.4. DISEÑO DE HARDWARE	50
3.4.1. DIAGRAMAS ELÉCTRICOS	50
3.4.1.1. MODULO TRANSMISOR	51
3.4.1.2. MODULO RECEPTOR	52
3.4.2. DISEÑO DE PCB (PRINTED CIRCUIT BOARD).....	53
3.4.2.1. MODULO TRANSMISOR.	53
3.4.2.2. MODULO RECEPTOR.	54
3.5. DISEÑO DEL SOFTWARE.....	55
3.5.1. DIAGRAMA DE FLUJO DE MODULO TX.	55
3.5.2. DIAGRAMA DE FLUJO DE MODULO RX.....	56
4. CAPÍTULO 4	57
4.1. IMPLEMENTACION	58
4.1.1. CONSTRUCCION	60
4.1.2. GRABADO DE MICROCONTROLADORES	61
4.2. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO.	62
4.3. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS.....	63
4.4. PUESTA EN MARCHA DE EL PROTOTIPO DEL SISTEMA	64



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA ELECTRONICA

5. CAPÍTULO 5	68
5.1. COSTOS.....	69
CONCLUSIONES	71
RECOMENDACIONES.....	73
BIBLIOGRAFIA	74

Capítulo 1

GENERALIDADES



1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

Cámara de Carga es la estructura donde se embalsa el agua que proviene de la descarga de la “C.H. Carhuaquero” a través de un canal, al ser la “C.H.Caña Brava” una Central Hidroeléctrica de Generación ⁵RER, tiene una prioridad en la cola de Generación en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), por lo que debe generar la máxima potencia (5.3Mw) que le permita el recurso hídrico proveniente de la descarga de la “C.H.Carhuaquero”.

Bajo estas condiciones en nivel de agua que se embalsa en cámara de carga depende directamente a la generación de energía de la “C.H.Carhuaquero”, es decir, que cuando la “C.H.Carhuaquero” se encuentra generando una potencia igual o superior a 70 Mw el caudal descargado (⁶Caudal Turbinado) permite que la “C.H.Caña brava” opere a su potencia máxima 5.3Mw y mantener el nivel de embalse en Cámara de Carga en un nivel normal de operación.

Siendo el caso contrario cuando la “C.H.Carhuaquero” genera una potencia inferior a 70 Mw el caudal descargado no es el suficiente para mantener el nivel normal de embalse en Cámara de carga, si la “C.H.Caña Brava” se mantienen Generando a 5.3 Mw, por lo que se tiene que disminuir la generación de energía en la “C.H.Caña brava”, para que se disminuya el consumo del recurso hídrico y el nivel de Cámara de Carga mantenga su nivel normal de operación, esta Central Hidroeléctrica cuenta con un sistema de control autónomo de generación presente en la

⁵ Centrales de Generación con Recursos Energéticos Renovables [1].

⁶ Es el caudal que se descarga de una turbina hidráulica.



automatización existente que depende directamente del nivel del embalse en Cámara de Carga, es decir que la “Central Hidroeléctrica Caña Brava”, debería ser capaz de regular su generación de energía según el nivel de embalse en cámara de carga, lo que se conoce en la automatización existente como ⁷CONTROL POR NIVEL.

Actualmente por fallas en el sistema de transmisión del nivel de Cámara de Carga hasta Casa de máquinas, no se puede tener el control autónomo de la Generación de energía de la Central Hidroeléctrica “Caña Brava”, el cual viene siendo regulado de forma manual por un ⁸Operador, quien observa el nivel de embalse en Cámara de Carga a través de una ⁹cámara Domo de seguridad desde ¹⁰“Sala de Control” de la “C. H. Carhuaquero” y regula la generación de energía (aumentándola o disminuyéndola) hasta que el nivel del embalse de Cámara de Carga tenga su nivel normal de operación.

El diseño de este sistema plantea una solución a la falla existente en la Central Hidroeléctrica “Caña Brava”, utilizando los recursos de la infraestructura y la automatización existente, rehabilitando el control autónomo de la Generación de energía.

⁷ Regula la generación de energía según nivel de embalse.

⁸ Personal que tiene a cargo el despacho de la generación de energía.

⁹ Cámara de seguridad que tiene capacidad de girar.

¹⁰ Sala donde se puede controlar y monitorear de manera remota las C.H.



1.2. JUSTIFICACIÓN

Duke Energy Perú, subsidiaria de Duke Energy International (DEI), empresa que forma parte de Duke Energy Corporation y que cuenta con operaciones en Argentina, Chile, Brasil, Ecuador, El Salvador, Guatemala y en Perú como “Duke Energy Egenor S. en C. por A.” Empresa dedicada a la generación y comercialización de energía eléctrica, así como la realización de otras actividades relacionadas con el sector energético, cuenta con dos Centrales Hidroeléctricas, Cañón del Pato y Carhuaquero, esta última está ubicada en la provincia de Chota, región Cajamarca y cuenta con una potencia efectiva de 111 Mw, incluidas en las pequeñas Centrales Hidroeléctricas Carhuaquero IV y ¹¹Caña Brava (Carhuaquero V), estas dos últimas certificadas como 100% limpias por utilizar fuentes eficientes, renovables y responsables [13]

Con la implementación de este proyecto se podrá retomar el control autónomo de la generación de energía de la C.H. “Caña Brava”, lo que implicaría que el Operador deje de regular de manera manual la potencia entregada por C.H. “Caña Brava” basándose en el nivel de embalse que observa através de la Cámara domo de seguridad ubicada en la parte superior de Cámara de Carga, aumentando así la eficiencia de la C.H. “Caña Brava” y disminuyendo las Salidas forzadas de esta central por falla regulación manual, siendo estas últimas las más perjudiciales porque no solo implican una desconexión abrupta de la C.H. “Caña Brava”, que conlleva a un desgaste y degradación del el generador por parada/arranque, sino por las ¹²sanciones que estas Salidas forzadas

¹¹ Central Hidroeléctrica “Caña Brava”, común mente conocida por los trabajadores de Duke Energy como Carhuaquero V, por ser la 5ta Turbina Hidráulica de generación que supervisan y controlan desde Sala de Control de la C.H.Carhuaquero.

¹² Sanción económicas que de penden de las horas de indisponibilidad, Canon del agua, Costo de sólidos en suspensión, costo marginal y potencia de la Central[15].



implican impuestos por el COES (Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional) también se logra aumentar la eficiencia de esta central lo que implica mayor cantidad de energía entregada al SEIN (Sistema Eléctrico Interconectado Nacional) mediante la Línea de Transmisión ¹³LT-2240 y un mejor uso del recurso hídrico.

¹³ Las líneas de Transmisión sirven para conectar a las centrales de generación eléctrica y las líneas de distribución [2]



1.3. OBEJTIVOS

1.3.1. OBJETIVOS GENERAL

Diseñar e implementar un sistema de transmisión del nivel de Cámara de Carga con módulos de ADC para optimizar el control autónomo de la Generación de energía en la Central Hidroeléctrica “Caña Brava” – Cajamarca.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1.-Estudiar la realidad de la Central Hidroeléctrica “Caña brava”, para conocer su funcionamiento.
- 2.-Analizar la falla en la transmisión del nivel de Cámara de Carga hasta Casa de Maquinas de la C.H. “Caña Brava”, esto nos permitirá elegir la tecnología adecuada para para el Sistema de transmisión del nivel de Cámara de carga.
- 3.-Diseñar un sistema de transmisión de nivel de cámara de carga para conocer su dimensionamiento.
- 4.-Construir módulos ADC, que nos permita conocer, procesar y transmitir el nivel de embalse real en Cámara de Carga en la C.H. “Caña Brava”.
- 5.-Construir un prototipo de Sistema de transmisión de nivel de cámara de carga.



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA ELECTRONICA

Capítulo 2

MARCO TEORICO



2.1.PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES.

Es la manipulación matemática de una señal de información para modificarla o mejorarla en algún sentido. Este está caracterizado por la representación en el dominio del tiempo discreto, en el dominio frecuencia discreta, u otro dominio discreto de señales por medio de una secuencia de números o símbolos y el procesamiento de esas señales. [3]

2.1.1. CLASIFICACIÓN DE LAS SEÑALES

Los métodos que usamos en el procesamiento de una señal o en el análisis de la respuesta de un sistema a una señal dependen fuertemente de las características de la señal en particular.

a) SEÑALES MULTICANAL Y MULTIDIMENSIONALES.

Una señal se describe mediante una función de una o más variables independientes. El valor de la función (es decir, de la variable dependiente) puede ser un escalar real, una cantidad compleja o quizás un vector.

b) SEÑALES EN TIEMPO CONTINUO VS SEÑALES EN TIEMPO DISCRETO.

Las señales se pueden clasificar en cuatro categorías diferentes dependiendo de las características de la variable (independiente) tiempo y de los valores que esta puede tomar.



Las **señales en tiempo continuo** o **señales analógicas** están definidas para todos los valores del tiempo y pueden tomar cualquier valor en el intervalo continuo (a,b) , donde “a” puede ser $-\infty$ y “b” puede ser ∞ . La onda de voz y la señal $x_1(t) = \cos \pi t$, $-\infty < t < \infty$ son ejemplos de señales analógicas.

Las **señales en tiempo discreto** están definidas solo para ciertos valores del tiempo. Estos instantes del tiempo no necesitan ser equidistantes, aunque en la práctica se toman normalmente instantes equiespaciados conforme a intereses computacionales y matemáticos.

c) SEÑALES CONTINUAS VS SEÑALES DISCRETAS.

El valor de una señal, en tiempo continuo o discreto, puede ser continuo o discreto. Si una señal toma todos los valores posibles en un intervalo tanto finito como infinito, se dice que es continua.

Por el contrario, si toma valores de un conjunto finito de valores se dice que es discreta. Normalmente, estos valores son equidistantes y por tanto pueden expresarse como un múltiplo de la distancia entre dos valores sucesivos. Una señal en tiempo discreto, que toma valores en un conjunto discreto se denomina señal digital.

d) SEÑALES DETERMINANTES VS SEÑALES ALEATORIAS.

El análisis matemático y el procesamiento de señales requieren que la señal sea descrita matemáticamente. Esta descripción matemática, normalmente denominada modelo matemático,



conduce a otra importante clasificación de las señales. Cualquier señal que pueda ser definida por una forma matemática explícita, un conjunto de datos o una regla bien definida se denomina determinista. Este término se usa para resaltar el hecho de que valores de la señal tanto presentes como pasados o futuros, se conocen exactamente, sin incertidumbre.

2.1.2. CONVERSION ANALOGA-DIGITAL Y DIGITAL-ANALOGA.

La mayoría de las señales de interés práctico, señales de voz, biológicas, sísmicas, radar, sonar y de distintos tipos de comunicación, como las señales de audio y video, son analógicas. Para procesar señales analógicas por medios digitales es necesario convertirlas a formato digital, esto es, transformarlas en una secuencia de números de precisión finita. Este procesamiento se denomina conversión analógico-digital (A/D) y los dispositivos correspondientes conversores A/D (ADCs).

Conceptualmente, podemos ver la conversión A/D como un proceso en tres pasos.

a) MUESTREO.

Esta es la conversión de una señal en tiempo continuo a una señal en tiempo discreto obtenida tomando “muestras” de la señal en tiempo continuo en instantes de tiempo discreto.



b) CUATIFICACION.

Esta es la conversión de una señal en tiempo discreto con valores continuos a una señal en tiempo discreto con valores discretos (señal digital). El valor de cada muestra de la señal se representa mediante un valor seleccionado de un conjunto finito de valores posibles.

c) CODIFICACION.

En la codificación, a cada nivel de cuantificación se le asigna un código binario distinto, con lo cual ya tenemos la señal codificada y lista para ser transmitida.

2.2. TRASMISIÓN DE DATOS.

Transmisión de datos, transmisión digital o comunicaciones digitales es la transferencia física de datos (un flujo digital de bits) por un canal de comunicación punto a punto o punto a multipunto. Ejemplos de estos canales son cables de par trenzado, fibra óptica, los canales de comunicación inalámbrica y medios de almacenamiento. Los datos se representan como una señal electromagnética, una señal de tensión eléctrica, ondas radioeléctricas, microondas o infrarrojos.

2.2.1. TRANSMISION ANALOGA

La transmisión analógica que datos consiste en el envío de información en forma de ondas, a través de un medio de transmisión físico. Los datos se transmiten a través de una onda portadora: una onda simple cuyo único objetivo es transportar datos modificando una de sus características (amplitud, frecuencia o fase). Por este



motivo, la transmisión analógica es generalmente denominada **transmisión de modulación de la onda portadora**. Se definen tres tipos de transmisión analógica, según cuál sea el parámetro de la onda portadora que varía:

- Transmisión por modulación de la amplitud de la onda portadora
- Transmisión a través de la modulación de frecuencia de la onda portadora
- Transmisión por modulación de la fase de la onda portadora

2.2.2. TRANSMISION DIGITAL

La transmisión digital consiste en el envío de información a través de medios de comunicaciones físicos en forma de señales digitales. Por lo tanto, las señales analógicas deben ser digitalizadas antes de ser transmitidas.

Sin embargo, como la información digital no puede ser enviada en forma de 0 y 1, debe ser codificada en la forma de una señal con dos estados, por ejemplo:

- Dos niveles de voltaje con respecto a la conexión a tierra.
- La diferencia de voltaje entre dos cables.
- La presencia/ausencia de corriente en un cable.
- La presencia/ausencia de luz.

Esta transformación de información binaria en una señal con dos estados se realiza a través de un DCE, también conocido como



decodificador de la banda base: es el origen del nombre transmisión de la banda base que designa a la transmisión digital.

2.2.3. MEDIOS DE TRANSMISIÓN INDUSTRIAL.

Lo que se busca en la comunicación industrial, es mayor información transmitida a mayor velocidad de transmisión. Por lo que la demanda de mejores características para los medios de transmisión es mayor. Esto es particularmente cierto para las redes industriales de comunicación, en donde las condiciones distan mucho de ser ideales debido a las posibles interferencias de máquinas eléctricas y otros. Por esta razón el mejor medio de transmisión depende mucho de la aplicación.

Algunos de los más habituales medios de transmisión son:

a) CABLES TRENZADOS

El cable de par trenzado consiste en dos alambres de cobre aislados que se trenzan de forma helicoidal, como una molécula de ADN.

b) CABLES COAXIALES.

El **cable coaxial**, **coaxcable** o **coax**, creado en la década de 1930, es un cable utilizado para transportar señales eléctricas de alta frecuencia que posee dos conductores concéntricos, uno central, llamado vivo, encargado de llevar la información, y uno exterior, de aspecto tubular, llamado malla, blindaje o trenza, que sirve como referencia de tierra y retorno de las corrientes.



c) FIBRA OPTICA.

La **fibra óptica** es un medio de transmisión, empleado habitualmente en redes de datos, consistente en un hilo muy fino de material transparente, vidrio o materiales plásticos, por el que se envían pulsos de luz que representan los datos a transmitir. El haz de luz queda completamente confinado y se propaga por el interior de la fibra con un ángulo de reflexión por encima del ángulo límite de reflexión total, en función de la ley de Snell. La fuente de luz puede ser láser o un led.

Las fibras se utilizan ampliamente en telecomunicaciones, ya que permiten enviar gran cantidad de datos a una gran distancia, con velocidades similares a las de radio y superiores a las de cable convencional. Son el medio de transmisión por excelencia, al ser inmune a las interferencias electromagnéticas, y también se utilizan para redes locales donde se necesite aprovechar las ventajas de la fibra óptica por sobre otros medios de transmisión.

2.2.4. MODOS DE TRANSMISIÓN

a) TRANSMISIÓN PARALELO

La transmisión de datos entre ordenadores y terminales mediante cambios de corriente o tensión por medio de cables o canales; la transferencia de datos es en paralelo si transmitimos un grupo de bits sobre varias líneas o cables.



b) TRANSMISION EN SERIE.

En este tipo de transmisión los bits se trasladan uno detrás del otro sobre una misma línea, también se transmite por la misma línea, este tipo de transmisión se utiliza a medida que la distancia entre los equipos aumenta a pesar que es más lenta que la transmisión paralelo y además menos costosa. Los transmisores y receptores de datos serie son más complejos debido a la dificultad en transmitir y recibir señales a través de cables largos.

2.3.INTERFAZ FÍSICA INDUSTRIAL

Para elegir una interfaz física se toma en cuenta la confiabilidad de transmisión y los costos, por lo tanto a pesar de las altas velocidades de transmisión que se puede obtener con una interfaz paralela, su instalación es muy costosa. Por esta razón la interfaz estándar para el campo industrial es la serie. Los bajos costos de la instalación, líneas más largas y transmisión más segura, compensan las menores velocidades de transmisión.

Algunas interfaces tipo serie que se pueden encontrar en el campo industrial son RS-232 y RS-485, si bien existen otras.

2.3.1. INTERFAZ RS-232.

Eléctricamente el sistema está basado en pulsos positivos y negativos de 12 voltios, en los cuales los datos son codificados sobre cable “multifilar”.



2.3.2. INTERFAZ RS-485

Esta interfaz permite que actúen hasta 32 dispositivos en calidad de transmisores o receptores, los cuales pueden ser conectados a un cable de dos hilos, es decir a una verdadera operación de bus. El direccionamiento y respuesta a los comandos debe ser resuelta por el software. La máxima longitud de las líneas de transmisión para esta interfaz varía entre 1200 metros a una velocidad de 93,75 kb/s hasta 2000 metros a una velocidad de 500 kbps.

2.3.3. FIBRA OPTICA

La **fibra óptica** es un medio de transmisión, empleado habitualmente en redes de datos, consistente en un hilo muy fino de material transparente, vidrio o materiales plásticos, por el que se envían pulsos de luz que representan los datos a transmitir. El haz de luz queda completamente confinado y se propaga por el interior de la fibra con un ángulo de reflexión por encima del ángulo límite de reflexión total, en función de la ley de Snell. La fuente de luz puede ser láser o un led.

Las fibras se utilizan ampliamente en telecomunicaciones, ya que permiten enviar gran cantidad de datos a una gran distancia, con velocidades similares a las de radio y superiores a las de cable convencional. Son el medio de transmisión por excelencia, al ser inmune a las interferencias electromagnéticas, y también se utilizan para redes locales donde se necesite aprovechar las ventajas de la fibra óptica por sobre otros medios de transmisión.



a) FUNCIONAMIENTO

Los principios básicos de su funcionamiento se justifican aplicando las leyes de la óptica geométrica, principalmente, la ley de la refracción (principio de reflexión interna total) y la ley de Snell.

Su funcionamiento se basa en transmitir por el núcleo de la fibra un haz de luz, tal que este no atraviese el revestimiento, sino que se refleje y se siga propagando. Esto se consigue si el índice de refracción del núcleo es mayor al índice de refracción del revestimiento, y también si el ángulo de incidencia es superior al ángulo límite.

b) TIPOS DE FIBRA.

Las diferentes trayectorias que puede seguir un haz de luz en el interior de una fibra se denominan modos de propagación. Y según el modo de propagación tendremos dos tipos de fibra óptica: multimodo y monomodo.

b.1) FIBRA MONOMODO.

Una fibra monomodo es una fibra óptica en la que sólo se propaga un modo de luz. Se logra reduciendo el diámetro del núcleo de la fibra hasta un tamaño (8,3 a 10 micrones) que sólo permite un modo de propagación. Su transmisión es paralela al eje de la fibra. A diferencia de las fibras multimodo, las fibras monomodo permiten alcanzar grandes distancias (hasta 400 km máximo, mediante un láser de alta intensidad) y transmitir elevadas tasas de información (decenas de Gbit/s).



b.2) FIBRA MULTIMODO.

Una fibra multimodo es aquella en la que los haces de luz pueden circular por más de un modo o camino. Esto supone que no llegan todos a la vez. Una fibra multimodo puede tener más de mil modos de propagación de luz. Las fibras multimodo se usan comúnmente en aplicaciones de corta distancia, menores a 2 km, es simple de diseñar y económico.

c) COMPONENTES DE LA FIBRA OPTICA.

Dentro de los componentes que se usan en la fibra óptica caben destacar los siguientes: los conectores, el tipo de emisor del haz de luz, los conversores de luz, etc. Transmisor de energía óptica. Lleva un modulador para transformar la señal electrónica entrante a la frecuencia aceptada por la fuente luminosa, la cual convierte la señal electrónica (electrones) en una señal óptica (fotones) que se emite a través de la fibra óptica.

Detector de energía óptica. Normalmente es un fotodiodo que convierte la señal óptica recibida en electrones (es necesario también un amplificador para generar la señal). Su componente es el silicio y se conecta a la fuente luminosa y al detector de energía óptica. Dichas conexiones requieren una tecnología compleja.



d) TIPOS DE CONECTORES.

Estos elementos se encargan de conectar las líneas de fibra a un elemento, ya puede ser un transmisor o un receptor. Los tipos de conectores disponibles son muy variados, entre los que podemos encontrar se hallan los siguientes:

- **FC.**

Que se usa en la transmisión de datos y en las telecomunicaciones.

- **FDDI.**

Se usa para redes de fibra óptica.

- **LC y MT-Array.**

Que se utilizan en transmisiones de alta densidad de datos.

- **SC y SC-Dúplex.**

Se utilizan para la transmisión de datos.

- **ST o BFOC**

Se usa en redes de edificios y en sistemas de seguridad.

e) EMISORES DE HAZ DE LUZ.

Estos dispositivos se encargan de convertir la señal eléctrica en señal luminosa, emitiendo el haz de luz que permite la transmisión de datos, estos emisores pueden ser de dos tipos:



- **LEDs.**

Utilizan una corriente de 50 a 100 mA, su velocidad es lenta, solo se puede usar en fibras multimodo, pero su uso es fácil y su tiempo de vida es muy grande, además de ser económicos.

- **LÁSERES.**

Este tipo de emisor usa una corriente de 5 a 40 mA, son muy rápidos, se puede usar con los dos tipos de fibra, monomodo y multimodo, pero por el contrario su uso es difícil, su tiempo de vida es largo pero menor que el de los LEDs y también son mucho más costosos.

f) CONVERSORES DE LUZ-CORRIENTE ELÉCTRICA.

Este tipo de dispositivos convierten las señales luminosas que proceden de la fibra óptica en señales eléctricas. Se limitan a obtener una corriente a partir de la luz modulada incidente, esta corriente es proporcional a la potencia recibida, y por tanto, a la forma de onda de la señal moduladora.

Se fundamenta en el fenómeno opuesto a la recombinación, es decir, en la generación de pares electrón-hueco a partir de los fotones. El tipo más sencillo de detector corresponde a una unión semiconductor P-N. Las condiciones que debe cumplir un foto detector para su utilización en el campo de las comunicaciones, son las siguientes:

- La corriente inversa (en ausencia de luz) debe ser muy pequeña, para así poder detectar señales ópticas muy débiles (alta sensibilidad).



- Rapidez de respuesta (gran ancho de banda).
- El nivel de ruido generado por el propio dispositivo ha de ser mínimo.

g) VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA FIBRA ÓPTICA.

- Una banda de paso muy ancha, lo que permite flujos muy elevados (del orden del Ghz).
- Pequeño tamaño, por lo tanto ocupa poco espacio.
- Gran flexibilidad, el radio de curvatura puede ser inferior a 1 cm, lo que facilita la instalación enormemente.
- Gran ligereza, el peso es del orden de algunos gramos por kilómetro, lo que resulta unas nueve veces menos que el de un cable convencional.
- Inmunidad total a las perturbaciones de origen electromagnético, lo que implica una calidad de transmisión muy buena, ya que la señal es inmune a las tormentas.
- Gran seguridad: la intrusión en una fibra óptica es fácilmente detectable por el debilitamiento de la energía lumínica en recepción, además, no radia nada, lo que es particularmente interesante para aplicaciones que requieren alto nivel de confidencialidad.
- No produce interferencias.
- Insensibilidad a los parásitos, lo que es una propiedad principalmente utilizada en los medios industriales fuertemente perturbados (por ejemplo, en los túneles del metro). Esta propiedad también permite la coexistencia por los mismos conductos de cables ópticos no metálicos con los cables de energía eléctrica.



- Atenuación muy pequeña independiente de la frecuencia, lo que permite salvar distancias importantes sin elementos activos intermedios. Puede proporcionar comunicaciones hasta los 70 km. antes de que sea necesario regenerar la señal, además, puede extenderse a 150 km. utilizando amplificadores láser.
- Gran resistencia mecánica (resistencia a la tracción, lo que facilita la instalación).
- Resistencia al calor, frío, corrosión.
- Facilidad para localizar los cortes gracias a un proceso basado en la telemetría, lo que permite detectar rápidamente el lugar y posterior reparación de la avería, simplificando la labor de mantenimiento.
- Con un coste menor respecto al cobre.



2.4. MICROCONTROLADORES PIC.

Un microcontrolador es un circuito integrado programable capaz de realizar cálculos con gran rapidez obedeciendo a un conjunto de instrucciones. En su interior posee los mismos elementos que una computadora digital, es decir, procesador central, memoria y dispositivo de entrada-salida y opcionalmente algunos dispositivos periféricos de auxilian al microcontrolador a cumplir la tarea para la que ha sido programado

Un microcontrolador tiene una *arquitectura cerrada* porque todos los elementos que necesita para funcionar están dentro del mismo chip. Los microcontroladores son de propósito específico pues una vez programados y configurados residen en el sistema que van a controlar y solo sirven para una tarea en particular a diferencia de los microcontroladores que son de propósito universal

Los microcontroladores son usados en diversas áreas como comunicaciones digitales, medicina, instrumentación científica, aparatos electrodomésticos, sistemas industriales, agricultura y un gran número de aplicaciones más. [9]

Resumiendo podemos decir que las principales características que diferencian a un microcontrolador de un microprocesador son:

- Los microcontroladores son sistemas cerrados, ya que contienen todos los elementos de una computadora en un solo chip, frente a los microprocesadores que son sistemas abiertos, ya que sacan las líneas a los buses de datos, direcciones y control exterior, para la conexión de memorias, interfaces de E/S, etc.



- Los microcontroladores son de propósito específico, es decir, son programados para realizar una única tarea, mientras que los microprocesadores son de propósito general.

2.4.1. ARQUITECTURA GENERAL DE LOS MICROCONTROLADORES PIC.

La arquitectura de una computadora se refiere a las características de los elementos que la conforman, la manera en que interactúan y la forma en que se interconectan para que la información viaje entre sus unidades funcionales.

a) ARQUITECTURA VON NEUMAN.

John Von Neumann (28 de diciembre de 1903 - 8 de febrero de 1957) propuso el modelo que se aplica a la mayoría de la computadoras digitales y en honor a él lleva su nombre. Para que una computadora pueda realizar una tarea debe seguir una serie de instrucciones a las que conocemos como programa. El programa se guarda en una memoria no volátil de sólo lectura, es decir, que no pierde la información aunque se apague la computadora. De manera general, la arquitectura Von Neumann figura 3.1 posee sólo una memoria principal dónde se almacenan datos e instrucciones. En un microcontrolador esto no es del todo cierto ya que en un microcontrolador sólo hay un programa activo y no es necesario copiarlo a la memoria principal. El programa suele ser almacenado en una memoria de tipo no volátil o ROM que comparte el espacio de direcciones y por tanto las líneas de control y dirección con la memoria de datos RAM para formar un sólo espacio de direcciones como si se tratara de un bloque de memoria único.

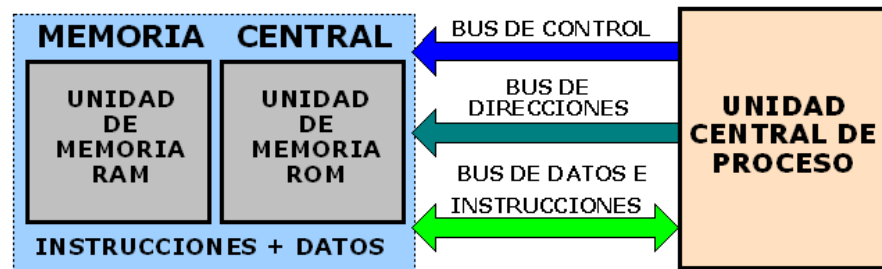


Figura 2.1: Arquitectura Von Neumann

La Unidad Central de Proceso accede a la memoria de instrucciones y a la memoria de datos a través de un mismo conjunto de alambres llamado bus de datos e instrucciones. Compartir el bus para datos e instrucciones tiene ventajas y desventajas, entre ellas podemos comentar:

- No puede accederse a una instrucción y a un dato al mismo tiempo ya que comparten la misma línea o bus. Esto trae en consecuencia que la ejecución de un programa se realice en mayor tiempo.
- La longitud de la palabra para representar una instrucción o un dato, así como la longitud del bus por el que viajan es del mismo tamaño. Si los códigos de operación necesitan más bits para representarse que los datos, entonces deben ser almacenados en dos o más partes, lo que implica que habrá que hacerse más ciclos de lectura sobre la memoria de instrucciones haciendo la ejecución del programa más lenta.

En el momento histórico en que fue presentado se adoptó sobre otras arquitecturas al grado de convertirse en la arquitectura tradicional ya que era más fácil y económica de construir comparada con una arquitectura Harvard. [9]

b) ARQUITECTURA HARVARD.

Para optimizar el trabajo de un microprocesador podemos recurrir a diversas técnicas de diseño. Una de ellas es aumentar la frecuencia de reloj para así ejecutar más instrucciones por unidad de tiempo, pero muchas de las operaciones que una computadora realiza son de lectura y escritura a unidades de memoria que suelen ser mucho más lentas que el microprocesador, por lo que la CPU estará ociosa durante mucho tiempo esperando a que el dato o la instrucción estén listos para ser procesados. Una solución sería hacer unidades de memoria que fueran tan rápidas como el microprocesador pero el costo del sistema tendería a aumentar. Otra solución considera usar más de una CPU en diferentes arreglos para aumentar el rendimiento, pero esta solución sigue influyendo en el precio final del sistema por lo que el uso de alguna de estas opciones tiene que justificarse según las necesidades de la aplicación donde serán montados. Una tercera alternativa está en modificar el cómo viajan las instrucciones y los datos de las unidades de memorias a la CPU. Si podemos hacer que viajen por caminos separados es posible, con el diseño de hardware apropiado, acceder a la memoria de instrucciones y a la memoria de datos al mismo tiempo. Esta propuesta se conoce como arquitectura Harvard.

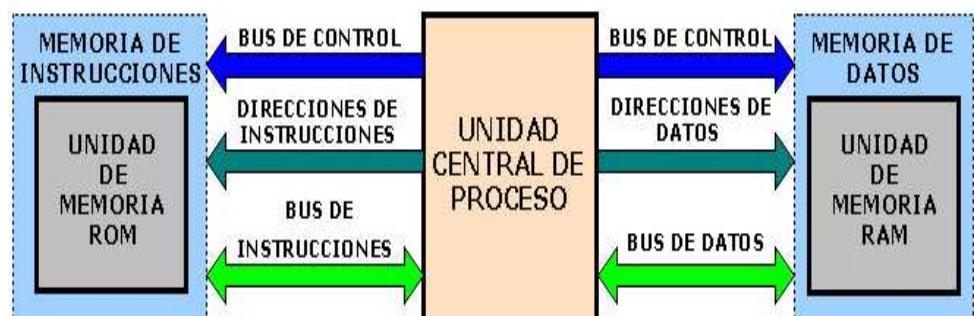


Figura 2.2: Arquitectura Harvard



La arquitectura Harvard fue desarrollada en la Universidad de Harvard en 1944 por Howard Aiken. Fue implementada en la IBM Automatic Sequence Controlled Calculator (ASCC) también llamada Mark I, una computadora electromecánica. La Mark I era programada a través de un panel de interruptores y los datos eran introducidos en un módulo lector de tarjetas perforadas. Tener buses independientes para la memoria de datos y la memoria de instrucciones tiene ventajas sobre la arquitectura Von Neumann:

- El acceso a cada memoria puede ser simultáneo y a través de buses independientes por lo que se reduce el tiempo que la CPU emplea en acceder a las unidades de memoria.
- El número de bits que forman los buses de datos e instrucciones pueden ser de diferente tamaño. Lo que implica que los códigos de operación pueden ser optimizados para que ocupen sólo una localidad de memoria, reduciendo los ciclos de lectura para obtener una instrucción o un dato.

Una versión diferente de esta arquitectura es llamada arquitectura Harvard modificada y consiste en colocar una pequeña cantidad de memoria muy rápida entre la memoria de datos y la CPU, donde se colocarán los datos que son más frecuentemente utilizados. Con esto se logra disminuir el tiempo que la CPU tiene que esperar por un ciclo de lectura o escritura a la memoria. Esta pequeña memoria se llama CACHE y lo mismo se hace entre la memoria de instrucciones y la CPU. Los



microcontroladores PIC y los nuevos modelos de microcontroladores como los DsPIC®1 de Microchip incorporan la arquitectura Harvard modificada. [9]

2.4.2. CARACTERISTICAS ESPECIALES DEL PROCESADOR.

a) ALIMENTACION ELÉCTRICA.

Un microcontrolador funciona con una alimentación eléctrica de 5V, como todos los circuitos integrados de la familia TTL. Los microcontroladores PIC tienen dispuestos al menos dos terminales para la alimentación eléctrica, una que se conecta al voltaje positivo (5V) y otra tierra.

b) EL OSCILADOR PRINCIPAL.

Los circuitos digitales emplean una señal que permite la sincronización de los procesos dentro del sistema. Esta señal es conocida comúnmente como señal reloj. Por lo general, para generar la señal de reloj el oscilador principal necesita de elementos externos que permitirán fijar la velocidad de trabajo. Estos elementos se conectan a dos terminales nombradas como OCS1/CLKIN y OSC2/CLKOUT.

c) MEMORIA DE USUARIO.

La memoria de usuario es una zona especial en la memoria de instrucciones que sólo puede ser accedida durante la programación del microcontrolador.



d) INTERRUPCIONES

La mayoría de los microcontroladores permiten fuentes de interrupción. Una interrupción suspende la ejecución normal de programa para dirigir el flujo a una sección especial de código llama Rutina de Servicio a la Interrupción.

2.4.3. GAMA DE MICROCONTROLADORES PIC

Se pueden separar en 3 gamas principales:

a) GAMA BAJA

La familia enana es conocida así porque sus encapsulados son de 6 u 8 terminales. Está formado por los microcontroladores PIC 10F y 12F. Son los modelos más básicos de microcontroladores PIC, son usados en aplicaciones que requieren bajo consumo de potencia, pocas terminales y un tamaño reducido. [9]

b) GAMA MEDIA

Existen varios modelos en la familia media, pero en particular son cuatro los más usados en la enseñanza de la programación de microcontroladores PIC, los modelos PIC16F84A, PIC16F628, PIC16F877A y PIC16F887. Esta es una de las gamas más amplias en cuanto a modelos, por lo que los recursos que implementan son muy bastos. En particular nos centraremos en comentar las principales



características de la familia media más que en las características de algún modelo en particular. Los códigos de operación tienen una longitud de 14 bits para formar un juego 35 instrucciones. El tamaño de la memoria de instrucciones varía dependiendo del modelo en 1, 2, 4 u 8 K Words. La pila tiene 8 niveles y aceptan diferentes fuentes de interrupción. La memoria de datos EEPROM va desde 64 a 128 y 256 Bytes. Todos los modelos de la familia media pueden alcanzar una frecuencia máxima de operación de 20MHz. [9]

c) GAMA ALTA

La gama alta envuelve a los miembros de la familia 17F. Los códigos de operación tienen una longitud de 16 bits para formar un juego 58 instrucciones. Todos los modelos de la familia alta pueden alcanzar una frecuencia máxima de operación de 20MHz. [9]



2.5. CENTRALES HIDROELECTRICAS.

Una central hidroeléctrica es una instalación que permite aprovechar las masas de agua en movimiento que circulan por los ríos para transformarlas en energía eléctrica, utilizando turbinas acopladas a los alternadores [12].

2.5.1. TIPOS DE CENTRALES HIDROELÉCTRICA.

Pueden ser clasificadas según varios argumentos, como características técnicas, peculiaridades del asentamiento y condiciones de funcionamiento.

- **CENTRALES DE AGUA FLUYENTE.**

En este caso no existe embalse, el terreno no tiene mucho desnivel y es necesario que el caudal del río sea lo suficientemente constante como para asegurar una potencia determinada durante todo el año. Durante la temporada de precipitaciones abundantes, desarrollan su máxima potencia y dejan pasar agua excedente. En cambio, durante la época seca, la potencia disminuye en función del caudal, llegando a ser casi nulo en algunos ríos en verano.

- **CENTRALES DE EMBALSE.**

Mediante la construcción de una o más presas que forman lagos artificiales donde se almacena un volumen considerable de agua por encima de las turbinas.



El embalse permite graduar la cantidad de agua que pasa por las turbinas. Con el embalse puede producirse energía eléctrica durante todo el año aunque el río se seque completamente durante algunos meses, cosa que sería imposible con una central de agua fluyente.

Estas centrales exigen, generalmente, una inversión de capital más grande que la de agua fluyente. Dentro de estos tipos existen dos variantes de centrales:

a). CENTRALES A PIE DE PRESA.

En un tramo de río con un desnivel apreciable se construye una presa de una altura determinada. La sala de turbinas está situada después de la presa.

b). CENTRALES POR DERIVACION DE LAS AGUAS.

Las aguas del río son desviadas mediante una pequeña presa y son conducidas mediante un canal con una pérdida de desnivel tan pequeña como sea posible, hasta un pequeño depósito llamado **cámara de carga o de presión**. De esta sala arranca una tubería forzada que va a parar a la sala de turbinas. Posteriormente, el agua es devuelta río abajo, mediante un canal de descarga. Se consiguen desniveles más grandes que en las centrales a pie de presa.



2.5.2. PARTES DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

- **TUBERÍA FORZADA Y O CANAL.**

La tubería forzada o canal es el medio por el cual el agua se conduce desde el lugar donde se esté embalsando hasta las Casa de Maquinas o Casa de Fuerza.

- **PRESA.**

Es la que se encarga de contener el agua de un río y almacenarla en un embalse.

- **TURBINA HIDRÁULICA.**

Las turbinas hidráulicas son el elemento fundamental para el aprovechamiento de la energía en las centrales hidráulicas. Transforman en energía mecánica la energía cinética (fruto del movimiento) de una corriente de agua.

Su componente más importante es el rotor, que tiene una serie de palas que son impulsadas por la fuerza producida por el agua en movimiento, haciéndolo girar.

- **GENERADOR.**

Un generador es una máquina eléctrica rotativa que transforma energía mecánica en energía eléctrica. Lo consigue gracias a la interacción de los dos elementos principales que lo



componen: la parte móvil llamada rotor, y la parte estática que se denomina estator.

Cuando un generador eléctrico está en funcionamiento, una de las dos partes genera un flujo magnético (actúa como inductor) para que el otro lo transforme en electricidad (actúa como inducido).

- **TRANSFORMADOR.**

Un transformador es una máquina estática de corriente alterna, que permite variar alguna función de la corriente como el voltaje o la intensidad, manteniendo la frecuencia y la potencia, en el caso de un transformador ideal.

Para lograrlo, transforma la electricidad que le llega al devanado de entrada en magnetismo para volver a transformarla en electricidad, en las condiciones deseadas, en el devanado secundario. La importancia de los transformadores, se debe a que, gracias a ellos, ha sido posible el desarrollo de la industria eléctrica. Su utilización hizo posible la realización práctica y económica del transporte de energía eléctrica a grandes distancias. Los Transformadores de potencia son transformadores de elevación o reducción, es decir, elevadores o reductores, con un número de espiras que puede variarse según la necesidad. Este número de espiras se puede modificar siempre y cuando el transformador no esté en marcha. Normalmente la diferencia entre valores es del 2,5% y sirve para poder ajustar el transformador a su puesto de trabajo.

Los transformadores son elementos muy utilizados en la red eléctrica, una vez generada la electricidad en el generador de las centrales, y antes de enviarla a la red, se utilizan los



transformadores elevadores para elevar la tensión y reducir así las pérdidas en el transporte producidas por el efecto Joule. Una vez transportada se utilizan los transformadores reductores para darle a esta electricidad unos valores con los que podamos trabajar.

- **RED ELÉCTRICA.**

La red eléctrica une todos los centros generadores de energía eléctrica con los puntos de consumo, de este modo se consigue un equilibrio entre la cantidad de energía consumida y la producida por las centrales eléctricas.

La red de transporte de energía eléctrica está formada por los elementos que llevan la electricidad desde los centros de generación hasta puntos cercanos donde se consume.

Para poder transportar la electricidad con las menores pérdidas de energía posibles se tiene que elevar su nivel de tensión.

Las líneas de transporte o líneas de alta tensión están constituidas por un elemento conductor (cobre o aluminio) y por los elementos de soporte (torres de alta tensión). Estas conducen la corriente eléctrica, una vez reducida su tensión hasta la red de distribución.

- **CASA DE MAQUINAS O TURBINAS.**

Construcción donde se sitúan las máquinas (turbinas, alternadores...) y elementos de regulación, monitoreo y control de la Central Hidroeléctrica.



2.5.3. FUNCIONAMIENTO DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

La presa, situada en el curso de un río, acumula artificialmente un volumen de agua para formar un embalse. Eso permite que el agua adquiera una energía potencial que después se transformará en electricidad. Para esto, la presa se sitúa aguas arriba, con una válvula que permite controlar la entrada de agua a la galería de presión; previa a una tubería forzada que conduce el agua hasta la turbina de la sala de máquinas de la central. El agua a presión de la tubería forzada va transformando su energía potencial en cinética (es decir, va perdiendo fuerza y adquiere velocidad). Al llegar a la sala de máquinas el agua actúa sobre los álabes de la turbina hidráulica, transformando su energía cinética en energía mecánica de rotación.

El eje de la turbina está unido al del generador eléctrico, que al girar convierte la energía rotatoria en corriente alterna de media tensión. El agua, una vez ha cedido su energía, es restituida al río aguas abajo de la central a través de un canal de descarga. [9]

2.5.4. VENTAJAS E INCONVENIENTES DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA.

Las ventajas de las centrales hidroeléctricas son:

- No necesitan combustibles y son limpias.
- Muchas veces los embalses de las centrales tienen otras utilidades importantes: el regadío, como protección contra las inundaciones o para suministrar agua a las poblaciones próximas.



- Tienen costes de explotación y mantenimientos bajos.
- Las turbinas hidráulicas son de fácil control y tienen unos costes de mantenimiento reducido.

En contra de estas ventajas podemos enumerar los inconvenientes siguientes:

- El tiempo de construcción es, en general, más largo que el de otros tipos de centrales eléctricas.
- La generación de energía eléctrica está influenciada por las condiciones meteorológicas y puede variar de estación a estación.
- Los costes de inversión por kilovatio instalado son elevados.
- En general, están situadas en lugares lejanos del punto de consumo y, por lo tanto, los costes de inversión en infraestructuras de transporte pueden ser elevados. [12]



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA ELECTRONICA

Capítulo 3

DISEÑO Y PROTOTIPO



3.1. PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN.

Conociendo la realidad problemática, conceptualmente se sabía que se tendría que captar una señal análoga convertirla en una señal digital para poder procesarla, hacer que esta señal viaje por un medio de transmisión (Fibra Óptica) y volver a convertirla en una señal análoga para poder ingresarla a la automatización existente.

3.1.1. LIMITACIONES O ALCANCE DE DISEÑO

Desde un inicio se sabía que la Cámara de Carga de la C.H. “Caña brava” contaba con la instalación de un sensor de nivel nuevo (sensor de nivel por presión hidrostática), que entrega una señal de 4 a 20 mA, consecuencia de los fallidos intentos de solucionar el problema de transmisión del nivel del embalse, por lo que se sabía que este será el rango de trabajo para el Sistema de Transmisión de Nivel, otro factor muy importante que tener en cuenta para este proyecto es que por ser una Central Hidroeléctrica moderna, y para mantener sus estándares de calidad, su comunicación (Cámara de Carga hasta Casa de Maquinas) es por medio de Fibra Óptica, lo que significa que tendremos que adaptar el Sistema de Transmisión de Nivel a este tipo de Comunicación.

Por último, Cámara de Carga cuenta con una ¹⁴Caseta Local, donde la tensión menor es de 24Vdc por lo que se tendrá que adecuar el sistema para ser alimentado con este nivel tensión.

¹⁴ En esta case se Controla la apertura de la compuerta de limpia, para los mantenimientos de Cámara da Carga.



3.2. DIAGRAMA DE BLOQUES

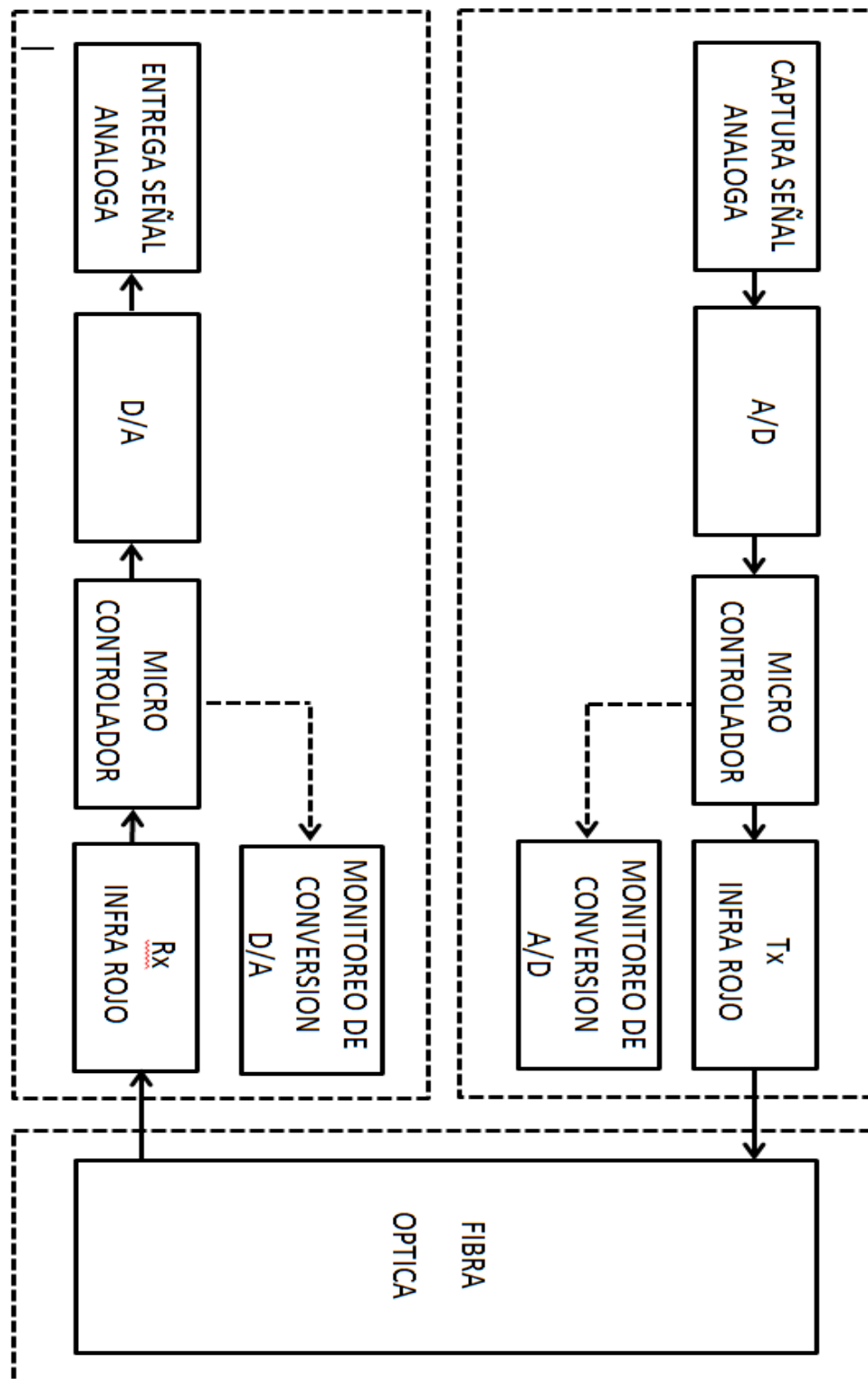


Figura 3.1: Diagrama de Bloques del Sistema de Transmisión de Nivel



3.2.1. CAPTURA DE SEÑAL Y ENTREGA DE SEÑAL

Como se mencionó en la etapa de consideraciones en Cámara de Carga se encuentra un sensor (Sensor de nivel por presión hidrostática) con el que obtenemos el nivel del embalse, este sensor nos entrega una señal en miliamperios con un rango de 4 a 20. Trabajaremos con tecnología TTL por lo que será necesario acondicionar estos 4-20 mA a 0-5 voltios mediante la aplicación de resistencias.

Como resultado de nuestro Sistemas de transmisión se tendrá que entregar la misma cantidad de miliamperios que se capte en etapa de captura de señal, o en su defecto una cantidad razonablemente aceptable.

3.2.2. CONVERSION ADC

Para efectos de tener una conversión estable y de amplia resolución usaremos conversores dedicados y superiores a los 10 bits.

3.2.3. MICROCONTROLADOR TX y RX

Los microcontroladores tendrán 2 funciones básicas:

- La primera será acondicionar las señales digitales (Tx y Rx) para poder ser transmitida en Trama de datos en serie.



- La segunda será habilitar un puerto para cuando sea necesario monitorear alguna anomalía en el sistema se pueda descartar si esta se encuentra en la etapa de Transmisión o Recepción.

3.2.4. TX Y RX ÓPTICOS

Una vez obtenida la trama de datos en serial para ser transmitida por la Fibra Óptica es necesario convertir los pulsos eléctricos en haz de luz infra rojo, lo que se lograra con transmisores ópticos y para la recepción óptica se usan receptores ópticos que convierten los haz de luz en pulsos eléctricos.

3.3. SELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE COMPONENTES.

Se tienen que seleccionar los componentes que se ajusten a nuestros requerimientos y rangos de operación.

3.3.1. CONVERTOR A/D - ADS7841.

Se ha seleccionado el ADS7841, puesto que cuenta con una resolución programable de 8 a 12 bits, por supuesto se usara la máxima resolución, 4 canales de entrada, lo que permitirá emplear canales de entrada, 1 principal y 1 auxiliar, el consumo de energía es bajo (15 uW), se encuentra disponible en encapsulados DIP-16, lo que permite usar bases para este tipo de circuito integrado y su fácil reemplazo en caso de deterioro. Su tensión de alimentación es de 5Vdc, lo que facilita usar solo una fuente de alimentación y soporta temperaturas de operación entre -40°C hasta 125°C.¹⁵

¹⁵ DataSheet del Componente.

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM

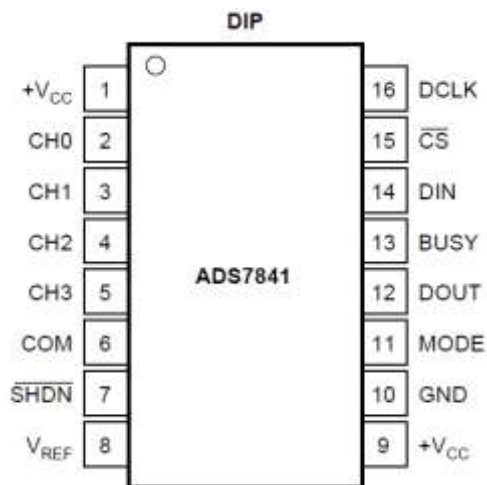
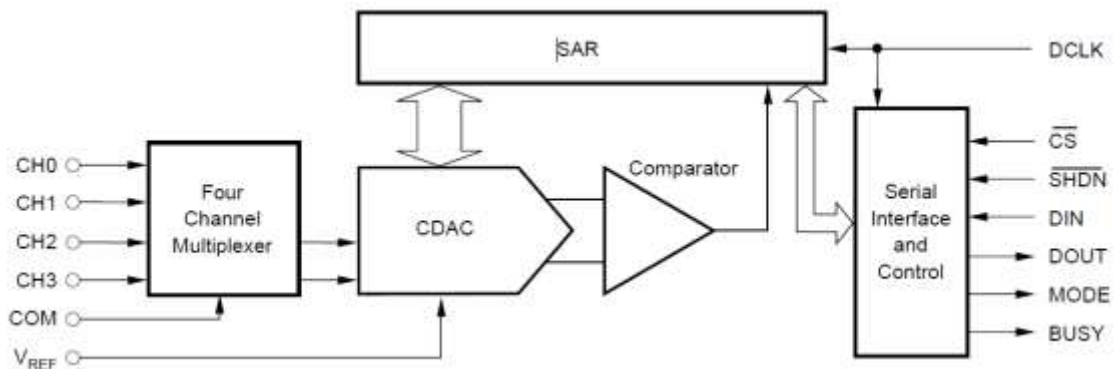


Figura 3.2: ADS 7841



3.3.2. CONVERTOR D/A – AD420

Se seleccionó para la conversión Digital/Análoga el AD 420 puesto que es un conversor de 16 bits de resolución, este conversor digital diseñado para satisfacer las necesidades del mercado de control industrial, proporciona una alta precisión en un solo chip, de bajo costo, el rango de corriente de salida puede ser programado para entregar de 4 a 20 mA ó 0 a 20 mA.

Se encuentra disponible en encapsulados DIP-24, lo que permite usar bases para este tipo de circuito integrado y su fácil reemplazo en caso de deterioro, su tensión de alimentación puede variar desde 12Vdc a 32Vdc lo que implicaría usar un regulador de tensión independiente para este componente y soporta temperaturas de operación entre -40°C hasta 85°C , los únicos componentes externos que se requieren, son dos condensadores cerámicos de bajo costo.¹⁶

¹⁶ DataSheet del Componente

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM

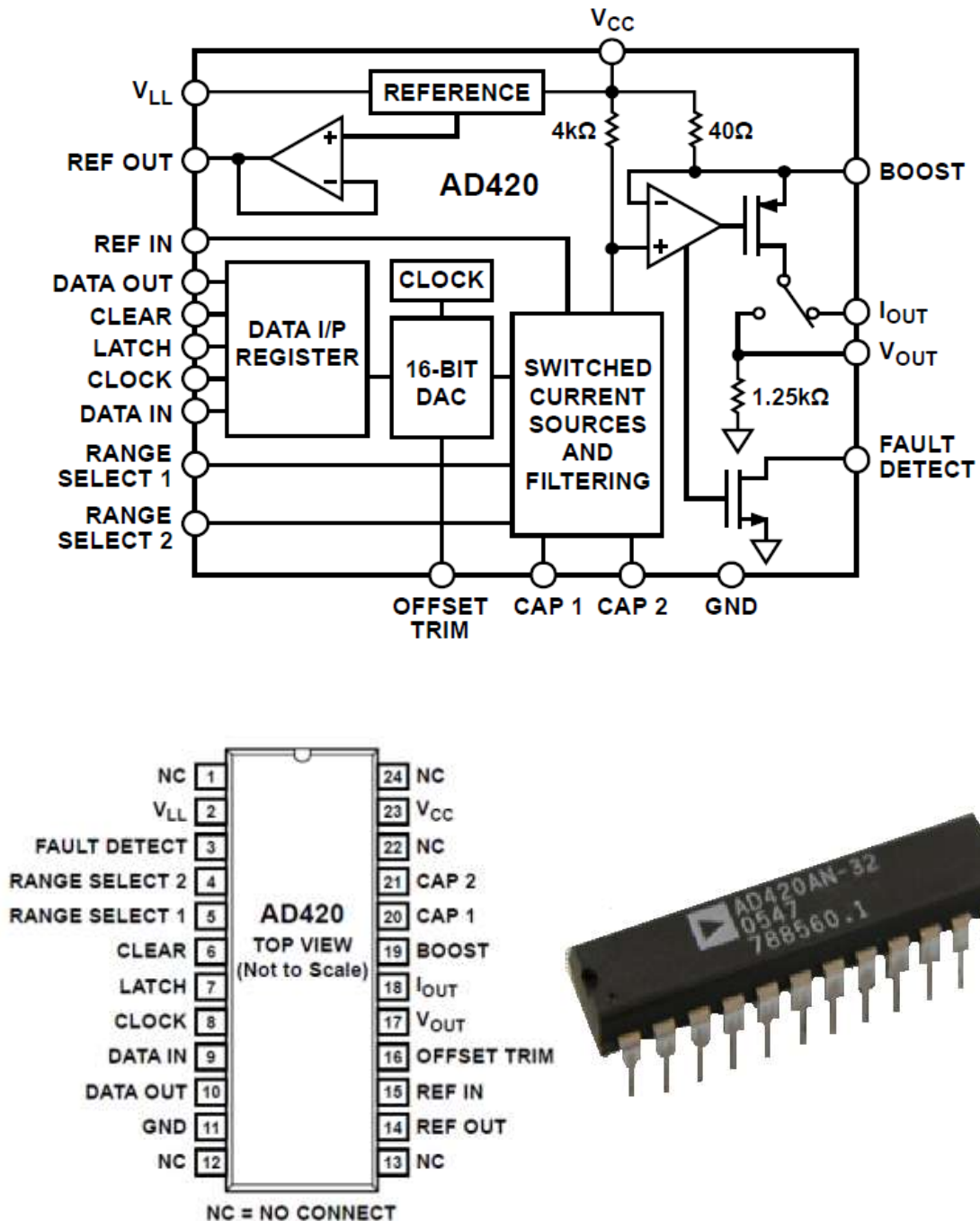


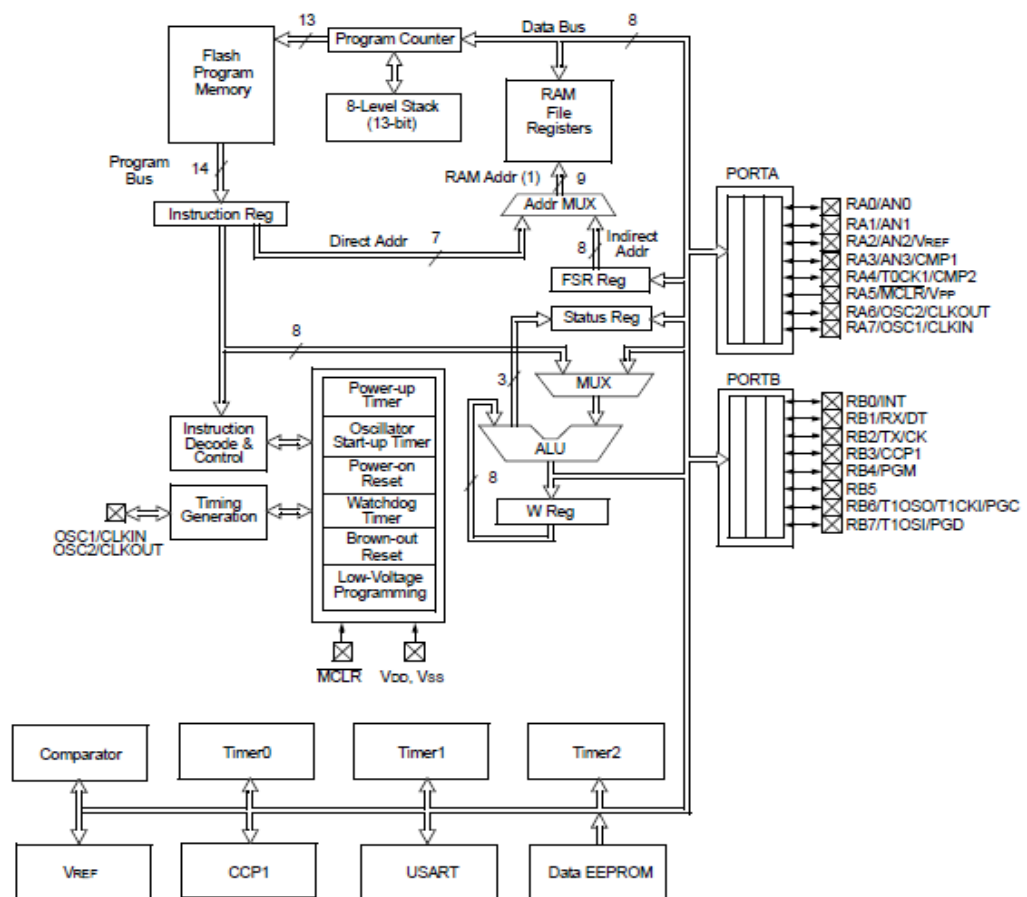
Figura 3.3: AD 420



3.3.3. MICROCONTROLADORES

Las prestaciones que serán necesarias de los microcontroladores son funciones básicas con lo que será suficiente emplear microcontroladores de gama media como el PIC 16F628A ó PIC 16F84A, que son de pequeño tamaño y se encuentra disponible en encapsulados DIP-18, lo que permite usar bases para este tipo de circuito integrado y su fácil reemplazo en caso de deterioro. Su tensión de alimentación es de 2Vdc hasta 5.5Vdc, por lo que no es necesario una fuente de alimentación independiente.¹⁷

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



¹⁷ DataSheet del Componente

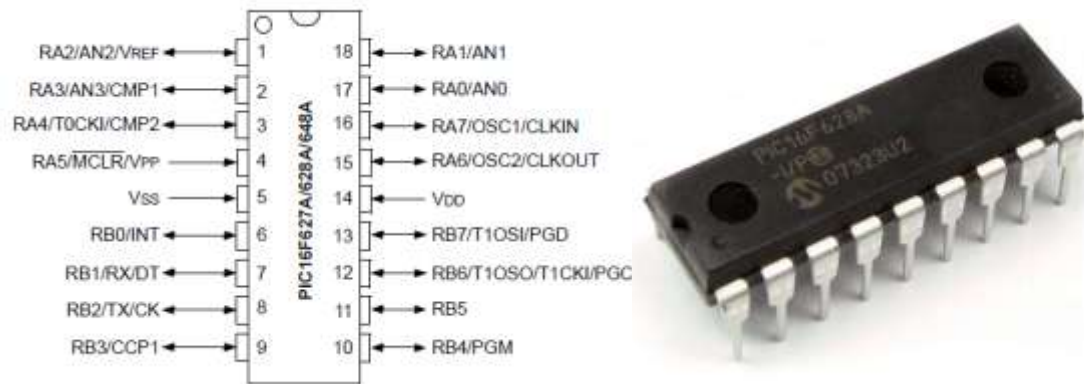


Figura 3.4: Microcontrolador Pic 16f628A

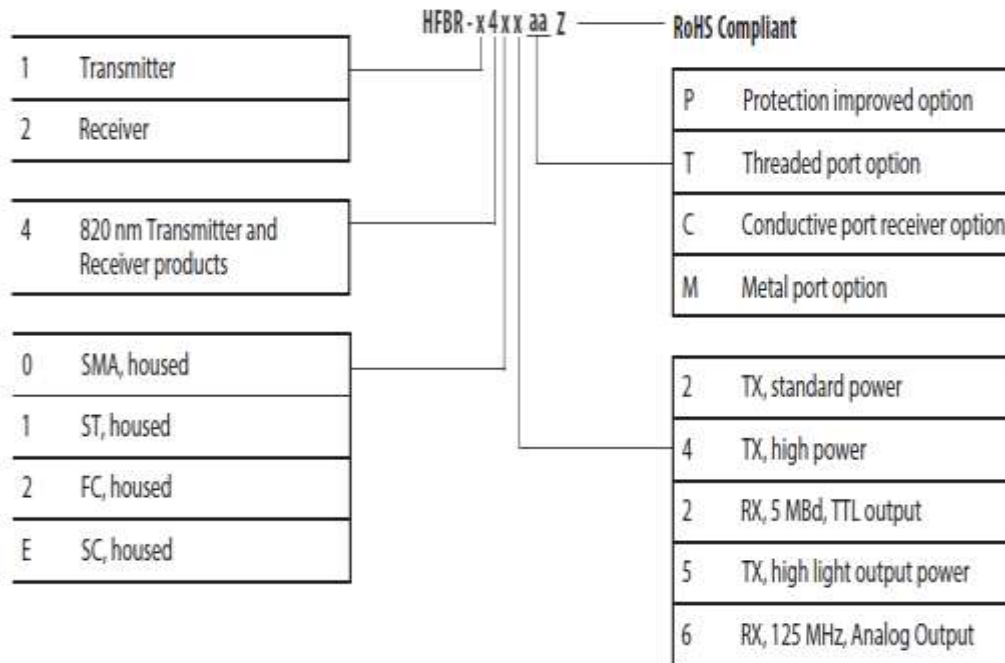
3.3.4. DIPOSITIVOS ÓTICOS TX y RX

Para la conversión de pulsos eléctricos en haz de luz (y viceversa) se ha visto conveniente emplear los componentes ópticos de AVAGO TECHNOLOGIES en la serie HFBR, estos están diseñados para proporcionar alto rendimiento, en los enlaces de comunicaciones de fibra óptica, son rentables para los sistemas de información y aplicaciones industriales con enlace de distancias de varios kilómetros. Con el HFBR-24x6Z, el receptor analógico de 125 MHz, pueden alcanzarse velocidades de datos de hasta 160 MBd.

Transmisores y Receptores son directamente compatibles con populares conectores "estándar de la industria": ST, SMA, SC y FC. Son de bajo costo tanto los transmisores como los receptores y soportan temperaturas entre -40°C hasta 85°C ¹⁸

¹⁸ DataSheet del Componente

Part Number Guide



TRANSMISOR



RECEPTOR

Figura 3.5: Componentes Ópticos HFBR

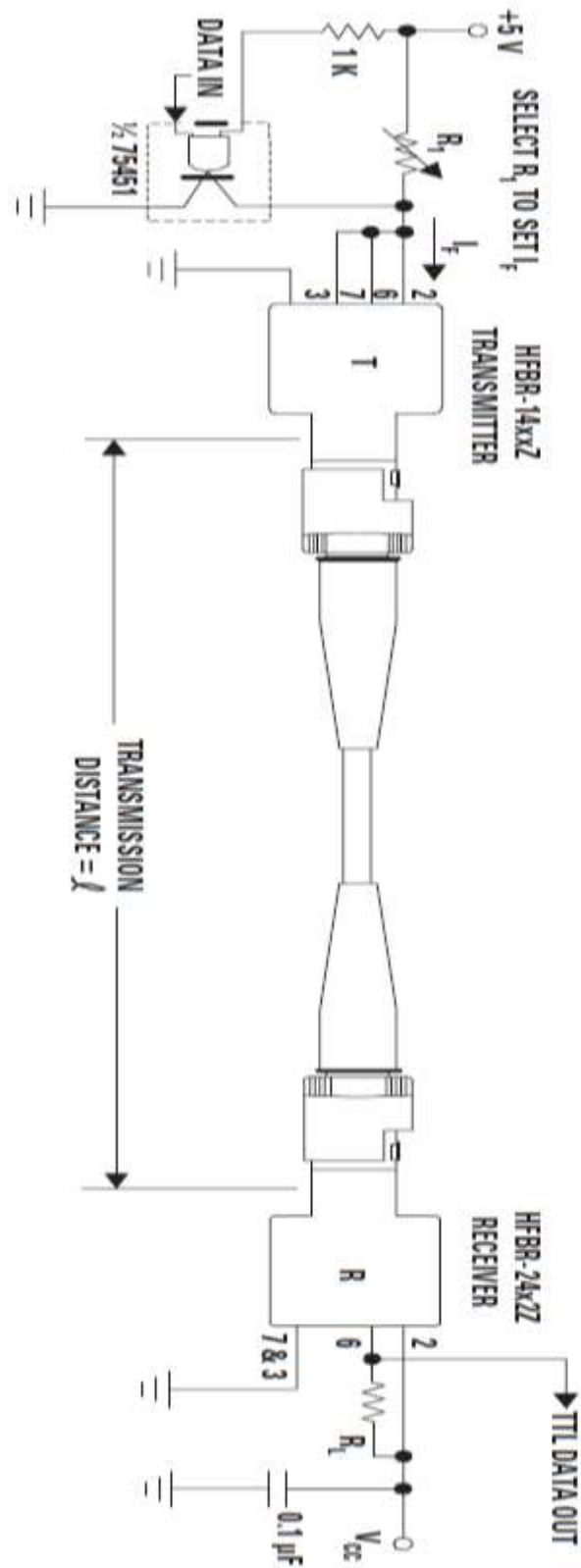


Figura 3.6: Configuración Típica de los Componentes ópticos



3.4. DISEÑO DE HARDWARE

Para la parte del hardware es necesario realizar 2 diseños, uno es el esquema eléctrico de componentes y el otro es el diseño PCB (*Printed Circuit Board*).

Nos apoyaremos en el software EAGLE en su versión 6.4.0 por su gran variedad de componentes electrónicos de actualidad en sus librerías y la facilidad que este presenta al convertir el diagrama eléctrico en diseño PCB que será necesario para el diseño de las tarjetas electrónicas de Tx y Rx.

3.4.1. DIAGRAMAS ELÉCTRICOS

A continuación se mostrara los diagramas del sistema completo

3.4.1.1. MODULO TRANSMISOR

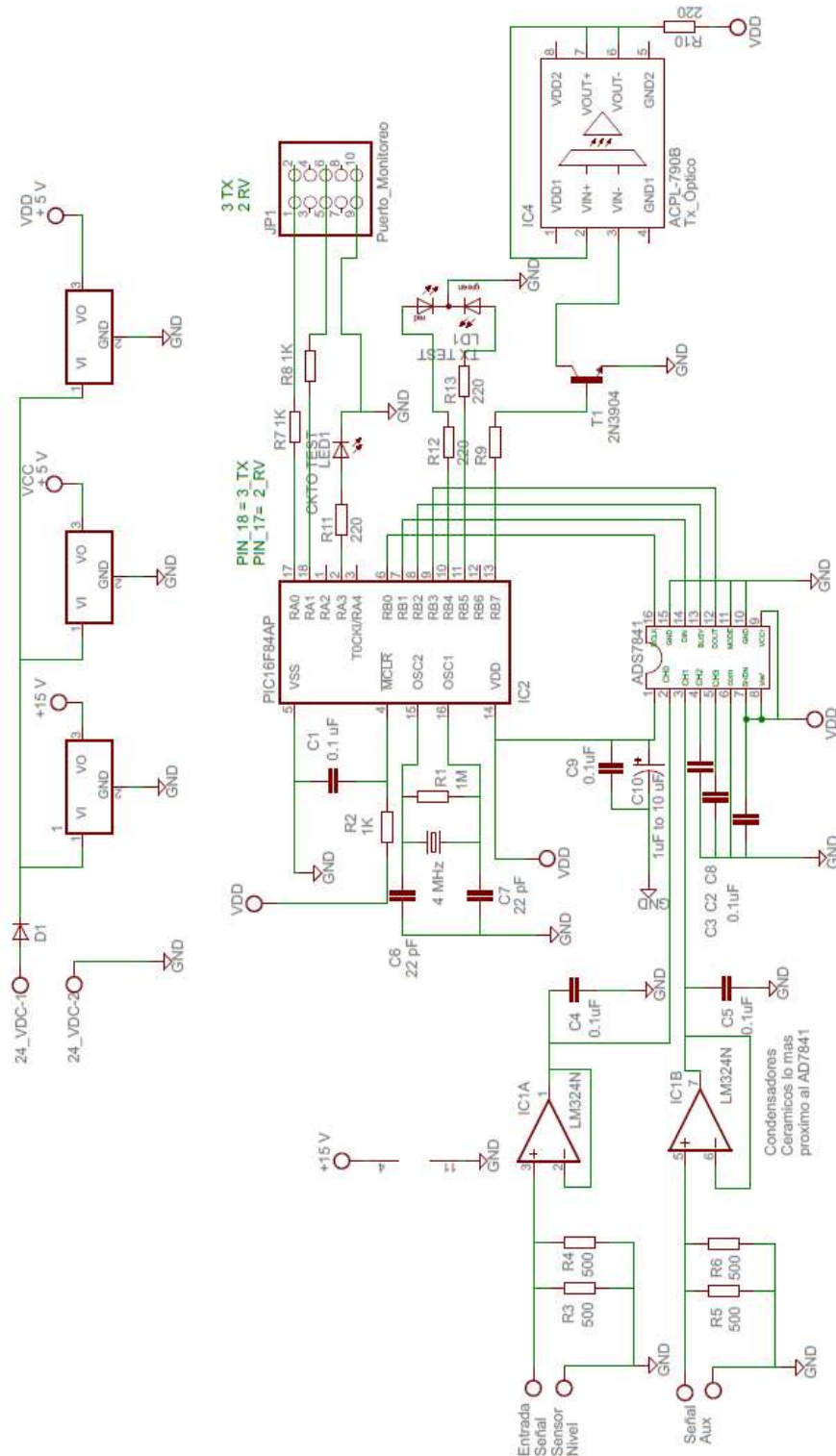


Figura 3.7: Diagrama Eléctrico Modulo Tx



3.4.1.2. MODULO RECEPTOR

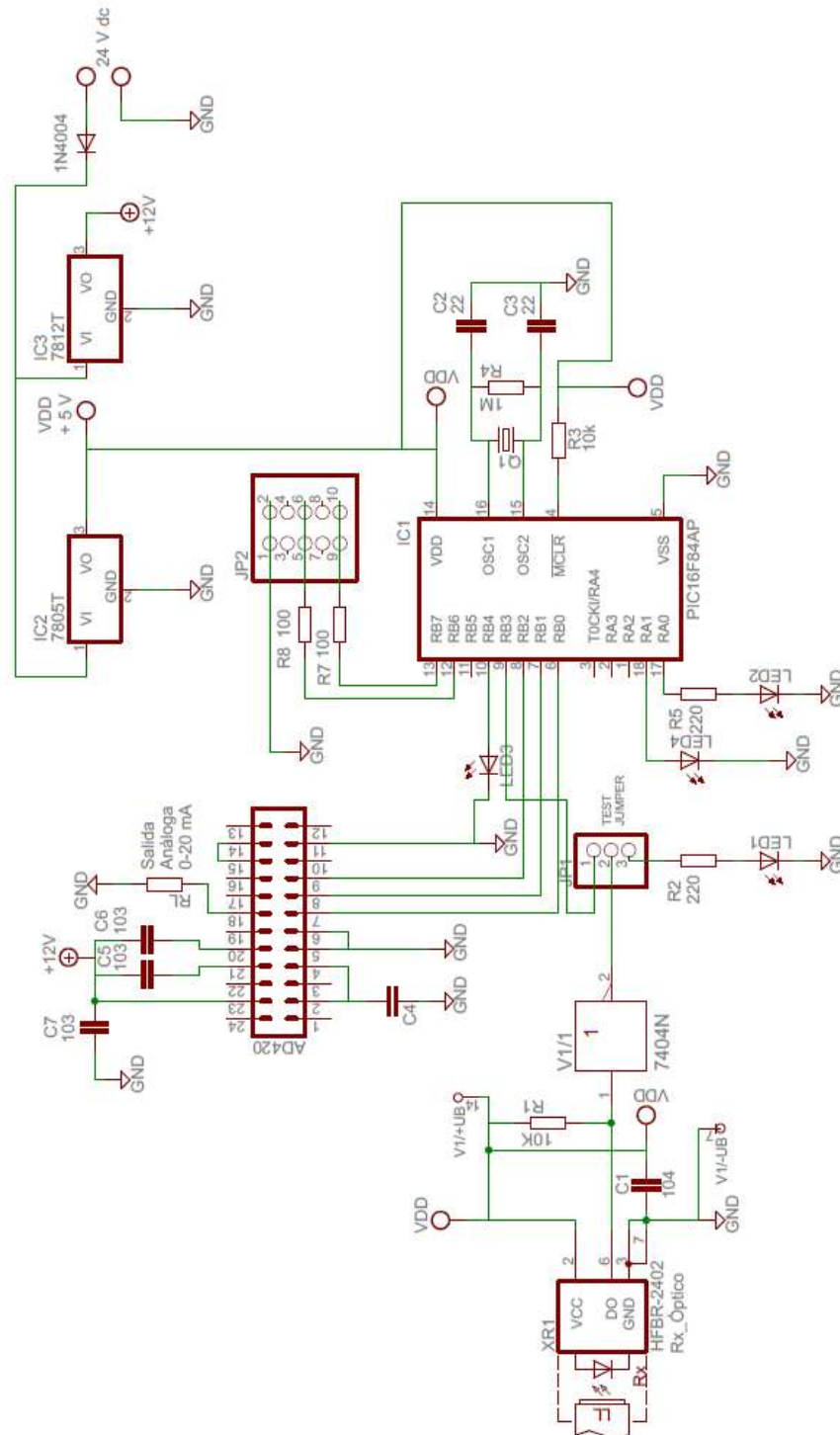


Figura 3.8: Diagrama Eléctrico Modulo Rx



3.4.2. DISEÑO DE PCB (PRINTED CIRCUIT BOARD)

Con herramientas que nos brinda el Software Eagle podemos obtener el PCB.

Se tomó a bien incluir en los diseños el logo de la empresa dueña de esta Central Hidroeléctrica (Duke Energy), el nombre del Jefe de Operaciones a Cargo de la Operación de estas Centrales (colaborador) y el de el Tesista encargado del diseño PCB.

3.4.2.1. MODULO TRANSMISOR.

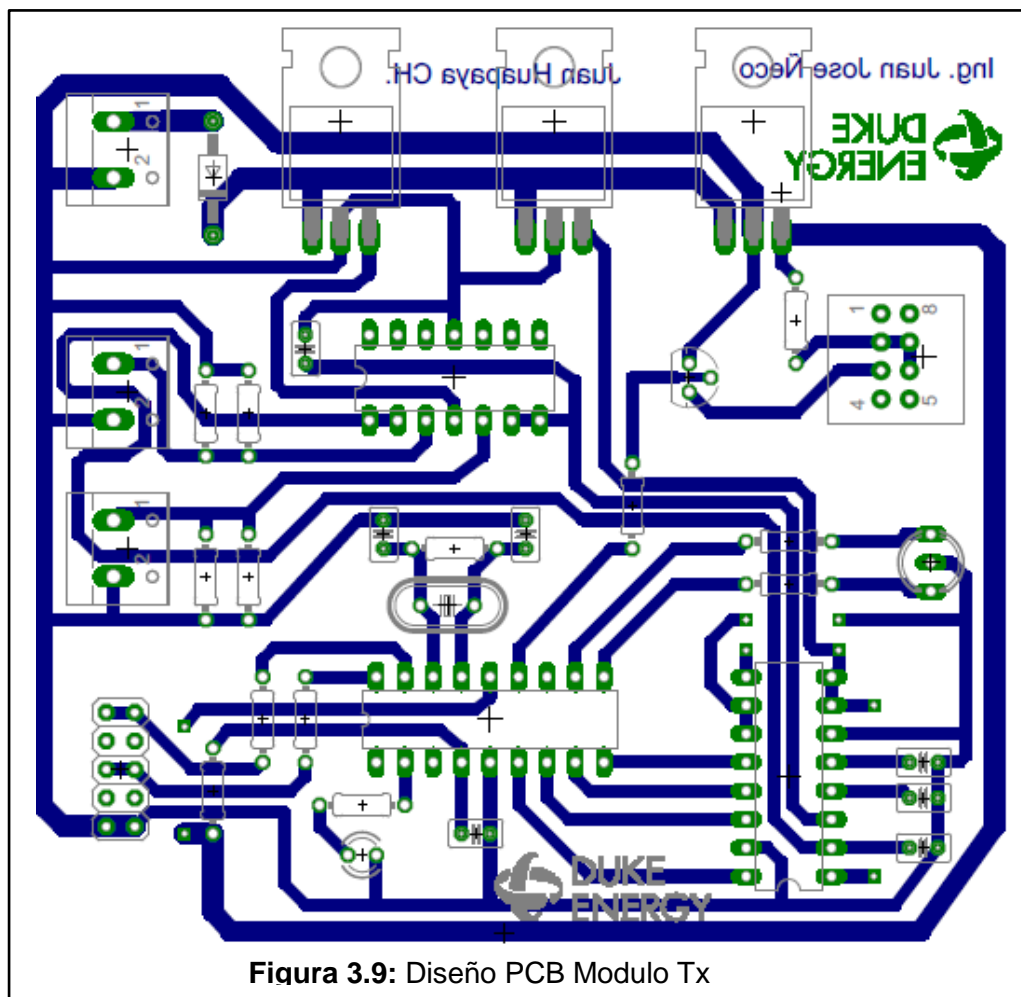


Figura 3.9: Diseño PCB Modulo Tx



3.4.2.2. MODULO RECEPTOR.

Se observan diferentes colores e imágenes montadas, esto se debe a que los color azul indica las pistas, el color verde el área de soldadura el color gris el perímetro del componente que se encuentra en la parte superior de la tarjeta, los logos de igual manera.

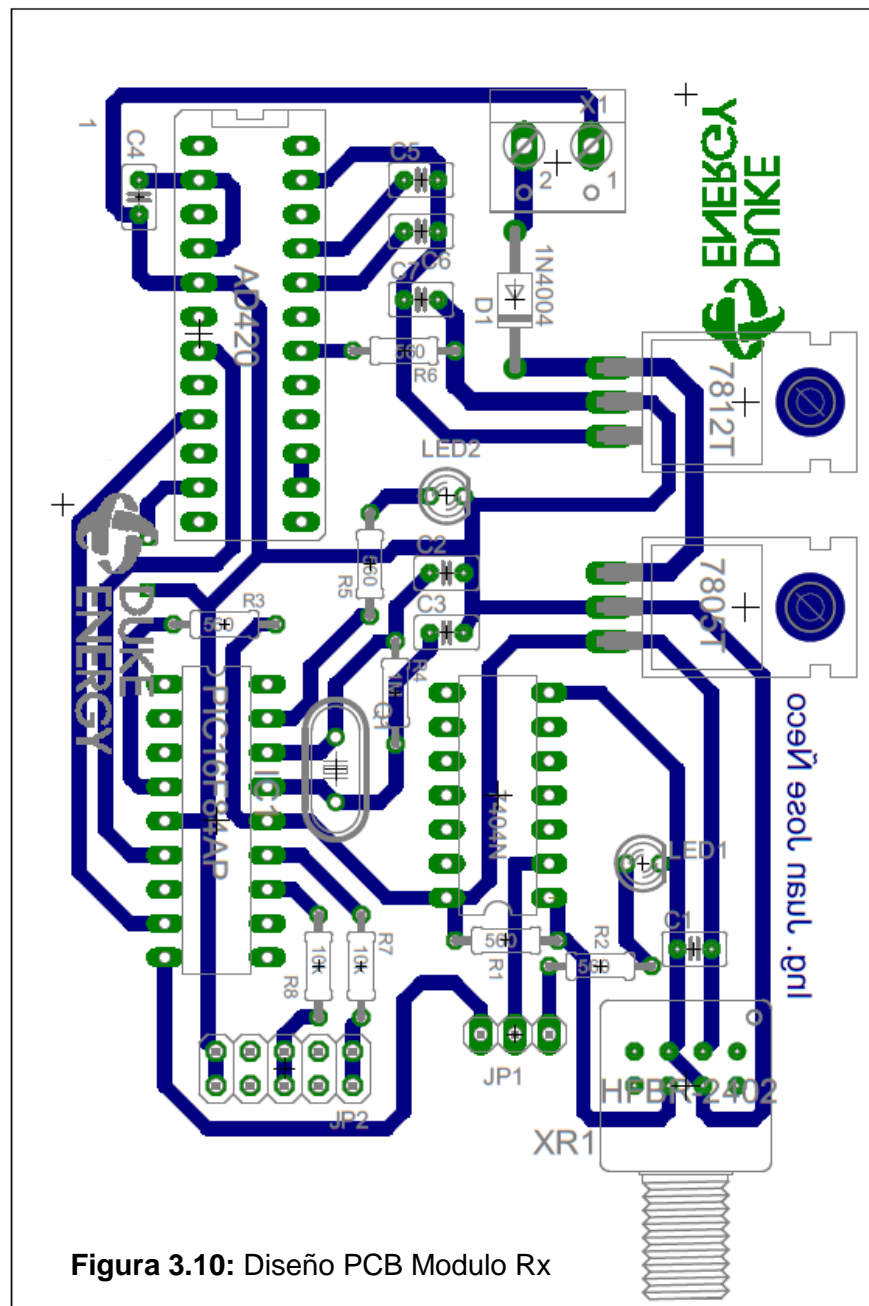


Figura 3.10: Diseño PCB Modulo Rx



3.5. DISEÑO DEL SOFTWARE.

En este segmento se enfoca en el diagrama de flujo que sigue la programación.

3.5.1. DIAGRAMA DE FLUJO DE MODULO TX.

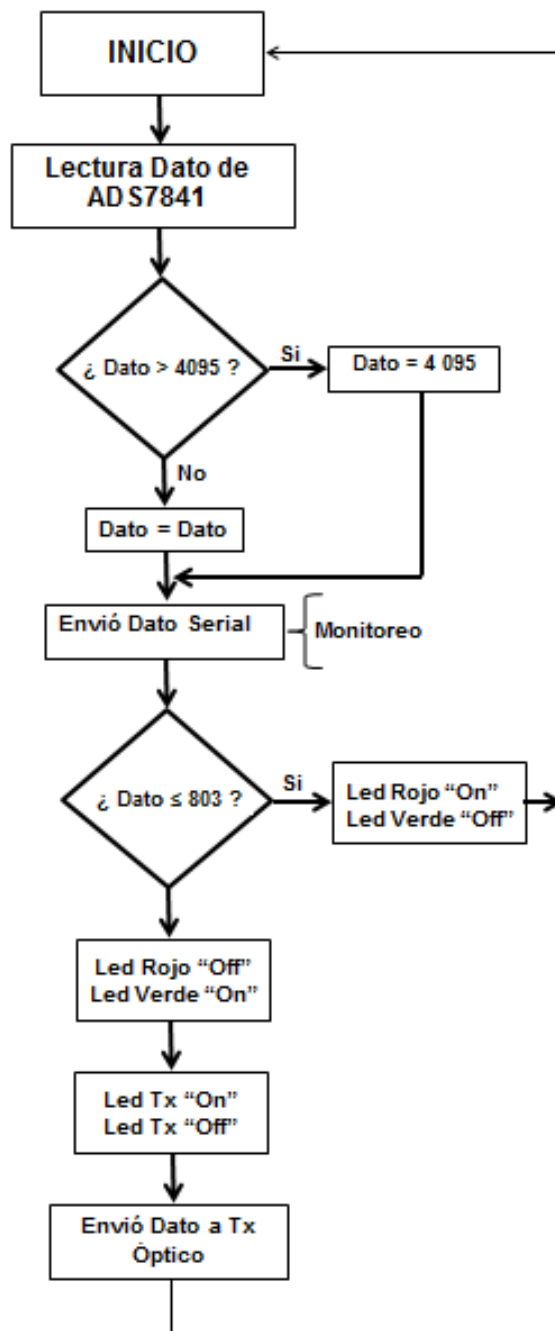


Figura 3.11:
Diagrama de
Flujo General
del Módulo Tx



3.5.2. DIAGRAMA DE FLUJO DE MODULO RX

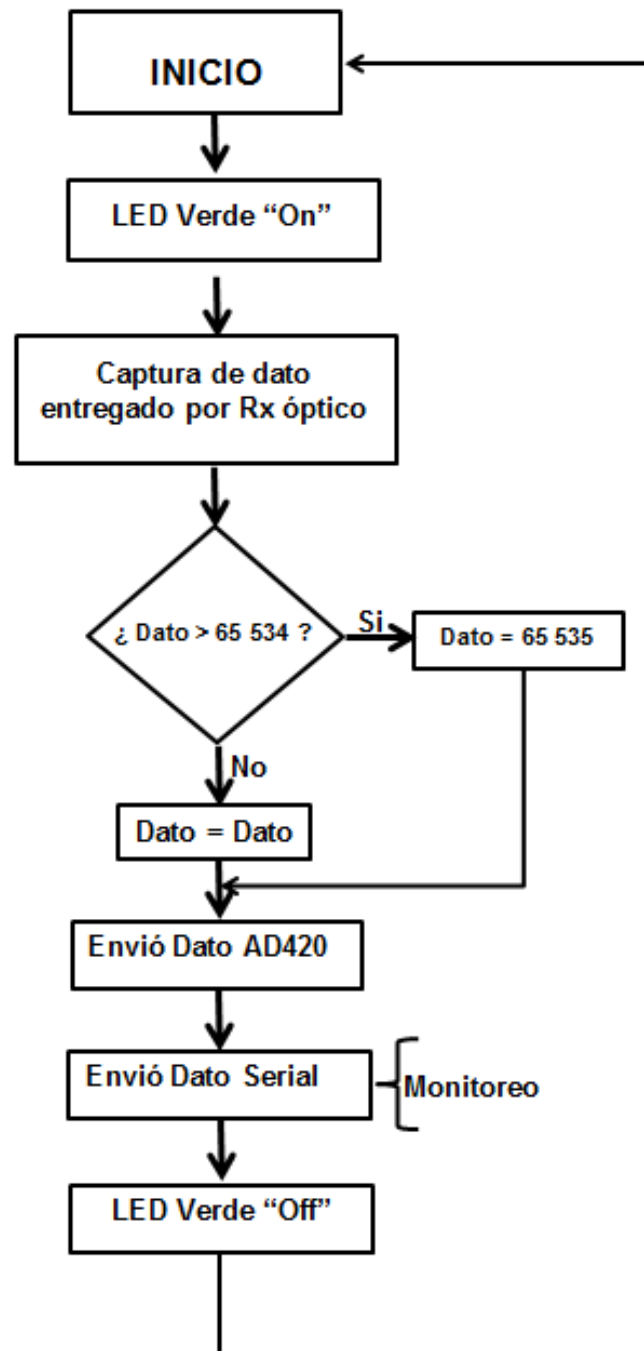


Figura 3.12: Diagrama de Flujo General de el Modulo Rx



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA ELECTRONICA

Capítulo 4

IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO



4.1.IMPLEMENTACION

Los diseños PCB, construidos en fibra de vidrio quedan de la siguiente manera:

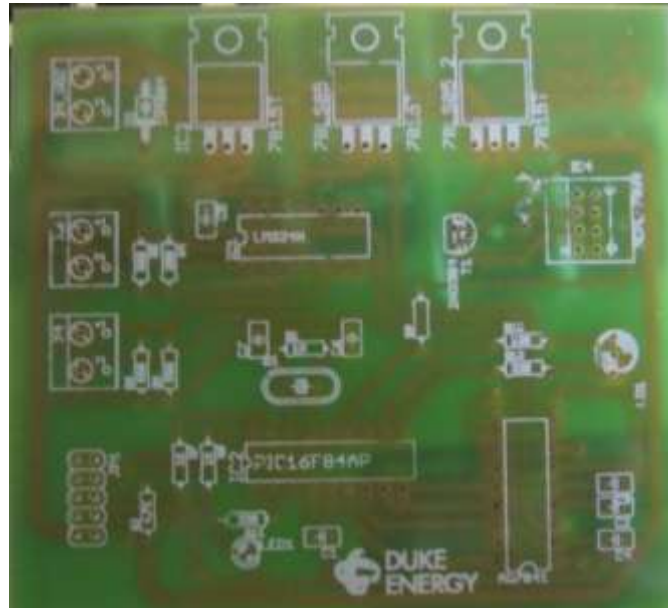


Figura 4.1: Modulo Tx, perímetro de componentes

Estas son las líneas del perímetro de componentes y en el reverso las pistas de cobre que conectan los componentes del Tx.

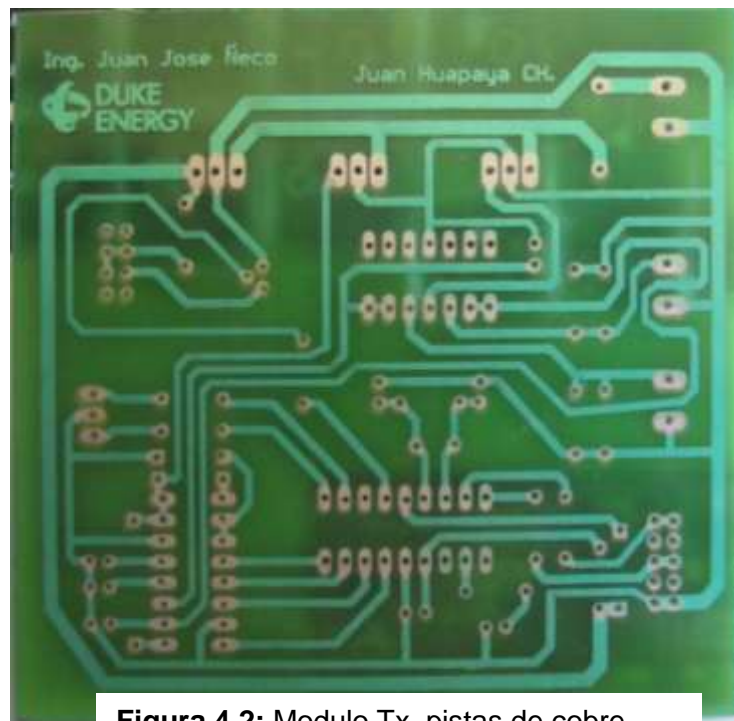


Figura 4.2: Modulo Tx, pistas de cobre

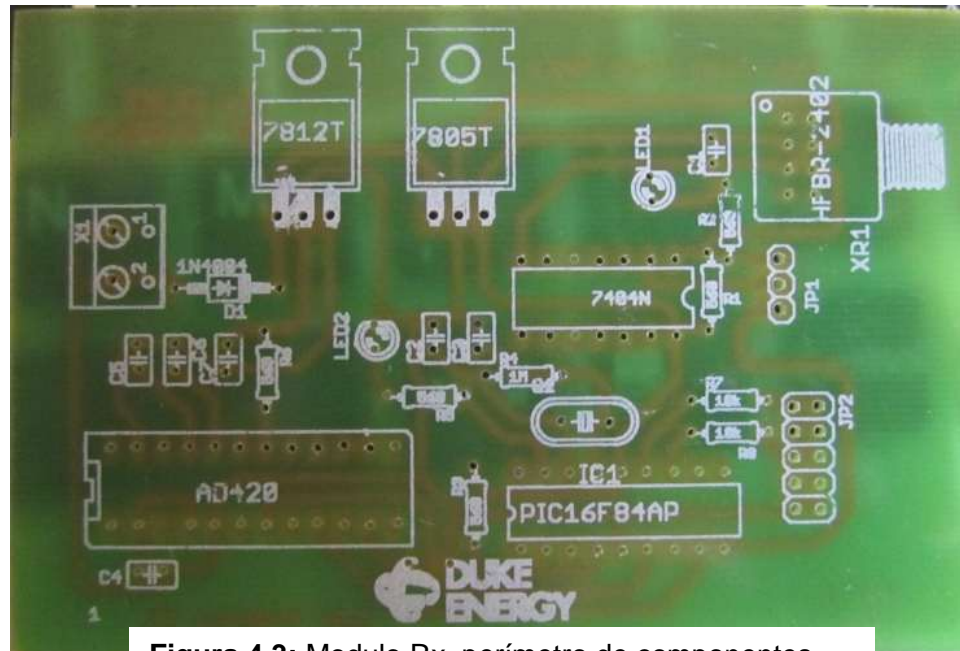


Figura 4.3: Modulo Rx, perímetro de componentes

Estas son las líneas del perímetro de componentes y en el reverso las pistas de cobre que conectan los componentes de el Rx

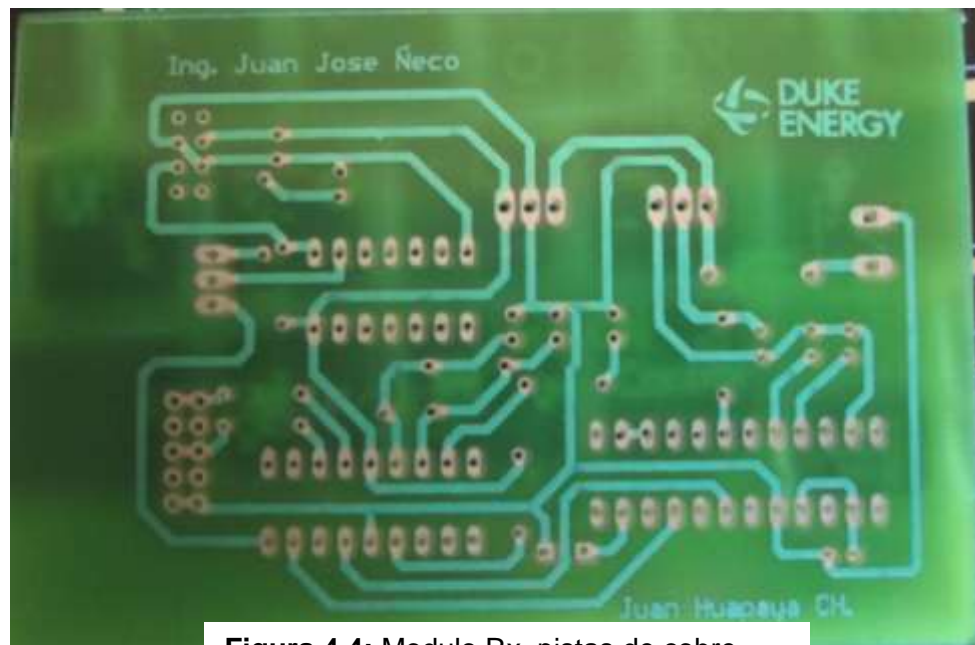


Figura 4.4: Modulo Rx, pistas de cobre



4.1.1. CONSTRUCCION

Se procede a montar los componentes.

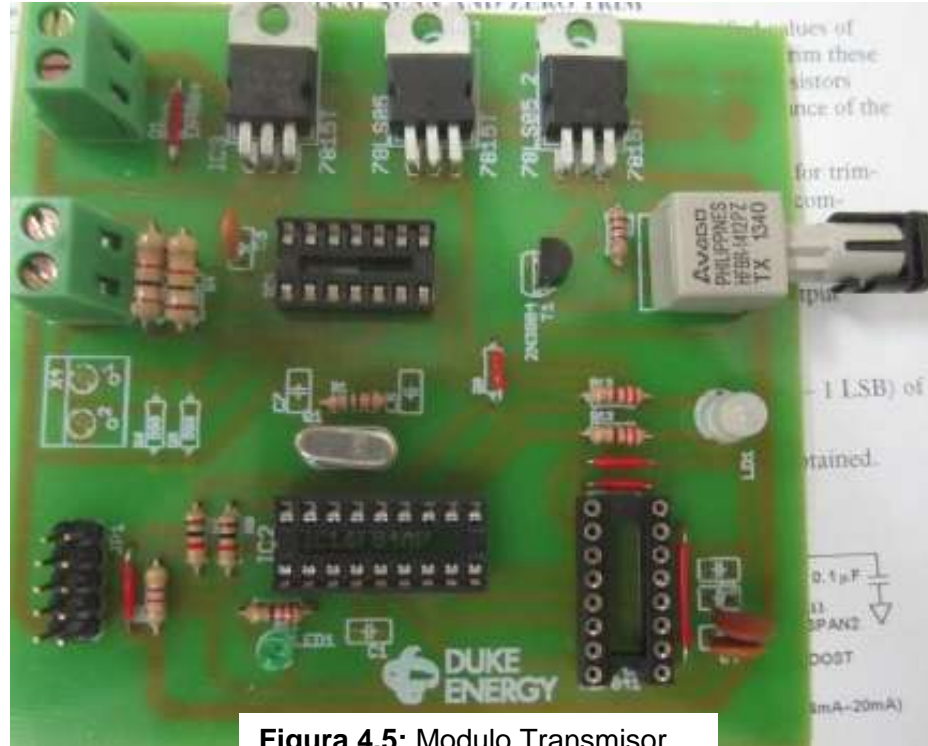


Figura 4.5: Modulo Transmisor

Donde se encuentran componentes con encapsulados DIP, se ha colocado bases para fácil reemplazo y manipulación.

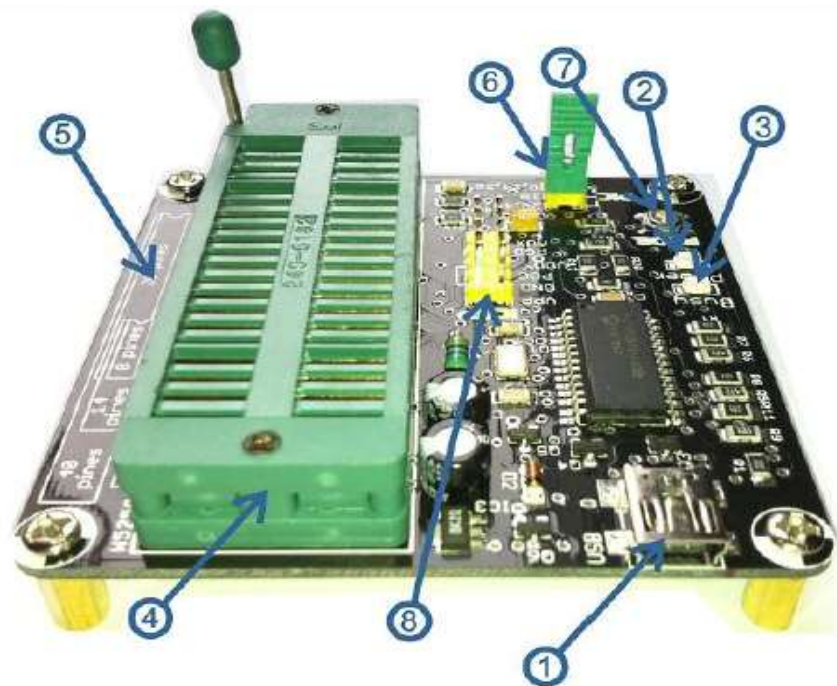


Figura 4.6: Modulo Receptor

4.1.2. GRABADO DE MICROCONTROLADORES

Una vez terminada las Tarjetas de Tx y Rx, será necesario grabar nuestro programa (Mostrado en el Diagrama de Flujo), para este fin usaremos un grabador de Pic's basado en el "Pickit 2 de microchip" - Dpic.

Figura 4.7: Grabador de Microcontroladores Pic



- | | |
|-------------------------|---|
| 1 - Conector miniUSB | 5 - Leyenda de ubicación de pic's |
| 2 - Luz de encendido | 6 - Jumper selector según tamaño |
| 3 - Luz de operación | 7 - Botón para programar directamente |
| 4 - Socket ZIF 40 pines | 8 - Interface ICSP para grabación externa |



4.2. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO.

Para comprobar la comunicación se conectó el Transmisor a la PC, por medio del puerto habilitado para monitoreo. Por el “Serial Communicator” de MicroCode pudimos monitorear el dato de envío con su respectiva etiqueta.

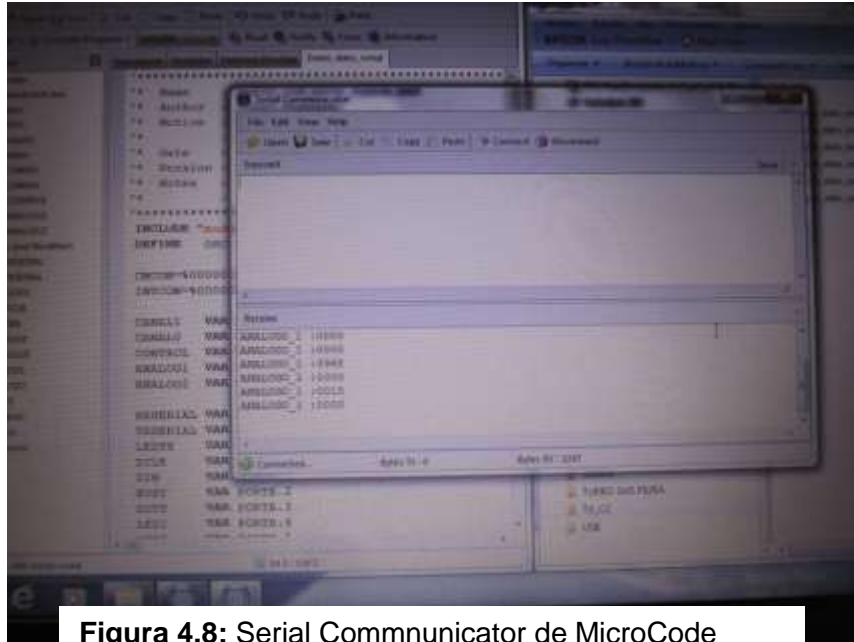


Figura 4.8: Serial Communicator de MicroCode

Se puede observar en el “Serial Communicator” como se recibe correctamente la etiqueta

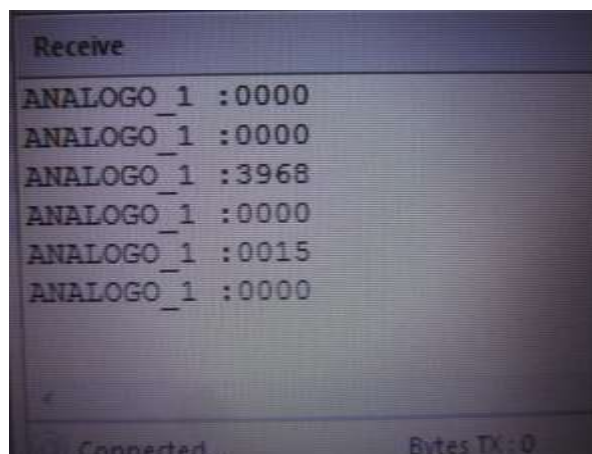


Figura 4.9: Correcta recepción de etiqueta



Figura 4.10: Pruebas de inyección de señal

Conectado el Tx al Rx, se empezó a inyectar una señal de prueba de 0 -20 mA (Con el inyector de señales FLUKE, que se observa en la parte izquierda de la imagen), con lo que se pudo realizar una tabla de conversión.

4.3.RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

Señal inyectada	Serial (Dato) Receptor	Señal recibida
20 mA	65 535	19.96 mA
18 mA	58 982	17.97 mA
15 mA	49 152	14.94 mA
13 mA	42 598	12.97 mA
10 mA	32 768	09.97 mA
08 mA	26 214	07.97 mA
05 mA	16 384	04.97 mA
03 mA	09 830	02.97 mA
01 mA	03 277	00.97 mA

Tabla 4.1: Prueba de Señal Inyectada Vs Señal Recibida.



4.4. PUESTA EN MARCHA DE EL PROTOTIPO DEL SISTEMA

El Modulo Transmisor (Tx) estará ubicado en el gabinete local que está en la caseta de Cámara de Carga.



Figura 4.11: Cámara de Carga de la C.H. Caña Brava

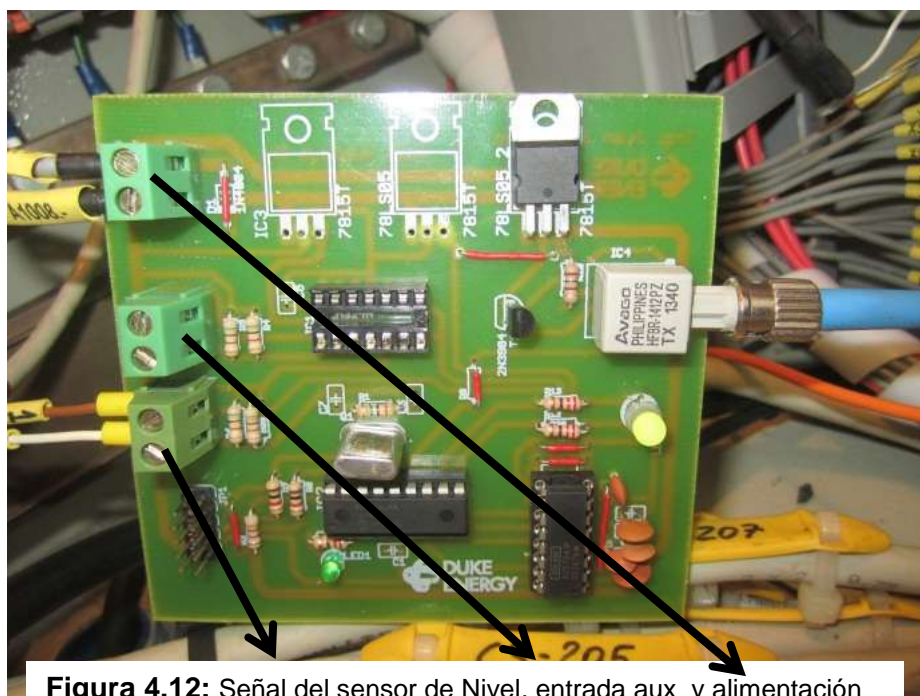


Figura 4.12: Señal del sensor de Nivel, entrada aux y alimentación



Figura 4.13: Sale el haz de luz por medio de la fibra Óptica



Figura 4.14: Vista de Casa de Maquinas de la C.H.Caña brava desde Cámara de Carga



El Modulo Receptor (Rx) estará ubicado en uno de los gabinetes locales que está en Casa de Maquinas de la C.H.Caña Brava.

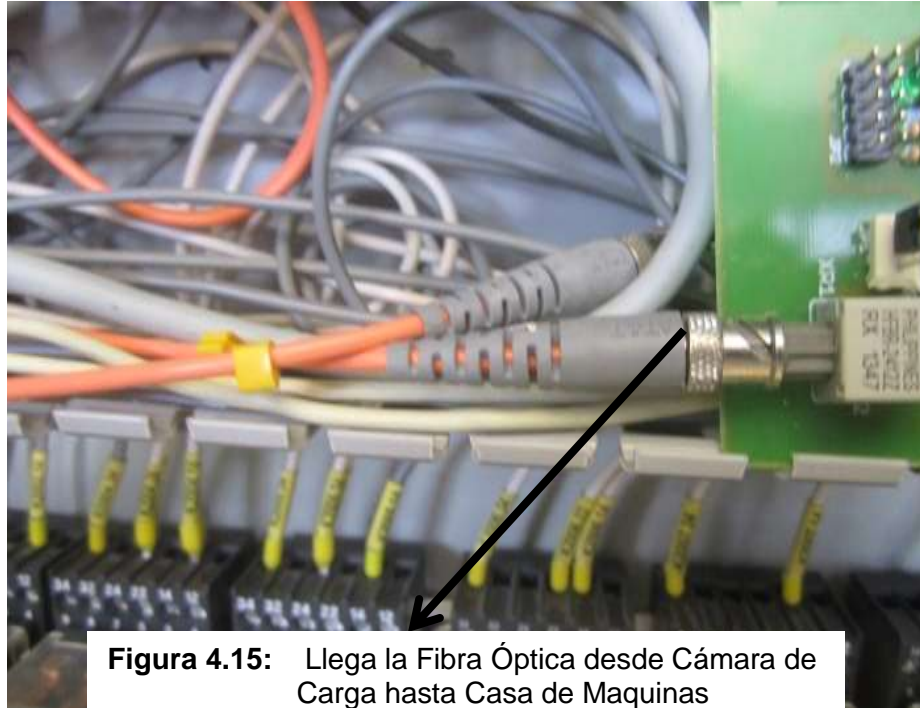


Figura 4.15: Llega la Fibra Óptica desde Cámara de Carga hasta Casa de Maquinas



Figura 4.16: Salida de Señal y Alimentación



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA ELECTRONICA



Figura 4.17: Pantalla Principal del Scada, donde se puede controlar y monitorear la C.H.Caña Brava desde sala de Control de la C.H.Carhuaquero.

De esta forma queda instalado el prototipo de él sistema de transmisión del nivel de cámara de carga y se puede retomar el control por nivel (Control de la generación de energía) de embalse de agua en Cámara de Carga de la C.H.Caña Brava.



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA ELECTRONICA

Capítulo 5

COSTOS



5.1.COSTOS

En este capítulo se hará referencia al costo individual de cada componente empleado en la fabricación de este sistema (Tx y Rx), se tiene como referencia el mercado local y el mercado en internet.

Componente	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total	Mercado	
				Local	Internet
Microcontroladores (Tx y Rx)	2	S./ 30.00	S./ 60.00	X	
Reguladores de tensión 78xx	5	S./ 5.00	S./ 25.00	X	
Condensadores Cerámicos	12	S./ 0.50	S./ 6.00	X	
Led's	4	S./ 0.50	S./ 2.00	X	
Lm 7404	1	S./ 1.00	S./ 1.00	X	
Resistencias	18	S./ 0.10	S./ 1.80	X	
Espadines	1	S./ 2.00	S./ 2.00	X	
Osciladores	2	S./ 1.00	S./ 2.00	X	
Conectores	4	S./ 1.00	S./ 4.00	X	
*AD 420	1	\$/ 22.65	S./ 64.55		X
*ADS 7841	1	\$/ 8.08	S./ 23.03		X
**HFBR-2412z	1	\$/ 22.06	S./ 62.87		X
**HFBR-1412pz	1	\$/20.53	S./ 58.51		X
***Construcción de Tarjetas Impresa Tx y Rx (Servicio)	2	S./ 15.00	S./ 30.00	X	
Costo Sub-Total			S./ 342.76		



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA ELECTRONICA

Honorarios de Tesisista 1	1	1200.00	S./ 1200.00	x	
Honorarios de Tesisista 2	1	850.00	S./ 850.00	x	
TOTAL			S./ 2392.76		

Tabla 5.1: Tabla de Presupuesto

*<http://www.digikey.com> [Consultado 15 /10/2014]

**<http://www.avagotech.com> [Consultado 15 /10/2014]

***Centro Comercial Paruro, Jr. Paruro. Lima – Perú.



CONCLUSIONES

- Si bien es posible importar este tipo de sistemas, aunque con un costo considerablemente alto, actualmente el conocimiento y el acceso a componentes electrónicos del extranjero por medio de internet, permiten que hoy en día sea posible desarrollar este tipo de proyectos por profesionales en nuestro país.
- El prototipo fue diseñado e implementado de manera satisfactoria, tanto así que este mismo prototipo quedo instalado de manera permanente en la C.H.Caña Brava (Cámara de Carga y Casa de Maquinas), logrando que esta Central Hidroeléctrica pueda controlar su generación de energía autónomamente, según el nivel de embalse en Cámara de Carga, dejando de lado el control manual que se venía dando por el operador en Sala de Control la de C.H. Carhuaquero.
- Este prototipo está diseñado y construido para tener una comunicación entre el módulo de Tx y Rx, en tiempo real, por lo que el tiempo de reacción (Aumentar o disminuir carga dependiendo al nivel de agua en Cámara de Carga), depende exclusivamente de la automatización existente y el regulador de velocidad de esta Central Hidroeléctrica.
- El prototipo está diseñado y construido para un funcionamiento continuo por la naturaleza de la aplicación, ya que las Centrales Hidroeléctricas son prioridad en la Generación de Energía Eléctrica, es decir que estas están en funcionamiento todo tiempo que el recurso hídrico se lo permita.



- EL prototipo cuenta con indicadores visuales, un diodo led que deja saber de manera visual si el modulo está funcionando correctamente y otro led que nos indica si el sensor de nivel (sensor de nivel por presión hidrostática) deja de enviar señal, en el caso de el módulo Rx cuenta con un jumper que interrumpe la señal (Trama de datos recibida) y la conecta directamente a un led para de esta forma comprobar en campo sin la necesidad de instrumento de medición, si la señal está llegando hasta Casa de Maquinas.
- Dada la naturaleza de esta de este sistema, adaptar señales (de sensores) a medios ópticos (que pueden tener kilómetros de distancia), es posible implementarlo en múltiples aplicaciones, sin necesidad de hacer modificaciones en hardware.



RECOMENDACIONES

- En el del Prototipo (Modulo Tx) se han omitido componentes que estaban considerados en el diseño inicialmente (2 reguladores de tensión y 1 lm324), que se puede observar en la figura 4.12, por lo que si se desea mejorar este sistema, se pueden omitir estos componentes en el diseño del PCB, lo que reducirá el tamaño.
- Por la importancia de la aplicación se recomienda construir módulos Backup Tx y Rx, (construir los mismo módulos) y tenerlos listos para el inmediato reemplazo en el caso de deterioro o destrucción de los instalados.
- El prototipo funcionó sin mayores inconvenientes ni modificaciones mayores por lo que se le dejó instalado en los gabinetes (Cámara de Carga y Casa de Maquinas), pero es recomendable que se les ubique a cada módulo en una carcasa hecha a la medida para mantener orden y seguridad en los gabinetes.



BIBLIOGRAFIA

- [1] ING. EDUARDO JANE LA TORRE, ING. ARTURO OLIVERA CASTAÑEDA, *Compendio de Centrales de Generación Eléctrica del Sistema Interconectado Nacional Despachado por el Comité de Operación Económica del Sistema*. OSINERGMIN. PERU 2013
- [2] ALFREDO DAMMERT LIRA, FIORELLA MOLINELLIE ARISTONDO, MAX ARTURO CARBAJAL NAVARRO. *Fundamentos Técnicos y Económicos del Sector Eléctrico Peruano*. OSINERGMIN. PERU 2011
- [3] PROAKIS, J.G. y MANOLAKIS, D.G. *Digital Signal Processing*. 3 ed. España, Pearson educación S.A, 1998.
- [4] CREUS SOLE, Antonio. *Instrumentación Industrial*. 6 ed. Colombia, Alfaomega grupo editor 1998.
- [5] OGATA, Katsuhiko. *Modern control engineering*. 5 ed. España, Madrid, Pearson educación S.A, 2010.
- [6] HELFRICK, A. y COOPER, W. *Instrumentación electrónica moderna y técnicas de medición*. México, Prentice hall hispanoamericana, 1991.
- [7] ANDRÉS E. SAMPAULO. *Análisis y Diseño de un Conversor Analógico Digital de Arquitectura Pipeline*. Universidad de buenos aires, Bueno Aires 2004.
- [8] MARIO A. ORDINOLA CASTILLO. *Diseño de un Sistema de Control del Consumo de Energía eléctrica en las Comunidades Campesinas*. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERU. PERU 2009.



- [9] RAFAEL GONZÁLEZ BETANCOURT. *Diseño y Desarrollo de un Sistema de Control y Monitoreo para Tanques de Maduración de Gelatina con Microcontroladores Pic*. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. MÉXICO 2011.
- [10] JORGE J. ALVARADO SALCEDO. *Dispositivos Ópticos Digitales para Medición y Protección en Sistemas de Alta Tensión*. ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL. ECUADOR 2002.
- [11] JHONATHAN A. BRUNO AVALO, DENIS F. MIRANDA GILES. *Prototipo de un Equipo Destilador Implementado con un Sistema de Recirculación para el Ahorro de Agua en el Proceso de Destilado del Instituto de altos Estudios en Biotecnología de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo*. UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO. PERU 2013.
- [12] ENDESA EDUCA. [Consultado 1/11/2014]
www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/produccion-de-electricidad/xi.-las-centrales-hidroelectricas
- [13] Duke Energy, QUIENES SOMOS. [Consultado 20/10/2014]
www.duke-energy.com.pe/QuienesSomos/Paginas/QuienesSomos.aspx
- [14] *Glosario de Abreviaturas y Definiciones Utilizadas en los Procedimientos Técnicos del Coes – Sinac*. [Consultado 15 /09/2014]
www.coes.org.pe
- [15] ALFREDO DAMMERT LIRA, FIORELLA MOLINELLIE ARISTONDO, MAX ARTURO CARBAJAL NAVARRO. *Estudio de Multas del Sector Energía volumen 2*. OSINERGMIN. PERU 2008