



REPÚBLICA DEL ECUADOR

Escuela Politécnica Nacional

" E S C I E N T I A H O M I N I S S A L U S "

La versión digital de esta tesis está protegida por la Ley de Derechos de Autor del Ecuador.

Los derechos de autor han sido entregados a la "ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL" bajo el libre consentimiento del autor.

Al consultar esta tesis deberá acatar con las disposiciones de la Ley y las siguientes condiciones de uso:

- Cualquier uso que haga de estos documentos o imágenes deben ser sólo para efectos de investigación o estudio académico, y usted no puede ponerlos a disposición de otra persona.
- Usted deberá reconocer el derecho del autor a ser identificado y citado como el autor de esta tesis.
- No se podrá obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original.

El Libre Acceso a la información, promueve el reconocimiento de la originalidad de las ideas de los demás, respetando las normas de presentación y de citación de autores con el fin de no incurrir en actos ilegítimos de copiar y hacer pasar como propias las creaciones de terceras personas.

Respeto hacia sí mismo y hacia los demás.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA RED DE SENSORES CAN CONTROLADOS Y SUPERVISADOS A NIVEL DE PLANTA MEDIANTE EL PROTOCOLO ETHERNET INDUSTRIAL

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y CONTROL

ARMANDO ANDRÉS JARAMILLO ESPINOZA

armando.jaramillo@epn.edu.ec

DIRECTOR: LUIS ANÍBAL CORRALES PAUCAR

luis.corrales@epn.edu.ec

CODIRECTOR: LUIS ALBERTO MORALES ESCOBAR

luis.moralesec@epn.edu.ec

Quito, agosto 2016

DECLARACIÓN

Yo, Armando Andrés Jaramillo Espinoza, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Armando Andrés Jaramillo Espinoza

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Armando Andrés Jaramillo Espinoza, bajo nuestra supervisión.

Luis Aníbal Corrales Paucar, PhD.
DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Luis Alberto Morales Escobar, MSc.
CO-DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A mis padres y hermanos, por ser quienes me han dado la fortaleza para culminar mis estudios y no desmayar.

A mi padre quien me ha brindado siempre sus consejos y compartido su sabiduría, ha sabido enseñarme a ser constante y perseverante.

A mi madre por ser un ejemplo de lucha, quien retomó sus estudios después de haber dedicado muchos años de su vida a cuidar de mí y de mis hermanos.

A mis hermanos quienes siempre me han brindado su apoyo incondicional en todo momento.

A mis amigos de la Escuela Politécnica Nacional, Javier, Darío, Christian, Oswaldo algunos ya graduados y otros que siguen en el mismo camino de culminar sus estudios, quienes me han brindado su ayuda, apoyo y consejo cuando lo he necesitado.

Al Ingeniero Ángel Samaniego quien me brindó la oportunidad de poner en práctica los conocimientos adquiridos en la carrera y supo ayudarme cuando necesité del tiempo necesario para culminar mi proyecto de titulación.

Al doctor Luis Corrales por guiarme en el desarrollo del presente proyecto de titulación y compartir sus conocimientos para culminar con éxito el mismo.

Al máster Luis Morales por codirigir el presente proyecto y brindarme las facilidades para su culminación.

DEDICATORIA

A mi familia, quienes son el motivo principal por el cual me he esforzado durante estos años de estudio.

A mi madre Merci Espinoza quien, a pesar de las dificultades en la familia, se ha mantenido siempre fuerte, ha sabido transmitirnos esa fortaleza y no ha dejado que decaigamos nunca.

A mi padre Eugenio Jaramillo, que ha luchado hasta el último momento por el bienestar de la familia y pese a sus limitaciones sigue apoyándonos incondicionalmente.

A mi hermana Paulina y mi hermano Nelson, quienes me han brindado su apoyo irrestricto y con quienes siempre seremos una sola familia, en las buenas y malas circunstancias de la vida.

A mis sobrinos Mati y Dominique, que son la alegría de la familia.

A Fanny por acompañarme durante muchos años.

CONTENIDO

RESUMEN	i
PRESENTACIÓN	ii
CAPÍTULO 1	1
1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	1
1.1 PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN SERIAL CAN	1
1.1.1 Historia y evolución del protocolo de comunicación CAN	1
1.1.2 Características	3
1.1.3 Estructura de capas CAN	3
1.1.4 Tranferencia del mensaje	7
1.1.5 Validación del mensaje	13
1.1.6 Codificación	13
1.1.7 Manejo de errores	13
1.1.8 Confinamiento de fallas	14
1.2 ETHERNET	15
1.2.1 Historia y evolución del Ethernet	15
1.2.2 Ethernet y el modelo OSI	18
1.2.3 Topologías	20
1.2.4 Formato de la trama	22
1.2.5 Tipos de Ethernet	23
1.3 RED DE SENSORES	24
1.3.1 Sensores que usan el protocolo CAN	25
1.3.2 Sensores que usan Ethernet	26
CAPÍTULO 2	28
2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA RED CAN	28

2.1	DESCRIPCIÓN DE LA RED CAN A ACTUALIZARSE.....	28
2.2	SISTEMA DE MONITOREO DE NIVEL	30
2.2.1	Reestructuración de la cámara de nivel.....	30
2.2.2	Diseño del nodo can de nivel.....	32
2.3	SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA	37
2.3.1	Placas y elementos reutilizables.....	37
2.3.2	Placas y elementos nuevos	39
2.4	SISTEMA DE MONITOREO DE SENSORES ON/OFF	41
2.4.1	Placas y elementos reutilizables.....	41
2.4.2	Placas y elementos nuevos	42
2.5	DISEÑO DEL NODO CAN MAESTRO.....	44
2.5.1	Asignación de pines del microcontrolador del nodo can maestro	47
2.6	COMUNICACIÓN CAN-ETHERNET	47
2.6.1	Elementos constitutivos de la red	48
2.6.2	Comunicación entre el nodo can maestro y el microcontrolador de ethernet.....	51
2.6.3	Comunicación a niveles superiores del modelo osi	51
	CAPÍTULO 3.....	53
	3. DESARROLLO DEL SOFTWARE DE SOPORTE DEL SISTEMA	53
3.1	DIAGRAMAS LÓGICOS DEL SISTEMA.....	53
3.2	DESARROLLO DEL SOFTWARE DE SOPORTE DEL SISTEMA PARA EL PROTOCOLO CAN.....	55
3.2.1	Desarrollo de la subrutina de comunicación del nodo can de nivel.....	55
3.2.2	Subrutina para el nodo can de sensores on/off	57
3.2.3	Subrutina para el nodo can de temperatura	58
3.2.4	Subrutina del módulo maestro can-ethernet.....	61

3.3	DESARROLLO DEL SOFTWARE PARA COMUNICACIÓN DE LA RED LAN	62
3.3.1	Interfaz hombre-máquina.....	62
3.3.2	Panel de visualización de nivel.....	62
3.3.3	Panel de visualización y control de temperatura.....	63
3.3.4	Panel de visualización de sensores on/off.....	63
3.4	SOFTWARE DE LECTURA DE BUS CAN USB-CAN Tool V2.02.....	64
CAPÍTULO 4	66
4.	PRUEBAS Y RESULTADOS.....	72
4.1	VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA.....	66
4.2	VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE NIVEL.....	70
4.3	VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE SENSORES ON/OFF.....	73
4.4	FUNCIONAMIENTO DE COMUNICACIÓN DE NODOS CAN.....	75
4.4.1	Voltajes dominantes, recesivos y trama del protocolo can.....	76
CAPÍTULO 5	82
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	82
5.1	CONCLUSIONES.....	82
5.2	RECOMENDACIONES.....	83
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
ANEXOS	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 CAN y el modelo OSI [2]	3
Figura 1.2 Estructura de capas CAN [3]	4
Figura 1.3 Bus diferencial [4]	5
Figura 1.4 Conector DB9 CAN sugerido por la CiA [5]	6
Figura 1.5 Retraso de propagación en un sentido [6]	6
Figura 1.6 Longitud en función de la velocidad de transmisión.	7
Figura 1.7 Trama de datos CAN. [7]	8
Figura 1.8 Trama remota [8]	9
Figura 1.9 Trama de error [9]	9
Figura 1.10 Trama de sobrecarga [10]	11
Figura 1.11 Espacio entre tramas sin error pasivo [11]	12
Figura 1.12 Espacio entre tramas con error pasivo [12]	12
Figura 1.13 Cronología estándar 802.3 [14]	18
Figura 1.14 Ethernet en el modelo OSI. [15]	18
Figura 1.15 Comparación capa física y capa de enlace lógico [16]	19
Figura 1.16 Funciones de MAC en Ethernet [17]	20
Figura 1.17 Topologías básicas de red [18]	20
Figura 1.18 Topología Bus de Ethernet [19]	21
Figura 1.19 Topologías Bus y Estrella de Ethernet [20]	21
Figura 1.20 Relación de parámetros ideales en Ethernet.	22
Figura 1.21 Comparación de tramas 802.3 y Ethernet [21]	22
Figura 1.22 Tipos de Ethernet más comunes [23]	24
Figura 1.23 Red de sensores CAN-Ethernet.	24
Figura 1.24 Sensor de temperatura KIR16X4 [24]	25
Figura 1.25 Caudalímetros CAN [25]	25
Figura 1.26 Caudalímetros CAN con válvula de carga [26]	25
Figura 1.27 Especificaciones de caudalímetros Figura 1.25 y Figura 1.26 [27] ..	26
Figura 1.28 Sensor digital de nivel de combustible CAN [28]	26
Figura 1.29 Sensor de temperatura TME Ethernet [29]	26
Figura 1.30 Sensor de humedad, punto de rocío y temperatura Ethernet [30]	27

Figura 2.1	Diagrama de bloques del rediseño de la red CAN.....	29
Figura 2.2	Diagrama de bloques del rediseño de la red CAN.....	29
Figura 2.3	Diagrama del sistema de nivel.....	30
Figura 2.4	Válvula de diafragma.....	31
Figura 2.5	Sensor de presión diferencial MPX5050DP [31]	31
Figura 2.6	Salida contra presión diferencial del sensor MXP5050DP [32]	31
Figura 2.7	Capacitores de desacoplamiento, filtro de salida sensor MPX5050DP [33]	32
Figura 2.8	LCD 16x2 [34].....	32
Figura 2.9	Conexión del LCD del nodo de Nivel.....	33
Figura 2.10	Tranceiver CAN L9616 [35]	34
Figura 2.11	Conexión del transceiver L9616.	34
Figura 2.12	Microcontrolador AT90CAN32 [36].....	35
Figura 2.13	Distribución de pines del microcontrolador.	35
Figura 2.14	Alarmas visuales de nivel máximo y mínimo del nodo CAN de nivel.....	36
Figura 2.15	Diagrama del sistema de temperatura.....	37
Figura 2.16	Diagrama del acondicionador de temperatura para el Pt100 [37].....	38
Figura 2.17	Circuito con relé reutilizado para control ON/OFF de niquelinas [38].....	38
Figura 2.18	Diagrama circuital del nodo CAN de temperatura.	39
Figura 2.19	Acondicionamientos reutilizados para sensores de presencia y luz [39]	41
Figura 2.20	Acondicionamiento reutilizados para el sensor de humo [40].....	41
Figura 2.21	Diagrama esquemático del sensor de luz.....	42
Figura 2.22	Placa marca EGM con sensor de luz LDR [41]	42
Figura 2.23	Buzzer.	43
Figura 2.24	Diagrama circuital del nodo CAN de sensores ON/OFF.....	43
Figura 2.25	Diagrama circuital del nodo CAN maestro.....	45
Figura 2.26	Interconexión SPI Maestro-Esclavo [42].....	46
Figura 2.27	Configuración de la comunicación SPI [43]	47
Figura 2.28	Estructura de la red de área local del módulo de sensores.....	48
Figura 2.29	Módulo Ethernet con microcontrolador W5100 WIZnet [44]	48
Figura 2.30	Router TL-WR741ND utilizado como switch en la red del módulo [45]	49

Figura 2.31 Especificaciones de hardware del switch [46]	49
Figura 2.32 Especificaciones wireless del switch [47]	50
Figura 2.33 Especificaciones de software del switch [48].....	50
Figura 2.34 Diagrama de conexión SPI del microcontrolador W5100 [49]	51
Figura 3.1 Diagrama de bloques de los nodos del sistema.	54
Figura 3.2 Diagrama de flujo del nodo CAN de nivel.....	56
Figura 3.3 Diagrama de flujo del nodo CAN de sensores ON/OFF.	58
Figura 3.4 Diagrama de flujo del nodo CAN de temperatura.	60
Figura 3.5 Diagrama de flujo de la conexión maestro CAN-ETHERNET.	61
Figura 3.6 Panel de visualización de nivel.....	62
Figura 3.7 Panel de visualización de sensores ON/OFF	63
Figura 3.8 Panel de visualización de temperatura.....	63
Figura 3.9 Software USB-CAN TOOL V2.02 [50]	64
Figura 4.1 Datos iniciales del nodo CAN de temperatura.....	67
Figura 4.2 Temperatura inicial: 27°C	68
Figura 4.3 Temperatura 35 °C	68
Figura 4.4 Temperatura 34 °C.....	69
Figura 4.5 Temperatura 33 °C	69
Figura 4.6 Nivel de tanque mínimo con alarmas visuales y sonoras.	70
Figura 4.7 Nivel de tanque mínimo visto desde el HMI.	70
Figura 4.8 Nivel de tanque 5 centímetros.....	71
Figura 4.9 Nivel de 5 centímetros en el HMI.....	71
Figura 4.10 Nivel de tanque máximo con alarmas visual y sonora.....	72
Figura 4.11 Nivel máximo en el HMI.....	72
Figura 4.12 Luz encendido, presencia apagado y humo apagado.	74
Figura 4.13 Luz apagado, presencia encendido y humo encendido.....	74
Figura 4.14 Distintos estados de los sensores ON/OFF vistos desde el HMI.	75
Figura 4.15 Todos los esclavos transmiten correctamente.....	75
Figura 4.16 Nodo CAN de sensores ON/OFF desconectado.	76
Figura 4.17 Voltaje diferencial y velocidad de 500kbps.....	77
Figura 4.18 Datos visualizados en el LCD.....	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Distribución de recursos del microcontrolador AT90CAN32 del nodo CAN de nivel.	36
Tabla 2.2 Distribución de recursos del microcontrolador AT90CAN32 del nodo CAN de temperatura.	40
Tabla 2.3 Distribución de recursos del microcontrolador AT90CAN32 del nodo CAN de sensores ON/OFF.	44
Tabla 2.4 Distribución de recursos del microcontrolador AT90CAN32 del nodo CAN maestro.	47
Tabla 3.1 Diagrama de bloques de datos.	54
Tabla 4.1 Medición de la planta de temperatura.	67
Tabla 4.2 Mediciones en la planta de nivel.	73
Tabla 4.3 Datos de la trama del protocolo CAN.	78
Tabla 4.4 Datos en el bus CAN.	79
Tabla 4.5 Datos recibidos en el bus CAN.	80
Tabla 4.6 Datos de tiempo en el bus CAN.	80

RESUMEN

El laboratorio de redes industriales contaba con un módulo de red de sensores CAN en desuso, el cual estaba incompleto, con varios elementos faltantes, lo cual lo hacía inservible.

Para resolver este problema se decidió reconstruir la red de sensores CAN, formada por un nodo CAN maestro y tres esclavos. La información de los sensores es adquirida por un microcontrolador que adicionalmente a sus funciones comunes, procesa el protocolo CAN, por lo que solo se requirió de un transceiver adicional que implementa los voltajes del protocolo CAN para poder tener así el nodo CAN. El módulo originalmente constaba de un módulo de nivel, un módulo de sensores ON/OFF y un módulo de temperatura. Se diseñó un nuevo módulo de nivel, se añadió un sensor de luz al módulo de sensores ON/OFF y se realizó el control del módulo de temperatura. Pero también se implementó la tecnología Ethernet para llevar los datos CAN de nivel de campo a nivel de planta. Los datos de la red CAN son empaquetados y enviados mediante Ethernet hacia una red de área local, por medio de la cual se puede monitorear y controlar la información proveniente de los sensores de la red CAN. Al estar los datos disponibles en la red de área local, varios operadores pueden acceder al monitoreo y control de los sensores desde distintos computadores, permitiendo un uso más amplio de la información.

Los resultados obtenidos demuestran que la transmisión de datos desde los sensores hasta Labview llega de manera correcta y en tiempo real. De igual forma los voltajes característicos del protocolo CAN se cumplen al analizar la señal eléctrica del mismo. Tras las pruebas realizadas en el bus CAN se comprobó la velocidad y fiabilidad de los datos transmitidos.

PRESENTACIÓN

EL desarrollo de este proyecto viene de la necesidad de contar con un módulo de comunicación que permita unir dos redes que se usan a nivel industrial, esto es CAN y Ethernet, poder analizar sus características y rendimiento.

Con este objetivo este trabajo fue desarrollado como sigue.

En el primer capítulo se detalla una cronología histórica del protocolo CAN y la tecnología Ethernet. Se describe cada uno de los bloques que conforman la trama CAN, los distintos modos de operación, las aplicaciones y desarrollo a futuro. Se describe también las estructuras de una red, las topologías, la estructura de una red de sensores y finalmente se enumeran algunos sensores CAN comerciales.

En el segundo capítulo se detalla el estado actual del módulo de sensores a reacondicionarse, se enumeran los cambios a realizarse físicamente en cada uno de los sistemas de temperatura, nivel y de sensores ON/OFF, se describe como se implementará la nueva red de sensores CAN y los nuevos elementos que se añadirán para poder implementar la comunicación vía Ethernet.

En el tercer capítulo se describe el software desarrollado e implementado en los microcontroladores CAN mediante diagramas de flujo que detalla el proceso lógico de la comunicación CAN-Ethernet. Adicionalmente se describe el VI desarrollado en Labview que muestra la información proveniente de los sensores hacia todas las computadoras que se encuentren conectadas a la red de área local.

En el cuarto capítulo se realizan pruebas de funcionamiento de los sensores, pruebas de recepción de la información mediante Ethernet hacia la red de área local mediante la visualización de los datos en tiempo real en la interfaz y pruebas de los datos que se reciben en el bus CAN.

En el quinto capítulo se extraen las conclusiones y recomendaciones del proyecto para futuras mejoras y depuraciones.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

En el presente capítulo se detalla el protocolo de comunicación CAN, la historia y cronología de su desarrollo, la estructura de la trama y sus características. Como segunda parte del capítulo se abarca la historia, cronología y características de la tecnología Ethernet. Finalmente se describe una red de sensores y sensores que funcionan con el protocolo CAN.

1.1 PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN SERIAL CAN

1.1.1 Historia y evolución del protocolo de comunicación CAN

En el año de 1983 comenzó el desarrollo, por parte de la empresa Robert Bosch GmbH, del protocolo CAN, el mismo que posteriormente fue presentado en 1986 en el congreso de la sociedad de ingenieros automotrices SAE [1].

En el desarrollo del protocolo participaron ingenieros de Mercedes Benz e Intel, El Doctor Wolfhard Lawrenz de la Universidad de Ciencias aplicadas en Braunschweig –Wolfenbuttel, Alemania, contratado como consultor dio el nombre de Controller Area Network al nuevo protocolo.

En 1987 Intel lanzó al mercado el primer chip CAN, el 82526, el cual constituyó la primera implementación en hardware del protocolo CAN. Posteriormente Philips Semiconductors presentaría el chip 82C200.

En 1991 se publicó la especificación CAN 2.0, la cual consta de dos partes: la primera parte A definida para el formato estándar y la parte B para el formato extendido, el primero usa un identificador de 11 bits y el segundo un identificador de 29 bits.

En el año de 1993 se forma la CiA, CAN in Automation, formada por un grupo de usuarios y fabricantes quienes promoverían el uso del protocolo y e implementación en diferentes aplicaciones.

Posteriormente en el año de 1993 se publicó el estándar ISO 11898 del bus CAN y se convirtió en estándar de la Organización Internacional para la Normalización.

A continuación, se presenta una cronología de la evolución del protocolo CAN:

1983: Inicio del proyecto interno de Bosch para desarrollar una red dentro de vehículos.

1986: Se lanza el protocolo CAN.

1987: Los primeros chips CAN de Intel y Philips Semiconductors salen al mercado.

1991: Se publica la especificación de Bosch, CAN 2.0.

1992: Se crea la asociación de CAN en la automoción, CiA.

1992: Mercedes-Benz usa por primera vez la red CAN en sus carros.

1993: Se publica el estándar ISO 11898 (capa de datos y capa física de alta velocidad).

1994: Primera conferencia internacional sobre CAN (iCC) organizada por la CiA.

1994: Publicación de la especificación SAE J1939.

1994: Introducción del protocolo DeviceNet por parte de Allen-Bradley.

1995: Actualización del estándar 11898 (formato de trama extendida).

1995: Publicación del protocolo CiA 310 CANopen.

2000: Desarrollo del protocolo CAN time-triggered (TTCAN).

2003: Separación de la capa física de alta velocidad del enlace de datos (ISO 11898-1 y -2).

2004: Publicación del estándar ISO 11898-4 (TTCAN).

2006: Publicación del estándar ISO 11898-3 (capa física de baja velocidad y bajo consumo).

2007: Publicación del estándar ISO 11898-5 (capa física de alta velocidad y bajo consumo).

2011: Inicio del desarrollo del protocolo CAN FD.

2013: Publicación del estándar ISO 11898-6 (capa física con función selectiva de despertador).

2015: Publicación revisada del estándar ISO 11898-1 (CAN clásico y CAN FD).

1.1.2 CARACTERÍSTICAS

El objetivo del protocolo de comunicación serial CAN es su uso en el control distribuido en tiempo real de manera eficiente y con un alto nivel de seguridad, sus características son:

- Priorización de mensajes.
- Configuración flexible.
- Garantía de tiempos de latencia.
- Detección de errores y señalización.
- Recepción múltiple con tiempo de sincronización.
- Multimaestro.
- Sistema con amplia consistencia de datos.
- Retransmisión automática de mensajes corruptos tan pronto el bus esté disponible nuevamente.
- Diferenciación entre errores temporales y fallas permanentes en los nodos y desconexión automática de los nodos defectuosos.

1.1.3 ESTRUCTURA DE CAPAS CAN

Los protocolos de red son descritos en base al modelo de capas OSI (Open System Interconnection), definido en siete capas. El protocolo CAN trabaja a nivel de la capa de datos y de la capa física, como se ilustra en la Figura 1.1.

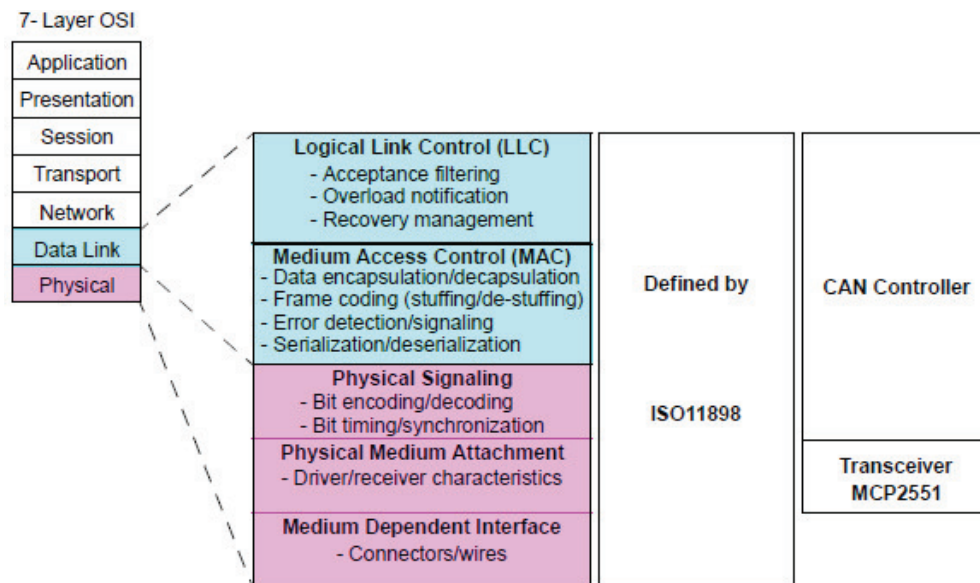


Figura 1.1 CAN y el modelo OSI [2]

Para conseguir una implementación flexible y un diseño transparente el protocolo CAN se subdivide en:

- Capa de objetos.
- Capa de transferencia.
- Capa física.

El siguiente gráfico, Figura 1.2 detalla las funciones que cumplen las capas mencionadas.

CAPAS OSI		CAPAS CAN	
ENLACE DE DATOS	CONTROL DE ENLACE LÓGICO	OBJETOS	Filtrado de mensajes Manejo de mensajes y estado
	CONTROL DE ACCESO AL MEDIO	TRANSFERENCIA	Confinamiento de fallas Detección de errores y señalización Validación del mensaje Reconocimiento Arbitraje Entramado del mensaje Tasa de transferencia y tiempo
FÍSICA		FÍSICA	Nivel de la señal y representación de Bit Medio de transmisión

Figura 1.2 Estructura de capas CAN [3]

Basándose en el modelo OSI, la capa de enlace de datos la conforman la capa de objetos CAN y la capa de transferencia CAN.

Capa de objetos: Su propósito es encontrar cuáles mensajes serán transmitidos, decidir qué mensajes recibidos por la capa de transferencia realmente se van a usar y proveer una interfaz al hardware asociado a la capa de aplicación. Se ocupa del filtrado de mensajes, el estado y manejo de los mismos.

Capa de transferencia: es en sí el protocolo de transferencia, presenta mensajes recibidos a la capa de objetos y acepta mensajes para ser transmitidos desde la capa de objetos, es responsable de la sincronización, trama del mensaje, reconocimiento, detección de errores y señalización y confinamiento de errores.

Capa física: define cómo las señales son transmitidas realmente entre los diferentes nodos en cuanto a las propiedades eléctricas, como se detalla en los siguientes puntos:

- **ISO 11898-2:** estándar utilizado para definir el protocolo CAN de alta velocidad, el cual especifica el medio físico de comunicación que son los transceivers CAN y las características eléctricas que estos deben cumplir y la interface dependiente al medio como son los conectores y cables. La velocidad máxima en el bus es de 1 Mbps.
- **ISO 11898-3:** estándar CAN de baja velocidad, tolerante a fallos e interfaz dependiente del medio. Cubre los requerimientos de la capa física para transmisión de datos que van desde los 40 Kbps hasta los 125 Kbps.
- **Conexión a un solo cable:** puede llegar a una velocidad de 50 kbps en su forma estándar y en modo especial de alta velocidad puede llegar a los 100 kbps.
- **Cable:** el cable que se utiliza para la transmisión de datos es un par trenzado, esta característica sirve para reducir al máximo la interferencia electromagnética y electrostática y evitar que se dispare un estado lógico indeseable que corrompa la trama.
- **Niveles de bus:** En el protocolo CAN se tienen dos estados lógicos: recesivo y dominante, los cuales son representados mediante un voltaje diferencial como se muestra en la Figura 1.3.

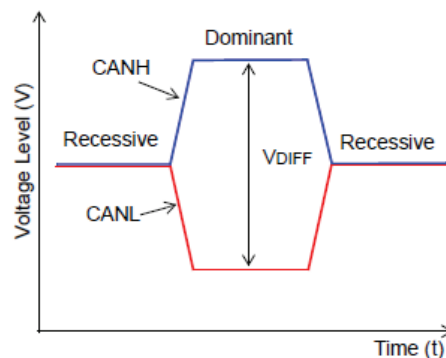


Figura 1.3 Bus diferencial [4]

En el estado recesivo [1L], CANH y CANL deben estar al mismo nivel de voltaje mientras que en el estado dominante [0L] debe existir una diferencia de voltaje de al menos 1.5 [V].

- Conectores: Los distintos nodos de la red CAN deben estar conectados mediante un par trenzado, que puede ser apantallado o no y con una impedancia nominal de 120 ohmios, lo que implica que se debe añadir una resistencia de este valor en los extremos del bus. Los conectores que se utilizan en el protocolo CAN no están estandarizados, sin embargo, organismos como la CiA sugieren la siguiente conexión a un terminal DB9:



Figura 1.4 Conector DB9 CAN sugerido por la CiA [5]

- **Máxima longitud del cable:** la longitud del cable está limitada por el retraso de propagación del transceiver, esto se debe al esquema de arbitraje el cual requiere que el frente de onda se propague hasta el nodo más remoto de ida y vuelta antes que el bit sea muestreado.

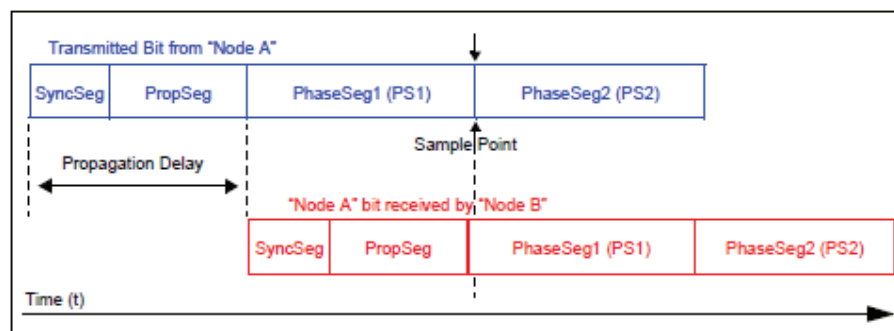


Figura 1.5 Retraso de propagación en un sentido [6]

Según el estándar ISO 11898 para una velocidad de 1 Mbps se tiene una longitud de 40 m, otras longitudes son:

LONGITUD (metros)	VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN (kbit/s)
100	500
200	250
500	125
6000	10

Figura 1.6 Longitud en función de la velocidad de transmisión.

1.1.4 TRANSFERENCIA DEL MENSAJE

1.1.4.1 Tipo de tramas

La transferencia de mensajes se realiza a través de cuatro tipos de tramas siguientes:

Trama de datos: que lleva los datos del transmisor a los receptores.

Trama remota: transmitida por una unidad de bus para solicitar la transmisión de la trama de datos que tenga el mismo identificador.

Trama de error: transmitida por cualquier unidad que detecte un error en el bus.

Trama de sobrecarga: sirve para proveer un retraso adicional entre las tramas de datos o remotas anteriores o posteriores.

La trama de datos y remota están separadas de sus tramas precedentes por un espacio entre tramas.

1.1.4.2 Trama de datos

La trama de datos está compuesta por los siguientes elementos:

- Inicio de trama
- Campo de arbitraje.
- Campo de control.
- Campo de datos.
- Campo CRC.
- Campo de reconocimiento.
- Fin de la trama.

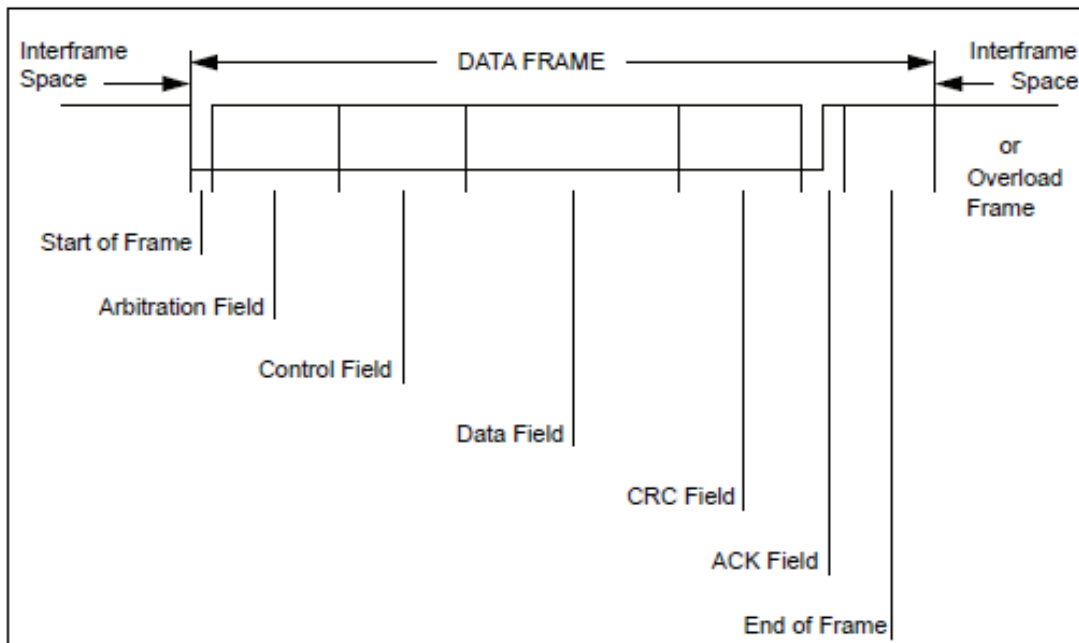


Figura 1.7 Trama de datos CAN. [7]

Inicio de trama: Indica el inicio de la trama remota o de datos, formada por un bit dominante. La transmisión se inicia únicamente cuando el bus está libre, y todos los nodos se deben sincronizar con el flanco inicial causado por el inicio de trama del nodo que inició primero la transmisión.

1.1.4.3 Trama remota

Cuando un nodo requiere información de otro envía una trama remota, que es igual a la trama de datos con la diferencia que no contiene el campo de datos.

El estado lógico del bit RTR define si la trama transmitida es una trama de datos cuando RTR es dominante o trama remota cuando RTR es recesivo.

La trama remota se compone de 6 diferentes campos de bit:

Inicio de la trama, campo de arbitraje, campo de control, campo CRC, campo de reconocimiento y fin de trama como se ilustra en la siguiente figura:

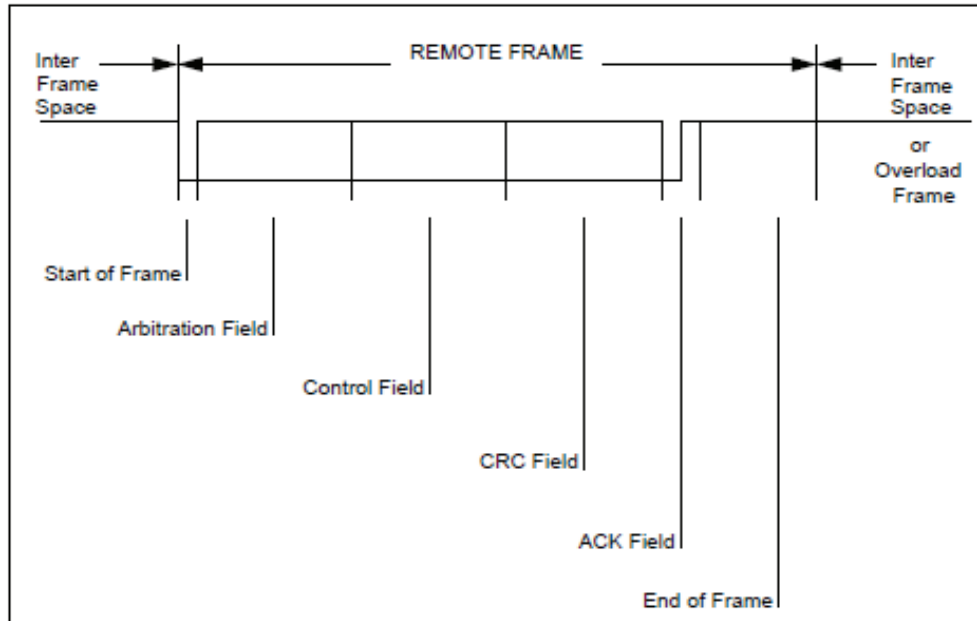


Figura 1.8 Trama remota [8]

1.1.4.4 Trama de error

La trama de error está constituida por dos campos, el primero formado por la superposición de banderas de error de diferentes nodos y el segundo campo es el delimitador de error.

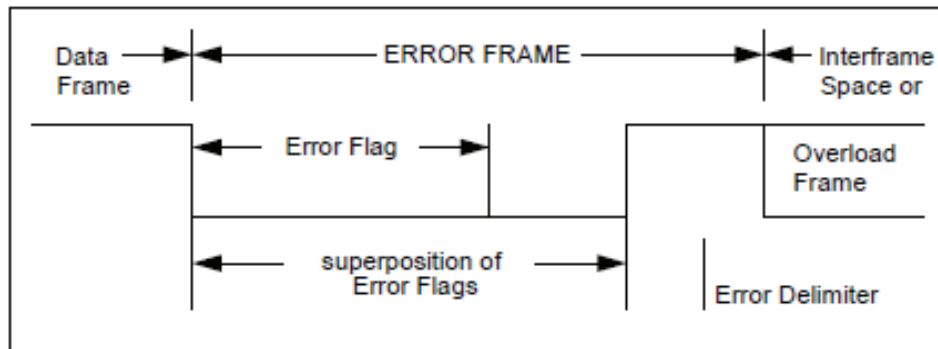


Figura 1.9 Trama de error [9]

Existen dos tipos de banderas de error, bandera de error activo y bandera de error pasivo.

- Bandera de error activo: consiste en seis bits dominantes consecutivos.
- Bandera de error pasivo: consiste en seis bits recesivos consecutivos a menos que sean sobre escritos por bits dominantes de otros nodos.

Un nodo con error activo transmite una bandera de error activo. La estructura de la bandera de error viola la ley de relleno de bits aplicada en el inicio de trama hasta el delimitador CRC o destruye la forma compuesta de los campos de adquisición o fin de la trama; por consiguiente, todos los nodos restantes detectan una condición de error y transmiten una bandera de error.

Es de aquí que aparecen los bits dominantes consecutivos como la superposición de banderas de error de cada nodo del sistema. La longitud total de esta secuencia está comprendida entre 6 y 12 bits.

Un nodo con error pasivo activa la bandera de error pasivo correspondiente después de seis bits consecutivos de la misma polaridad de haberse detectado el error, la bandera de error pasivo está completa solo cuando se haya detectado los seis bits.

- Delimitador de error: está constituido por ocho bits recesivos, después de la transmisión de una bandera de error. Cada nodo envía bits recesivos y monitorea el bus hasta detectar un bit recesivo, después de lo cual el nodo transmite siete bits recesivos más.

Para finalizar la trama de error de manera adecuada el nodo con error pasivo necesita que el bus esté libre por al menos tres tiempos de bit, es por ello que el bus no debe estar usado casi en su totalidad.

1.1.4.5 Trama de sobrecarga

La trama de sobrecarga está formada por la bandera de sobrecarga y el delimitador de sobrecarga.

Existen dos condiciones de sobrecarga:

1. Condiciones internas del receptor que requiere un retardo en la siguiente trama de datos o trama remota.
2. Detección de un bit dominante durante la intermisión.

La primera condición solo es permitida en el primer tiempo de bit de una intermisión esperada y la segunda condición inicia un bit después de haber detectado el bit dominante.

Al menos dos tramas de sobrecarga deben ser generadas para generar un retardo en la siguiente trama de datos o trama de error.

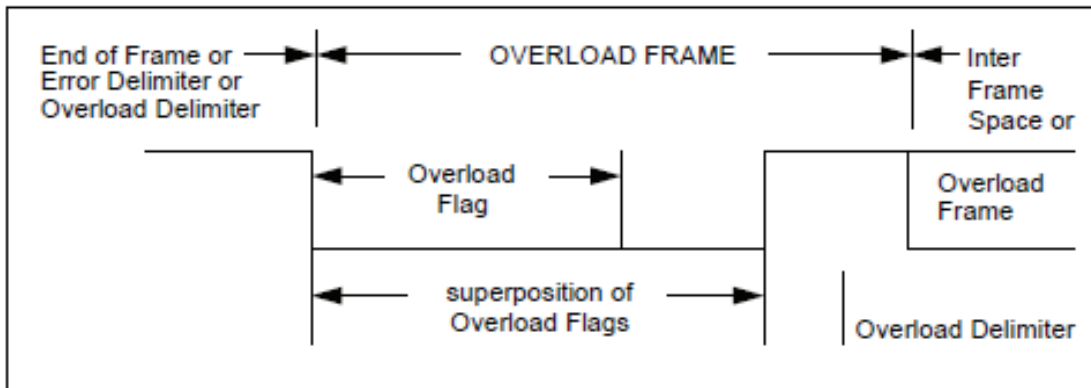


Figura 1.10 Trama de sobrecarga [10]

La bandera de sobrecarga está formada por seis bits dominantes los cuales en conjunto corresponden a la bandera de error activo.

La estructura de la bandera de sobrecarga destruye la forma compuesta del campo de intermisión, por ello todos los otros nodos detectan una condición de sobrecarga y a su vez transmiten banderas de sobrecarga.

El delimitador de sobrecarga está formado por ocho bits recesivos y tiene la misma forma que el delimitador de error. Después de la transmisión de la bandera de sobrecarga cada nodo monitorea el bus hasta detectar una transición de dominante a recesiva, en este punto cada nodo habrá terminado de enviar su bandera de sobrecarga y todos los nodos inician la transmisión de siete bits recesivos más.

1.1.4.6 Espacio entre tramas

Las tramas de datos y tramas remotas están separadas de otras tramas ya sean de datos, remotas, de error o sobrecarga por el campo de datos llamado espacio entre tramas, pero la trama de sobrecarga y la trama de error no están precedidas de un espacio entre tramas por ello múltiples tramas de sobrecarga pueden estar una después de la otra.

El espacio entre tramas contiene los campos de bit 'intermisión' y 'bus libre (idle)' y para nodos con error pasivo que han sido transmisores del mensaje previo, el campo 'suspender transmisión'.

Para nodos que no se encuentran en error pasivo o han sido receptores del mensaje anterior se tiene:

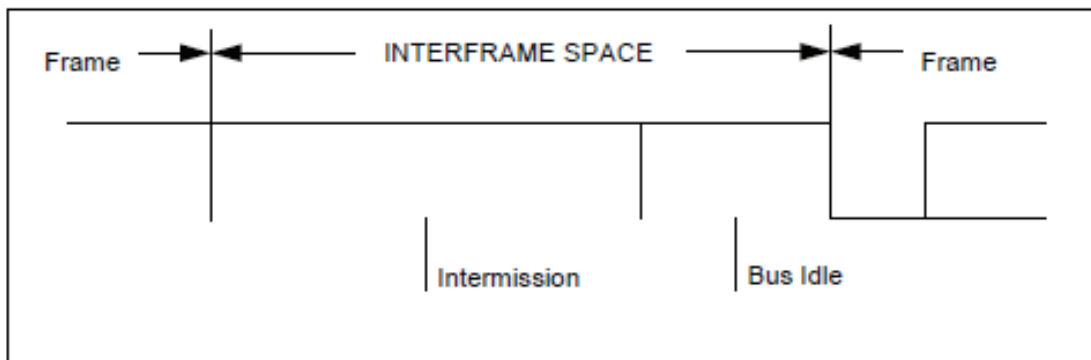


Figura 1.11 Espacio entre tramas sin error pasivo [11]

Para nodos con error pasivo que fueron transmisores del mensaje previo se tiene:

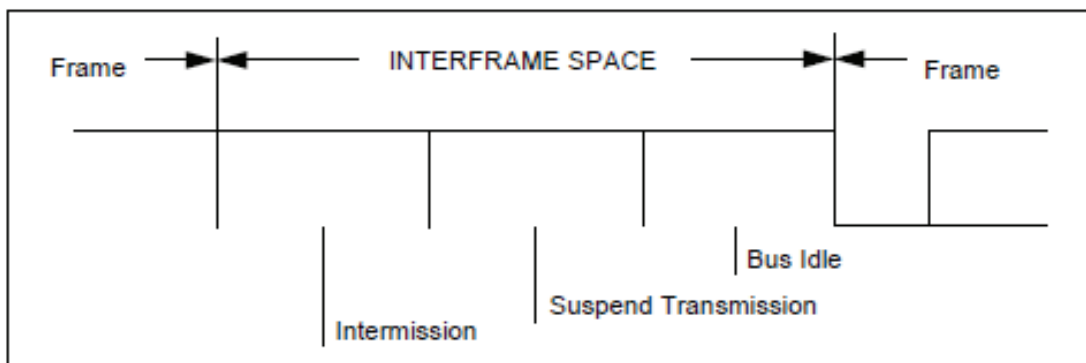


Figura 1.12 Espacio entre tramas con error pasivo [12]

La intermisión consiste en tres bits recesivos, tiempo durante el cual ningún nodo tiene permitido iniciar la transmisión de una trama de datos o trama remota, la única acción permitida es el señalamiento de una condición de sobrecarga.

El período de bus libre puede ser de una longitud arbitraria, el bus es reconocido como libre y cualquier nodo que tenga información por transmitir puede acceder al bus. Un mensaje que esté esperando ser transmitido durante la transmisión de otro mensaje procederá a partir del primer bit posterior a la intermisión. La detección de un bit dominante en el bus se interpreta como inicio de la trama.

Transmisión suspendida: Después de que un nodo con error pasivo haya transmitido un mensaje este envía ocho bits recesivos posteriores a la intermisión

antes de transmitir el siguiente mensaje o antes del reconocimiento de bus libre. Mientras otro nodo inicia la transmisión, el nodo se convierte en receptor del mensaje.

1.1.5 Validación del mensaje

Para un transmisor y receptor el momento en que se valida el mensaje es diferente.

Para los transmisores: el mensaje es válido para el transmisor si no existe error hasta el último bit de fin de trama, si un mensaje está corrompido se retransmitirá de manera automática y de acuerdo a la priorización. Para que la retransmisión sea aceptada debe esperar a que el bus esté libre.

Para los receptores: el mensaje es válido para los receptores si no existe error hasta el último bit del fin de trama.

1.1.6 Codificación

Los segmentos de trama Inicio de trama, campo de arbitraje, campo de control, campo de datos y secuencia CRC son codificados mediante el método de relleno de bit. Cuando un transmisor detecta 5 bits consecutivos de igual valor en el grupo de bits a ser transmitido automáticamente inserta un bit complementario en el grupo actual de bits a ser transmitido.

Los demás campos de bit como trama de datos o trama remota son de la forma compuesta y no se rellenan al igual que la trama de error y la trama de sobrecarga.

Un grupo de bits en un mensaje es codificado mediante el método de no regreso a cero (Non-Return-to-Zero NRZ), esto significa que durante el tiempo total de bit el nivel de bit generado es o dominante o recesivo.

1.1.7 MANEJO DE ERRORES

1.1.7.1 Detección de error

Existen 5 tipos de errores:

- Error de bit: Un nodo que está enviando un bit también se encuentra monitoreando el bus, por ello cuando el bit que está siendo monitoreado difiere del bit enviado se produce el error de bit. Excepciones a esto son el envío de un bit recesivo durante el relleno del grupo de bits del campo de arbitraje o en el campo de reconocimiento, cuando un bit dominante es monitoreado.

Un transmisor que está enviando una bandera de error pasivo y detecta un bit dominante tampoco lo interpreta como un error de bit.

- Error de relleno: debe ser detectado en el tiempo de bit del sexto bit consecutivo de igual nivel en un mensaje que debería estar codificado por el método de relleno de bit.
- Error CRC: un error de CRC se produce cuando el transmisor calcula el CRC y el valor del CRC calculado por el receptor es diferente.
- Error de forma: es detectado cuando un campo de bits de formato compuesto posee uno o más bits ilegales.
- Error de reconocimiento: es detectado por el transmisor cuando no percibe un bit dominante durante el campo de reconocimiento.

1.1.7.2 Señalización de error

Cuando se produce un error de bit, error de relleno, error de forma o error de reconocimiento inicia la transmisión de la bandera de error en el bit posterior al delimitador de reconocimiento, a menos que una bandera de error por otra condición esté previamente activada.

1.1.8 Confinamiento de fallas

Para el confinamiento de errores se implementan dos cuentas en cada nodo, la cuenta de error de transmisión y la cuenta de error de recepción, estas cuentas se modifican según las siguientes reglas:

- Cuando un receptor detecta un bit dominante como el primer bit después del envío de la bandera de error, la cuenta de error de recepción se incrementa en 8.
- Cuando un receptor detecta un error, la cuenta de error de recepción se incrementa en 1 excepto cuando el error detectado es un error de bit durante el envío de una bandera de error activo o bandera de sobrecarga.
- Cuando un transmisor envía una bandera de error la cuenta de error de transmisión se incrementa en 8.
- Si un transmisor detecta un error de bit mientras envía una bandera de error activo o una bandera de sobrecarga la cuenta de error de transmisión se incrementa en 8.

- Si un receptor detecta un error de bit mientras envía una bandera de error activo o una bandera de sobrecarga la cuenta de error de recepción se incrementa en 8.
- Después de la transmisión exitosa de un mensaje la cuenta de error de transmisión decrece en 1 a menos que ya esté en 0.
- Un nodo se encuentre en error pasivo cuando la cuenta de error de transmisión iguala o excede a 128 o cuando la cuenta de error de recepción iguala o excede a 128.
- Después de la recepción exitosa de un mensaje la cuenta de error de recepción decrece en 1 si estaba entre 1 y 127, se mantienen en cero si estaba en cero y si era mayor a 127 entonces se establecerá en un valor entre 119 y 127.
- Un nodo se encuentra en modo bus apagado cuando la cuenta de error de transmisión es mayor o igual a 256.
- Un nodo en error pasivo pasa a error activo nuevamente cuando la cuenta de error de transmisión y la cuenta de error de recepción son menores o iguales a 127.

1.2 ETHERNET

1.2.1 Historia y evolución del Ethernet

En el año de 1970 Robert Metcalfe estudiante del MIT estudiaba la red ARPANET creada por Norman Branson, quien a su vez trabajaba en una nueva red llamada ALOHANET. Este mismo año Robert Metcalfe inicia su tesis doctoral en la universidad de Harvard en la que establecía, de manera teórica, mejoras al protocolo ALOHA y darle más eficiencia. Estas mejoras establecían que las estaciones antes de transmitir tenían que detectar si el canal estaba siendo utilizado y si fuera así esperar hasta que estuviera disponible y también cada estación debía vigilar el medio físico mientras transmitía para detectar colisiones, de ser así pararían la transmisión y la reiniciarían más tarde [13].

Robert Metcalfe trabajaría en el Centro de Investigación de Xerox en Palo Alto (Xerox Palo Alto Research Center), en el año de 1972, En ese año se probaban los ordenadores llamados Alto con capacidades gráficas y con periféricos como el mouse, se fabricaban también las primeras impresoras láser y el objetivo que se plantearon fue el de comunicar los computadores entre sí para compartir ficheros y

también compartir las impresoras, por lo que la transferencia de datos demandaba velocidades de megabits por segundo.

Con 27 años de edad, Robert Metcalfe fue el encargado de diseñar, como el especialista en telecomunicaciones, una red que permitiera comunicar estos dispositivos. David Boggs, estudiante de doctorado de Stanford sería su ayudante y colaborador en el proyecto. A sus primeros ensayos los llamaron 'Alto Aloha Network' en 1972, continuos avances y mejoras se produjeron hasta concluir el 22 de mayo de 1973 lo que sería una nueva y mejorada red. La bautizaron con el nombre de Ethernet, haciendo referencia al concepto utilizado en la física del Ether, y haciendo la analogía de este, con el cable coaxial por el que viajaba la onda portadora de esta nueva red. Las primeras dos computadoras usadas para comunicarse entre sí mediante Ethernet fueron bautizadas Michelson y Morley en honor a los físicos que demostraron la inexistencia del éter en 1887.

Ethernet tenía topología tipo bus, transmitía datos a 2,94 Mbps sobre un cable coaxial de 1,6 kilómetros, sus direcciones de 8 bits y el CRC de 16 bits. Se utilizaba CSMA/CD, acceso múltiple con escucha de portadora y detección de colisiones, para minimizar la probabilidad de colisión y de producirse, usar el retroceso exponencial binario para reducir gradualmente la agresividad del emisor. El protocolo que se usó a nivel de red era el Parc Universal Packet (PUP) que actualmente se lo conoce como Xerox Network System (XNS).

El medio de transporte era un cable coaxial de 50 ohmios ya que producía menos reflexiones de señal al ser Ethernet una tecnología de red que transmitía en banda base, sin modulación, y en cada empalme y conector en T se producían estas reflexiones.

En 1976 se publica un artículo enviado por Metcalfe y Boggs a la ACM (Association for Computing Machinery) en 1975, donde ya se mencionó a los repetidores que incrementarían el alcance de la red.

Para el año de 1977 Metcalfe, Boggs y otros ingenieros recibieron la patente de Ethernet básico y en 1978 la patente por el repetidor. Xerox para ese entonces era el propietario del sistema completo de Ethernet.

Una cronología histórica de los hechos se detalla a continuación:

- 1970: Primeros ensayos de redes broadcast en ALOHANET. Protocolos MAC ALOHA puro y ranurado.
- 22 de mayo, 1973: Robert Metcalfe y David Boggs conectan dos computadores mediante cable coaxial y a una velocidad de 2,94 Mbps en el Xerox PARC, mediante la red que llamarían Ethernet.
- Mayo de 1975: Robert Metcalfe y David BOggs escriben un artículo sobre Ethernet y es enviado a ACM.
- 1976: Xerox crea SSD para el desarrollo de computadores personales y cambia de nombre a Ethernet por X-wire.
- 1979: Se crea DIX, alianza entre DEC, Intel y Xerox para impulsar la mejoría de la red y se retoma el nombre original de Ethernet, al mismo tiempo Robert Metcalfe deja Xerox y crea 3Com.
- Febrero de 1980: Se crea el proyecto 802. en el IEEE.
- Abril de 1980: Se anuncia en DIX que se proyecta estandarizar el proyecto 802.
- Septiembre de 1980: DIX publica Ethernet versión 1.0 con velocidad de 10 Mbps, 3Com crea las primeras tarjetas Ethernet para computadores personales.
- 1982: DIX publica Ethernet versión 2.0 y 3Com fabrica tarjetas 10BASE2 para computadores personales.
- 24 de junio de 1983: IEEE aprueba el estándar 802.3 que coincide casi completamente con DIX Ethernet, 10BASE5 es el único medio físico soportado.
- 21 de diciembre de 1984: ANSI aprueba el estándar IEEE 802.3

IEEE 802.3 fue el estándar que contendría a Ethernet, únicamente el campo de cabecera se definió de manera diferente.

Las constantes actualizaciones cubren aumento de velocidad, hubs, conmutadores, redes virtuales y medios de transmisión como fibra óptica, par trenzado y cable coaxial. Su cronología se detalla en el siguiente gráfico:

STANDARD SUPPLEMENT	YEAR	DESCRIPTION
802.3a	1985	10Base-2 (thin Ethernet)
802.3c	1986	10 Mb/s repeater specifications (clause 9)
802.3d	1987	FOIRL (fiber link)
802.3i	1990	10Base-T (twisted pair)
802.3j	1993	10Base-F (fiber optic)
802.3u	1995	100Base-T (Fast Ethernet and auto-negotiation)
802.3x	1997	Full duplex
802.3z	1998	1000Base-X (Gigabit Ethernet)
802.3ab	1999	1000Base-T (Gigabit Ethernet over twisted pair)
802.3ac	1998	VLAN tag (frame size extension to 1522 bytes)
802.3ad	2000	Parallel links (link aggregation)
802.3ae	2002	10-Gigabit Ethernet
802.3as	2005	Frame expansion
802.3at	2005	Power over Ethernet Plus

Figura 1.13 Cronología estándar 802.3 [14]

1.2.2 Ethernet y el modelo OSI

Ethernet trabaja en las dos capas inferiores del modelo OSI, la capa física y la capa de enlace de datos.

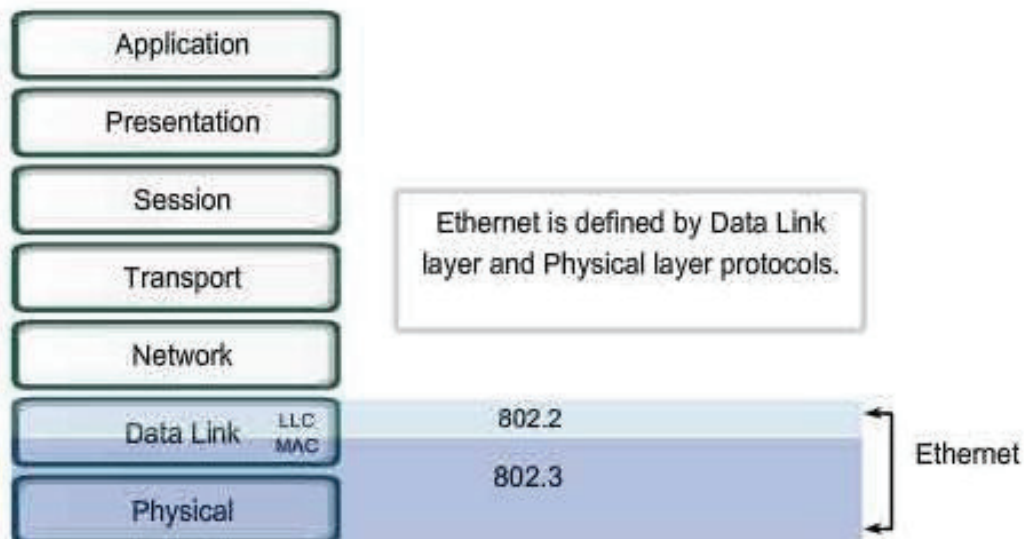


Figura 1.14 Ethernet en el modelo OSI. [15]

Interpolando Ethernet al modelo OSI este trabaja en toda la capa física pero únicamente en la mitad inferior de la capa de enlace de datos, es decir solo en MAC (Medium Access Control) mediante CSMA/CD que corresponde a la técnica de Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Detección de Colisiones.

La capa física involucra señales eléctricas, flujo de bits que viajan a través del medio, componentes físicos y varias topologías.

Las limitaciones de la capa física son suplidas por la capa de enlace lógico. Esquemáticamente esto es:

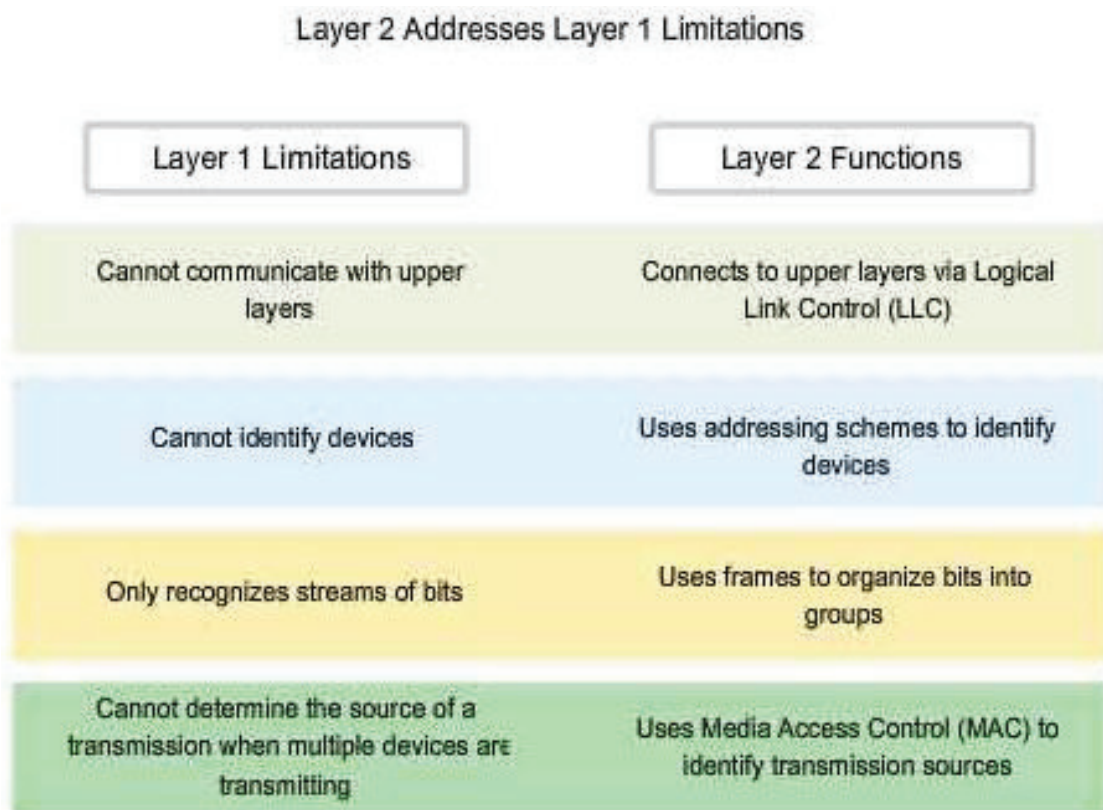


Figura 1.15 Comparación capa física y capa de enlace lógico [16]

En Ethernet las funciones principales de MAC son la encapsulación de datos y el control de acceso al medio.

- Encapsulación de datos: delimita la trama, direcciona y detecta errores.

- Control de acceso al medio: controla la ubicación y remoción de tramas del medio e inicia la transmisión de tramas y la recuperación después de una falla de transmisión debido a colisiones.



Figura 1.16 Funciones de MAC en Ethernet [17]

1.2.3 Topologías

Topología es la forma en la que está diseñada una red, ya sea física o lógicamente, las topologías de red básicas son:

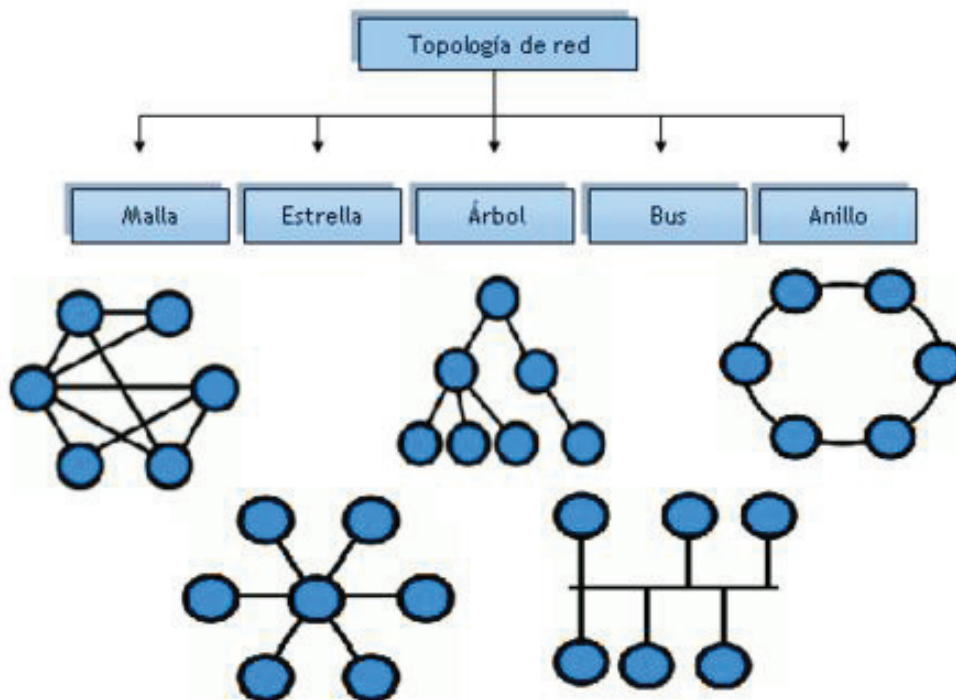


Figura 1.17 Topologías básicas de red [18]

En Ethernet se puede hablar de una topología lógica y una topología física de funcionamiento. La topología lógica siempre se ha mantenido en una topología tipo bus, la cual es determinada en la capa de enlace de datos por el control de acceso al medio y su técnica CSAM/CD.

La topología física de Ethernet inició como una topología Bus mediante cable coaxial y al cual los dispositivos se conectaban mediante conectores T.

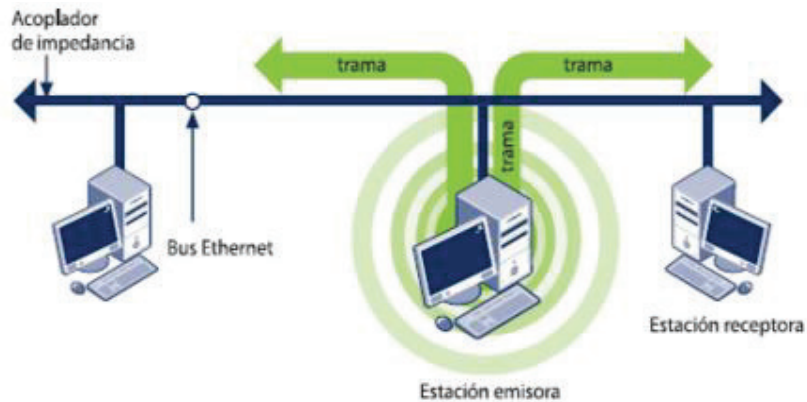


Figura 1.18 Topología Bus de Ethernet [19]

Las continuas demandas de expansión y flexibilidad de las redes llevaron a la creación de hubs, switches y routers que permiten expandir la red mediante la topología tipo estrella.

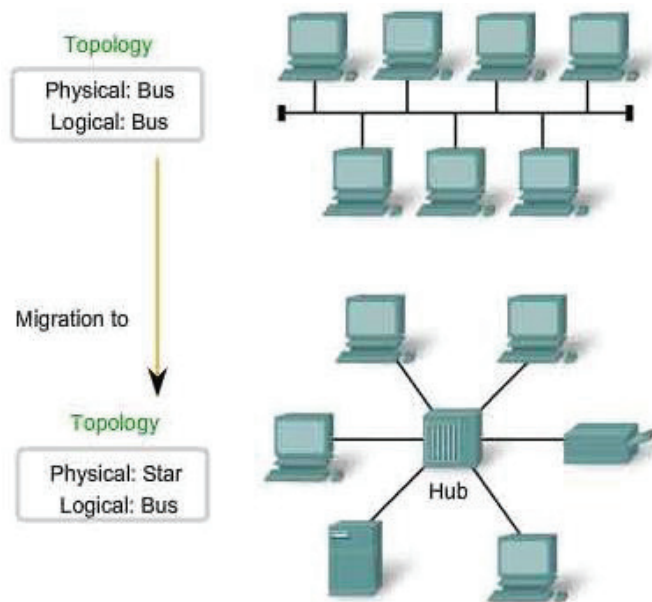


Figura 1.19 Topologías Bus y Estrella de Ethernet [20]

En una topología tipo estrella es necesario que el tiempo de ida y vuelta entre dos hosts cualquiera dentro de la red no sea mayor al tiempo que tarda en emitirse la trama mínima permitida, este tiempo dependiente de la velocidad de la red establece distancias máximas entre hosts.

La velocidad de la red, tamaño de trama mínimo, tiempo de ida y vuelta y distancia máxima se relacionan de la siguiente manera de forma ideal:

Velocidad (Mb/s)	Tamaño de trama mínimo (bits)	Tiempo de ida y vuelta (μ s)	Distancia máxima (m)
10	512	51,2	4000
100	512	5,12	412
1000	4096	4,096	330

Figura 1.20 Relación de parámetros ideales en Ethernet.

1.2.4 Formato de la trama

Es necesario indicar que la trama Ethernet difiere mínimamente con el estándar 802.3, pero esta diferenciación no crea ningún conflicto y siguen siendo 100% compatibles entre sí.

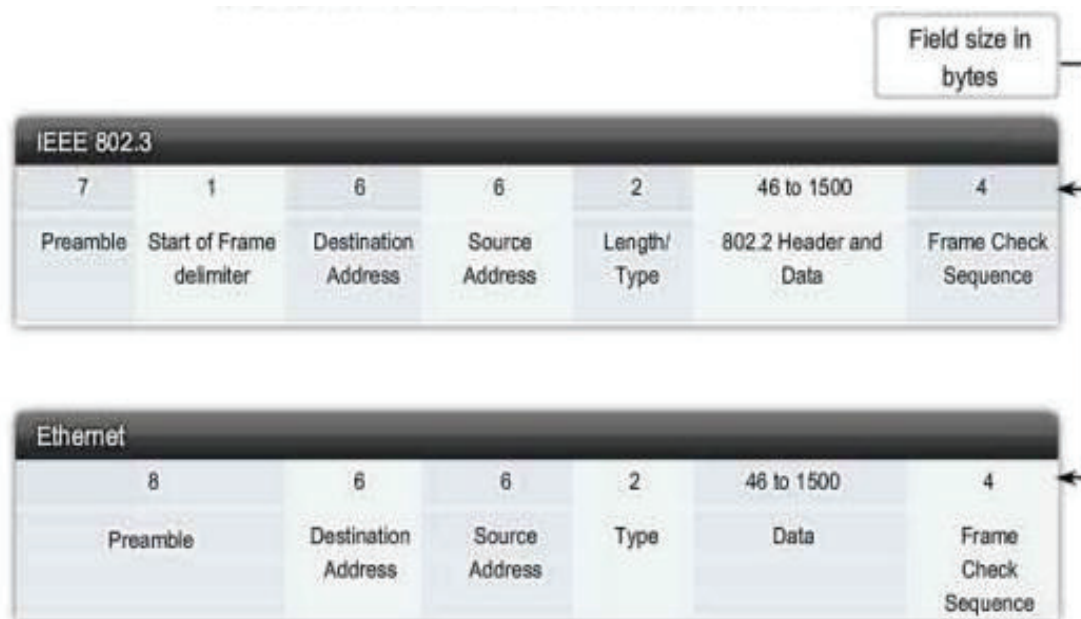


Figura 1.21 Comparación de tramas 802.3 y Ethernet [21]

- El preámbulo tiene la secuencia 10101010 repetida en siete ocasiones y el delimitador de inicio de trama 10101011, los cuales al ser transmitidos en

codificación Manchester generan una onda cuadrada de 10 MHz por 5,6 ms y permite a los demás hosts de la red sincronizar sus relojes con el emisor.

- La dirección de destino es el identificador del receptor, esta dirección se compara con la dirección MAC del dispositivo y de coincidir, se acepta la trama.
- La dirección de origen viene grabada en hardware, única para cada dispositivo por lo cual no se pueden repetir.
- El campo de longitud y tipo son usados para determinar la longitud exacta del campo de datos de la trama y posteriormente se utiliza para la secuencia de verificación de la trama.
- El campo datos contiene la información que será transmitida por la trama la misma que corresponde al nivel superior que será la cabecera de LLC encapsulando a los datos del nivel de red.
- El campo de secuencia de chequeo de la trama se utiliza para detectar errores en la trama, utiliza un chequeo de redundancia cíclica (CRC). Se compara el CRC entre el emisor y receptor y de no ser iguales se determina a existencia de un error. [22]

1.2.5 Tipos de Ethernet

Los diferentes tipos de internet diferenciados por velocidad, medio de transmisión y distancia se definen en la capa física.

En la actualidad se puede diferenciar entre Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet y 10 Gigabit Ethernet.

Cuatro rangos de datos están definidos para operar sobre fibra óptica y cables de par trenzado:

- 10 Mbps – 10Base-T Ethernet
- 100 Mbps – Fast Ethernet
- 1000 Mbps – Gigabit Ethernet
- 10 Gbps – 10 Gigabit Ethernet

Los tipos de Ethernet más comunes son:

Ethernet Type	Bandwidth	Cable Type	Duplex	Maximum Distance
10Base-5	10 Mbps	Thicknet Coaxial	Half	500 m
10Base-2	10 Mbps	Thinnet Coaxial	Half	185 m
100Base-TX	10 Mbps	Cat3/Cat5 UTP	Half	100 m
100Base-TX	100 Mbps	Cat5 UTP	Half	100 m
100Base-FX	200 Mbps	Cat5 UTP	Full	100 m
100Base-FX	100 Mbps	Multimode Fiber	Half	400 m
1000Base-T	200 Mbps	Multimode Fiber	Full	2 km
1000Base-TX	1 Gbps	Cat5e UTP	Full	100 m
1000Base-SX	1 Gbps	Cat6 UTP	Full	100 m
1000Base-LX	1 Gbps	Multimode Fiber	Full	550 m
10GBase-CX4	1 Gbps	Single-Mode Fiber	Full	2 km
10GBase-T	10 Gbps	Twin-axial	Full	100 m
10GBase-LX4	10 Gbps	Cat6a/Cat7 UTP	Full	100 m
10GBase-LX4	10 Gbps	Multimode Fiber	Full	300 m
10 Mbps	10 Gbps	Single-Mode Fiber	Full	10 km

Figura 1.22 Tipos de Ethernet más comunes [23]

1.3 RED DE SENSORES

Una red de sensores está formada por sensores que envían información a través de una red de comunicación. Para la presente tesis las señales de los sensores son codificadas mediante el protocolo CAN y utilizando Ethernet esta información será visible en otros hosts (computadores) de la red de área local.

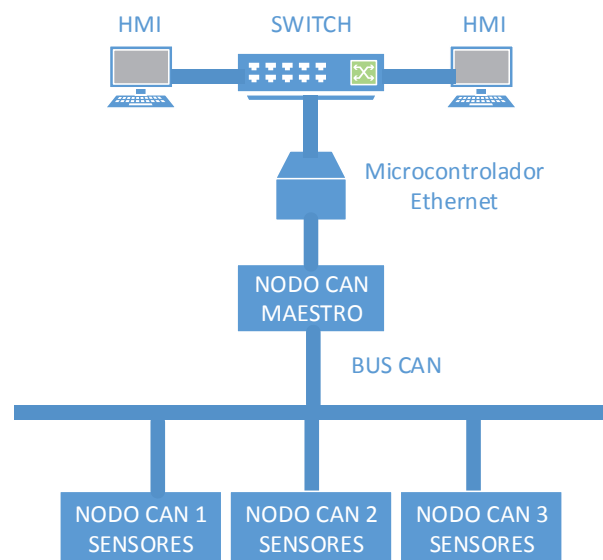


Figura 1.23 Red de sensores CAN-Ethernet.

1.3.1 Sensores que usan el protocolo CAN

- Sensor de temperatura KIR16X4



Figura 1.24 Sensor de temperatura KIR16X4 [24]

- 64 puntos individuales de medición.
- Salida CAN Bus
- Rango de temperatura: 37 grados Fahrenheit a 400 grados Fahrenheit.
- Voltaje de alimentación: 5V-18V DC.

- Caudalímetros

Modelo	Conexiones principales	Conexiones superiores*	Caudal	Presión máx.
CT15-***-B-B-6	1/2" BSPP	1/4" BSPP	1-15 lpm	420 bar
CT15-***-S-S-6	3/4" -16UN SAE N.º 8 tipo ORB	7/16" -20UN SAE N.º 4 tipo ORB	0.25-4 gpm	6000 psi
CT60-***-B-B-6	3/4" BSPP	1/4" BSPP	3-60 lpm	420 bar
CT60-***-S-S-6	1-1/16" -12UN SAE N.º 12 tipo ORB	7/16" -20UN SAE N.º 4 tipo ORB	0.8-16 gpm	6000 psi
CT150-***-B-B-6	3/4" BSPP	1/4" BSPP	5-150 lpm	420 bar
CT150-***-S-S-6	1-1/16" -12UN SAE N.º 12 tipo ORB	7/16" -20UN SAE N.º 4 tipo ORB	1.3-40 gpm	6000 psi
CT300-***-B-B-6	1" BSPP	1/4" BSPP	8-300 lpm	420 bar
CT300-***-S-S-6	1-5/16" -12UN SAE N.º 16 tipo ORB	7/16" -20UN SAE N.º 4 tipo ORB	2-80 gpm	6000 psi
CT600-***-B-B-5	1-1/4" BSPP	1/4" BSPP	15-600 lpm	350 bar
CT600-***-S-S-5	1-5/8" -12UN SAE N.º 24 tipo ORB	7/16" -20UN SAE N.º 4 tipo ORB	4-160 gpm	5000 psi
CT750-***-S-B-7	1-7/8" -12UN SAE N.º 24 tipo ORB	1/4" BSPP	20-750 lpm	480 bar
CT750-***-S-S-7	1-7/8" -12UN SAE N.º 24 tipo ORB	7/16" -20UN SAE N.º 4 tipo ORB	5-200 gpm	7000 psi
CT750-SR-F-B-3 SR	1-1/2" SAE N.º 24 código 61, brida de 4 pernos	1/4" BSPP	20-750 lpm	210 bar
CT750-SR-F-S-3 SR	1-1/2" SAE N.º 24 código 61, brida de 4 pernos	7/16" -20UN SAE N.º 4 tipo ORB	5-200 gpm	3000 psi

Cambiar *** por CAN o SR para obtener el número de modelo completo. *El CT 15 tiene una de las conexiones superiores especificadas.

Figura 1.25 Caudalímetros CAN [25]

- Caudalímetros con válvula de carga

Modelo	Conexiones principales	Conexiones superiores	Caudal	Presión máx.
CT300R-***-B-B-6	1" BSPP1/4" BSPP	8-300 lpm	420 bar	
CT300R-***-S-S-6	1-5/16" -12UN SAE N.º 16 tipo ORB	7/16" -20UN SAE N.º 4 tipo ORB	2-80 gpm	6000 psi
CT750R-***-S-B-7	1-7/8" -12UN SAE N.º 24 tipo ORB	1/4" BSPP	20-750 lpm	480 bar
CT750R-***-S-S-7	1-7/8" -12UN SAE N.º 24 tipo ORB	7/16" -20UN SAE N.º 4 tipo ORB	5-200 gpm	7000 psi
CT750R-SR-F-B-3 SR	1-1/2" SAE N.º 24 código 61, brida de 4 pernos	1/4" BSPP	20-750 lpm	210 bar
CT750R-SR-F-S-3 SR	1-1/2" SAE N.º 24 código 61, brida de 4 pernos	7/16" -20UN SAE N.º 4 tipo ORB	5-200 gpm	3000 psi

Cambiar *** por CAN o SR para obtener el número de modelo completo.


Figura 1.26 Caudalímetros CAN con válvula de carga [26]

Especificaciones técnicas Caudalímetros CT y CTR

Temperatura ambiente:	-10 a 50 °C (14-122 °F)
Tipo de fluido:	Aceites, combustibles, agua/glicol, emulsiones de aceite/agua
Temperatura del fluido:	-20 a 90 °C (-4 a 194 °F) uso continuo
Filtrado	25 µm (10 µm para CT15-CAN)
Viscosidad:	10...100 cSt
Exactitud:	15-100% del intervalo: 1% de la lectura indicada Por debajo del 15% brinda una exactitud fija del 1% del 15% a
a fondo de escala)	
Repetibilidad:	Mejor que ± 0.2%
Especificación eléctrica	
Fuente de alimentación:	CAN: 8-40 V CC, SR: 7-15 V CC
Tiempo de respuesta:	50 ms

Figura 1.27 Especificaciones de caudalímetros Figura 1.25 y Figura 1.26 [27]

- Sensor digital de nivel de combustible



Digital Fuel Level Sensor LLS / CANbus

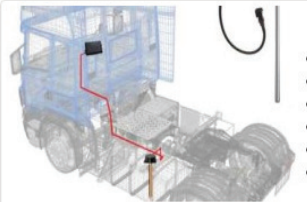
The digital level display is designed to accurately measure the fuel level in the tanks of vehicles, as the output signal is converted to digital code and transferred to a GPS device – Autotrack XL Gyro.

The sensor size is 800 mm, and the maximum size it can be shortened without loss of accuracy is up to 150 mm.

The installation is performed at the client's place and takes about four hours.

The calibration is performed professionally with specialized mobile system / pump, counter, gun and tank / in 20 30l.

You can control the level of fuel at any time of every vehicle of your fleet, regardless of the type of the tank.




SPECIFICATIONS:

- Accuracy of fuel level: less than 1%
- Power supply: 10-30 V
- Power consumption: 1,5 W
- Interface for data transmission: CANbus
- Operating Temperature sensor: - 30 ° C to + 70 ° C;
- Degree of protection of housing of the sensor: IP66;

Figura 1.28 Sensor digital de nivel de combustible CAN [28]

1.3.2 Sensores que usan Ethernet

- Sensor de temperatura TME



Termómetro para Ethernet.

- El TME es un sensor de temperatura con conexión directa a Ethernet (IP Thermometer), con opción PoE.
- Rango de medida desde -55°C hasta +125°C, 0,1 °C de resolución.
- Sensor con protección IP68.
- Soporta importantes protocolos Ethernet: IP, TCP, UDP, HTTP (WEB, y mini WEB para PDA y Móviles), SMTP (e-mail), SOAP, XML, Spinel y Modbus TCP. También protocolos SNMP, XML, HTTP GET & POST para envío automático a un servidor remoto.
- La temperatura puede ser transmitida a través de TCP / IP en formato ASCII (en: °C, °F, K, sin necesidad de conversión).
- Página web con los valores, y para su configuración (inglés).
- Soporte para carril DIN de 35 mm.

Figura 1.29 Sensor de temperatura TME Ethernet [29]

- Sensor de humedad, punto de rocío y temperatura



The image shows two components of the TH2E sensor. On the left is a rectangular silver-colored module with a green label that reads 'TH2E'. It has an Ethernet port on the left side and a blue cable connector on the right. To its right is a smaller, grey, cylindrical component, also labeled 'TH2E', which is the sensor probe. A blue cable is connected to the probe.

TH2E: Sensor de Temperatura, Humedad y Punto-de-Rocío para Ethernet.

- El TH2E es capaz de medir la temperatura, humedad y calcular el punto de rocío.
- Rango de medida de Temperatura desde -55°C hasta $+125^{\circ}\text{C}$, $0,1^{\circ}\text{C}$ de resolución.
- Rango de medida de Humedad desde 0% hasta 100%
- Sensor con protección IP67.
- Importantes protocolos Ethernet están soportados: IP, TCP, UDP, HTTP (WEB, y mini WEB para PDA y Móviles), SMTP (e-mail), SOAP, XML, Spinel y Modbus TCP y protocolos SNMP, XML, HTTP GET & POST envío automático a un servidor remoto. La temperatura puede ser transmitida a través de TCP / IP en formato ASCII (en: $^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{F}$, K, sin necesidad de conversión).
- Pagina web con los valores, y para su configuración (Ingles).
- Logging Option: Los valores pueden ser grabados en una memoria interna con capacidad para 10000 registros.
- Soporte para carril DIN de 35 mm.

Figura 1.30 Sensor de humedad, punto de rocío y temperatura Ethernet [30]

En el Capítulo 1 se detalló el funcionamiento y características del protocolo de comunicación CAN y de la tecnología Ethernet que se usarán en el desarrollo del proyecto. Se detalló la estructura general de la red de sensores que se implementará y algunos de los sensores CAN que se utilizan comercialmente.

CAPÍTULO 2

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA RED CAN

En el presente capítulo se detalla la actualización del módulo de red de sensores CAN del laboratorio de redes industriales. La red CAN está formada por un maestro y tres esclavos.

Se rediseñará la red para que nodo CAN maestro transmita información a un microcontrolador con conexión a Ethernet y a través de este enviar la información a toda una red LAN formada por distintos computadores.

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA RED CAN A ACTUALIZARSE

El módulo de la red de sensores CAN del laboratorio de redes industriales se encontraba obsoleto, algunos de los microcontroladores fueron retirados, diversos elementos fueron reciclados y utilizados en otros módulos o prácticas de laboratorio.

Por estos motivos se decidió rediseñar el módulo CAN, ya que este protocolo sigue siendo el único protocolo CAN existente a la fecha que se implementa en la capa de enlace y capa física, otras evoluciones como el CANOpen trabajan en las capas superiores del Modelo OSI.

ISO CAN FD sucesor de CAN y que trabaja a mayor velocidad, a febrero de 2016 aún no se comercializa y sigue en fase experimental en la empresa STMicroelectronics, la cual es pionera en el desarrollo de microcontroladores con este protocolo y tomará aún mucho tiempo para que este nuevo protocolo sustituya a CAN que tiene gran presencia en una gran variedad de aplicaciones en la industria.

El objetivo del rediseño del sistema se condensa en la Figura 2.1

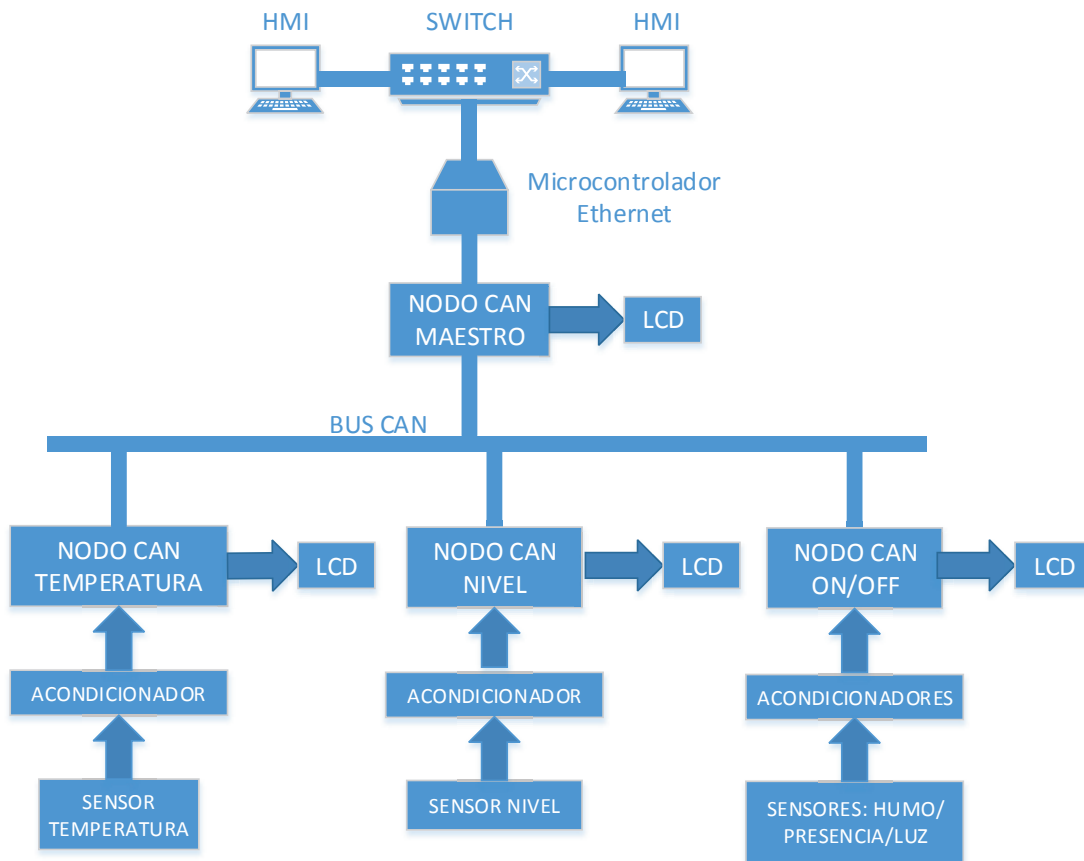


Figura 2.1 Diagrama de bloques del rediseño de la red CAN.

Cotejando el rediseño del sistema con el modelo OSI se tienen las capas de la siguiente manera:

CAPAS	RED CAN/ETHERNET
APLICACIÓN	HMI (protocolo interno)
TRANSPORTE	UDP
DIRECCIONAMIENTO	IP
ENLACE DE DATOS	CAN/ETHERNET
FÍSICA	CAN/ETHERNET

Figura 2.2 Diagrama de bloques del rediseño de la red CAN.

Los elementos a reemplazarse son:

- Displays de cristal líquido: La planta tiene cuatro nodos, de los cuales únicamente dos cuentan con LCDs para visualización.

- Transceiver CAN L9616: Para el rediseño lógico de la red CAN se utilizan elementos de montaje superficial por lo que se cambian los transceivers MCP2551 por transceivers CAN SMD L9616 en todos los nodos.
- Microcontrolador AT90CAN32/64/128: Los microcontroladores que procesan el protocolo CAN de la marca PIC son reemplazados por microcontroladores AT90CAN Atmel de montaje superficial, los cuales tienen una mayor cantidad de funcionalidades y recursos. Esto permite una proyección de desarrollo real de la planta.
- Diseño de la placa CAN: El elemento medular de la planta es la red CAN y cada uno de sus nodos. El rediseño implementa placas electrónicas nuevas en montaje superficial lo cual reduce el tamaño al mínimo posible, se obtiene una presentación profesional y expande la cantidad de recursos disponibles en los sistemas embebidos.

2.2 SISTEMA DE MONITOREO DE NIVEL

El sistema de monitoreo de nivel fue retirado de la planta, por lo cual es necesario reemplazar los elementos faltantes.

2.2.1 REESTRUCTURACIÓN DE LA CÁMARA DE NIVEL

- Tanque de nivel: el tanque de nivel de agua fue retirado al igual que sus sensores. Este tanque es reemplazado por un nuevo tanque con una capacidad de 20 litros. La función de la cámara de nivel es medir y mostrar los valores de nivel en el recipiente.

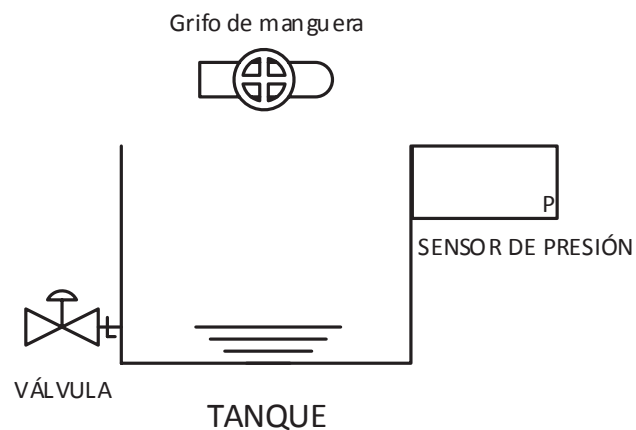


Figura 2.3 Diagrama del sistema de nivel.

- Válvula de diafragma: Para permitir el vaciado del tanque se utiliza una válvula de diafragma que permite un flujo variable de salida del agua.



Figura 2.4 Válvula de diafragma.

- Sensor de presión diferencial: Para la medición del nivel de agua en el tanque se seleccionó el sensor de presión diferencial MXP5050DP.

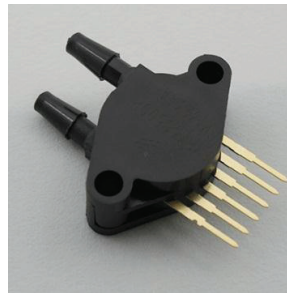


Figura 2.5 Sensor de presión diferencial MPX5050DP [31]

Este sensor tiene una salida de voltaje acondicionada de cero a cinco voltios según la siguiente figura:

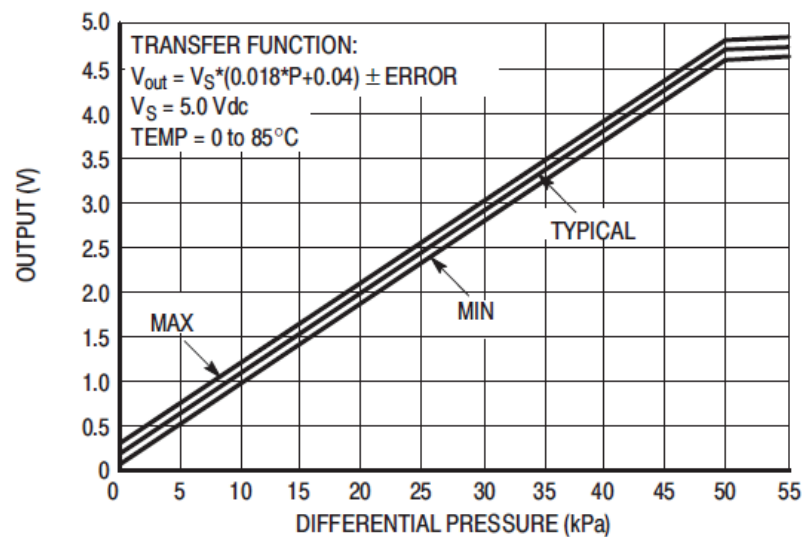


Figura 2.6 Salida contra presión diferencial del sensor MXP5050DP [32]

Al sensor se le adicionan capacitores de desacoplamiento y filtro a la salida con los valores especificados por el fabricante como muestra el diagrama de la Figura 2.7.

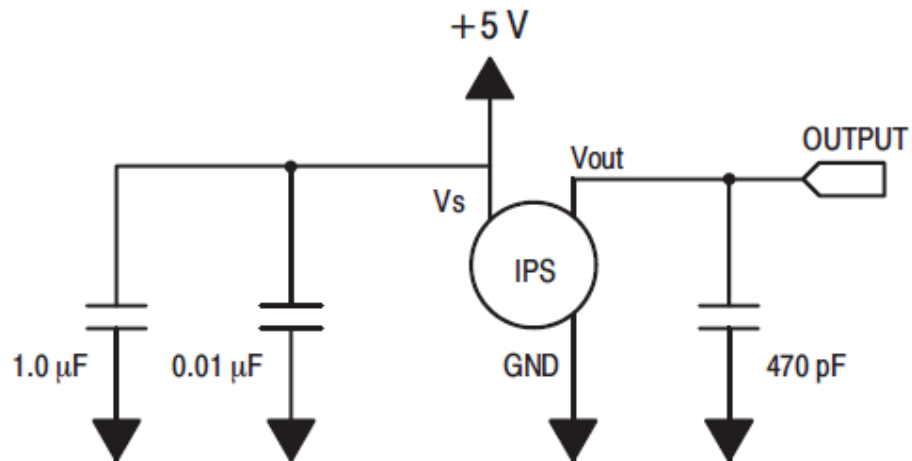


Figura 2.7 Capacitores de desacoplamiento, filtro de salida sensor MPX5050DP [33]

La variación de presión en el tanque de agua da una salida normalizada de 0 [V] a 5 [V] en el sensor lo que permite ingresar la información al conversor análogo digital del microcontrolador.

- Alarmas visuales: para la señalización de niveles máximo y mínimo se seleccionaron luces similares a las existentes en el tablero, con alimentación de 110V. El acondicionamiento reutilizado para las alarmas se observa en la Figura 2.17.

2.2.2 DISEÑO DEL NODO CAN DE NIVEL

El nodo CAN de nivel se implementa en la placa diseñada y tiene los siguientes elementos:

- LCD 16x2 para visualización de datos de nodo.

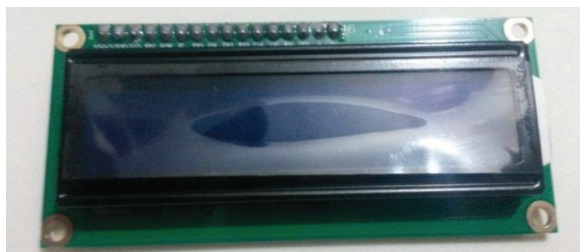


Figura 2.8 LCD 16x2 [34]

La conexión del LCD para el nodo CAN de nivel es a cuatro hilos como se ilustra en la siguiente figura:

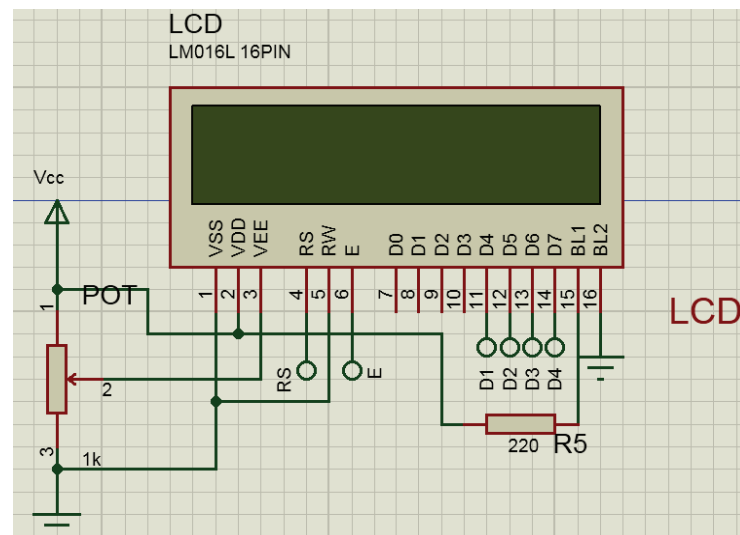


Figura 2.9 Conexión del LCD del nodo de Nivel.

El display de cristal líquido se alimenta con 5 voltios de corriente continua y la corriente que soporta el módulo según la luz de fondo o backlight azul está entre 20mA y 25mA como indica el fabricante. Por lo tanto, el cálculo de la resistencia que va desde el pin BL1 a Vcc de la Figura 2.7 se realiza según la ecuación (2.1).

$$I = V/R \quad (2.1)$$

$$I = 5V/220 \Omega \quad (2.2)$$

$$I = 22 \text{ mA} \quad (2.3)$$

Con una resistencia de 220Ω se tiene una corriente dentro del rango especificado por el fabricante y luminosidad adecuada del display de cristal líquido.

El potenciómetro de 1kΩ conectado al pin VEE cumple la función de variar el contraste del display según el ángulo de visión.

- Transceiver CAN L9616: para que el microcontrolador pueda trabajar con el voltaje diferencial del protocolo CAN se utiliza el transceiver L9616 SMD.



Figura 2.10 Transceiver CAN L9616 [35]

El transceiver se conecta al microcontrolador de la siguiente manera:

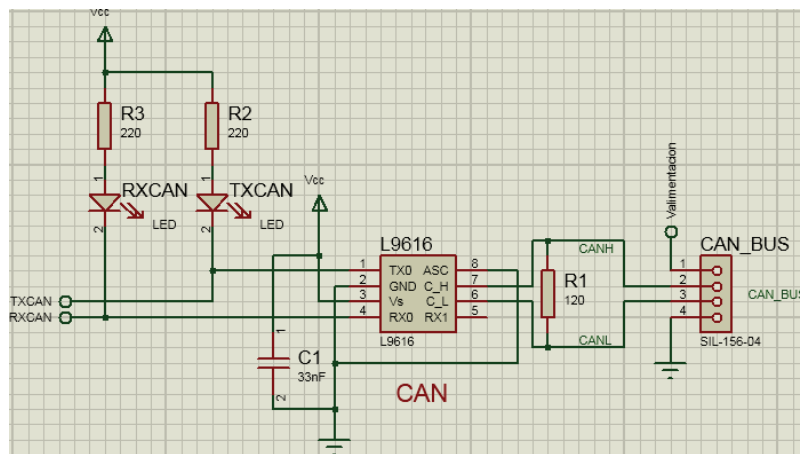


Figura 2.11 Conexión del transceiver L9616.

Las señales del microcontrolador salen por TXCAN y RXCAN, llegan al transceiver y pasan al bus CAN a través de CANH y CANL. Entre estos dos pines se coloca una resistencia de 120 ohmios como se establece en el protocolo CAN.

El valor de las resistencias R2 y R3 se realiza según la ecuación (2.4).

$$R = (V_{cc} - V_{led}) / I_{led} \quad (2.4)$$

$$R = (5V - 3.3V) / 10mA \quad (2.5)$$

$$R = 170\Omega \quad (2.6)$$

El valor de V_{led} se obtiene de la hoja del fabricante, se asume una I_{led} de 10mA que no sobrepasa la especificación del fabricante que es de 20mA. El valor calculado de la resistencia se aproxima a un valor estándar de 220 Ω .

El valor del capacitor de 33nF entre Vs y GND del transceiver L9616 se obtiene de la hoja del fabricante.

- AT90CAN32: El microcontrolador seleccionado para procesar el protocolo CAN es el AT90CAN32 de atmel en SMD de 64 pines para posibles expansiones del módulo.



Figura 2.12 Microcontrolador AT90CAN32 [36]

El diagrama circuital del microcontrolador es el siguiente:

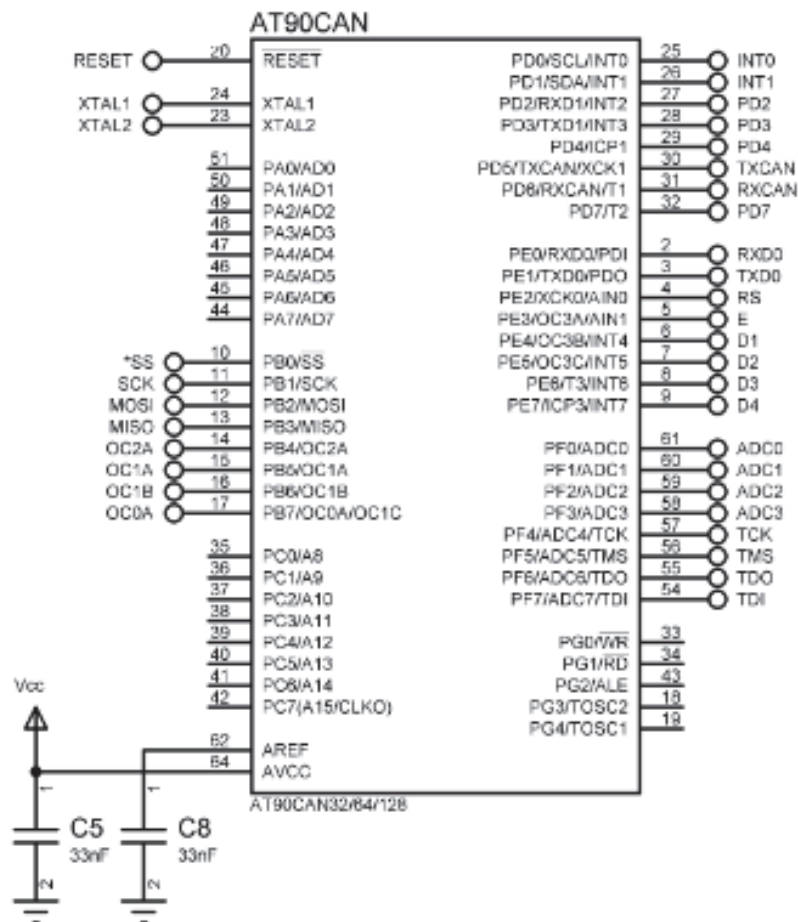


Figura 2.13 Distribución de pines del microcontrolador.

Los valores de los capacitores C5 y C8 de 33nF respectivamente se toman de la hoja de datos del fabricante, cuando al microcontrolador se le adiciona un cristal externo de 16MHz.

La asignación de recursos del microcontrolador para el nodo CAN de nivel es la siguiente:

Tabla 2.1 Distribución de recursos del microcontrolador AT90CAN32 del nodo CAN de nivel.

NODO CAN DE NIVEL	
PINES	FUNCIÓN
4	RS
5	EN
6	DATO_1
7	DATO_2
8	DATO_3
9	DATO_4
20	RESET
23	CRISTAL 16MHz
24	CRISTAL 16MHz
21,52	VCC
64	AVCC
22,53,63	GND
30	TXCAN
31	RXCAN
59	SENSOR DE PRESIÓN DIFERENCIAL
60	LUZ PILOTO DE NIVEL MÁXIMO
61	LUZ PILOTO DE NIVEL MÍNIMO

Las alarmas visuales en el módulo están formadas por dos luces piloto de nivel máximo y nivel mínimo.



Figura 2.14 Alarmas visuales de nivel máximo y mínimo del nodo CAN de nivel.

2.3 SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA

El sistema de control y visualización de temperatura está formado por distintos elementos que son:

- Cámara de temperatura
- Nodo CAN de temperatura
- Acondicionamientos
- Sistema de relés para el control de las niquelinas.

Estos elementos tienen como función el control de temperatura, mediante control ON/OFF con histéresis y monitoreo dentro del sistema.

A continuación, se analiza que elementos se reutilizarán y cuales tienen que ser rediseñados.

2.3.1 PLACAS Y ELEMENTOS REUTILIZABLES

La cámara de temperatura está formada por:

- Niquelinas: generan el calentamiento del aire.
- Ventiladores: permiten controlar el ingreso y salida de aire a la cámara de temperatura.
- RTD: transductor que da la información de temperatura actuando como una resistencia variable.

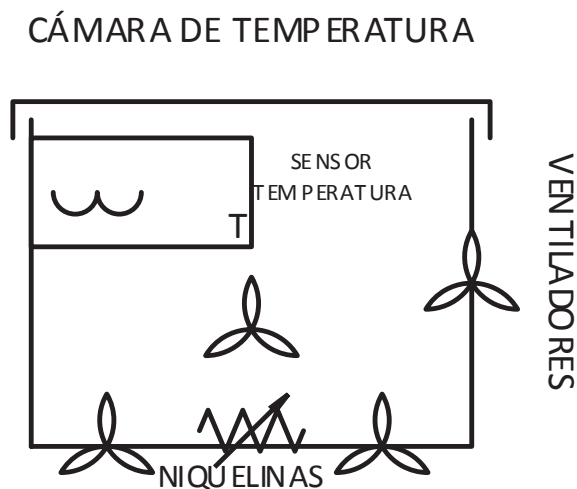


Figura 2.15 Diagrama del sistema de temperatura.

Acondicionamiento: el sistema de temperatura consta ya de una placa con el circuito electrónico de acondicionamiento del RTD Pt100 con salida de voltaje a nivel TTL.

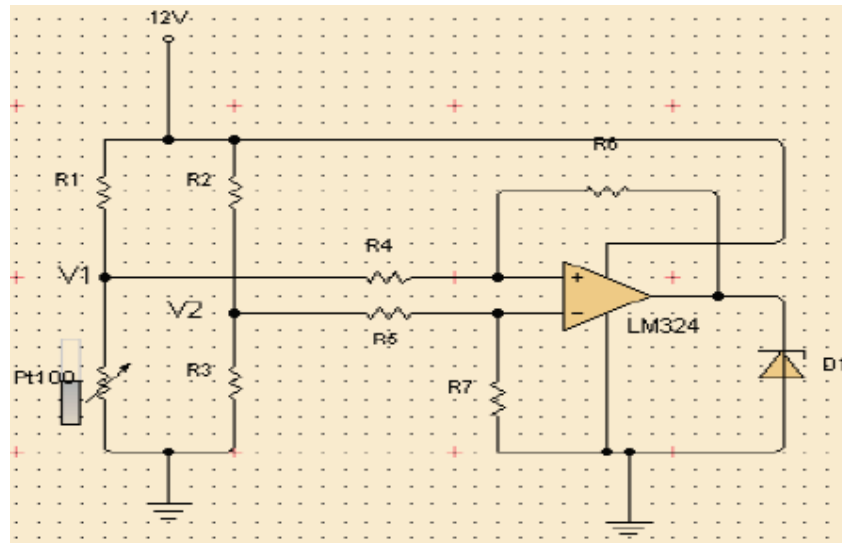


Figura 2.16 Diagrama del acondicionador de temperatura para el Pt100 [37]

Sistema de control de las niquelinas: para el correcto funcionamiento de las niquelinas se requiere de una etapa de control y una etapa de potencia. En el sistema de temperatura se reutilizarán únicamente las placas con relés para realizar el control ON/OFF de las niquelinas.

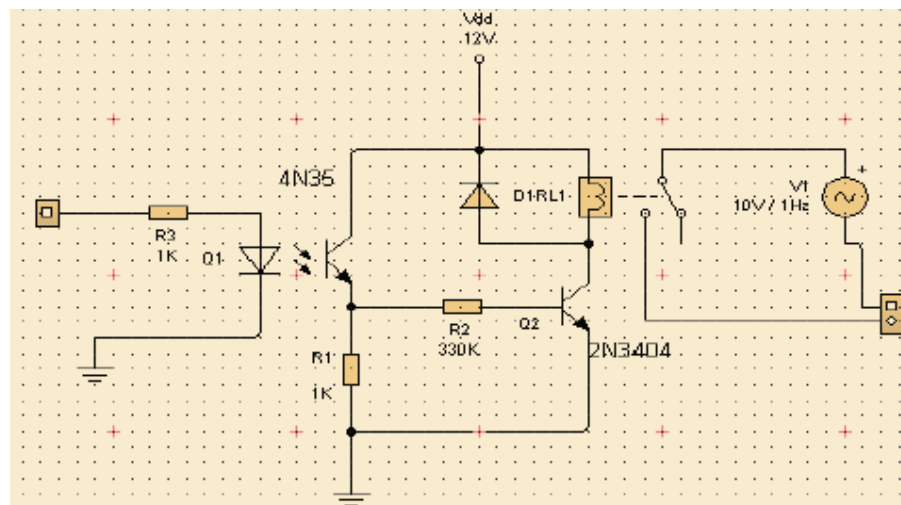


Figura 2.17 Circuito con relé reutilizado para control ON/OFF de niquelinas [38]

2.3.2 PLACAS Y ELEMENTOS NUEVOS

Al igual que en toda la planta, todas las placas de lógica de control son rediseñadas, trabajan con distintos microcontroladores y distintos circuitos integrados. Para el sistema de control de temperatura se diseñó el nodo CAN con los siguientes elementos:

- LCD de visualización: permite ver los parámetros de la cámara de temperatura.
- Transceiver L9616: permite obtener los voltajes a valores CAN y que estos se puedan integrar al Bus CAN.
- Microcontrolador AT90CAN32: es el microcontrolador que procesa el protocolo CAN del nodo de temperatura.
- Placa SMD: está formada por el conjunto de los elementos anteriores más elementos pasivos y activos que permiten el adecuado funcionamiento del microcontrolador, comunicaciones y programación de la placa, cumpliendo con los valores especificados por las guías de los fabricantes.

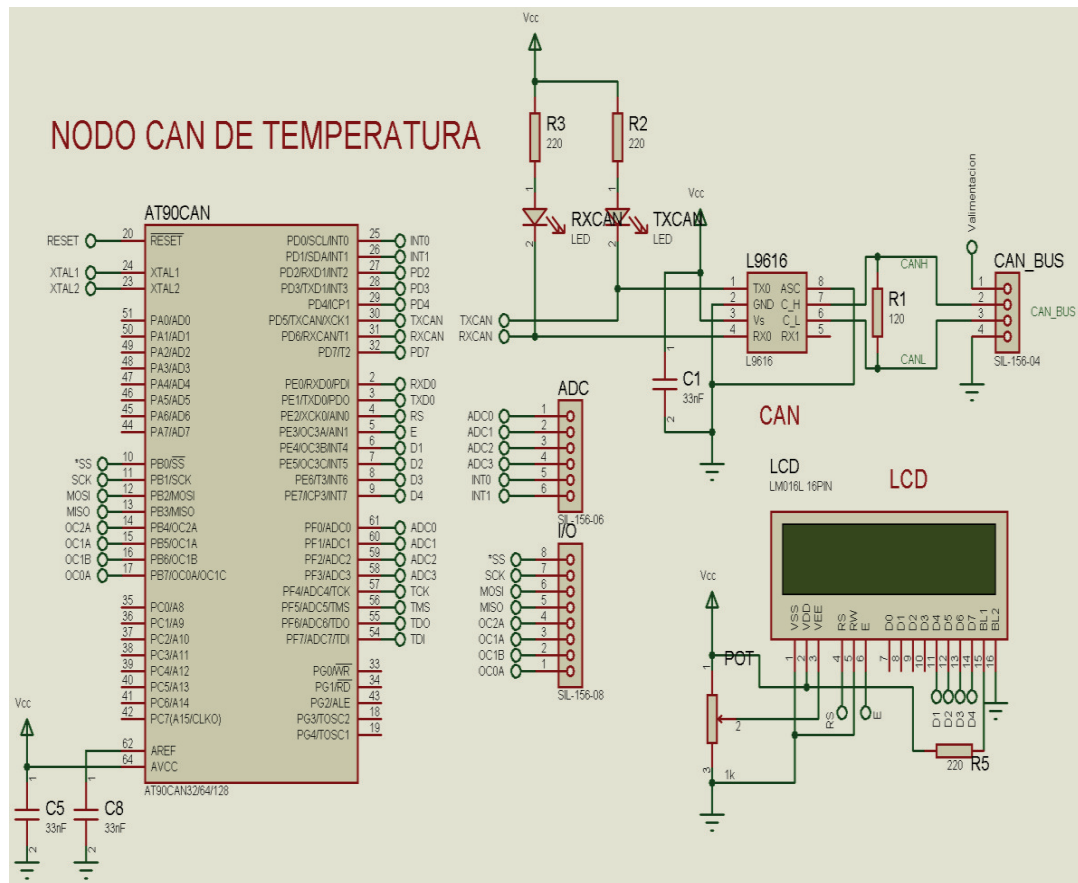


Figura 2.18 Diagrama circuital del nodo CAN de temperatura.

En el diagrama circuital se tienen entradas ADC del microcontrolador para la señal del RTD PT100 y se tienen además pines disponibles para las alarmas visuales, sonoras y futuras expansiones de las funciones del nodo CAN de temperatura.

2.3.2.1 ASIGNACIÓN DE PINES DEL MICROCONTROLADOR DEL NODO CAN DE TEMPERATURA

Los recursos del microcontrolador utilizados para el nodo CAN de temperatura se detallan a continuación mediante la asignación de pines:

Tabla 2.2 Distribución de recursos del microcontrolador AT90CAN32 del nodo CAN de temperatura.

NODO CAN DE TEMPERATURA		
PINES	FUNCIÓN	
4	LCD	RS
5		EN
6		DATO_1
7		DATO_2
8		DATO_3
9		DATO_4
20	CONEXIONES GENERALES	RESET
23		CRISTAL 16MHz
24		CRISTAL 16MHz
21,52		VCC
64		AVCC
22,53,63		GND
30	CAN BUS	TXCAN
31		RXCAN
61	CONVERSOR ANÁLOGO DIGITAL	
60	NIQUELINA	
59	VENTILADOR	
26	MODO MANUAL/AUTOMÁTICO	
14	INCREMENTAR	
16	DECREMENTAR	

La placa CAN diseñada tiene disponible 12 pines de entrada-salida y 4 leds de uso general, por lo que siempre quedarán pines disponibles para expandir las funciones de los nodos a futuro.

2.4 SISTEMA DE MONITOREO DE SENSORES ON/OFF

El último sistema del módulo está formado por sensores on/off, el primero es un sensor detector de humo, el segundo es un detector de presencia y el tercero es un sensor de luz. Al igual que los dos anteriores sistemas de nivel y temperatura, este último sistema de sensores on/off tiene algunos sensores y placas que se pueden reutilizar, mientras que es necesario agregar un nuevo sensor y cambiar las placas electrónicas necesarias.

2.4.1 PLACAS Y ELEMENTOS REUTILIZABLES

Los sensores de humo y presencia están en buen estado y serán reutilizados en el nuevo sistema. Las alarmas visuales las constituyen 3 luces piloto, una para cada sensor del sistema y están en buen estado por lo que también serán reutilizadas.

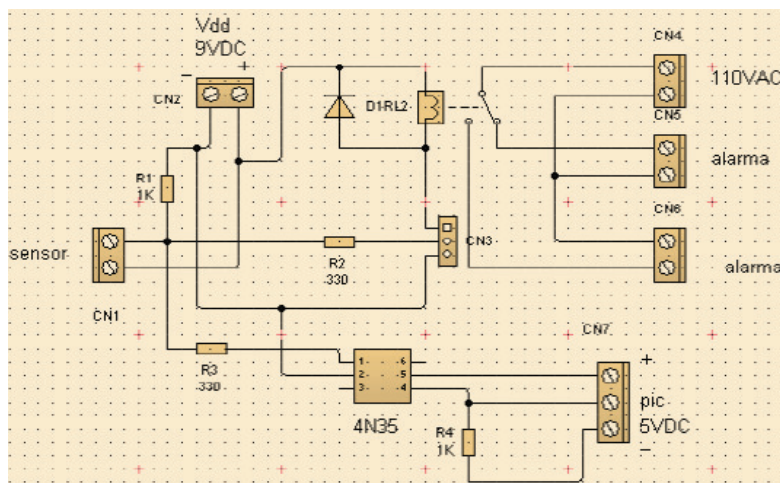


Figura 2.19 Acondicionamientos reutilizados para sensores de presencia y luz [39]

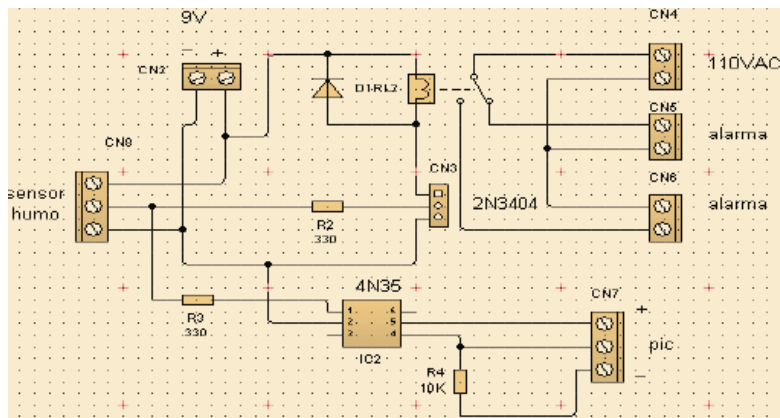


Figura 2.20 Acondicionamiento reutilizados para el sensor de humo [40]

2.4.2 PLACAS Y ELEMENTOS NUEVOS

Los nuevos elementos que se adicionarán al sistema son un sensor de luz y un nodo CAN completamente nuevo.

- Sensor de luz: el sensor de luz que se utilizará en este sistema está formado por un LDR (Light Diode Resistance) junto con una resistencia y un capacitor, lo que permite tener una salida de voltaje proporcional a la luz incidente sobre el LDR. Se utilizará solo los valores máximo y mínimo del sensor.

A mayor incidencia de luz, la resistencia del LDR disminuye. Por lo que, para esta aplicación, si el sensor detecta luz se tiene 5 voltios, si no hay luz se tiene 0 voltios.

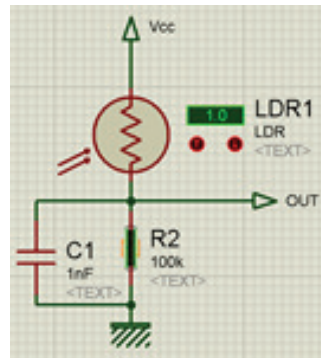


Figura 2.21 Diagrama esquemático del sensor de luz.

El capacitor cumple la función de filtro y la resistencia en serie con el sensor de luz, es aproximadamente 10 veces mayor a la resistencia del sensor cuando hay luz según las especificaciones del fabricante.

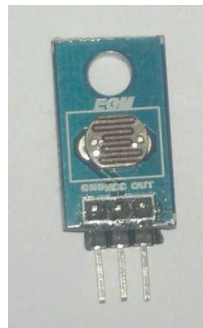


Figura 2.22 Placa marca EGM con sensor de luz LDR [41]

Las alarmas sonoras se dan mediante buzzers que se activan con 3.3 voltios o 5 voltios. Para el módulo se activará con 5 voltios.

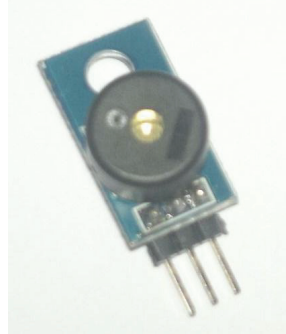


Figura 2.23 Buzzer.

El nodo CAN de sensores ON/OFF está diseñado con un microcontrolador AT90CAN32, un transceiver CAN L9616, un LCD para visualización de datos y elementos activos y pasivos para el adecuado funcionamiento del microcontrolador.

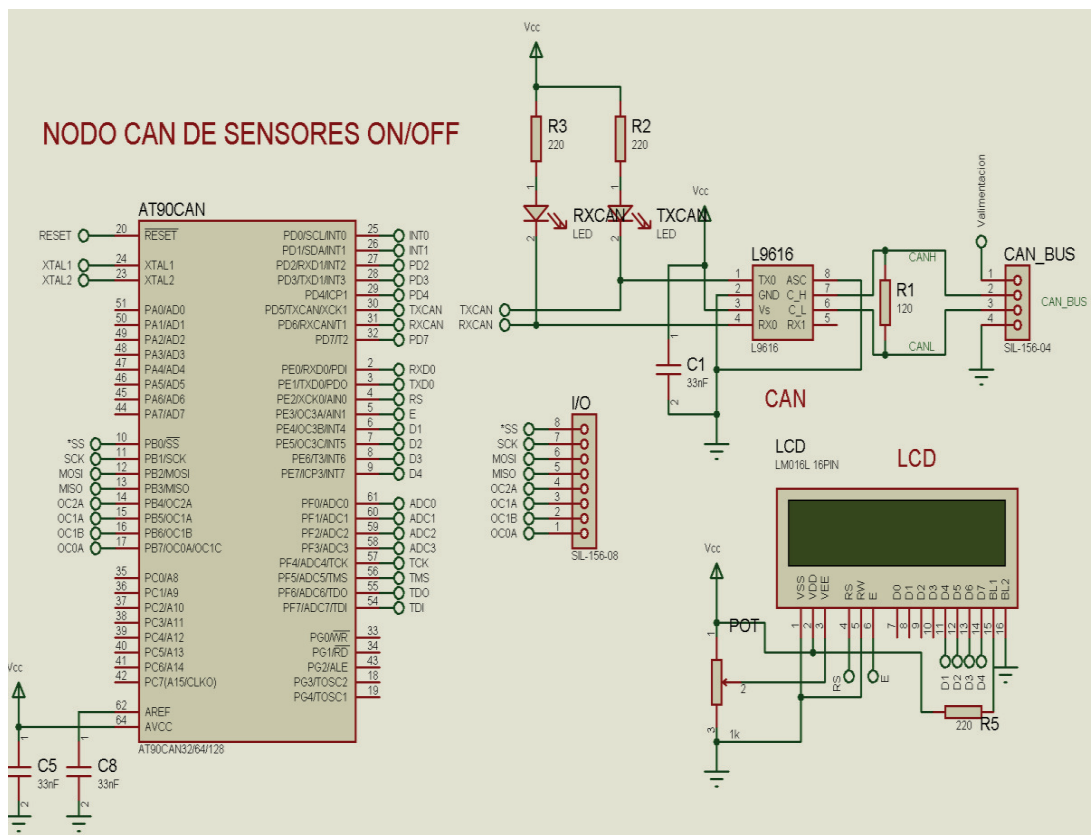


Figura 2.24 Diagrama circuital del nodo CAN de sensores ON/OFF.

2.4.2.1 ASIGNACIÓN DE PINES DEL MICROCONTROLADOR DEL NODO CAN DE SENSORES ON/OFF

El nodo CAN de temperatura debe la salida de los sensores ON/OFF, alarmas visuales y sonoras, el BUS CAN y pines de alimentación a través de la siguiente distribución de pines del microcontrolador AT90CAN32:

Tabla 2.3 Distribución de recursos del microcontrolador AT90CAN32 del nodo CAN de sensores ON/OFF.

NODO CAN DE SENSORES ON/OFF		
PINES	FUNCIÓN	
4	LCD	RS
5		EN
6		DATO_1
7		DATO_2
8		DATO_3
9		DATO_4
20	CONEXIONES GENERALES	RESET
23		CRISTAL 16MHz
24		CRISTAL 16MHz
21,52		VCC
64		AVCC
22,53,63		GND
30	CAN BUS	TXCAN
31		RXCAN
61	SENSOR DE HUMO	
60	SENSOR DE PRESENCIA	
59	SENSOR DE LUZ	
58	ALARMA SENSOR HUMO	
25	ALARMAS SENSOR PRESENCIA	
26	ALARMAS SENSOR LUZ	

2.5 DISEÑO DEL NODO CAN MAESTRO

El nodo CAN maestro está formado por un microcontrolador AT90CAN32, un transceiver CAN L9616, un LCD de visualización, elementos activos y pasivos para el adecuado funcionamiento del microcontrolador.

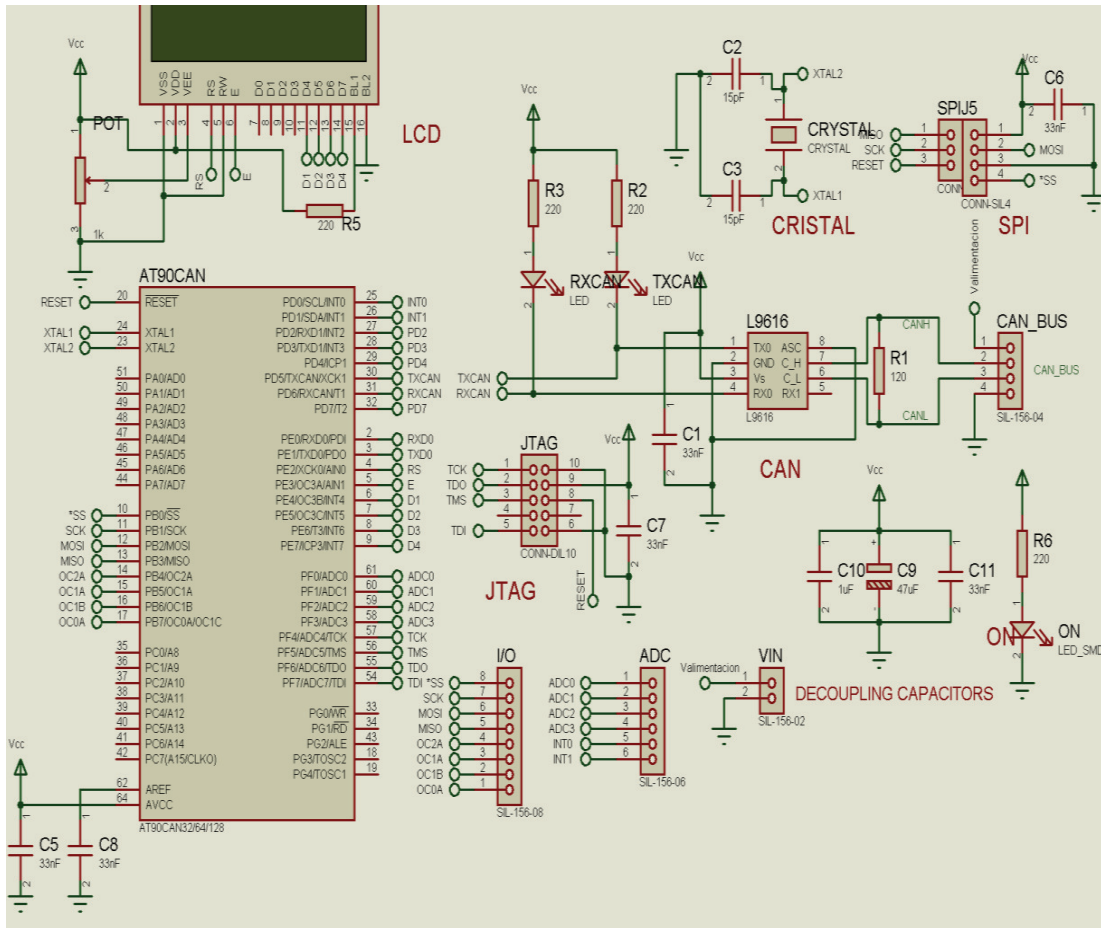


Figura 2.25 Diagrama circuital del nodo CAN maestro.

Este es el nodo que se encarga de gestionar la información que recibe a través del bus CAN y la transmite a la placa Ethernet mediante comunicación SPI (serial peripheral interface).

Los valores de los capacitores son tomados de las recomendaciones del fabricante y las resistencias de los leds se justificaron con anterioridad. Se tiene disponible el JTAG para la programación del microcontrolador, los pines SPI para comunicación, el bus CAN, pines del microcontrolador para la futura expansión de funciones y un display de cristal líquido para la visualización de datos.

El microcontrolador AT90CAN32 tiene las siguientes características:

- Transmisión síncrona a tres hilos, full dúplex
- Transferencia de datos mediante el bit menos significativo o el bit más significativo.

- Modo de operación maestro o esclavo.
- Bandera de interrupción de fin de transmisión.
- Doble velocidad en modo maestro ($CK/2$).
- Bandera de protección de colisión de escritura.
- Función wake-up del modo de suspensión.

El microcontrolador puede cumplir el papel de maestro o esclavo en la comunicación y esta se puede configurar para que se comuniquen entre microcontrolador AT90CAN32 o un AT90CAN con un dispositivo periférico.

Para la aplicación práctica a desarrollarse únicamente se comunicará mediante SPI el nodo CAN maestro con el microcontrolador en la placa Ethernet.

La comunicación entre los nodos CAN esclavos y el nodo CAN maestro siempre será mediante el bus CAN.

El diagrama de bloques de la comunicación entre maestro esclavo es la siguiente:

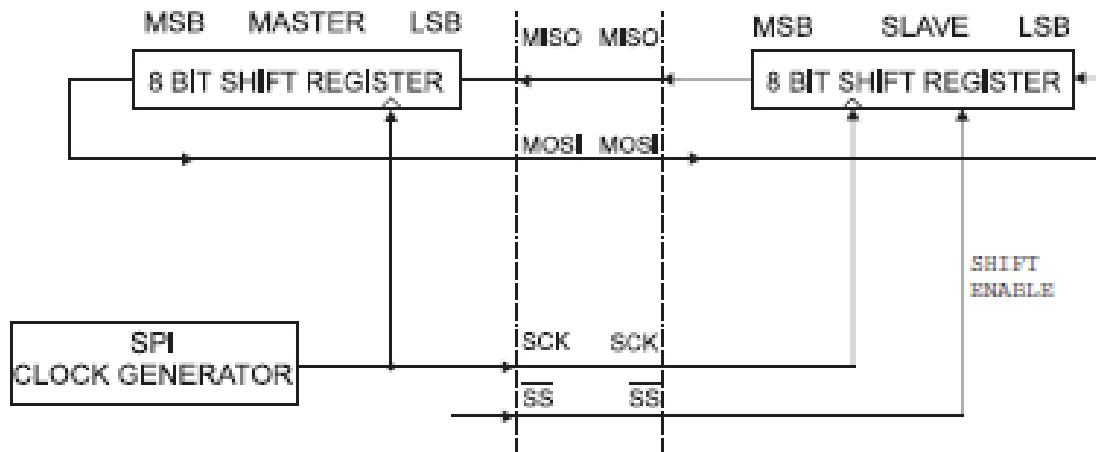


Figura 2.26 Interconexión SPI Maestro-Eslavo [42]

La configuración del sentido de envío de información de la comunicación SPI se resume en la Figura 2.26.

Pin	Direction, Master SPI	Direction, Slave SPI
MOSI	User Defined	Input
MISO	Input	User Defined
SCK	User Defined	Input
\overline{SS}	User Defined	Input

Figura 2.27 Configuración de la comunicación SPI [43]

2.5.1 ASIGNACIÓN DE PINES DEL MICROCONTROLADOR DEL NODO CAN MAESTRO

Para el funcionamiento correcto del nodo CAN maestro que permita la comunicación con la placa Ethernet se tiene la siguiente distribución de pines:

Tabla 2.4 Distribución de recursos del microcontrolador AT90CAN32 del nodo CAN maestro.

NODO CAN MAESTRO		
PINES	FUNCIÓN	
4	LCD	RS
5		EN
6		DATO_1
7		DATO_2
8		DATO_3
9		DATO_4
20	CONEXIONES GENERALES	RESET
23		CRISTAL 16MHz
24		CRISTAL 16MHz
21,52		VCC
64		AVCC
22,53,63		GND
30	CAN BUS	TXCAN
31		RXCAN
10	SPI	*SS
11		SCK
12		MOSI
13		MISO

2.6 COMUNICACIÓN CAN-ETHERNET

El aspecto fundamental de la implementación de este proyecto de titulación es la incorporación de una red de campo como CAN a un nivel de planta, mediante la tecnología Ethernet.

2.6.1 ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE LA RED

Para poder llevar la información mediante Ethernet es necesario incorporar nuevos elementos de comunicación a la planta, que permitan estructurar una red de área local.

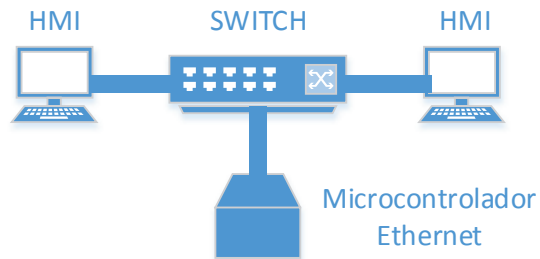


Figura 2.28 Estructura de la red de área local del módulo de sensores.

- Hosts: son los dispositivos que se conectarán a la red en configuración estrella, enviarán y recibirán información.

Los hosts de la red de área local que se implementa serán:

Microcontrolador W5100: es un microcontrolador de la empresa WIZnet que transmite información mediante la tecnología Ethernet. Internamente tiene diversos tipos de configuración de parámetros que son necesarios para la implementación de Ethernet.

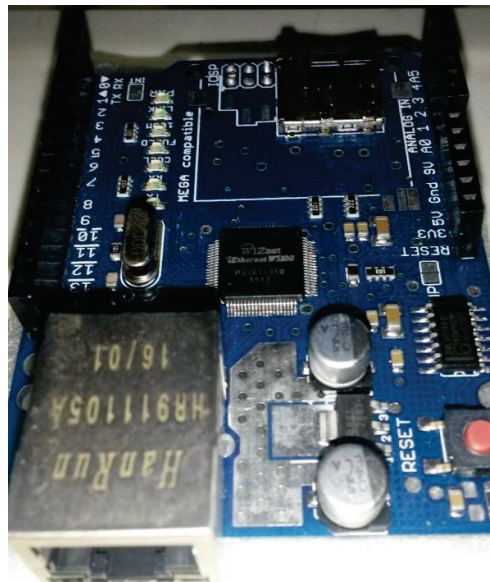


Figura 2.29 Módulo Ethernet con microcontrolador W5100 WIZnet [44]

Computadores: los computadores que se encuentren dentro de la red de área local también constituirán los hosts de la red. A los computadores les llegará

la información de la red CAN que es enviada mediante Ethernet por el microcontrolador W5100.

- Switch: es un dispositivo que trabaja a nivel de red y es el encargado de llevar los paquetes de datos de un host a otro o a varios hosts según se configure el método de envío a niveles superiores del modelo OSI.



Figura 2.30 Router TL-WR741ND utilizado como switch en la red del módulo [45]

HARDWARE FEATURES

Interface	4 10/100Mbps LAN PORTS 1 10/100Mbps WAN PORT
Button	WPS/Reset Button Power On/Off Button
External Power Supply	5VDC/0.6A
Wireless Standards	IEEE 802.11n*, IEEE 802.11g, IEEE 802.11b
Antenna	5dBi Detachable Omni Directional (RP-SMA)
Dimensions (W x D x H)	6.9 x 4.6 x 1.3 in. (174 x 118 x 33 mm)

Figura 2.31 Especificaciones de hardware del switch [46]

WIRELESS FEATURES

Frequency	2.4-2.4835GHz
Signal Rate	11n: Up to 150Mbps(dynamic) 11g: Up to 54Mbps(dynamic) 11b: Up to 11Mbps(dynamic)
Reception Sensitivity	130M: -68dBm@10% PER 108M: -68dBm@10% PER 54M: -68dBm@10% PER 11M: -85dBm@8% PER 6M: -88dBm@10% PER 1M: -90dBm@8% PER
Transmit Power	CE: <20dBm(2.4GHz) FCC: <30dBm
Wireless Functions	Enable/Disable Wireless Radio, WDS Bridge, WMM, Wireless Statistics
Wireless Security	64/128/152-bit WEP / WPA / WPA2,WPA-PSK / WPA2-PSK

Figura 2.32 Especificaciones wireless del switch [47]

SOFTWARE FEATURES

Quality of Service	WMM, Bandwidth Control
WAN Type	Dynamic IP/Static IP/PPPoE/ PPTP(Dual Access)/L2TP(Dual Access)/BigPond
Management	Access Control Local Management Remote Management
DHCP	Server, Client, DHCP Client List, Address Reservation
Port Forwarding	Virtual Server,Port Triggering, UPnP, DMZ
Dynamic DNS	DynDns, Comexe, NO-IP
VPN Pass-Through	PPTP, L2TP, IPSec (ESP Head)
Access Control	Parental Control, Local Management Control, Host List, Access Schedule, Rule Management
Firewall Security	DoS, SPI Firewall IP Address Filter/MAC Address Filter/Domain Filter IP and MAC Address Binding
Protocols	Support IPv4 and IPv6
Guest Network	2.4GHz Guest Network x1

Figura 2.33 Especificaciones de software del switch [48]

2.6.2 COMUNICACIÓN ENTRE EL NODO CAN MAESTRO Y EL MICROCONTROLADOR DE ETHERNET

La comunicación entre el nodo CAN maestro y el módulo Ethernet se realiza mediante SPI como se detalló con anterioridad. El diagrama de conexión del microcontrolador W5100 es el siguiente:

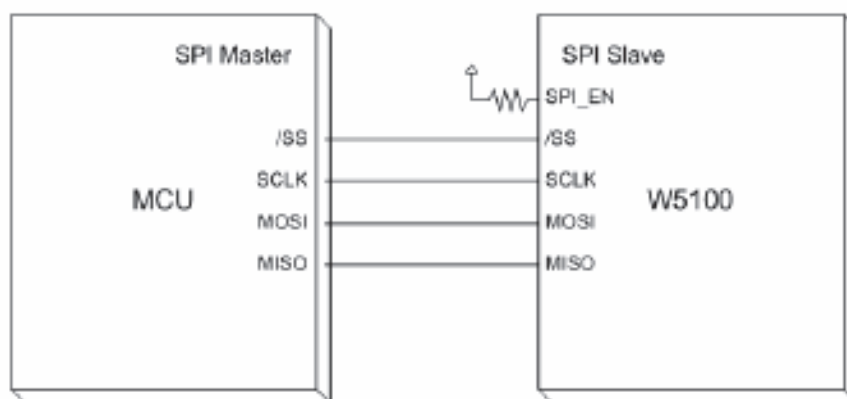


Figura 2.34 Diagrama de conexión SPI del microcontrolador W5100 [49]

En la placa diseñada del nodo CAN maestro se dejaron habilitados los pines del SPI para la comunicación con el microcontrolador W5100.

2.6.3 COMUNICACIÓN A NIVELES SUPERIORES DEL MODELO OSI

Según el modelo OSI el módulo de red de sensores CAN-ETHERNET a niveles superiores queda determinado de la siguiente forma:

- Capa de aplicación: la constituye el protocolo interno de Labview, en cuya interfaz gráfica se podrán visualizar los datos de los nodos y el control del módulo de temperatura desde los distintos computadores que se encuentran dentro de la red de área local.
- Capa de transporte: el transporte de la información de la red se hará mediante UDP que permite el envío de datagramas sin haberse establecido previamente una conexión, obteniendo así mayor velocidad con respecto a TCP.
- Capa de red: en la capa de red se utiliza direcciones IP, que son direcciones de protocolo de internet. Son un conjunto de números que se asigna a los hosts de la red y permite direccionar la información hacia ellos.

En este capítulo se ha abarcado el rediseño físico de la planta junto con los nuevos elementos a incorporarse y el diseño de nuevas placas para los microcontroladores que forman los nodos CAN. Finalmente se diseñó la red de área local que se implementó para visualizar la información y controlar los diferentes nodos CAN desde distintos computadores. En el siguiente capítulo se detalla la programación de los microcontroladores mediante diagramas de flujo y el diseño de la interfaz en Labview.

CAPÍTULO 3

DESARROLLO DEL SOFTWARE DE SOPORTE DEL SISTEMA

En el presente capítulo se desarrollarán los diagramas de bloques y flujo que condensan la información de la lógica de programación.

El funcionamiento del sistema se basa en un conjunto de microcontroladores que manejan el protocolo CAN y la tecnología Ethernet. Para lograr que se comunique es necesario desarrollar el código de cada microcontrolador para una comunicación correcta y procesamiento de datos.

El lenguaje de programación que se utilizará es lenguaje C y se desarrollará la lógica mediante el software gratuito AVRStudio 7 de ATMEL.

El microcontrolador AT90CAN32/64/128 tiene algunas librerías de soporte en AVRStudio, las cuales pueden ser usadas únicamente con microcontroladores ATMEL y sirven de base para la creación de los programas.

Para la interfaz Hombre-Máquina se utilizará Labview 2009 con licencia institucional de la Escuela Politécnica Nacional.

Adicionalmente se empleará una tarjeta decodificadora de protocolo CAN, basada en un microcontrolador ARM y que mediante su propio software USB-CAN(V5.00E) permitirá ver la trama de datos y así darle un sentido práctico real al módulo de sensores para estudiar el protocolo CAN, comprendiendo cada parte de la trama y su función.

3.1 DIAGRAMAS LÓGICOS DEL SISTEMA

En el Capítulo 2 se detalló el esquema general de toda la red, incluyendo el bus CAN y los elementos de la red de área local. En el siguiente gráfico se detallan los bloques que conforman la estructura básica de cada nodo CAN.

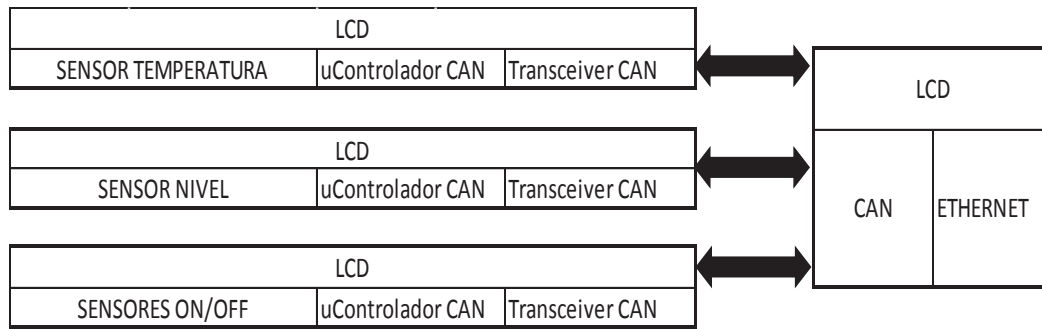


Figura 3.1 Diagrama de bloques de los nodos del sistema.

En la Figura 3.1 se observan al lado izquierdo los tres nodos CAN que se implementan en el sistema, Nodo CAN de temperatura, Nodo CAN de nivel, Nodo CAN de sensores ON/OFF. Al lado derecho se observa el nodo CAN Maestro como un único bloque en el cual se implementa el protocolo CAN y la tecnología Ethernet, que funcionan juntos para la transmisión de la información.

Los nodos CAN de nivel y de sensores ON/OFF al ser de monitoreo se limitan al envío de datos, mientras que el nodo CAN de temperatura envía y recibe datos, por lo que el diagrama funcional de bloques de la comunicación es el siguiente:

Tabla 3.1 Diagrama de bloques de datos.

		TRANSMISIÓN	RECEPCIÓN	
ID TEMPERATURA	TEMPERATURA	INCREMENTAR/DECREMENTAR	INCREMENTAR/DECREMENTAR	BYTE 0
		DATA	DATO DE TEMPERATURA	BYTE 1
			SET POINT	BYTE 2
			0	BYTE 3
			0	BYTE 4
			0	BYTE 5
			0	BYTE 6
		MANUAL/ AUTOMÁTICO	BYTE 7	
ID NIVEL	NIVEL	REMOTE	DATO DE NIVEL	BYTE 0
			ALARMA	BYTE 1
			0	BYTE 2
			0	BYTE 3
			0	BYTE 4
			0	BYTE 5
			0	BYTE 6
			0	BYTE 7
ID ON/OFF	ON/OFF	REMOTE	SENSOR DE HUMO	BYTE 0
			SENSOR DE PRESENCIA	BYTE 1
			SENSOR DE LUZ	BYTE 2
			0	BYTE 3
			0	BYTE 4
			0	BYTE 5
			0	BYTE 6
			0	BYTE 7

La trama de datos lleva información mientras que la trama remota es de petición de datos.

3.2 DESARROLLO DEL SOFTWARE DE SOPORTE DEL SISTEMA PARA EL PROTOCOLO CAN

El módulo de sensores que se ha implementado funciona en base al protocolo CAN y la tecnología Ethernet, pero se debe tener en cuenta que los datos serán empaquetados de tal manera que puedan ser transmitidos e identificados por la HMI a través del nodo CAN maestro.

3.2.1 DESARROLLO DE LA SUBROUTINA DE COMUNICACIÓN DEL NODO CAN DE NIVEL

El nodo CAN de nivel enviará su trama de datos hacia el nodo CAN maestro cuando este lo solicite a través de la dirección correspondiente.

Para el correcto funcionamiento de todos los nodos CAN es necesario inicializar el protocolo CAN y además especificar las características de comunicación, como velocidad, modo estándar o modo extendido y la asignación de la dirección de cada uno.

Este nodo será únicamente monitoreado, por lo que solo recibirá la trama remota (trama de petición de datos) por parte del nodo maestro.

El nodo CAN maestro transmite la información a los tres nodos, pero cada uno de los nodos discernirá la información que le corresponda de acuerdo a su dirección y así discriminará la información innecesaria.

El diagrama de flujo del Nodo CAN de nivel se representa a continuación:

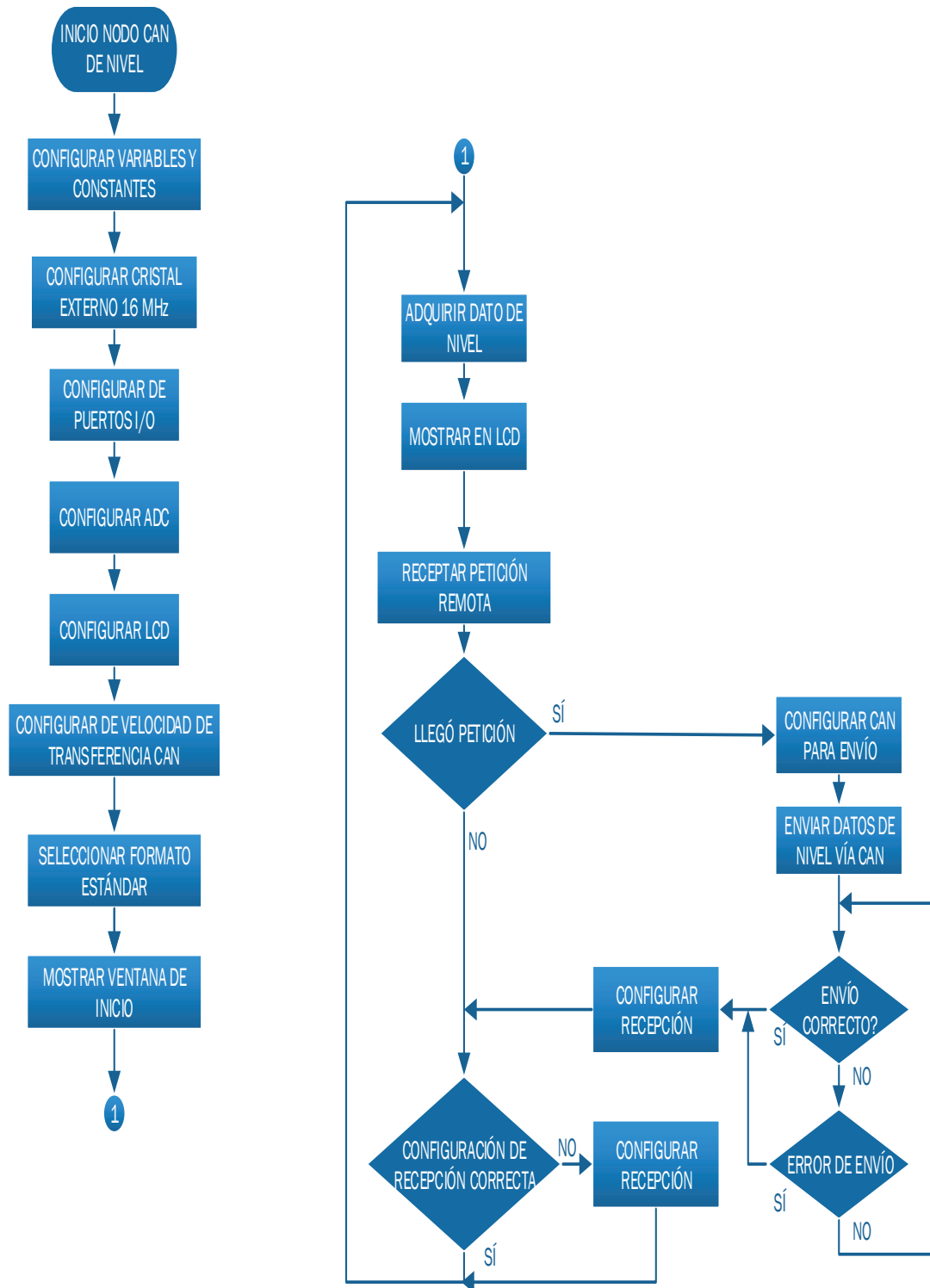


Figura 3.2 Diagrama de flujo del nodo CAN de nivel.

Para el funcionamiento del nodo CAN de nivel se configuran inicialmente todas las variables y constantes, configuraciones generales del microcontrolador y las configuraciones necesarias para el funcionamiento de este nodo dentro del bus CAN del sistema.

Es necesaria la configuración del conversor análogo digital, que en el caso del microcontrolador AT90CAN32 tiene una resolución de 12 bits.

El sensor de presión diferencial utilizado tiene un rango bastante amplio, por lo que la variación de nivel de agua del tanque no representa una variación muy grande de la salida de voltaje del sensor que se encuentra que está entre 0.088 y 4.813 [V].

Para tener datos de nivel lo más precisos posibles se toma la menor referencia que permite el microcontrolador y se obtienen datos bastante aceptables como se demostrará en el capítulo de pruebas.

3.2.2 SUBROUTINA PARA EL NODO CAN DE SENSORES ON/OFF

El nodo CAN de sensores ON/OFF funciona de igual manera que el nodo CAN de nivel en cuanto a la trama remota (petición de datos), esto quiere decir que no recibirá una trama con datos desde el nodo CAN maestro, en su lugar, recibirá la trama remota que cumple la función de petición de información del nodo.

El nodo envía datos 0L y 1L de los sensores de humo y presencia cuando estos son accionados, pero como se utiliza un sensor de luz LDR es necesario también la utilización del conversor análogo digital.

Se tomarán los valores máximos y mínimos de este sensor para la activación de la alarma visual que funciona de forma ON/OFF.

El diagrama de flujo del nodo CAN de sensores ON/OFF es el siguiente.

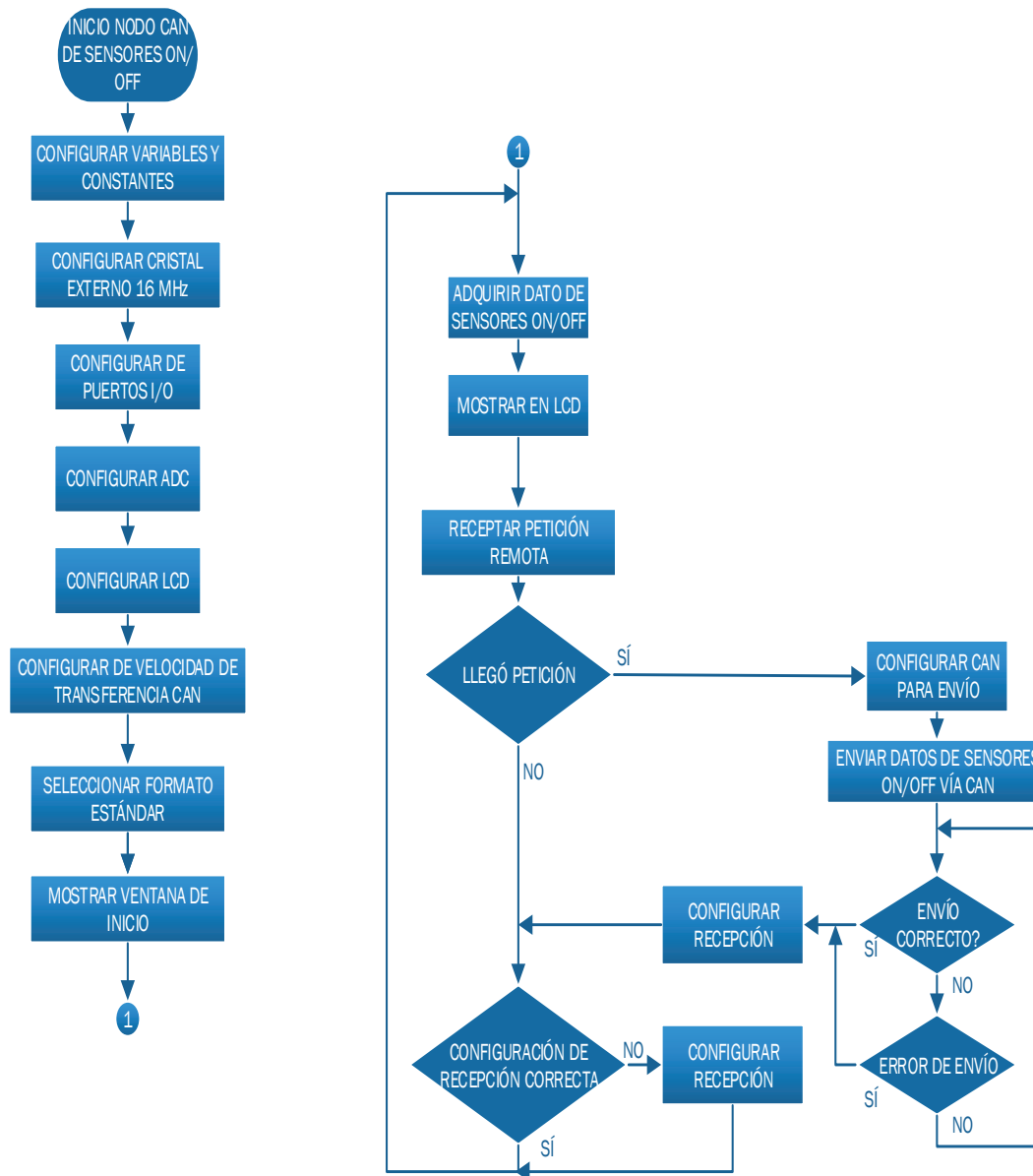


Figura 3.3 Diagrama de flujo del nodo CAN de sensores ON/OFF.

Al igual que en todos los nodos, es indispensable la configuración de los parámetros del protocolo CAN para que la comunicación sea fiable.

Por otro lado, se concibió el sistema para que en el display siempre se esté mostrando los datos desde los sensores.

3.2.3 SUBROUTINA PARA EL NODO CAN DE TEMPERATURA

El último nodo CAN esclavo es el de temperatura. Este nodo tiene características diferentes pues recibe y envía datos.

Siendo este nodo el único sobre el cual no solo se realiza monitoreo sino también control, recibe no solo la trama de petición de información, sino que es el único que recibirá una trama con datos que actuarán sobre las niquelinas y ventiladores.

El nodo CAN de temperatura recibe información mediante la red de área local desde la HMI, pero también tiene que realizar el incremento y decremento de temperatura de forma manual mediante pulsadores.

El modo automático es aquel en el cual solo se podrán variar los parámetros desde la HMI.

En este nodo es muy importante tomar en cuenta que al tener monitoreo y control desde varios computadores que se encuentran dentro de la misma red, estos no deben superponer el incremento y decremento de temperatura.

Es decir, si un operador está controlando la temperatura desde cualquier host de la red, el control de temperatura en el resto de hosts deberá ser bloqueado temporalmente, pero se podrán visualizar siempre los valores de todos los parámetros, esto con el fin de evitar conflictos si un operador incrementa y otra trata de decrementar la temperatura al mismo tiempo.

El control de las niquelinas se implementa dentro del mismo microcontrolador AT90CAN32 del nodo de temperatura mediante un control ON/OFF con histéresis que es un método de control acorde al tipo del sistema, que siendo de temperatura es lento.

Cuando el valor de temperatura es inferior al set point se encienden las niquelinas y los ventiladores de enfriamiento se mantienen apagados. Cuando la temperatura deseada ha sido alcanzada se apagan las niquelinas y se encienden los ventiladores de enfriamiento.

El diagrama de flujo del nodo CAN de temperatura es el siguiente:

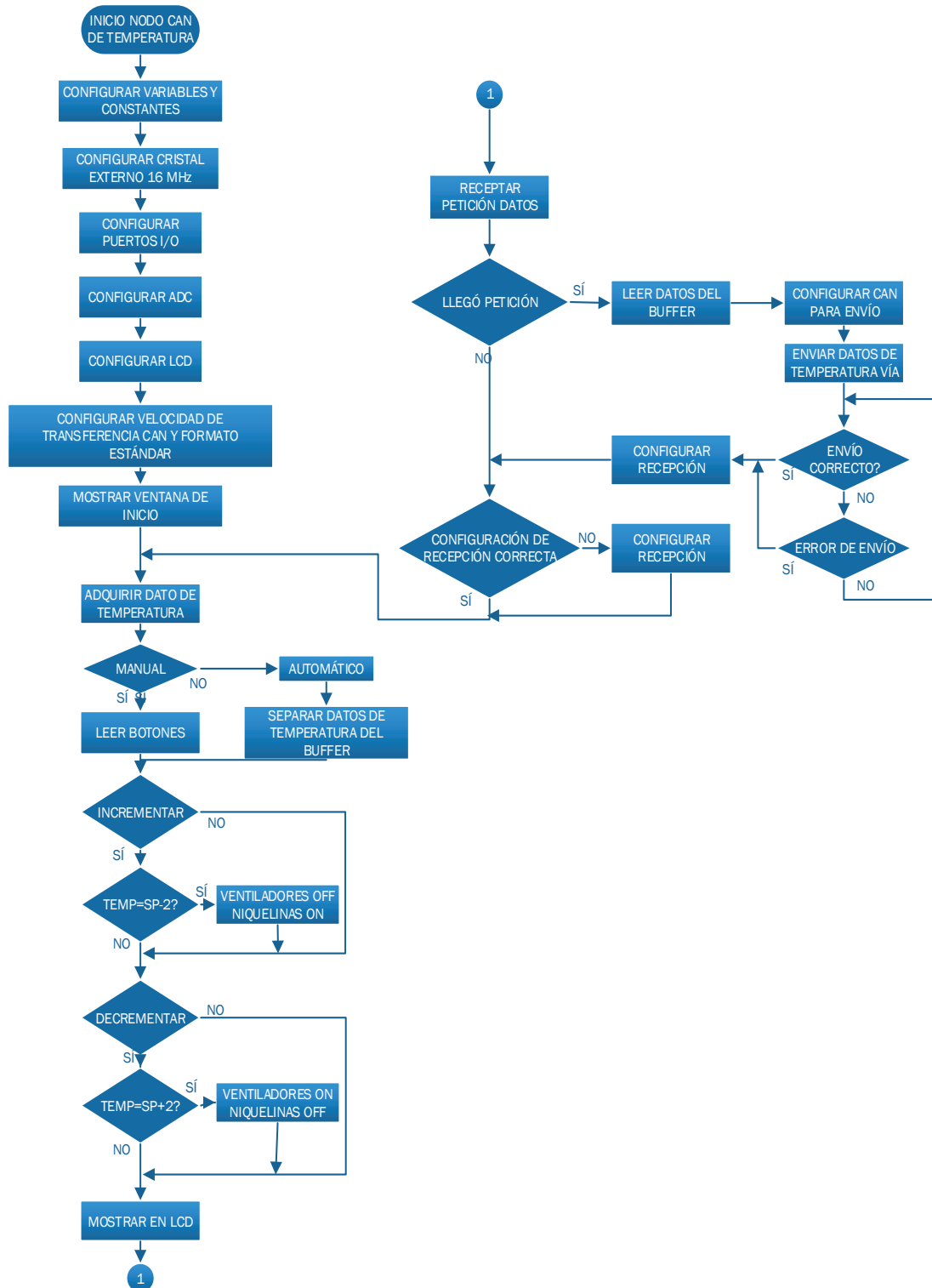


Figura 3.4 Diagrama de flujo del nodo CAN de temperatura.

El control del nodo CAN de temperatura requiere de la utilización del conversor análogo digital para procesar la señal acondicionada del PT100.

3.2.4 SUBROUTINA DE LA COMUNICACIÓN MAESTRO CAN-ETHERNET

El nodo CAN maestro es el encargado de llevar la información de los tres nodos esclavos del sistema, y comunicarse a la red de área local mediante el microcontrolador W5100 Ethernet. El funcionamiento del nodo CAN maestro se resume en el siguiente diagrama de flujo:

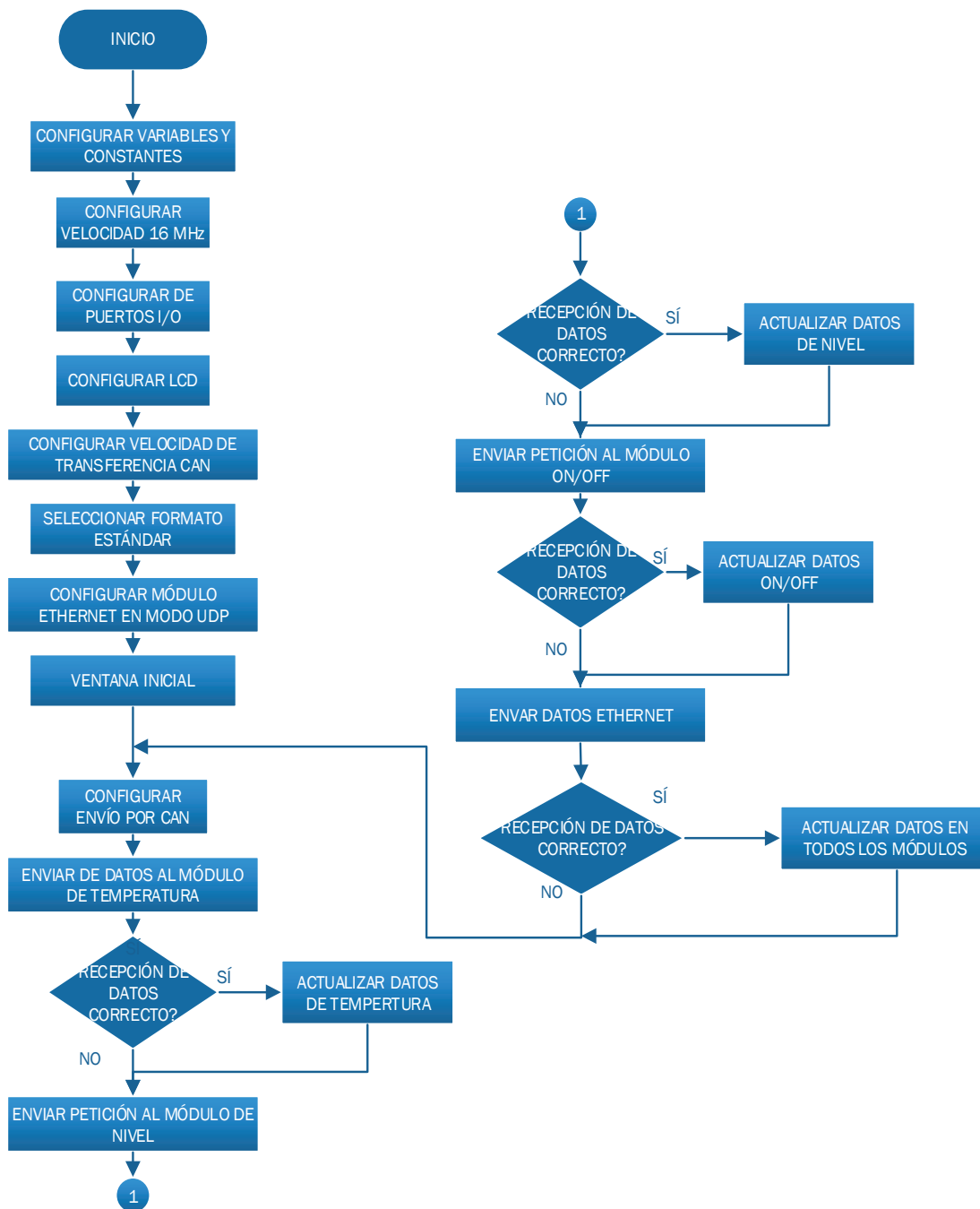


Figura 3.5 Diagrama de flujo de la conexión maestro CAN-ETHERNET.

Una de las principales características del protocolo CAN es que debe poder seguir funcionando a pesar que uno de sus nodos pierda comunicación temporal o permanente. Para ello en el LCD del nodo CAN maestro se muestra el estado de cada nodo esclavo, y se puede comprobar que si un nodo pierde comunicación el bus CAN mantiene su integridad y continúa transmitiendo y recibiendo sin sufrir alteraciones.

3.3 DESARROLLO DEL SOFTWARE DE LA HMI

Para el desarrollo de la interfaz hombre-máquina se emplea el software Labview 2014, del cual tiene licencia la Escuela Politécnica Nacional.

3.3.1 INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA

Labview es un lenguaje de programación por bloques, muchas veces permite simplificar un programa que en otro lenguaje hubiera sido difícil de implementar.

Para poder visualizar los diferentes parámetros de los sensores de la red CAN-Ethernet se han implementado indicadores tipo led para los sensores ON/OFF, termómetros, tanques e indicadores según el nodo CAN.

3.3.2 PANEL DE VISUALIZACIÓN DE NIVEL



Figura 3.6 Panel de visualización de nivel.

En el panel de visualización de nivel se ha implementado distintas formas de observación de la información, mediante un tanque, un indicador de aguja, valores determinados de nivel, leds que indican si el nivel de agua ha llegado a su máximo o mínimo.

3.3.3 PANEL DE VISUALIZACIÓN DE SENSORES ON/OFF



Figura 3.7 Panel de visualización de sensores ON/OFF

Este panel es bastante sencillo y cuenta con leds que indican cuando está activado el sensor de luz, cuando conmuta el sensor de presencia y el sensor de humo.

3.3.4 PANEL DE VISUALIZACIÓN Y CONTROL DE TEMPERATURA

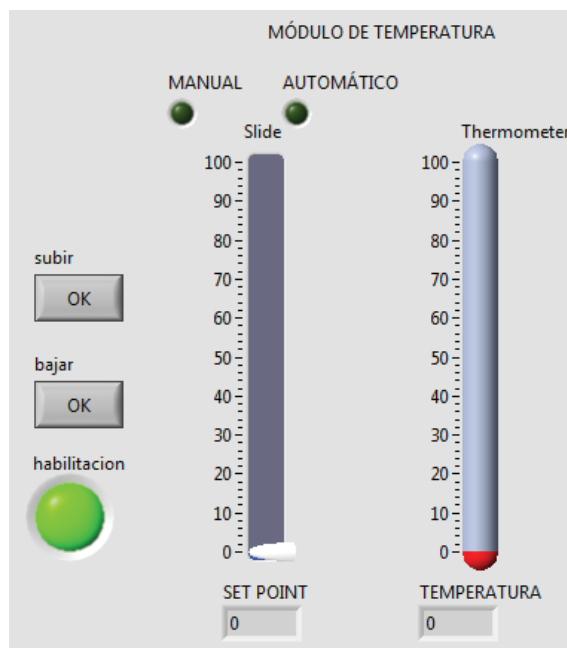


Figura 3.8 Panel de visualización de temperatura.

En el panel de temperatura se observa un termómetro que indica la temperatura actual, un slide que indica el set point. Se observan también botones para incrementar y decrementar el set point.

Se tienen dos leds en la parte superior que indican si el módulo de temperatura opera de forma manual o automática y finalmente un led que indica cuando se puede controlar la temperatura y cuando no se puede debido a que en otro host ya se está realizando el control.

3.4 SOFTWARE DE LECTURA DE BUS CAN USB-CAN TOOL V2.02

Para tener una idea clara de la trama del protocolo CAN se utiliza un módulo que descifra el protocolo CAN y utiliza el software USB-CAN TOOL V2.02, el cual se indica en la siguiente figura:

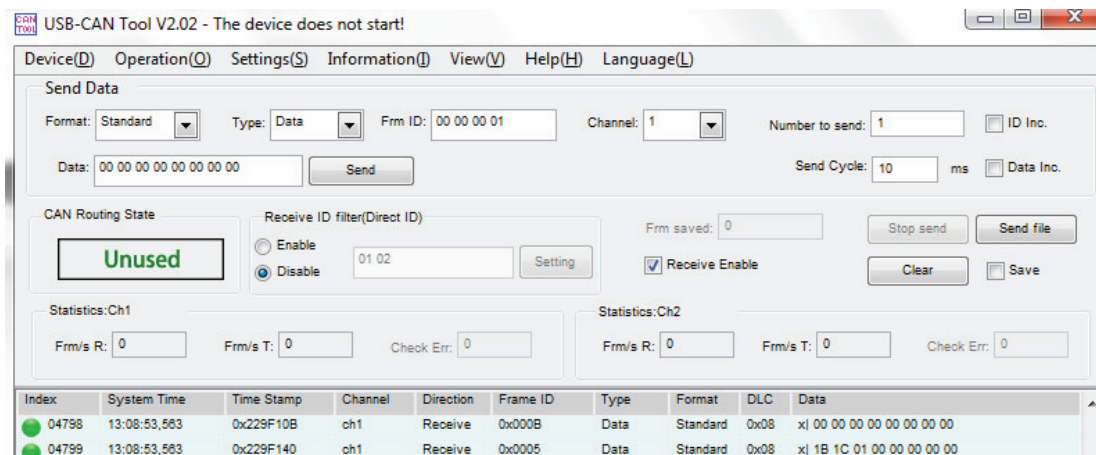


Figura 3.9 Software USB-CAN TOOL V2.02 [50]

Mediante el uso de este software se puede visualizar la trama CAN, además permite configurar el estándar, la velocidad y el resto de parámetros necesarios para una correcta comunicación CAN. En la Figura anterior se observa que la trama está configurada en formato estándar, se tienen dos dispositivos con identificadores diferentes y finalmente se ven los datos contenidos en la trama.

En este capítulo se ha abarcado la lógica de programación de los diferentes nodos CAN que sustenta los programas desarrollados, el módulo CAN-Ethernet, además de la interfaz gráfica que permite visualizar los datos de los nodos CAN. Finalmente se describe el software que se puede utilizar para decodificar el protocolo CAN y permite contrastar las tramas.

En el siguiente capítulo se realizarán las pruebas y se contrastarán los resultados para determinar que tan bien funciona el sistema.

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se procede a diseñar y ejecutar pruebas que permitan comprobar el correcto funcionamiento de la red de sensores CAN-ETHERNET. También se comprobará el funcionamiento de las plantas para determinar los valores y errores que deben medirse y errores hacia los instrumentos de medición y la HMI.

Con este objetivo se comprobará el correcto funcionamiento de la red CAN y también el de la red de área local a través de la cual se envían los datos a todos los hosts desde la HMI.

4.1 VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA

Como se describió anteriormente, el sistema de control de temperatura formado por un sensor de temperatura Pt100, ventiladores y niquelinas, busca mantener la temperatura de su ambiente en un valor seleccionado por el operador. La planta tiene implementado un control ON/OFF con histéresis suficiente para el tipo de planta.

Para la contrastación de datos y la determinación de errores se utilizan dos multímetros. El primero es un MASTECH MS8209 que junto con una termocupla tipo K permite tomar datos de temperatura y el segundo multímetro es un FLUKE 115 con el cual se tomó datos de voltaje a la salida del acondicionador de temperatura.

El valor inicial de set point de temperatura para las pruebas se configuró en 24 grados centígrados por seguridad, de forma que las niquelinas estén apagadas hasta que se configure manual o automáticamente un valor de dos grados superior al valor del set point. A temperatura ambiente se tiene un valor de 27 grados centígrados.

En la Figura 4.1 se observa los datos iniciales del nodo CAN de temperatura:

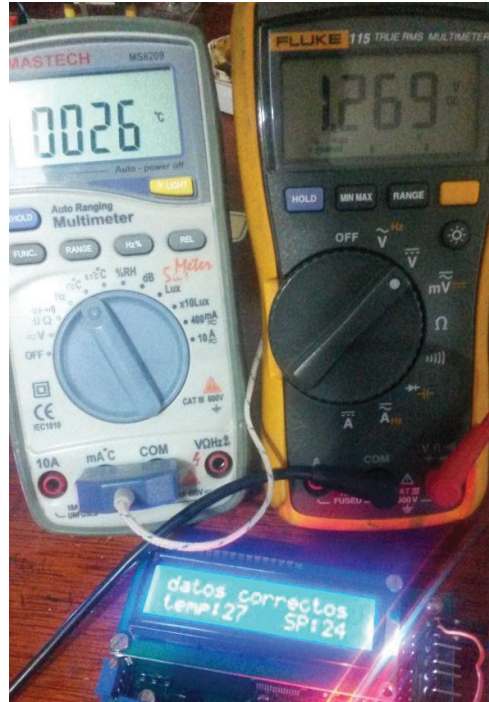


Figura 4.1 Datos iniciales del nodo CAN de temperatura.

Para la obtención del error se utiliza la Fórmula 4.1 que corresponde al error relativo [51]:

$$\varepsilon = \left| \frac{\Delta X}{X_0} \right| \times 100\% \quad (4.1)$$

Los resultados obtenidos de las pruebas y sus errores se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 4.1 Medición de la planta de temperatura.

TEMPERATURA		
Termocupla (°C)	Nodo CAN temperatura (°C)	Error Promedio(%)
25	26	3.846
26	27	3.704
26	28	7.143
27	29	6.897
28	30	6.667
29	31	6.452
31	32	3.125
32	33	3.030
32	34	5.882
33	35	5.714

En la Tabla 4.1 la primera columna corresponde a la medida por la termocupla y los datos de la segunda columna es lo que mide a la salida del nodo CAN de temperatura. Aplicando la ecuación (4.1) se obtiene errores bajos que son aceptables considerando factores como calibración de instrumentos de medición y ruido. En cuanto al control de temperatura, a continuación, se muestran ejemplos de funcionamiento para varios valores del punto de consigna.

Temperatura de consigna: 27°C

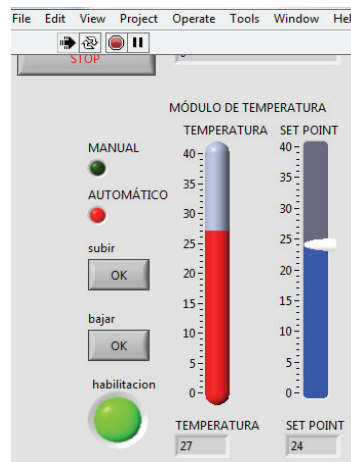


Figura 4.2 Temperatura de consigna: 27°C

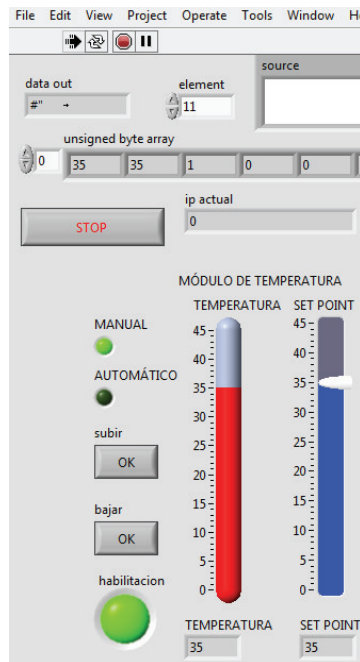


Figura 4.3 Temperatura de consigna: 35 °C

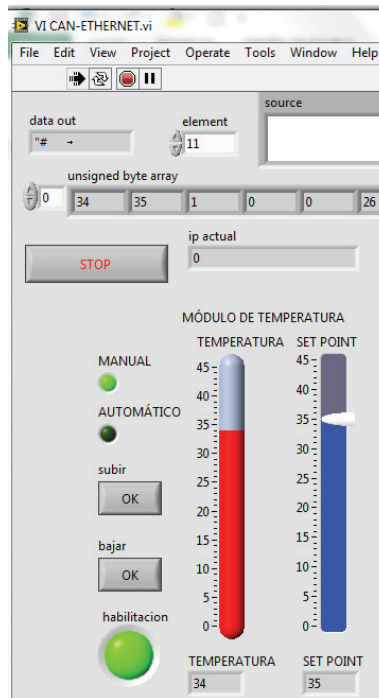


Figura 4.4 Temperatura de consigna: 34 °C

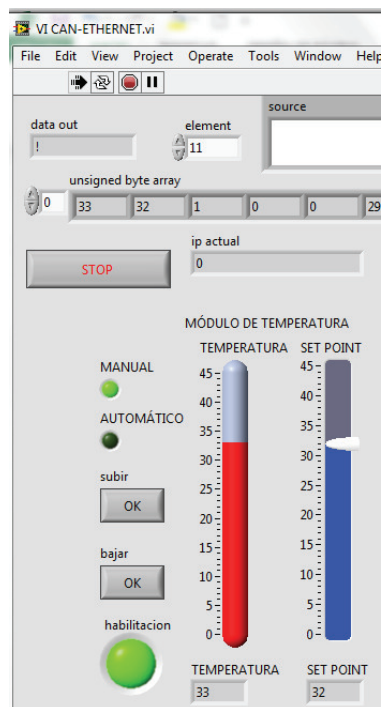


Figura 4.5 Temperatura de consigna: 33 °C

El módulo de control de temperatura puede funcionar en modo manual o automático y por lo mismo en el HMI se ubicaron dos leds para indicar el modo de operación.

4.2 VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE NIVEL

El sistema de medición de nivel consiste en un tanque contenedor de agua, el cual es vaciado mediante la activación manual de una válvula.

Las pruebas buscarán determinar qué tan bien mide el nivel el sistema variando continuamente el nivel. Se diseñó una HMI para que muestre el nivel y detecte valores mínimo y máximo.

El nivel mínimo se fijó entre el valor 1 y 2 de la cinta adherida al tanque, se indica el valor en el LCD y además se activa una alarma visual y sonora.



Figura 4.6 Nivel de tanque mínimo con alarmas visuales y sonoras.

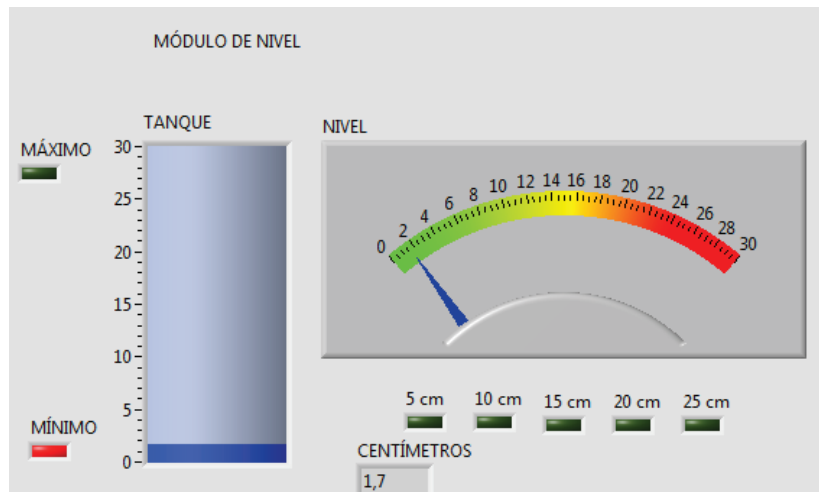


Figura 4.7 Nivel de tanque mínimo visto desde el HMI.

El sistema de monitoreo de nivel tiene tres etiquetas según el nivel y se han programado como mínimo, normal y máximo. Cuando el nivel está entre 2.1 y 26.9 el tanque se encuentra en nivel normal.

Para valores de 5, 10, 15, 20 y 25 centímetros se programó la interfaz visual de tal forma que se enciendan leds en esos niveles de agua.

La siguiente figura ilustra el caso cuando el nivel de agua es de 5 centímetros.



Figura 4.8 Nivel de tanque 5 centímetros.

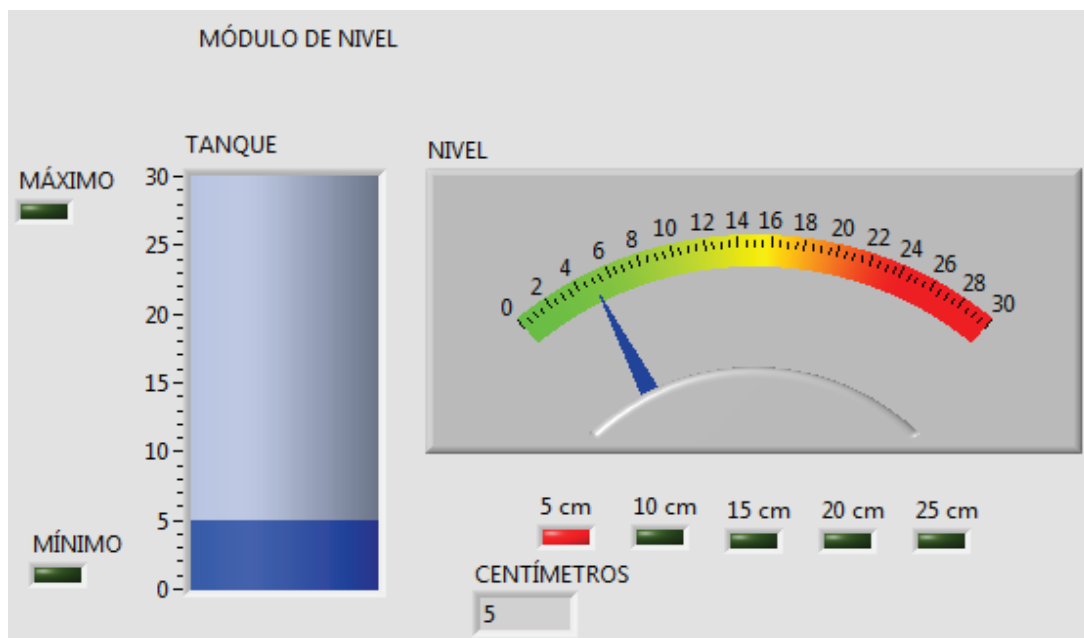


Figura 4.9 Nivel de 5 centímetros en el HMI.

Cuando el agua alcanza su nivel máximo se activa una alarma visual y sonora. De igual forma en el LCD se indica que se ha llegado al nivel máximo.

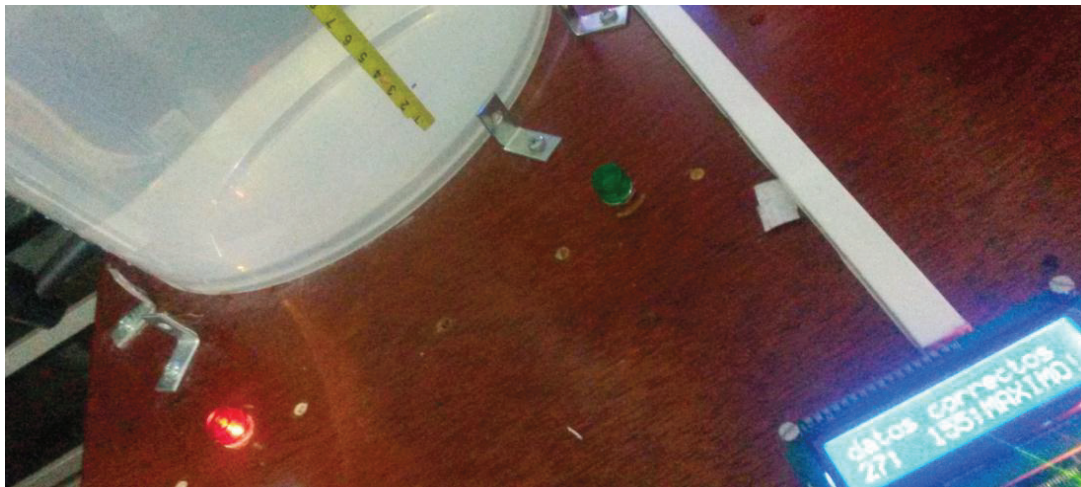


Figura 4.10 Nivel de tanque máximo con alarmas visual y sonora.

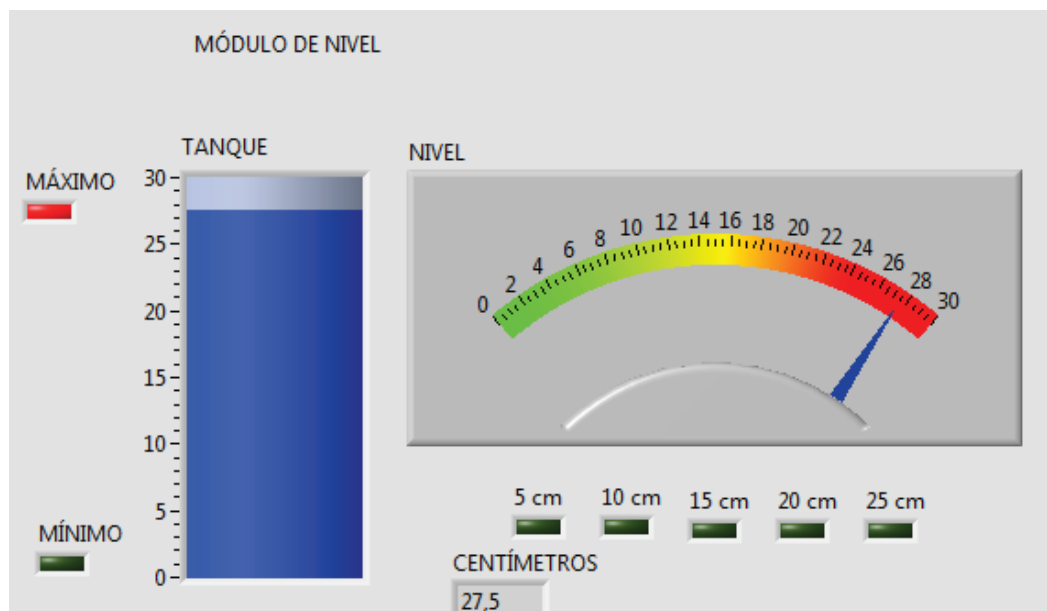


Figura 4.11 Nivel máximo en el HMI.

Al llegar al nivel máximo se enciende un led en el HMI indicando que se ha alcanzado el nivel permitido.

Los errores que se han obtenido basados en la medición visual en el tanque y la medición que se tiene en la HMI se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 4.2 Medición de la planta de nivel.

NIVEL		
Altura en la regla (cm)	Altura en el nodo (cm)	Error Promedio (%)
2	2.1	5.000
3	3.1	3.333
4	3.9	2.500
5	5.2	4.000
6	6.1	1.667
7	7.1	1.429
8	7.9	1.250
9	9.2	2.222
10	10.2	2.000
15	15.2	1.333
20	20.3	1.500
25	25.2	0.800

4.3 VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE SENSORES ON/OFF

El tercer y último módulo corresponde a los sensores ON/OFF. Cada uno de los sensores activará una luz piloto al cambiar de estado lógico. Todos los sensores trabajaran al mismo tiempo y se pueden visualizar de manera simultánea. Se tiene un sensor de luz, otro de presencia y otro de humo

En el display de cristal líquido se puede ver el estado de los tres sensores como encendido y apagado.

En la siguiente figura se ve que los elementos se encuentran apagados.



Figura 4.12 Luz encendido, presencia apagado y humo apagado.

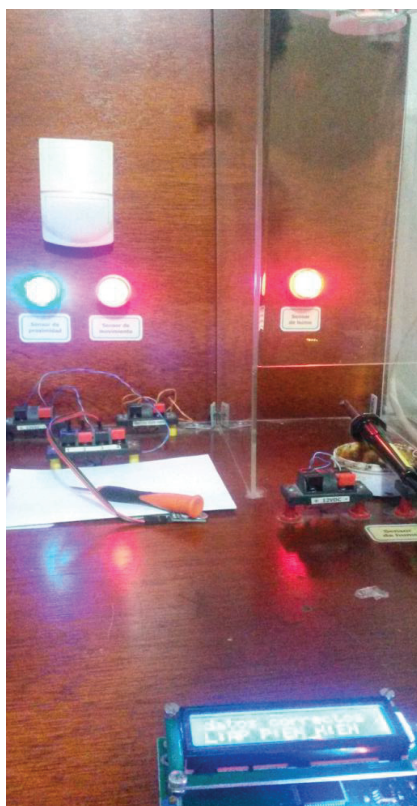


Figura 4.13 Indicadores de luz, presencia y humo encendidos.

En el HMI se colocaron leds de color verde y rojo para todos los sensores ON/OFF del sistema.



Figura 4.14 Distintos estados de los sensores ON/OFF vistos desde el HMI.

4.4 PRUEBAS DE COMUNICACIÓN

El protocolo CAN tiene como una de sus características principales que el nodo maestro continuamente debe comunicarse con sus esclavos, independientemente de si uno se desconecta o falle. En la figura siguiente se corrobora que el nodo CAN monitorea continuamente a los nodos esclavos.

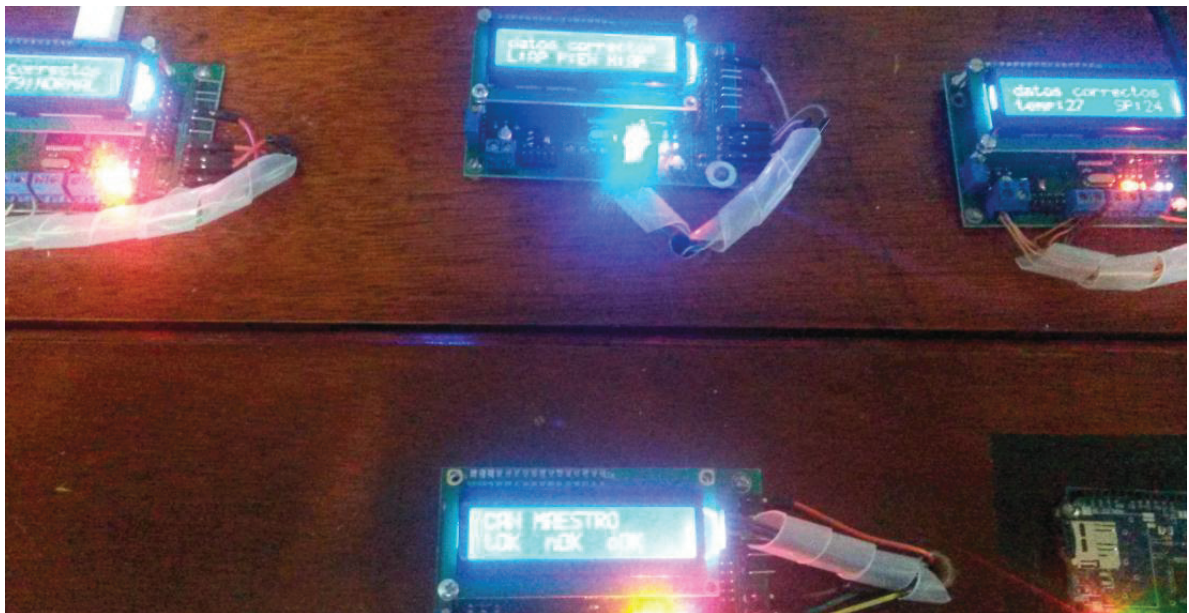


Figura 4.15 Todos los esclavos transmiten correctamente.

En el siguiente gráfico se ha desconectado el nodo de sensores ON/OFF y el resto de nodos sigue funcionando.



Figura 4.16 Nodo CAN de sensores ON/OFF desconectado.

4.4.1 VOLTAJES DOMINANTES, RECESIVOS Y TRAMA DEL PROTOCOLO CAN.

Como se indicó en el capítulo 1 el protocolo CAN trabaja con voltaje diferencial generando así los llamados estados dominantes y recesivos a una velocidad determinada mediante programación. Para este proyecto se ha seleccionado una velocidad de 500Kbps y el transceiver ha sido conectado de forma que pueda alcanzar esta velocidad de transmisión con el pin ASC conectado a tierra.

Con el uso de un osciloscopio se midió el voltaje entre CAN_H y CAN_L y el resultado se muestra en la figura siguiente:

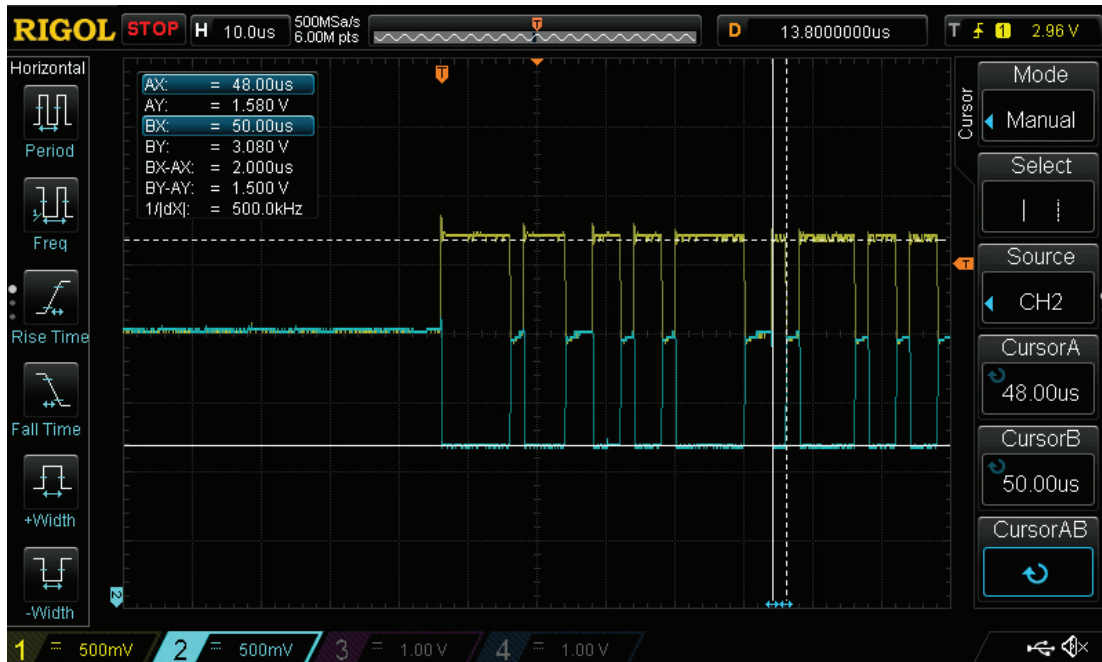


Figura 4.17 Voltaje diferencial y velocidad de 500kbps.

Se observa claramente un voltaje diferencial de 1.5 voltios con una velocidad de 500kbps señalada mediante los cursores verticales. Con los cursores horizontales se indica los voltajes del diferencial. Se observa también el valor de 500KHz.

4.5 IDENTIFICACIÓN DE DATOS DEL BUS CAN

Para comprobar el estado los datos que se transmiten por el bus CAN se utiliza la HMI, y los lcds junto con software de decodificación del protocolo CAN.



Figura 4.18 Datos visualizados en el LCD.

El nodo CAN maestro se configuró con el identificador 5, el nodo de temperatura con B, el nodo de nivel con C y el nodo de sensores ON/OFF con D.

Tomando en cuenta estas especificaciones se puede pasar a analizar la trama CAN, mediante el decodificador USB-CAN Tool, el cual muestra los siguientes datos.

Tabla 4.3 Datos de la trama del protocolo CAN.

NÚMERO	DIRECCIÓN	TIEMPO	TIPO DE TRAMA	FORMATO DE TRAMA	ID DE LA TRAMA	LONGITUD DEL DATO	DATO
0	Receive	18:34:51:101	Data frame	Standard frame	0000000b	8	00 00 00 00 00 00 00 00
1	Receive	18:34:51:120	Data frame	Standard frame	00000005	8	1b 18 01 00 00 00 00 00
2	Receive	18:34:51:125	Remote frame	Standard frame	0000000c	8	00 00 00 00 00 00 00 00
3	Receive	18:34:51:131	Data frame	Standard frame	00000005	8	00 41 00 00 00 00 00 00
4	Receive	18:34:51:136	Remote frame	Standard frame	0000000d	8	00 00 00 00 00 00 00 00
5	Receive	18:34:51:141	Data frame	Standard frame	00000005	8	01 01 00 00 00 00 00 00
6	Receive	18:34:51:146	Data frame	Standard frame	0000000b	8	00 00 00 00 00 00 00 00
7	Receive	18:34:51:150	Data frame	Standard frame	00000005	8	1b 18 01 00 00 00 00 00
8	Receive	18:34:51:159	Remote frame	Standard frame	0000000c	8	00 00 00 00 00 00 00 00
9	Receive	18:34:51:181	Data frame	Standard frame	00000005	8	00 41 00 00 00 00 00 00
10	Receive	18:34:51:203	Remote frame	Standard frame	0000000d	8	00 00 00 00 00 00 00 00
11	Receive	18:34:51:208	Data frame	Standard frame	00000005	8	01 01 00 00 00 00 00 00
12	Receive	18:34:51:219	Data frame	Standard frame	0000000b	8	00 00 00 00 00 00 00 00

En la columna TIPO DE TRAMA se observa la petición de información al nodo CAN de temperatura con el identificador b y este devuelve datos al nodo maestro en hexadecimal. Transformando estos valores se tiene:

1BHEX=27, temperatura en la cámara.

18HEX=24, set point.

01HEX= modo de operación automático.

Al comparar los datos de la Figuras 4.18 con los datos de la Tabla 4.3 se corrobora que los valores son correctos y se ha verificado así el correcto funcionamiento del protocolo CAN y la transferencia de datos mediante tecnología Ethernet.

Para comprobar la eficiencia y fiabilidad de la transmisión de datos CAN se analiza la información de la siguiente tabla:

En la siguiente tabla se observa que el número de peticiones y respuestas es el mismo por lo que la fiabilidad es bastante alta.

Tabla 4.5 Datos del bus CAN.

NÚMERO DE PETICIONES	b: Temperatura	12
	c: Nivel	11
	d: ON/OFF	11
NÚMERO DE RESPUESTAS	b: Temperatura	12
	c: Nivel	11
	d: ON/OFF	11

En 68 iteraciones no se encontraron fallas en la petición y envío de datos, pero esto no quiere decir que posibles errores no puedan existir por diversos factores, pero precisamente para ello el protocolo CAN tiene la capacidad de eliminación de errores.

En la Tabla 4.6 se observa que la velocidad de transmisión es bastante alta y el intervalo de tiempo entre petición y respuesta de datos está en el orden de las centésimas de segundo.

Tabla 4.6 Datos del bus CAN.

NÚMERO	TIEMPO
0	18:34:51:101
1	18:34:51:120
2	18:34:51:125
3	18:34:51:131
4	18:34:51:136
5	18:34:51:141
6	18:34:51:146
7	18:34:51:150
8	18:34:51:159
9	18:34:51:181
10	18:34:51:203
11	18:34:51:208
12	18:34:51:219
13	18:34:51:224
14	18:34:51:234
15	18:34:51:239
16	18:34:51:251
17	18:34:51:256
18	18:34:51:267
19	18:34:51:288
20	18:34:51:316

El capítulo 4 abarcó las pruebas indispensables para confirmar el correcto funcionamiento de los microcontroladores CAN, la robustez del bus CAN y la transferencia exitosa de datos entre CAN y Ethernet. En el capítulo 5 se condensarán las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El protocolo CAN trabaja a nivel de las capas 1 y 2 para lograr una velocidad alta, reduciendo pasos de procesamiento, pero debe poder recibir y entregar sus datos a un operador. Al unir la red CAN con Ethernet posibilita desarrollar una HMI que hizo posible este objetivo. Los resultados de las pruebas permiten concluir que se logró este propósito.
- El protocolo CAN tiene varias ventajas como mejor inmunidad a la interferencia electromagnética debido a que utiliza voltaje diferencial, emplea control de redundancia cíclica para la detección de errores en la trama. Los resultados de las pruebas permiten concluir que el protocolo CAN es efectivamente robusto y fiable.
- El uso del protocolo CAN se ha difundido en una gran variedad de aplicaciones, Se desarrolló para la industria automotriz, pero se ha extendido a aplicaciones biomédicas e industriales debido a su confiabilidad. El protocolo CAN permite ajustar la tasa de transferencia dependiendo de la distancia. En una planta industrial real los sensores pueden o no estar alejados por lo que la velocidad debe ser seleccionada correctamente para aprovechar mejor las ventajas del protocolo CAN.
- Considerando que la especificación CAN tiene ya varios años desde que fue publicada, varias compañías han trabajado en la mejora del protocolo, aumentando su velocidad y cantidad de bytes de datos que pueden transferir, pero esta nueva especificación llamada CAN FD, está aún en desarrollo con prototipos de prueba y nuevos microcontroladores que aún no son comercializados, por lo que el protocolo CAN aquí empleado sigue completamente vigente.

- Al analizar una red de comunicación es fundamental compararla con el modelo OSI para evaluar sus características y comportamiento. El protocolo CAN trabaja en la capa física y en la capa de enlace de datos y no puede compararse con los protocolos basados en CAN como son DeviceNet y CANopen pues estos trabajan en las capas superiores y utilizan CAN para las inferiores.
- La tecnología Ethernet se ha desarrollado durante más de 40 años, y ha logrado imponerse en la tecnología de las LAN y por esto se ha creado una gran cantidad de dispositivos y periféricos desarrollados para funcionar con esta tecnología. Ethernet se ha convertido así en una de las mejores opciones al momento de implementar una LAN.
- Cuando se trabaja con redes de comunicaciones es importante buscar que el envío de datos erróneos sea el menor posible y adicionalmente que el envío de estos datos tenga tantas iteraciones en relación al tiempo cuantas sean posibles, para que en conjunto la información sea lo más fiable posible. Las pruebas realizadas en el bus CAN demostraron que trabaja correctamente a altas velocidades.
- Para el desarrollo de un proyecto que incluye comunicación es necesario analizar previamente las señales que se van a procesar, las distancias a las que se van a transmitir, el medio físico que se va a utilizar y la criticidad que involucra la fiabilidad de los datos. Los datos de los sensores empleados en el módulo llegan de manera correcta a través de Ethernet a Labview por lo que la comunicación ha tenido fiabilidad.
- Las variaciones en los datos análogos como el de presión se deben a que el rango de presión al que opera es bastante amplio, característica que depende del sensor y no se relaciona con la comunicación.

5.2 RECOMENDACIONES

- Es importante seguir un orden jerárquico en el desarrollo del proyecto, comenzando por los requerimientos del microcontrolador, que deberá recibir información por parte de los sensores y tener la capacidad de procesar en concordancia con el programa de control desarrollado.

- Se debe siempre tratar de disminuir las interferencias sobre los dispositivos sensibles, para tener información más exacta. Por lo mismo se recomienda incluir filtros en los sensores que los requieran, la mayoría de los cuales traen esta información en las especificaciones del fabricante.
- Los microcontroladores son también sensibles a ruido por lo que el uso de capacitores es imprescindible para un funcionamiento óptimo. Adicionalmente, para el funcionamiento con cristal externo se especifican valores de los elementos complementarios a utilizarse por lo tanto se recomienda referirse a las hojas de datos. De igual forma el transceiver CAN se conecta distintas formas según el modo de trabajo, a alta o baja velocidad, referirse también a la hoja de datos.
- Es fundamental chequear la comunicación entre nodos CAN, comprobar su correcta configuración para transmisión o recepción, y posteriormente realizar el envío de datos.
- Para la comprensión íntegra del protocolo CAN es necesario identificar los datos de la trama y como estos son enviados de un nodo a otro, por ello es muy útil el uso de un decodificador del protocolo CAN, que permite analizar las tramas sean de datos o remotas y a que nodo le llega la petición remota o de datos según su dirección.
- Como recomendación general es necesario siempre verificar las conexiones físicas más elementales, como voltajes de aplicación, continuidad sobre las conexiones, y compatibilidad de los VI con las versiones de Labview instaladas en los computadores de la red.
- Cuando se produce una falla es necesario tener un conocimiento global del proceso, para que la identificación del error sea rápida y certera con conocimiento de causa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ethernet: de 2,94 A 1000 Mbps en 25 años. [Online].
<http://www.rediris.es/difusion/publicaciones/boletin/46-47/ponencia9.html>
- [2] *A CAN Physical Layer Discussion*, Pat Richards, Microchip Technology Inc. 2002.
- [3] *CAN Specification*, Version 2.0, Robert Bosch GmbH, Stuttgart 1991, pp. 5.
- [4] CAN Physical Layer. [Online]. http://www.microst.it/Tutorial/can_pl_3.htm
- [5] The medium-dependent sub-layer [Online]. <http://www.can-cia.org/can-knowledge/can/systemdesign-can-physicallayer/>
- [6] PROPAGATION DELAY [Online]. http://www.microst.it/Tutorial/can_pl_5.htm
- [7] *CAN Specification*, Version 2.0, Robert Bosch GmbH, Stuttgart 1991, pp. 10.
- [8] *CAN Specification*, Version 2.0, Robert Bosch GmbH, Stuttgart 1991, pp. 15.
- [9] *CAN Specification*, Version 2.0, Robert Bosch GmbH, Stuttgart 1991, pp. 16.
- [10] *CAN Specification*, Version 2.0, Robert Bosch GmbH, Stuttgart 1991, pp. 17.
- [11] *CAN Specification*, Version 2.0, Robert Bosch GmbH, Stuttgart 1991, pp. 19.
- [12] *CAN Specification*, Version 2.0, Robert Bosch GmbH, Stuttgart 1991, pp. 19.
- [13] HISTORY OF ETHERNET [Online].
<http://standards.ieee.org/events/ethernet/history.html>
- [14] 802.3 Standard supplement [Online]. http://telecom-sp.blogspot.com/2011_12_01_archive.html

- [15] Ethernet – Standards and Implementation. [Online].
<http://www.highteck.net/EN/Ethernet/Ethernet.html>
- [16] Overview of Ethernet. [Online].
<http://www.highteck.net/EN/Ethernet/Ethernet.html>
- [17] MAC Ethernet [Online]. <http://www.highteck.net/EN/Ethernet/Ethernet.html>
- [18] Topologías. [Online]. <http://uhu.es/antonio.barragan/content/5topologias>
- [69] Topología bus [Online]. <http://uhu.es/antonio.barragan/content/5topologias>
- [20] Ethernet topology [Online].
https://www.google.com.ec/search?q=hub+migration+topology&rlz=1C1AVNG_enEC637EC638&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj0ib3AjPHNAhWMHh4KHf8cA8MQ_AUICCGB&biw=1517&bih=752&dpr=0.9#tbm=isch&q=ethernet+network+topology&imgc=o5ZzY2iV_ApFaM%3A
- [21] Overview of Ethernet. [Online].
<http://www.highteck.net/EN/Ethernet/Ethernet.html>
- [7] W.Stallings, “Computer networking with internet protocols and technology”, Pearson/Prentice Hall, 2004, pp. 517.
- [8] Overview of Ethernet. [Online].
<http://www.highteck.net/EN/Ethernet/Ethernet.html>
- [24] Tire temperature sensor [Online].
http://www.kasensors.com/sites/default/files/downloads/KIR16X4.411U_0.pdf
- [25] Sensores digitales inteligentes CAN. [Online].
http://www.kramp.com/pdf/es_ES/hpm6_sensors_es.pdf

- [26] Sensores digitales inteligentes CAN. [Online].
http://www.kramp.com/pdf/es_ES/hpm6_sensors_es.pdf
- [27] Sensores digitales inteligentes CAN. [Online].
http://www.kramp.com/pdf/es_ES/hpm6_sensors_es.pdf
- [28] Digital fuel level sensor CANBus. [Online]. <http://www.gps-services.com/products/view/%D0%BD%D0%B8%D0%B2%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD-%D0%B4%D0%B0%D1%82%D1%87%D0%B8%D0%BA-en/>
- [29] ER-Soft Termómetros especiales [Online].
<http://www.interempresas.net/Agricola/FeriaVirtual/Producto-Termometro-para-Ethernet-Papouch-TME-136985.html>
- [30] Sensores de temperatura y humedad para red Ethernet. [Online].
<http://www.er-soft.com/es/noticias/sensores-de-temperatura-y-humedad-para-red-ethernet>
- [31] Integrated Silicon Pressure Sensor On-Chip Signal Conditioned, Temperature Compensated and Calibrated, Rev. 6, Motorola Inc. ,2002, pp. 1.
- [32] Integrated Silicon Pressure Sensor On-Chip Signal Conditioned, Temperature Compensated and Calibrated, Rev. 6, Motorola Inc. ,2002, pp. 3.
- [33] Integrated Silicon Pressure Sensor On-Chip Signal Conditioned, Temperature Compensated and Calibrated, Rev. 6, Motorola Inc. ,2002, pp. 3.
- [34] LCD MODULE ERM1602-6 SPECIFICATION. [Online].
http://www.buydisplay.com/download/manual/ERM1602-6_Series_Datasheet.pdf

- [35] L9616 HIGH SPEED CAN BUS TRANSCEIVER, Rev 2, STMicroelectronics Co., 2013, pp. 1.
- [36] AVR 8 bit microcontroller AT90CAN32/64/128, Rev. 7682C-auto., ATMEL,2008, pp 1.
- [37] J. Calva, “Diseño e implementación de protocolo CAN para el control de un módulo de red de sensores”, Tesis, Departamento de automatización y control industrial, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2010.
- [38] J. Calva, “Diseño e implementación de protocolo CAN para el control de un módulo de red de sensores”, Tesis, Departamento de automatización y control industrial, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2010.
- [39] J. Calva, “Diseño e implementación de protocolo CAN para el control de un módulo de red de sensores”, Tesis, Departamento de automatización y control industrial, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2010.
- [40] J. Calva, “Diseño e implementación de protocolo CAN para el control de un módulo de red de sensores”, Tesis, Departamento de automatización y control industrial, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2010.
- [41] Sensores de luz EGM. [Online]. <http://www.egm-robotics.com/productos/imagen-sensor-de-luz/>
- [42] AVR 8 bit microcontroller AT90CAN32/64/128, Rev. 7682C-auto., ATMEL,2008, pp 168.
- [43] AVR 8 bit microcontroller AT90CAN32/64/128, Rev. 7682C-auto., ATMEL,2008, pp 169.

- [44] W5100 datasheet, Version 1.1.6. [Online].
https://www.sparkfun.com/datasheets/DevTools/Arduino/W5100_Datasheet_v1_1_6.pdf
- [45] TP-LINK TL-WR741ND specifications [Online].
http://www.tplink.com/ca/products/details/cat-9_TL-WR741ND.html#specifications
- [46] TP-LINK TL-WR741ND specifications [Online].
http://www.tplink.com/ca/products/details/cat-9_TL-WR741ND.html#specifications
- [47] TP-LINK TL-WR741ND specifications [Online].
http://www.tplink.com/ca/products/details/cat-9_TL-WR741ND.html#specifications
- [48] TP-LINK TL-WR741ND specifications [Online].
http://www.tplink.com/ca/products/details/cat-9_TL-WR741ND.html#specifications
- [49] W5100 datasheet, Version 1.1.6. [Online].
https://www.sparkfun.com/datasheets/DevTools/Arduino/W5100_Datasheet_v1_1_6.pdf
- [50] Software Program, <<USB CAN Tool>>, Versión 2.02.
- [51] A.Guerrero, "Introducción de Errores en la Medición", 1era edición, Medellín, Textos Académicos, 2007, pp. 18.

ANEXOS

ANEXO A
MANUAL DE USUARIO

A.1. INTRODUCCIÓN

Este manual de usuario tiene como objetivo explicar el uso y configuración del Módulo de sensores CAN-Ethernet.

Se explica inicialmente la estructura que conforma cada uno de los módulos de la red de sensores, las placas electrónicas, los acondicionamientos, los sensores y las fuentes de alimentación.

En una segunda parte se explica el funcionamiento de la red de sensores, pudiendo seleccionarse modo manual o modo automático, para monitorear y controlar desde los nodos o desde Labview.

Finalmente se detallan las posibilidades de expansión del módulo y funciones adicionales que se pueden implementar en los microcontroladores de los diferentes nodos del sistema.

A.2. ESTRUCTURA DE LA RED DE SENSORES

En la Figura A- 1. se indica la estructura total de la red de sensores.



Figura A- 2. Estructura de la red de sensores.

La estructura está conformada por tres subsistemas. El primero es un sistema de control de temperatura formado por una cámara acrílica, ventiladores para enfriamiento y extracción de aire caliente y por un sensor de temperatura RTD Pt100 siemens comercial.



Figura A- 3. Estructura del sistema de control de temperatura.

La parte de control está formada por una placa electrónica construida con elementos de montaje superficial para reducir al máximo el tamaño, consta del microcontrolador CAN, transceiver, un lcd y distintos pines disponibles, a los cuales se conectan los sensores y también el bus CAN.

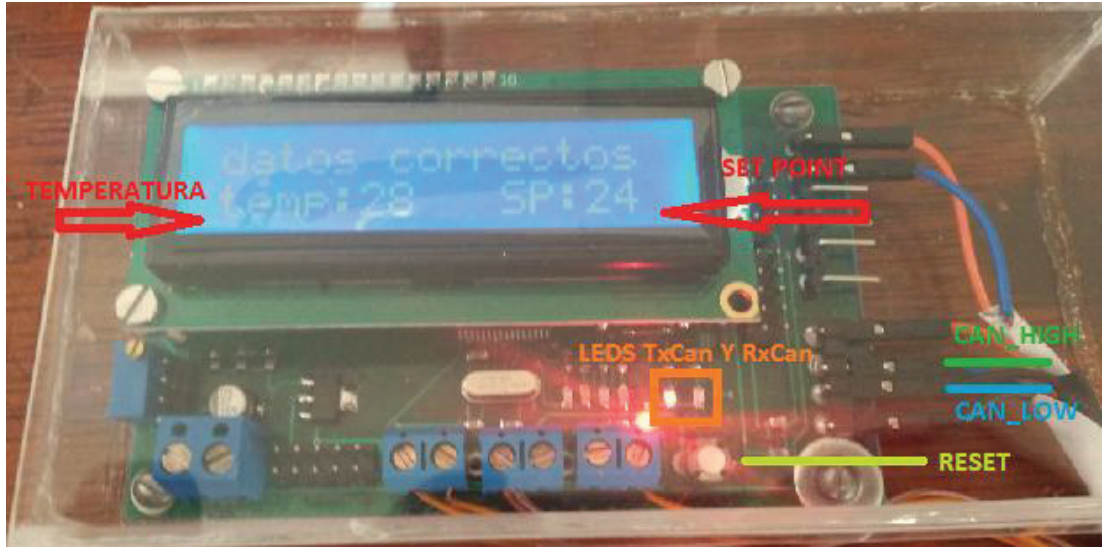


Figura A- 4. Nodo CAN de temperatura.

El siguiente sistema es el módulo de nivel, formado físicamente por un tanque con una válvula para el desfogue de agua, un sensor de presión diferencial junto con filtros, dos luces pilotos que indican el nivel máximo y mínimo del tanque y una escala vertical fijada en el tanque para observar la variación de la altura.

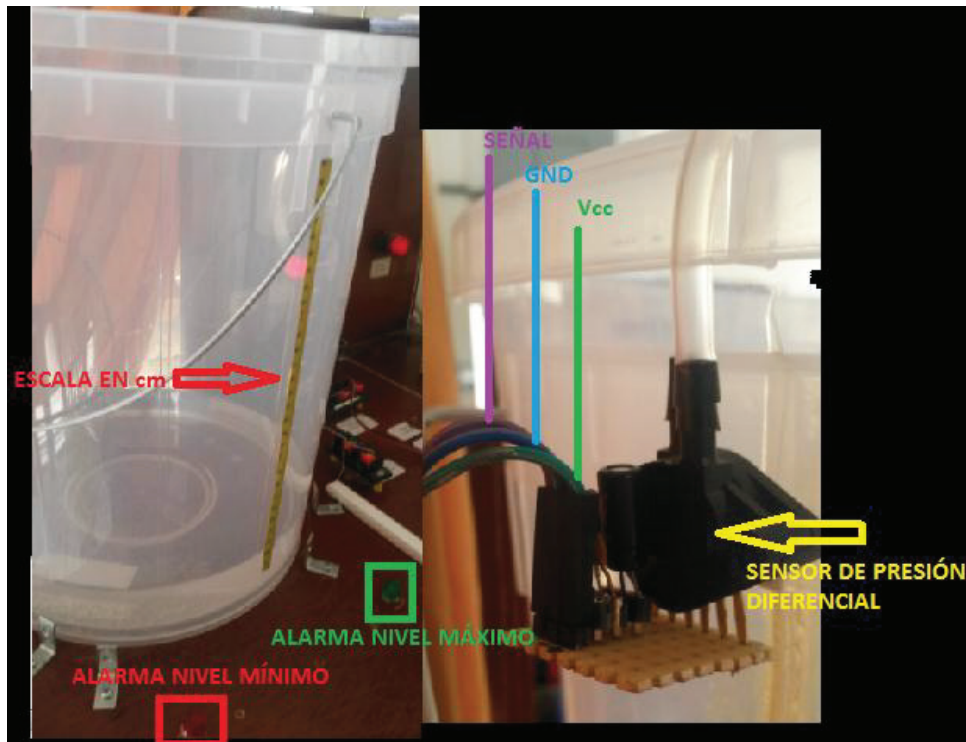


Figura A- 5. Estructura del sistema de monitoreo de nivel.

La parte de control está formada por el nodo CAN de nivel de igual estructura física que todos los nodos. La información que se despliega es el nivel en centímetros y el valor en el conversor análogo digital proveniente de la señal del sensor de presión diferencial.

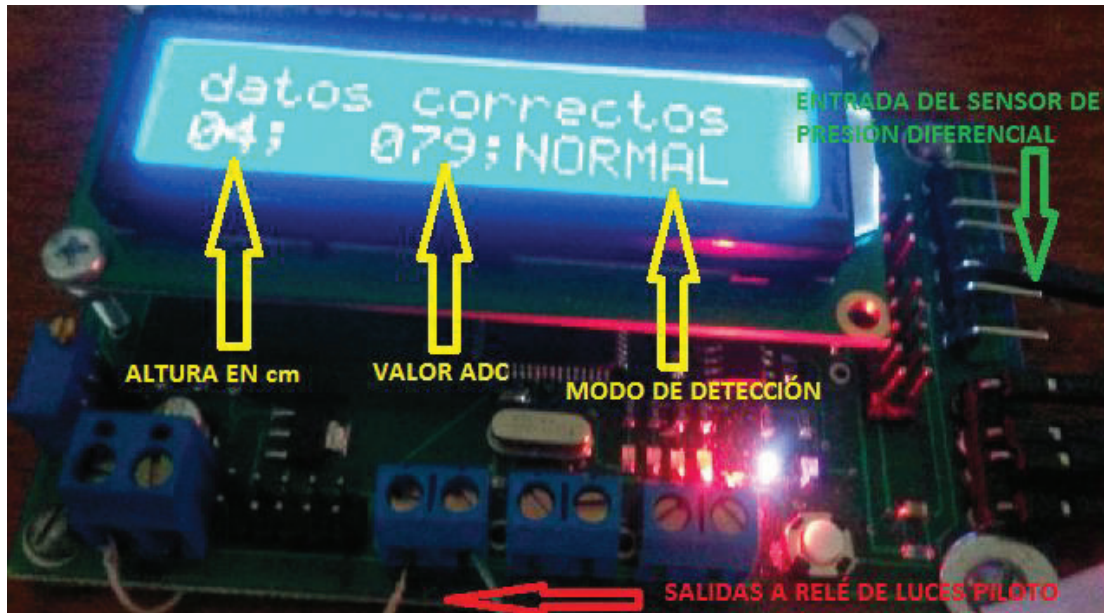


Figura A- 6. Nodo CAN de nivel.

El tercer y último sistema es de monitoreo de sensores ON/OFF, formado por un sensor detector de humo con apagado manual, un sensor de presencia y finalmente un sensor de luz. Los tres sensores tienen luces piloto para indicar que se activaron.



Figura A- 7. Estructura del sistema de monitoreo de sensores ON/OFF.

El control se implementa en la misma placa que los otros nodos, leyendo los sensores y configurando salidas, para que a través de relés las luces pilotos de cada sensor se enciendan cuando estos sensores se activan.

El protocolo CAN tiene configuraciones específicas, tanto eléctricas como de la estructura de su trama. Para poder apreciar estas características se hace uso del osciloscopio para ver las señales de voltaje diferencial en CAN_HIGH y en CAN_LOW y además se tiene a disposición en este módulo un decodificador comercial de bus CAN con el cual se pueden ver los datos enviados a través del bus.



Figura A- 8. Módulo decodificador de protocolo CAN.

Para la comunicación a través de Ethernet se utiliza un microcontrolador WIZNET W5100, que se programa mediante una placa comercial y es el encargado de enviar los datos al switch.

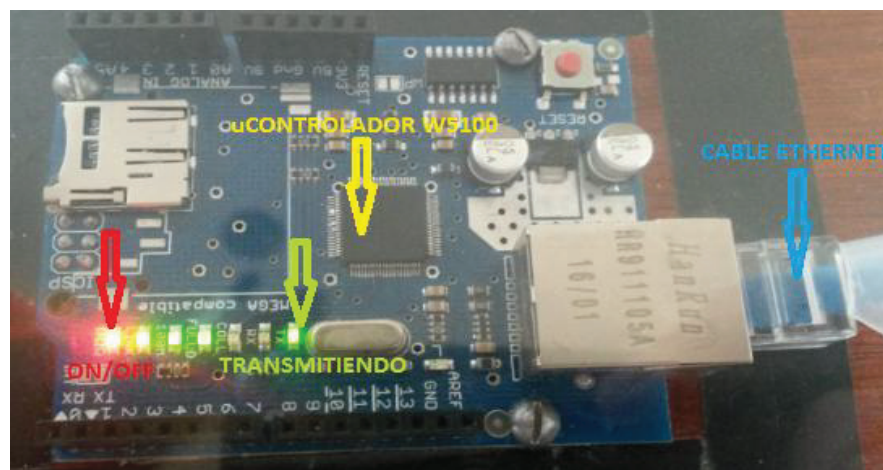


Figura A- 9. Placa de comunicación Ethernet.

Una vez que la información llega al módulo Ethernet este se conecta a un switch que enviará la información a todos los demás computadores conectados a la red y podrán controlar y monitorear a la planta desde distintos puntos.

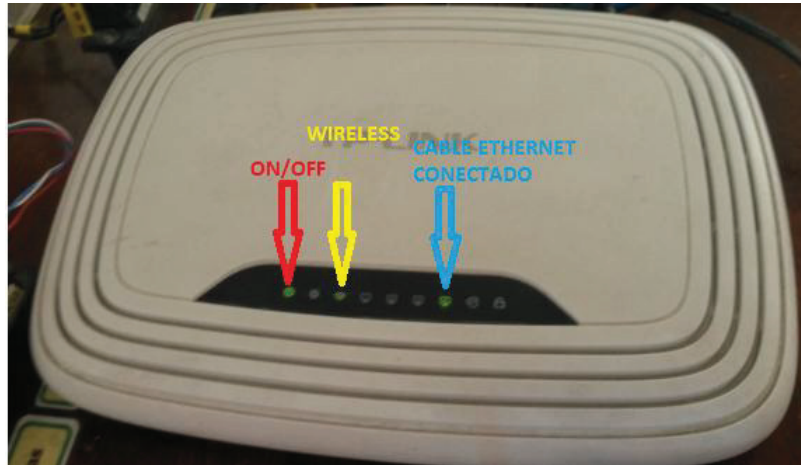


Figura A- 10. Switch para comunicación de varios hosts.

A.2.1. CONEXIONES DE LA RED DE SENSORES

Para el correcto funcionamiento de la planta se deben revisar los siguientes aspectos antes de ponerla en marcha:

- Verificar que no exista continuidad entre fase y neutro en las borneras internas que se encuentran alimentadas con el voltaje de la red.
- Verificar que la fuente switching que proporciona los voltajes para las placas de acondicionamientos esté encendida.
- Verificar que no exista continuidad entre las borneras donde se tienen 5[V] y 12 [V].
- Verificar que exista continuidad en las borneras de neutro de la planta.
- Verificar que el voltaje en la fuente switching que alimenta a las placas de los nodos CAN se encuentre en un voltaje de 7.5[V].
- Verificar que el switch (Tp-link) para comunicación se encuentra conectado a la alimentación.
- Verificar que el cable de Ethernet se encuentre conectado a la placa electrónica.



Figura A- 11. Borneras con alimentación de la red.



Figura A- 12. Fuente switching para 5 [V] y 12[V] encendida.



Figura A- 13. Borneras de 5 [V] y 12[V].



Figura A- 14. Fuente switching para nodos en 7.5 [V].

Luego de todas las consideraciones y verificaciones mencionadas se puede encender la planta con el interruptor principal y tener todas las funcionalidades disponibles.

A.3. FUNCIONAMIENTO

Para el funcionamiento del módulo de sensores es necesario tener instalado Labview 2014 o superior puesto que el VI funciona con esta versión con la licencia institucional de la Escuela Politécnica Nacional.



Figura A- 15. Instalación del software Labview 2014.

El módulo de red de sensores CAN-Ethernet permite el envío de los datos del bus CAN mediante Ethernet a distintos computadores conectados a la red de área local. Considerando que el control no se debe perder a pesar de un posible fallo en la comunicación, el módulo funciona en modo manual o automático.

Una vez encendido el módulo se observa en cada uno de los nodos la información correspondiente de temperatura, nivel o sensores ON/OFF como se indicó anteriormente.

Los módulos de nivel y sensores ON/OFF son de monitoreo únicamente, por lo que solo sobre el módulo de temperatura se realizará control y para ello en modo manual se tienen pulsadores para incrementar y decrementar temperatura además un interruptor para seleccionar si se opera en modo manual o automático.

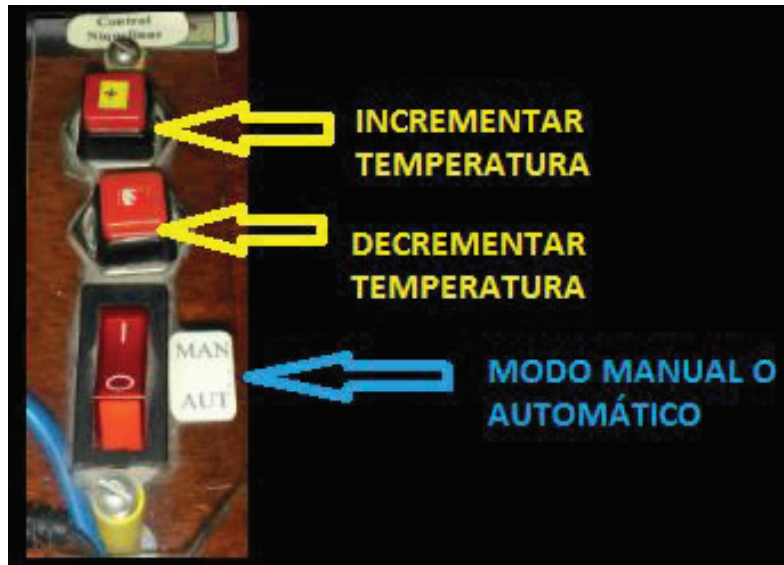


Figura A- 16. Pulsadores para incrementar y decrementar temperatura e interruptor para selección modo manual o automático.

Para el modo automático se debe confirmar que el módulo Ethernet esté conectado al switch.

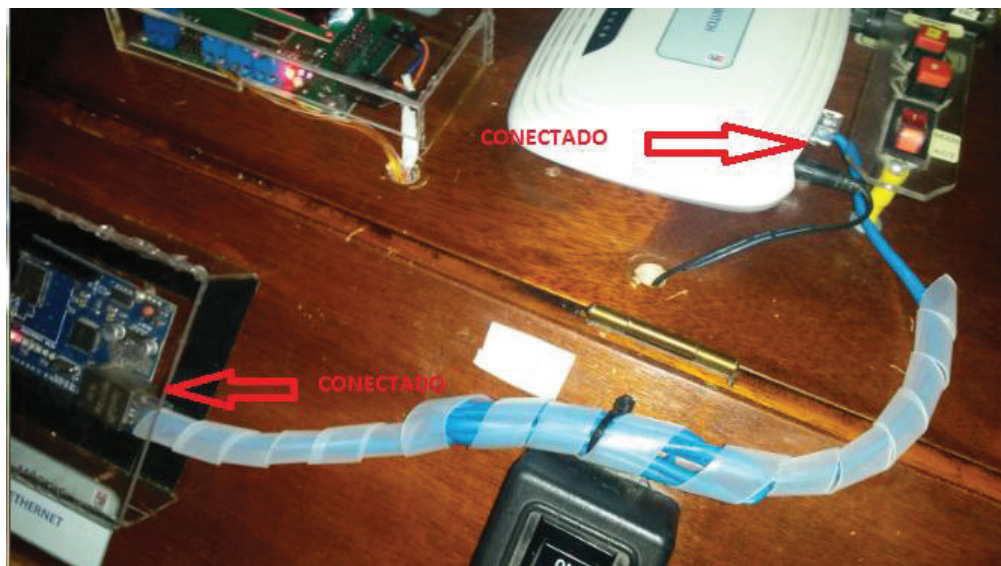


Figura A- 17. Módulo Ethernet conectado al switch.

El switch se encuentra previamente configurado con el nombre CAN_Ethernet y clave de usuario “can-ethernet”. Si por algún motivo llegara a desconfigurarse se debe presionar el botón de reset que se encuentra en la parte posterior. El nombre y clave por defecto son admin.

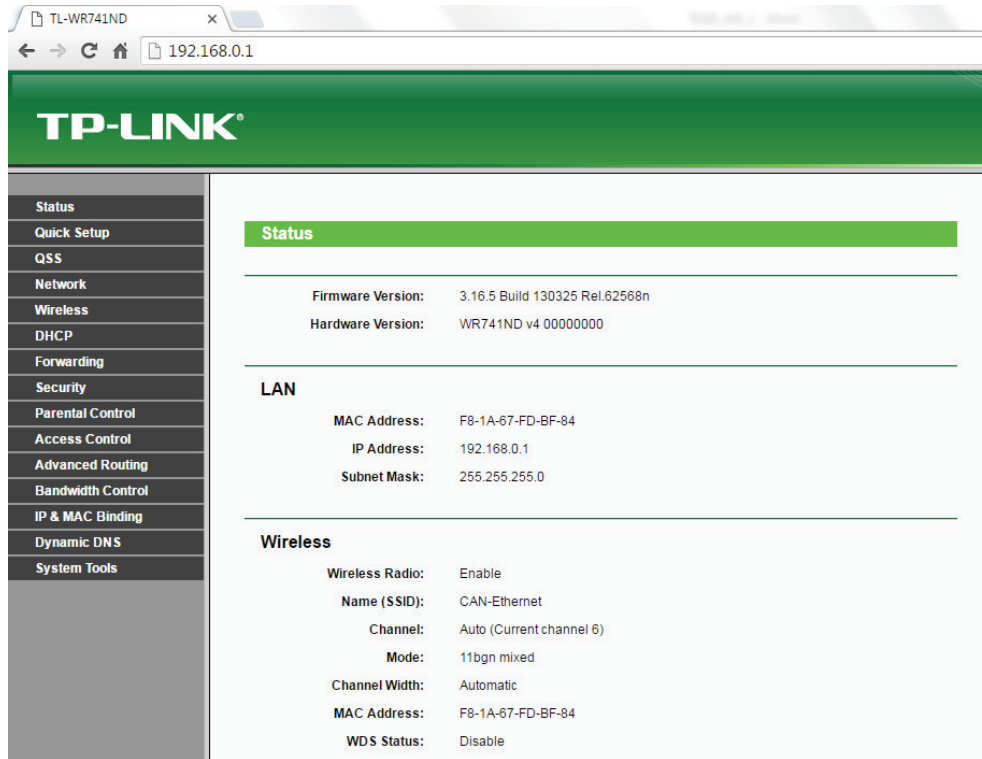


Figura A- 18. Pantalla de configuración del switch.

A continuación, se abre el VI “VI CAN-ETHERNET” y se verifica que el computador esté conectado a la red CAN-Ethernet del switch.

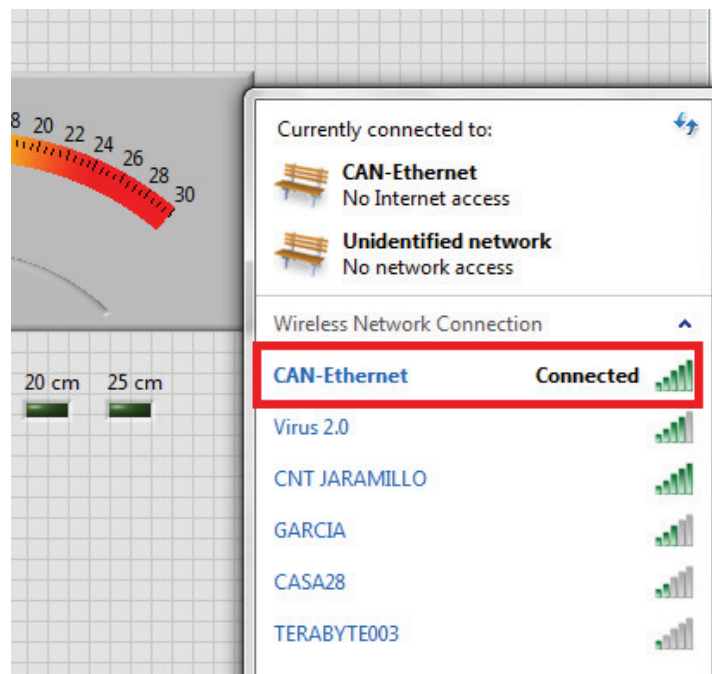


Figura A- 19. Computador conectado a la red CAN-Ethernet.

Se ejecuta el VI y se observan los datos de los tres nodos CAN tanto en los indicadores y se observa la información que llega a través de Ethernet en los 4 primeros bytes correspondientes a temperatura, los cuatro siguientes bytes correspondientes a nivel y los cuatro últimos bytes correspondientes a sensores ON/OFF.

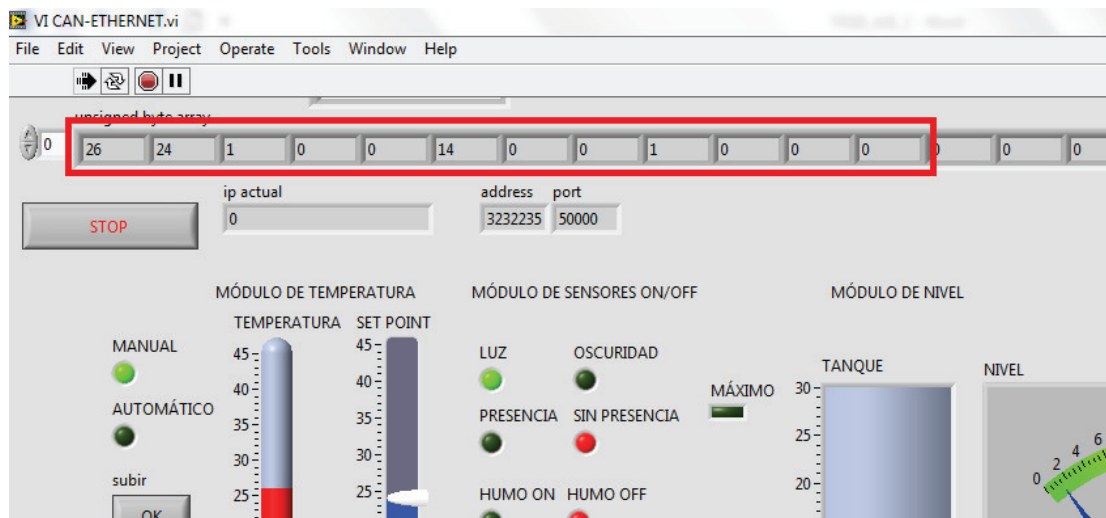


Figura A- 20. Datos que llegan al VI.

Si se desconecta el cable de Ethernet se observa que se corta la comunicación y ya no se adquieren los datos hacia la red de área local.

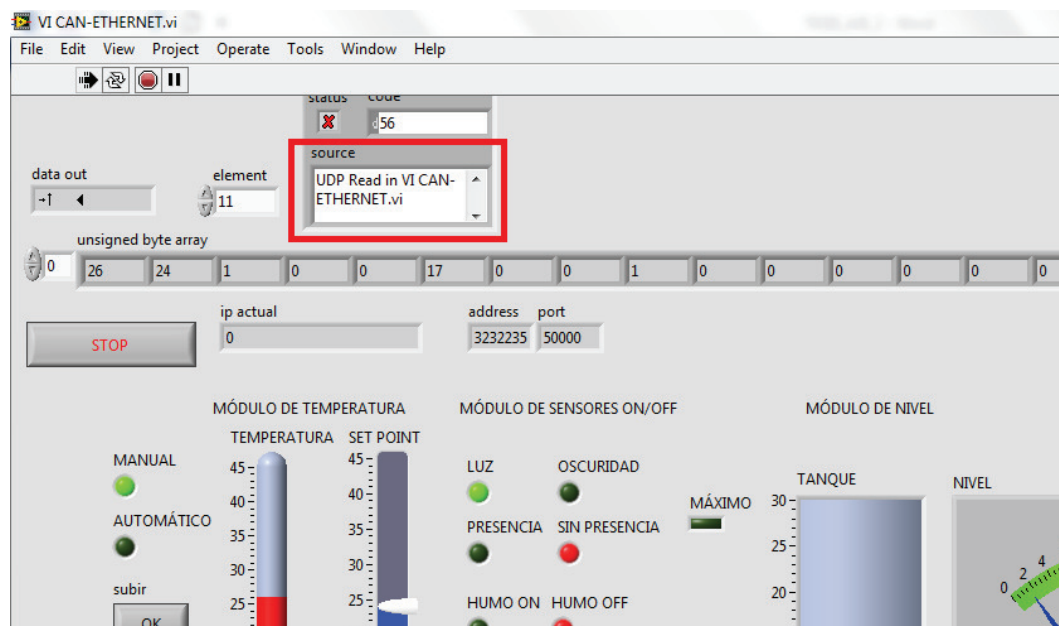


Figura A- 21. Error de conexión a la red de área local.

Cuando se ha seleccionado modo automático en el módulo de temperatura y varios computadores están monitoreando y controlando la planta, solo uno de ellos podrá incrementar o decrementar de temperatura, esto para evitar conflictos en la comunicación. Para esta función se enciende un led verde que indica que está o no habilitada la función de incrementar o decrementar temperatura para el resto de computadores.

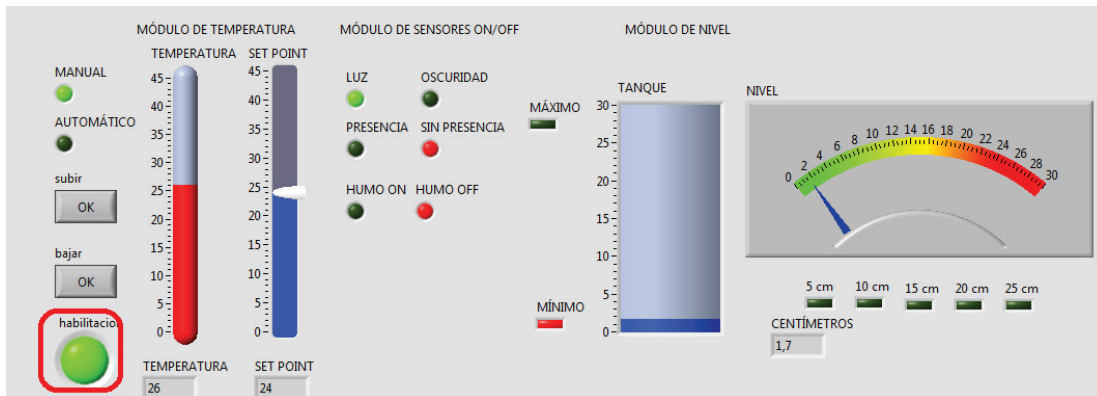


Figura A- 22. Habilitación del control de temperatura.

Finalmente se instala el software USB-CAN tool V2.02 que permite visualizar los datos del bus CAN, teniendo en consideración que al ser un módulo de bajo costo presenta algunas imprecisiones pero permite comprender el funcionamiento del protocolo CAN.

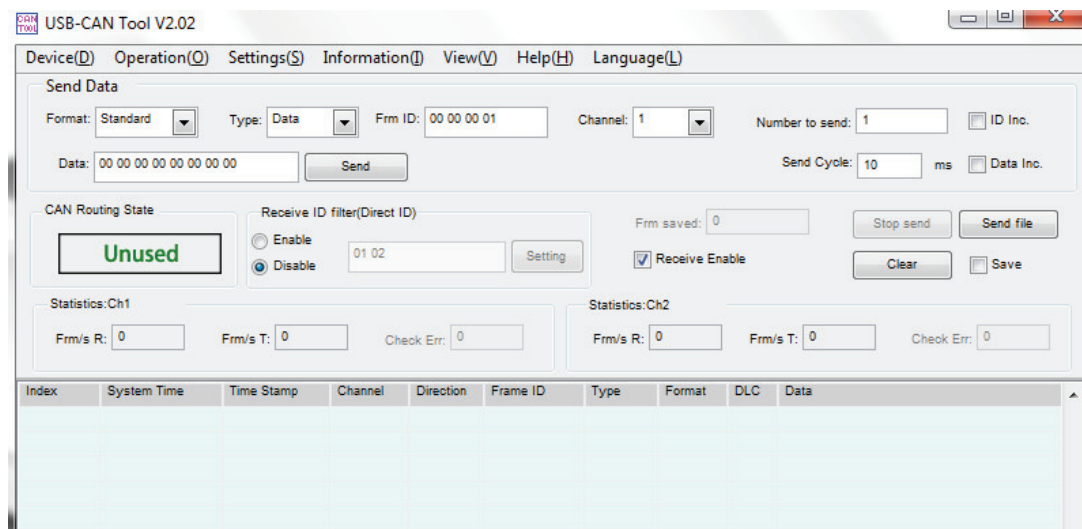


Figura A- 23. Software USB-CAN Tool.

Se configure los canales de entrada CAN en el software según los requerimientos de prueba.

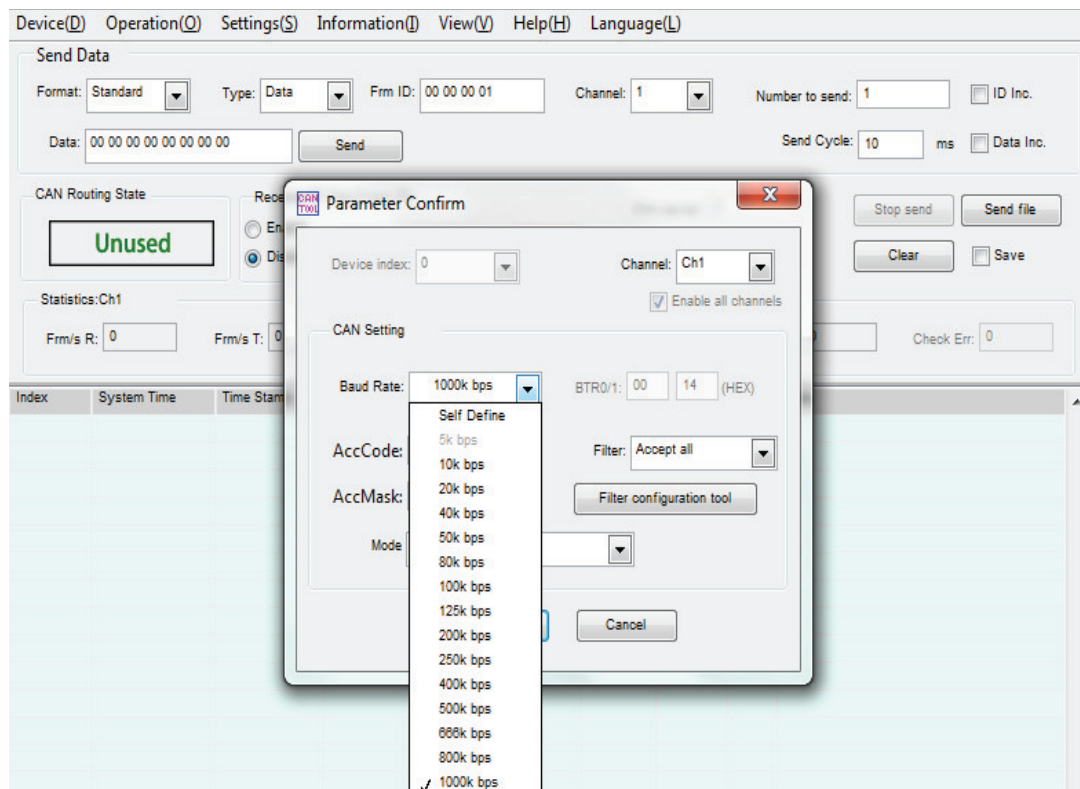


Figura A- 24. Configuración del módulo USB-CAN.

Un ejemplo de datos obtenidos del bus CAN a través del software se indica en el siguiente gráfico donde se aprecia si la trama es remota o trama de datos y los datos que envía cada nodo caracterizado por su identificador.

NÚMERO	DIRECCIÓN	TIEMPO	TIPO DE TRAMA	FORMATO DE TRAMA	ID DE LA TRAMA	LONGITUD DEL DATO	DATO
0	Receive	18:34:51:101	Data frame	Standard frame	0000000b	8	00 00 00 00 00 00 00 00
1	Receive	18:34:51:120	Data frame	Standard frame	00000005	8	1b 18 01 00 00 00 00 00
2	Receive	18:34:51:125	Remote frame	Standard frame	0000000c	8	00 00 00 00 00 00 00 00
3	Receive	18:34:51:131	Data frame	Standard frame	00000005	8	00 41 00 00 00 00 00 00
4	Receive	18:34:51:136	Remote frame	Standard frame	0000000d	8	00 00 00 00 00 00 00 00
5	Receive	18:34:51:141	Data frame	Standard frame	00000005	8	01 01 00 00 00 00 00 00

Figura A- 25. Datos obtenidos del módulo USB-CAN.

Finalmente, para visualizar el voltaje diferencial característico del bus CAN se puede conectar un osciloscopio al bus y se deberá observar la siguiente forma de onda:

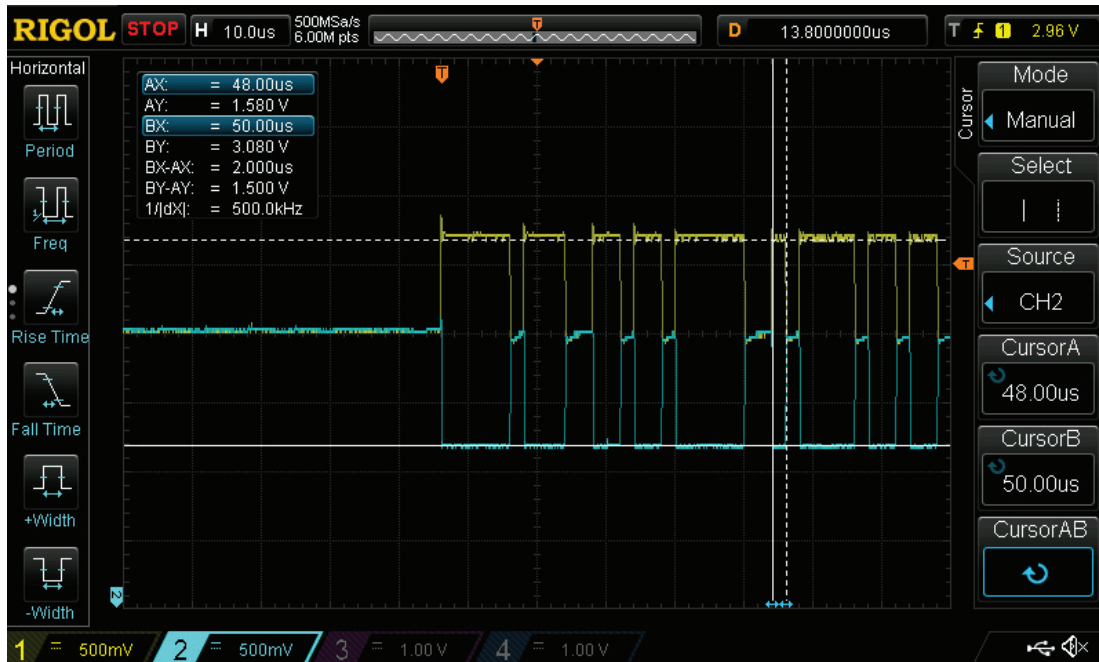


Figura A- 26. Señal obtenida en el bus CAN.

Posibles fallos en la red se podrían deber a desconexiones en el bus, desconexión de la red de área local, o a falta de referencia a tierra del módulo decodificador del protocolo CAN.

A.4. POSIBILIDADES DE EXPANSIÓN DEL MÓDULO

Los microcontroladores utilizados tienen pines disponibles para configurarlos como entradas y salidas según se requiera en una nueva implementación.

Los microcontroladores tienen también varias salidas con polarización de 5 [V] en caso de necesitarse.

Finalmente, el módulo decodificador tiene dos entradas para bus CAN, por lo que se pueden hacer pruebas de auto envío o fallas, ya que ningún protocolo de comunicación es perfecto.

ANEXO B
PLACAS IMPLEMENTADAS

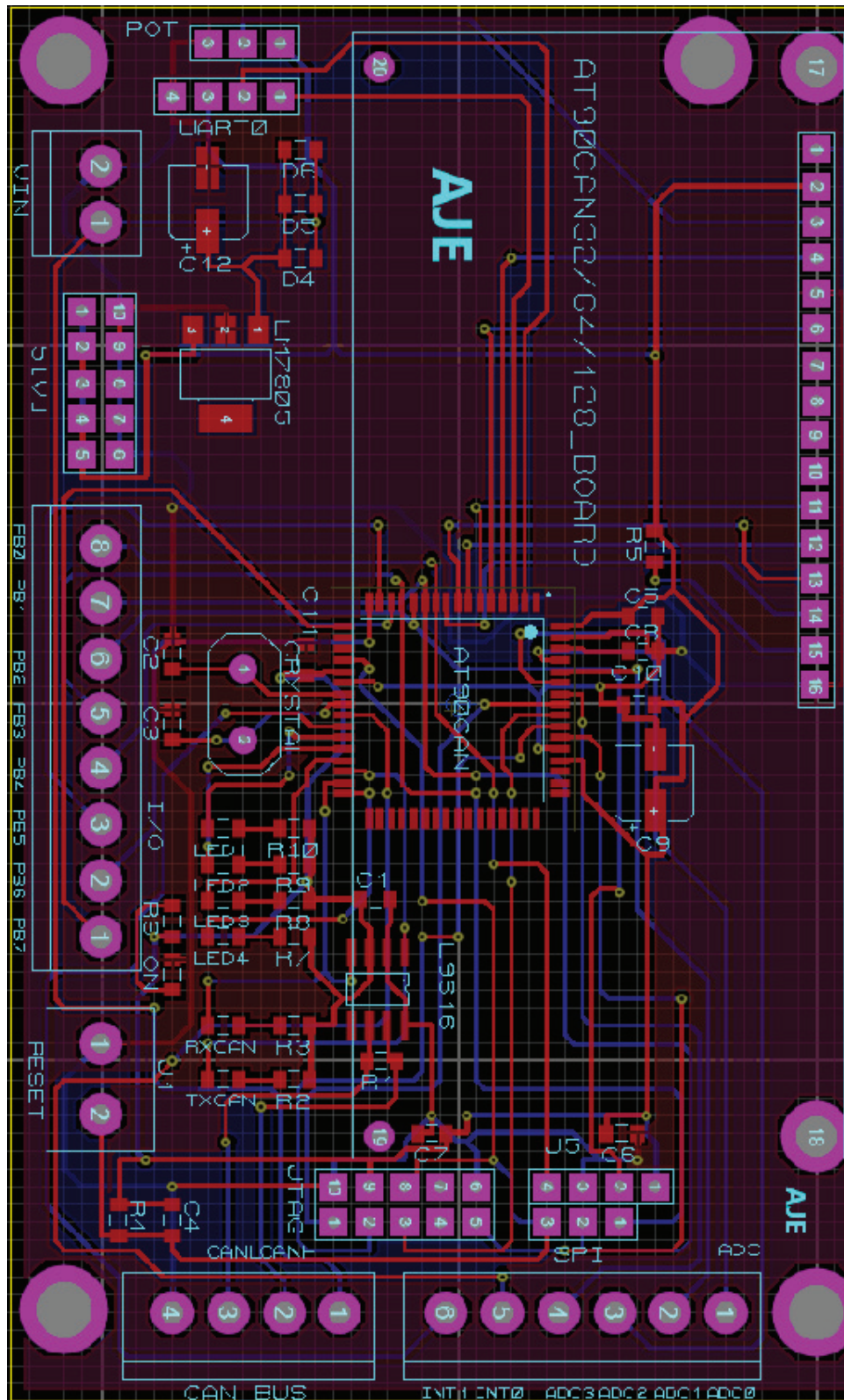


Figura B- 2 Circuito impreso del nodo CAN de temperatura.

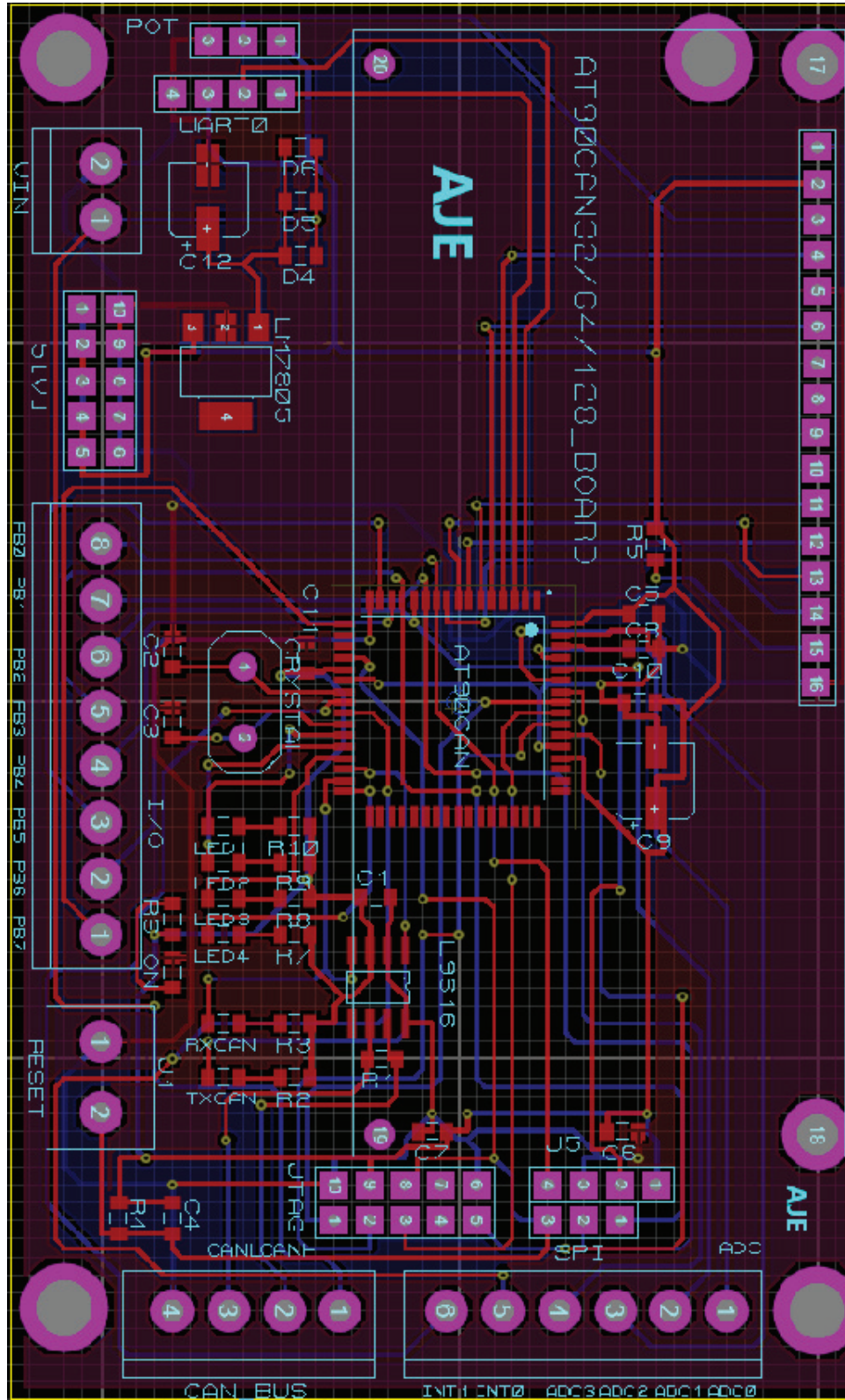


Figura B- 4 Circuito impreso del nodo CAN de sensores ON/OFF.

A.9. DIAGRAMA CIRCUITAL DEL NODO CAN DE NIVEL

Para la implementación del nodo CAN de nivel se desarrolló el diagrama circuital que se muestra a continuación:

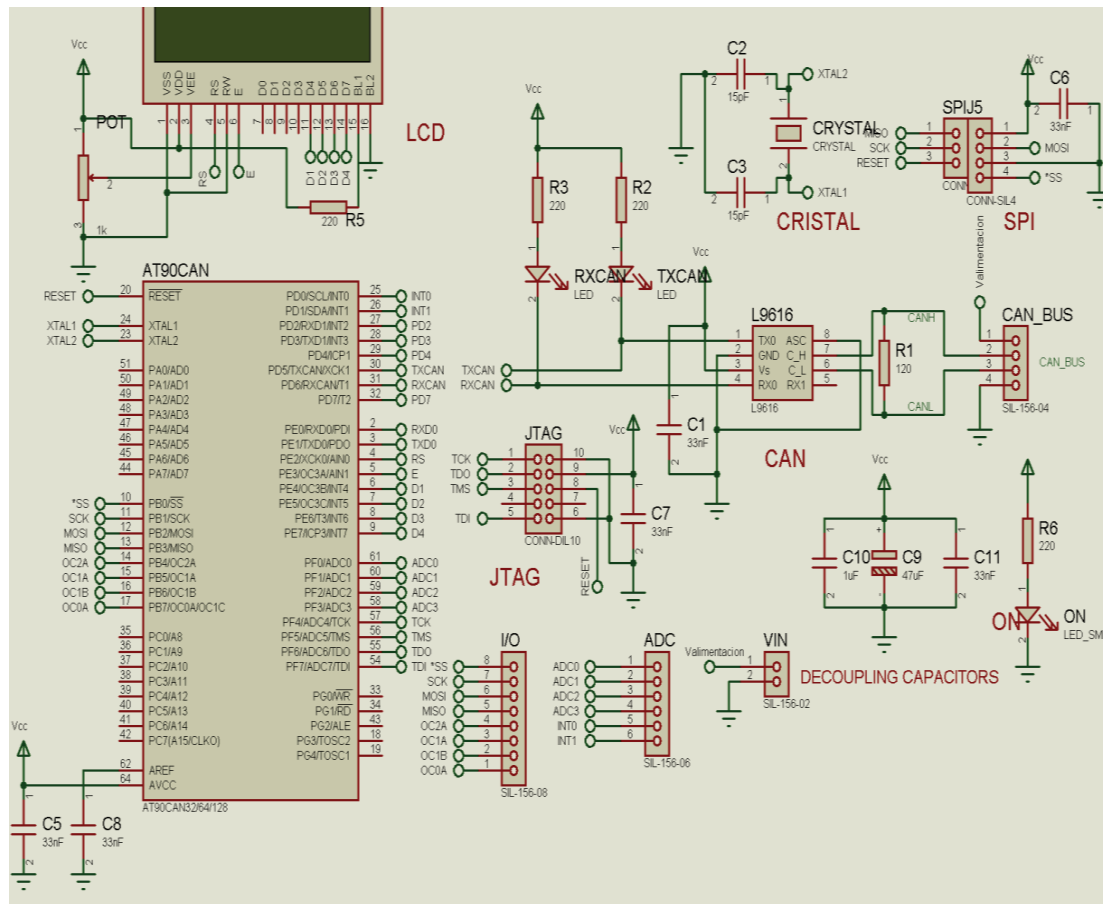


Figura B- 5 Diagrama circuital del nodo CAN de nivel.

A.10. PLACA ELECTRÓNICA DISEÑADA PARA EL NODO CAN DE NIVEL

Para el nodo CAN de nivel se implementó el circuito impreso que se muestra en la Figura B – 6.

A.11. DIAGRAMA CIRCUITAL DEL NODO CAN MAESTRO

Para la implementación del nodo CAN maestro se desarrolló el diagrama circuital que se muestra a continuación:

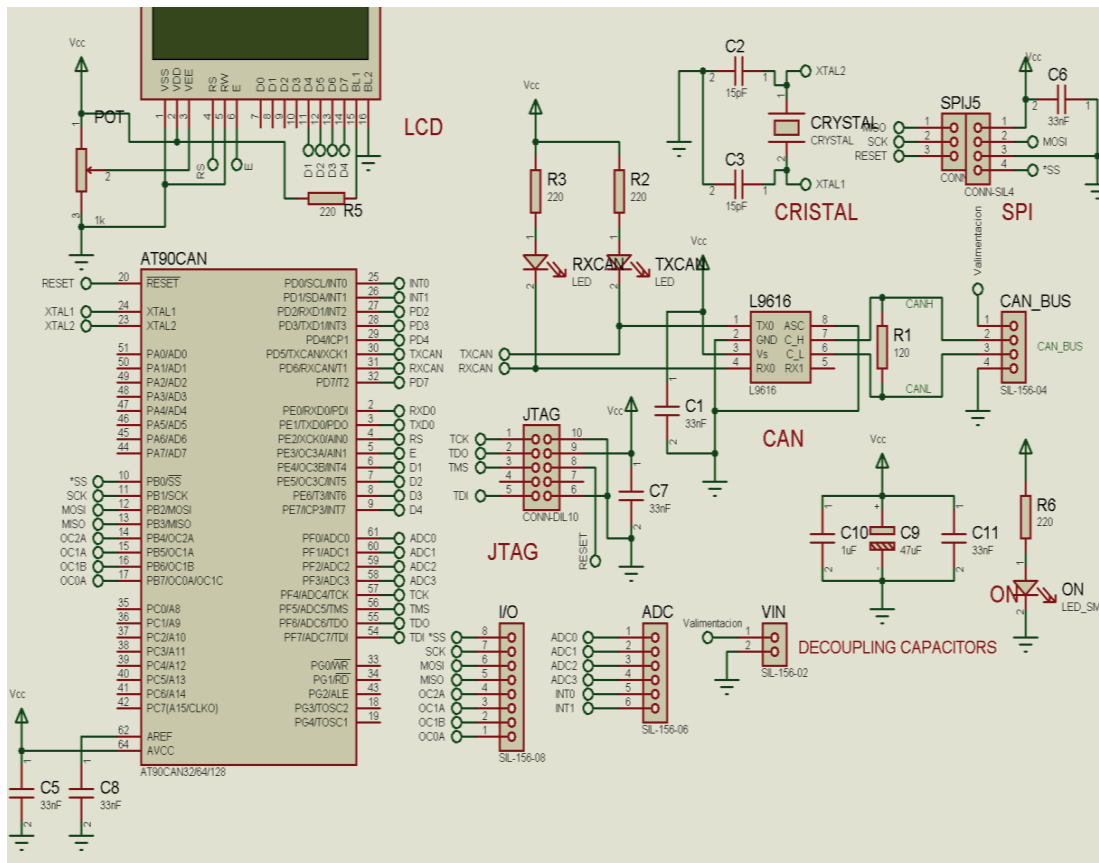


Figura B- 7 Diagrama circuital del nodo CAN maestro.

A.12. PLACA ELECTRÓNICA DISEÑADA PARA EL NODO CAN MAESTRO

Para el nodo CAN maestro se implementó el circuito impreso que se muestra en la Figura B – 8.

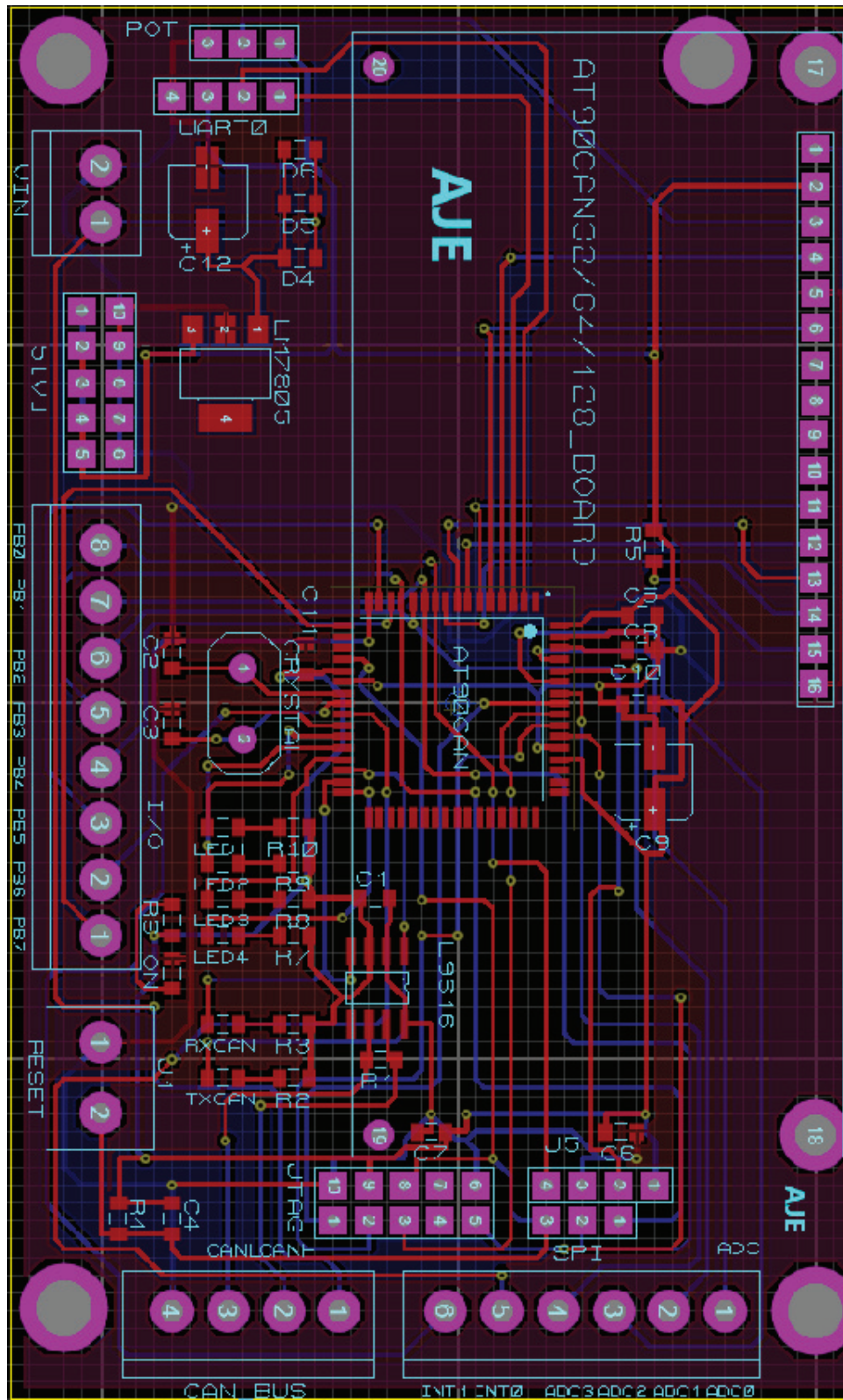


Figura B- 8 Circuito impreso del nodo CAN maestro.

ANEXO C

HOJAS TÉCNICAS DE ELEMENTOS UTILIZADOS

C.1 REGULADOR DE VOLTAJE AMS 1117

C.2 TRANSCEIVER CAN L9616

C.3 MICROCONTROLADOR AT90CAN32

C.4 LCD 16X2

C.5 SENSOR DE PRESIÓN DIFERENCIAL MPX5050DP

C.6 SWITH TP-LINK

C.7 WIZNET W5100 MICROCONTROLADOR ETHERNET

C.1

Advanced Monolithic Systems

AMS1117

1A LOW DROPOUT VOLTAGE REGULATOR

RoHs Compliant

FEATURES

- Three Terminal Adjustable or Fixed Voltages*
1.5V, 1.8V, 2.5V, 2.85V, 3.3V and 5.0V
- Output Current of 1A
- Operates Down to 1V Dropout
- Line Regulation: 0.2% Max.
- Load Regulation: 0.4% Max.
- SOT-223, TO-252 and SO-8 package available

APPLICATIONS

- High Efficiency Linear Regulators
- Post Regulators for Switching Supplies
- 5V to 3.3V Linear Regulator
- Battery Chargers
- Active SCSI Terminators
- Power Management for Notebook
- Battery Powered Instrumentation

GENERAL DESCRIPTION

The AMS1117 series of adjustable and fixed voltage regulators are designed to provide up to 1A output current and to operate down to 1V input-to-output differential. The dropout voltage of the device is guaranteed maximum 1.3V, decreasing at lower load currents.

On-chip trimming adjusts the reference voltage to 1.5%. Current limit is set to minimize the stress under overload conditions on both the regulator and power source circuitry.

The AMS1117 devices are pin compatible with other three-terminal SCSI regulators and are offered in the low profile surface mount SOT-223 package, in the 8L SOIC package and in the TO-252 (DPAK) plastic package.

ORDERING INFORMATION:

PACKAGE TYPE			OPERATING JUNCTION TEMPERATURE RANGE
TO-252	SOT-223	8L SOIC	
AMS1117CD	AMS1117	AMS1117CS	-40 to 125° C
AMS1117CD-1.5	AMS1117-1.5	AMS1117CS-1.5	-40 to 125° C
AMS1117CD-1.8	AMS1117-1.8	AMS1117CS-1.8	-40 to 125° C
AMS1117CD-2.5	AMS1117-2.5	AMS1117CS-2.5	-40 to 125° C
AMS1117CD-2.85	AMS1117-2.85	AMS1117CS-2.85	-40 to 125° C
AMS1117CD-3.3	AMS1117-3.3	AMS1117CS-3.3	-40 to 125° C
AMS1117CD-5.0	AMS1117-5.0	AMS1117CS-5.0	-40 to 125° C

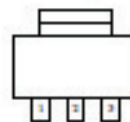
*For additional available fixed voltages contact factory.

PIN CONNECTIONS

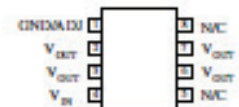
3 PIN FIXED/ADJUSTABLE VERSION

- 1- Ground/Adjust
- 2- V_{OUT}
- 3- V_{IN}

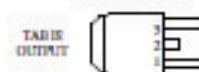
SOT-223 Top View



8L SOIC Top View



TO-252 FRONT VIEW



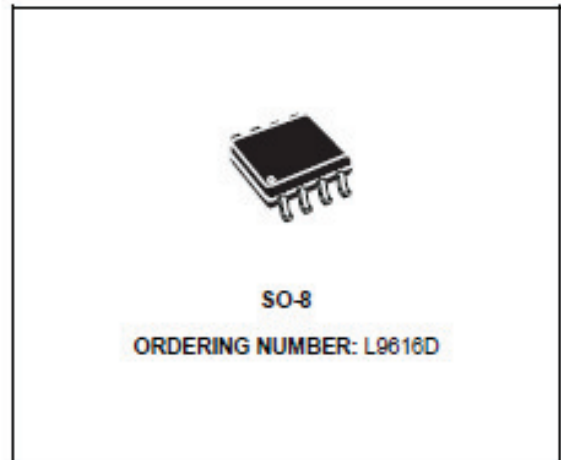
C.2



L9616

HIGH SPEED CAN BUS TRANSCEIVER

- L9616 MEETS ISO/DIS 11898 UP TO 1MEGABAUD
- TRANSMITTER
 - GENERATION OF DIFFERENTIAL OUTPUT SIGNALS
 - SHORT CIRCUIT PROTECTED FROM -5V TO 36V, DETECTION & SHUTDOWN
 - SLOPE CONTROL TO REDUCE RFI AND EMI
 - TWO STATES ADJUSTABLE SLOPE CONTROL ($\leq 1\text{MEGABAUD}/\leq 250\text{KBAUD}$)
- RECEIVER
 - DIFFERENTIAL INPUT WITH HIGH INTERFERENCE SUPPRESSION
 - COMMON MODE INPUT VOLTAGE RANGE (V_{COM}) FROM -2V TO $V_S+3\text{V}$
- ESD PROTECTION LEVEL UP TO 4kV
- PACKAGE: SO-8

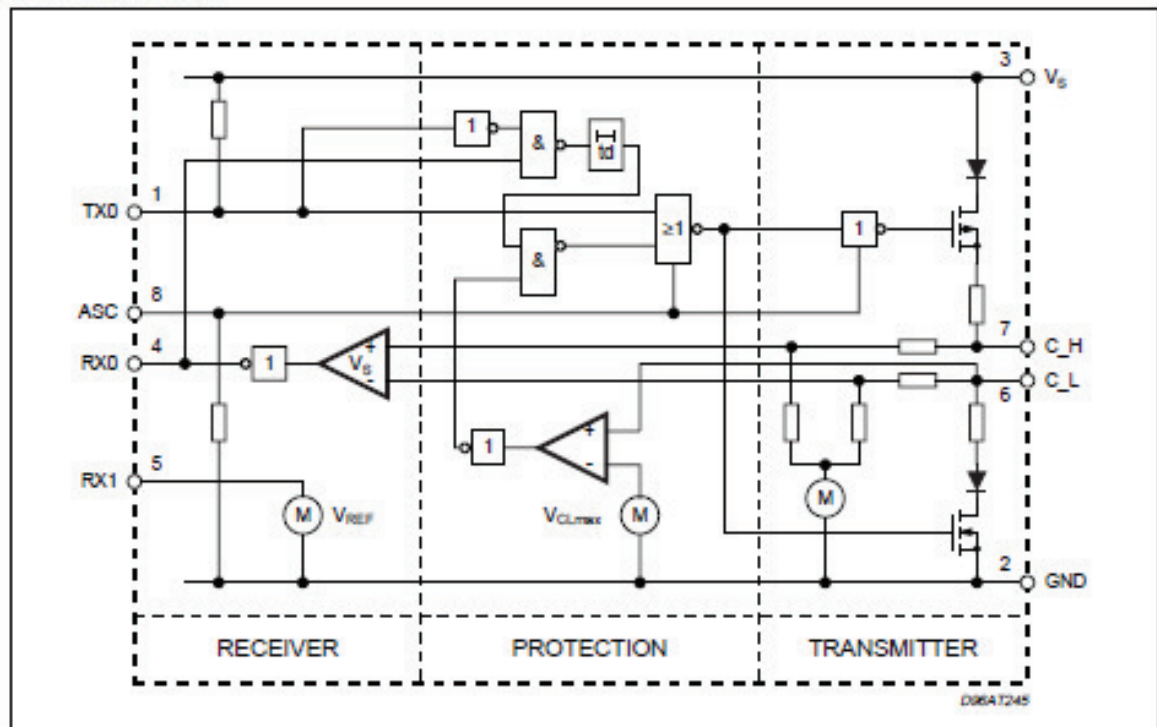


DESCRIPTION

The L9616 is a bidirectional transceiver for signal

conditioning and processing in connection with a CAN controller. Data rates of up to 1MEGABAUD are supported using either shielded or non-shielded pair of lines.

BLOCK DIAGRAM



C.3

Features

- High-performance, Low-power AVR[®] 8-bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
 - 133 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers + Peripheral Control Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 16 MIPS Throughput at 16 MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- Non volatile Program and Data Memories
 - 32K/64K/128K Bytes of In-System Reprogrammable Flash (AT90CAN32/64/128)
 - Endurance: 10,000 Write/Erase Cycles
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
 - Selectable Boot Size: 1K Bytes, 2K Bytes, 4K Bytes or 8K Bytes
 - In-System Programming by On-Chip Boot Program (CAN, UART, ...)
 - True Read-While-Write Operation
 - 1K/2K/4K Bytes EEPROM (Endurance: 100,000 Write/Erase Cycles) (AT90CAN32/64/128)
 - 2K/4K/4K Bytes Internal SRAM (AT90CAN32/64/128)
 - Up to 64K Bytes Optional External Memory Space
 - Programming Lock for Software Security
- JTAG (IEEE std. 1149.1 Compliant) Interface
 - Boundary-scan Capabilities According to the JTAG Standard
 - Programming Flash (Hardware ISP), EEPROM, Lock & Fuse Bits
 - Extensive On-chip Debug Support
- CAN Controller 2.0A & 2.0B - ISO 16845 Certified ⁽¹⁾
 - 15 Full Message Objects with Separate Identifier Tags and Masks
 - Transmit, Receive, Automatic Reply and Frame Buffer Receive Modes
 - 1Mbits/s Maximum Transfer Rate at 8 MHz
 - Time stamping, TTC & Listening Mode (Spying or Autobaud)
- Peripheral Features
 - Programmable Watchdog Timer with On-chip Oscillator
 - 8-bit Synchronous Timer/Counter-0
 - 10-bit Prescaler
 - External Event Counter
 - Output Compare or 8-bit PWM Output
 - 8-bit Asynchronous Timer/Counter-2
 - 10-bit Prescaler
 - External Event Counter
 - Output Compare or 8-Bit PWM Output
 - 32KHz Oscillator for RTC Operation
 - Dual 16-bit Synchronous Timer/Counters-1 & 3
 - 10-bit Prescaler
 - Input Capture with Noise Canceler
 - External Event Counter
 - 3-Output Compare or 16-Bit PWM Output
 - Output Compare Modulation
 - 8-channel, 10-bit SAR ADC
 - 8 Single-ended Channels
 - 7 Differential Channels
 - 2 Differential Channels With Programmable Gain at 1x, 10x, or 200x
 - On-chip Analog Comparator
 - Byte-oriented Two-wire Serial Interface
 - Dual Programmable Serial USART
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Programming Flash (Hardware ISP)
- Special Microcontroller Features
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated RC Oscillator
 - 8 External Interrupt Sources
 - 5 Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down & Standby
 - Software Selectable Clock Frequency
 - Global Pull-up Disable
- I/O and Packages
 - 53 Programmable I/O Lines
 - 64-lead TQFP and 64-lead QFN
- Operating Voltages: 2.7 - 5.5V
- Operating temperature: Automotive (-40°C to +125°C)
- Maximum Frequency: 8 MHz at 2.7V, 16 MHz at 4.5V

Note: 1. See details on Section 19.4.3 on page 241.

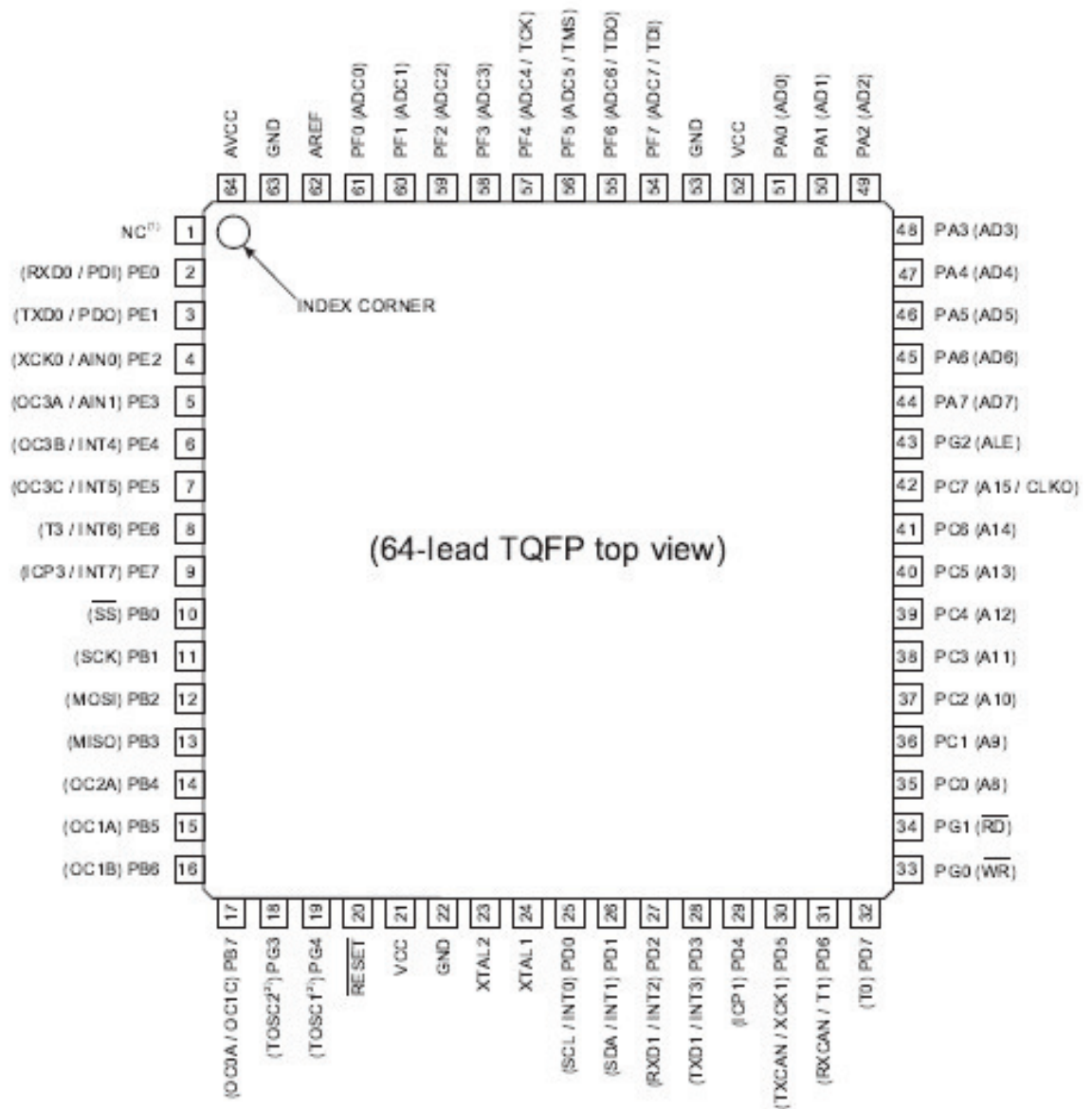


8-bit AVR[®]
Microcontroller
 with
32K/64K/128K
Bytes of
ISP Flash
 and
CAN Controller

AT90CAN32
AT90CAN64
AT90CAN128

Automotive

Summary



⁽¹⁾NC = Do not connect (May be used in future devices)

⁽²⁾Timer2 Oscillator

C.4

EastRising

LCD MODULE

ERM1602SBS-4

P.3 of 1

■ ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (Ta = 25°C)

Parameter	Symbol	Min	Max	Unit
Supply voltage for logic	VDD	-0.3	7.0	V
Supply voltage for LCD	VDD - VO	-0.3	VDD+0.3	V
Input voltage	VI	-0.3	VDD+0.3	V
Normal operating temperature	TOP	0	50	°C
Normal storage temperature	TST	-10	60	°C
Wide operating / storage temperature (except FSTN)	TOP / TST	-30	80	°C
Wide operating / storage temperature (FSTN)	TOP / TST	-30	70	°C

■ ELECTRICAL CHARACTERISTICS (VDD = +5V±10%, VSS = 0V, Ta = 25°C)

◆ DC Characteristics

Parameter	Symbol	Condition	Min	Typ	Max	Unit
Supply voltage for logic	VDD	---	4.5	5.0	5.5	V
Supply current for logic	IDD	---	---	1.38	3	mA
Operating voltage for LCD	VDD - VO	25°C	4.5	4.8	5.1	V
Input voltage 'H' level	VIH	---	2.2	---	VDD	V
Input voltage 'L' level	VIL	---	-0.3	---	0.6	V

● Backlight operating information (Ta = 25°C)

LED Backlight	Supply voltage VF (V)			Supply current IF (mA)		
	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max
Light box Y/G (-2)	---	4.2	4.6	---	80	120
White (-3LP)	---	3.4	3.5	---	20	25
Blue (-4LP)	---	3.4	3.5	---	20	25
Green (-5LP)	---	3.4	3.5	---	20	25
Amber (-6LP)	---	1.8	1.9	---	20	25
EL Backlight	EL Enable voltage EON (VAC)			EL frequency LF (Hz)		
	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max
EL (B)	---	100	150	---	400	1000

◆ AC Characteristics

● Write mode

Integrated Silicon Pressure Sensor On-Chip Signal Conditioned, Temperature Compensated and Calibrated

The MPX5050/MPXV5050G series piezoresistive transducer is a state-of-the-art monolithic silicon pressure sensor designed for a wide range of applications, but particularly those employing a microcontroller or microprocessor with A/D inputs. This patented, single element transducer combines advanced micromachining techniques, thin-film metallization, and bipolar processing to provide an accurate, high level analog output signal that is proportional to the applied pressure.

Features

- 2.5% Maximum Error over 0° to 85°C
- Ideally suited for Microprocessor or Microcontroller-Based Systems
- Temperature Compensated Over - 40° to +125°C
- Patented Silicon Shear Stress Strain Gauge
- Durable Epoxy Unibody Element
- Easy-to-Use Chip Carrier Option

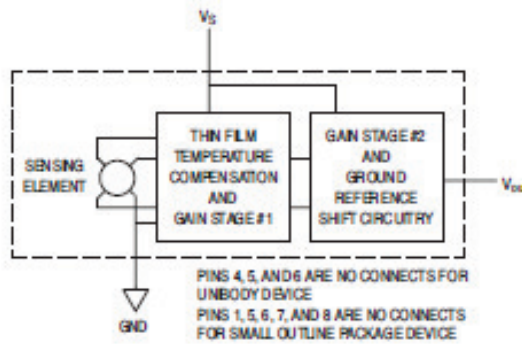
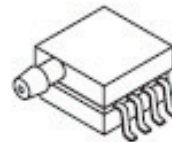
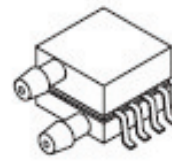


Figure 1. Fully Integrated Pressure Sensor Schematic

**SMALL OUTLINE PACKAGE
SURFACE MOUNT**



MPXV5050GP
CASE 1369



MPXV5050DP
CASE 1351

PIN NUMBER

1	N/C	5	N/C
2	V _s	6	N/C
3	Gnd	7	N/C
4	V _{out}	8	N/C

NOTE: Pins 1, 5, 6, 7, and 8 are internal device connections. Do not connect to external circuitry or ground. Pin 4 is noted by the output

MPX5050 MPXV5050G SERIES

Motorola Preferred Device

**INTEGRATED
PRESSURE SENSOR**
0 to 50 kPa (0 to 7.25 psi)
0.2 to 4.7 Volts Output

UNIBODY PACKAGE



MPX5050D
CASE 867



MPX5050GP
CASE 867B



MPX5050DP
CASE 867C

PIN NUMBER

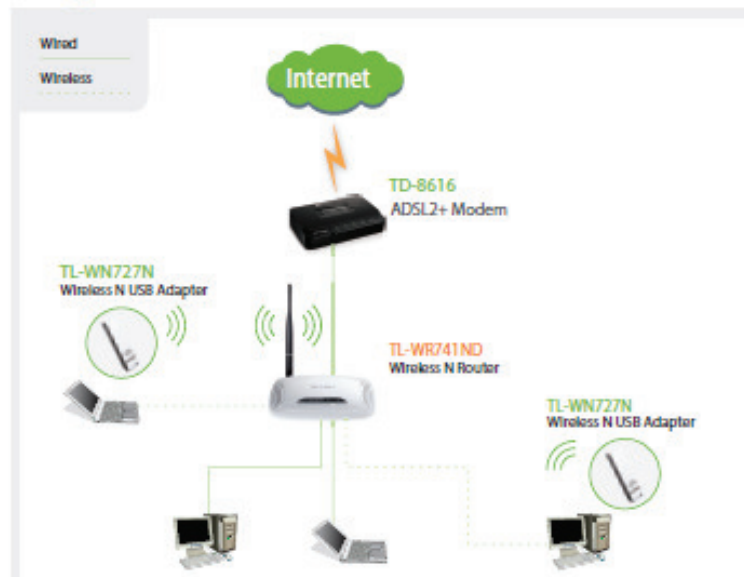
1	V _{out}	4	N/C
2	Gnd	5	N/C
3	V _s	6	N/C

NOTE: Pins 4, 5, and 6 are internal device connections. Do not connect to external circuitry or ground. Pin 4

C.6

Standards	IEEE 802.11n, IEEE 802.11g, IEEE 802.11b
Interface	4 10/100M Auto-Sensing RJ45 LAN Port(Auto MDI/MDIX) 1 10/100M Auto-Sensing RJ45 WAN Port(Auto MDI/MDIX)
Wireless Signal Rates	Up to 150Mbps
Frequency Range	2.4-2.4835GHz
EIRP	<20dBm(EIRP)
Wireless Functions	Enable/Disable Wireless Radio, WDS Bridge, WMM, Wireless Statistics
Receiver Sensitivity	130M: -68dBm@10% PER 54M: -68dBm@10% PER 11M: -85dBm@8% PER 6M: -88dBm@10% PER 1M: -90dBm@8% PER
Antenna Type	5dBi Detachable Omni Directional Antenna
Software Functions	NAT, DoS Firewall, DHCP
Access Control	Parental Control, Local Management Control, Host List, Access Schedule, Rule Management
Guest Network	2.4GHz guest network x 1
Protocols	Supports IPv4 and IPv6
Operating temperature	0°C~40°C (32°F~104°F)
Storage temperature	-40°C~70°C (-40°F~158°F)
Operating humidity	10% ~ 90%, Non-Condensing
Storage humidity	5%~90%, Non-Condensing
Dimensions	6.9 x 4.6 x 1.3 in. (174 x 118 x 33 mm)

Diagram:



Package:

- Wireless N router TL-WR741ND
- Power Adapter
- RJ-45 Ethernet Cable
- Resource CD
- Quick Setup Guide

Related Products:

- ADSL2+ Modem TD-8616
- Wireless N USB Adapter TL-WN727N

C.7

Features

- Support Hardwired TCP/IP Protocols : TCP, UDP, ICMP, IPv4 ARP, IGMP, PPPoE, Ethernet
- 10BaseT/100BaseTX Ethernet PHY embedded
- Support Auto Negotiation (Full-duplex and half duplex)
- Support Auto MDI/MDIX
- Support ADSL connection (with support PPPoE Protocol with PAP/CHAP Authentication mode)
- Supports 4 independent sockets simultaneously
- Not support IP Fragmentation
- Internal 16Kbytes Memory for Tx/Rx Buffers
- 0.18 μm CMOS technology
- 3.3V operation with 5V I/O signal tolerance
- Small 80 Pin LQFP Package
- Lead-Free Package
- Support Serial Peripheral Interface(SPI MODE 0, 3)
- Multi-function LED outputs (TX, RX, Full/Half duplex, Collision, Link, Speed)

