



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE INGENIERÍA

“PROPUESTA DE UNA RED INDUSTRIAL DE MONITOREO PARA FACILIDADES ELÉCTRICAS.”

T E S I S

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO ELÉCTRICO- ELECTRÓNICO.**

PRESENTAN:

CHRISTIAN ISRAEL VICARIO FLORES.

DAVID HERRERA DOMÍNGUEZ.

GUILLERMO GAITÁN DIÉGUEZ.

MARIO ALBERTO ZÚÑIGA CORTÉS.

DIRECTOR DE TESIS: JUAN MANUEL GONZÁLEZ FERNÁNDEZ

México D.F.

Mayo 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS.

En primer lugar agradecemos al Programa de Apoyo a la Titulación (PAT), por brindarnos las condiciones idóneas para poder concluir con éxito este trabajo de Tesis, la formación de nuestro equipo de trabajo, la asignación de nuestro asesor, así como también todo el apoyo para las fuentes de información.

En segundo lugar agradecemos a la Facultad de Ingeniería, por ser la institución en la cual adquirimos nuestra valiosa formación académica, donde día a día los cimientos para el desarrollo de nuestra vida se fueron fortaleciendo, nos brindó la oportunidad de convivir con nuestros profesores, quienes más que solo académicos, se convirtieron en ejemplos a seguir; a compañeros e invaluables amigos.

Por último y no menos importante, agradecemos a nuestro asesor Ing. Juan Manuel González Fernández, quien con su ayuda y orientación logró que pudiésemos concretar nuestra Tesis. Hacemos reconocimiento a su tiempo, dedicación, paciencia y motivación, a lo largo de este tiempo.

CHRISTIAN ISRAEL VICARIO FLORES.

Agradezco infinitamente a mi familia. A mis padres Alfonso y Guadalupe, por todo el apoyo incondicional que siempre me han brindado para poder cumplir con todas mis metas, admiro su esfuerzo y dedicación, los cuales hoy están reflejados en la culminación de una etapa más en mi vida. A mis hermanos Juana, Araceli y Jorge por todo su apoyo y comprensión, por ser quienes gracias a su compañía, alimentaron parte muy importante en mi vida. A mi esposa Blanca y a mi hijo Emiliano, les agradezco por su comprensión, por ser la motivación que me ayudo a dar paso para la realización de este trabajo.

A mis amigos, les agradezco todas las experiencias que con ellos viví, dentro y fuera de las aulas. Los éxitos y derrotas, en las cuales tuvimos la oportunidad de estar juntos.

A la Facultad de Ingeniería, le doy gracias por la oportunidad que me brindó para ser parte de ella, me llevo la mejor de las experiencias desde el primer día de clases hasta el día de hoy. A la UNAM, debo agradecer ampliamente por ser la institución, en la que al ser parte de ella, me edifico como persona, siempre avanzando para mejorar día a día. A mis profesores por ser las guías y orientadores para mi vida profesional.

Por último agradezco a mis compañeros de trabajo: David, Guillermo y Mario, los cuales con su esfuerzo, dedicación y sacrificios, lograron que en este corto tiempo, pudiésemos terminar el presente trabajo.

DAVID HERRERA DOMÍNGUEZ.

A mi familia que siempre me apoyó y motivó a cumplir todas mis metas, en especial a mis padres Noé y Basilisa que con su sacrificio y esfuerzo lograron inculcarme el valor del trabajo duro y en equipo. A mis hermanos Pavel y Noé que siempre han sido y serán un gran ejemplo en mi vida. A mi esposa Jenniffer que estuvo a mi lado durante gran parte de mi carrera siendo una parte fundamental para que pudiera terminar mis estudios.

Agradezco a la UNAM por aceptarme como uno de los suyos y formar mi pensamiento crítico y progresista, también agradezco infinitamente a la H. Facultad de Ingeniería y en especial a todos los profesores, de quienes aprendí y desarrolle mis habilidades como ingeniero y adquirí todo el conocimiento necesario para poder desenvolverme adecuadamente en el ambiente profesional.

Finalmente quiero agradecer a mis amigos y compañeros de tesis: Guillermo, Israel y Mario, los cuales con su esfuerzo y dedicación pudimos cumplir nuestro objetivo de terminar una tesis en un corto tiempo.

GUILLERMO GAITÁN DIÉGUEZ.

A mis padres Guillermo y Teresa, por haberme motivado en cada momento a seguir con mis estudios y ser una persona preparada para el cambiante mundo globalizado en el que nos encontramos actualmente, de no ser por ellos mi vida hubiese sido diferente.

A mis hermanos Leonel y Martha, que son mis primeros y últimos amigos, gracias por su compañía.

A todos aquellos que de alguna manera formaron parte de mi vida al interior de la universidad.

Agradezco a la UNAM por acogerme en su seno desde el bachillerato y brindarme un lugar en la Facultad de Ingeniería, lugar en donde recibí la educación académica que me ha permitido encontrar un lugar como profesionista dentro de la sociedad.

A mis profesores, de ellos recibí una sólida instrucción en el arte de la ingeniería y de quienes recibí valiosos consejos para la práctica profesional no sólo en el ámbito técnico sino también en el social.

Quiero agradecer a mis compañeros de tesis: David, Israel y Mario, gracias a su esfuerzo y trabajo en equipo.

MARIO ALBERTO ZÚÑIGA CORTÉS.

Agradezco infinitamente a mi familia, en especial a mis padres Dionisio y Juana fuente de apoyo constante e incondicional en toda mi vida, quienes con esfuerzo, dedicación y paciencia son los principales formadores de mi vida.

A la Facultad de Ingeniería de la UNAM, por haber recibido de ella mi formación profesional, por permitirme ser parte de ella y vivir una de las mejores experiencias de mi vida, por los excelentes profesores de los que tuve la oportunidad de aprender, por haberme permitido seguir mi vocación. A mis amigos les agradezco la confianza que depositaron en mí para poder estar siempre en las buenas y las malas juntos, y a todos aquellos que de alguna manera formaron parte de mi vida al interior de la universidad, agradezco el poder haber compartido todas las experiencias dentro y fuera de aulas.

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	8
1.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
1.2	OBJETIVO.....	11
1.3	JUSTIFICACIÓN.....	11
2	INTRODUCCIÓN A LAS REDES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES.....	12
2.1	CONCEPTOS BÁSICOS.....	14
2.1.1	DEFINICIÓN Y ESTRUCTURA BÁSICA DE UNA RED ELÉCTRICA.....	24
2.1.2	COMPONENTES DE LA RED ELÉCTRICA.....	26
2.1.3	DIAGRAMA UNIFILAR.....	34
2.2	IMPORTANCIA DE LA DISPONIBILIDAD DE LAS FACILIDADES ELÉCTRICAS.....	36
2.3	NORMATIVIDAD.....	37
2.3.1	¿QUÉ ES UNA NORMA?.....	37
2.3.2	MARCO LEGAL Y NORMATIVO.....	38
2.3.3	NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEDE-2012.....	39
3	SISTEMAS DE MONITOREO.....	40
3.1	IMPORTANCIA.....	40
3.2	REDES INDUSTRIALES DE COMUNICACIÓN.....	41

3.2.1 TOPOLOGÍAS.	43
3.3 PROTOCOLOS INDUSTRIALES DE COMUNICACIÓN.	46
3.3.1 PROFIBUS.	47
3.3.2 CAN.....	51
3.3.3 MODBUS.	56
3.3.4 ETHERNET.....	64
3.3.4.1 MODELO OSI.	70
3.4 SISTEMA SCADA.	74
3.4.1 VENTAJAS DEL SISTEMA SCADA.....	78
3.4.2 CRITERIOS DE DISEÑO.	80
3.5 AUTÓMATAS PROGRAMABLES.....	83
3.5.1 ARQUITECTURA DEL AUTÓMATA PROGRAMABLE.	86
3.5.2 CONTROLADORES DE LÓGICA PROGRAMABLE (PLC).	89
4 PROPUESTA DE UN SISTEMA DE MONITOREO.	113
4.1 PLANTEAMIENTO.	114
4.2 SOLUCIÓN PROPUESTA.	1179
4.2.1 ARQUITECTURA PROPUESTA.	1179
4.2.1.1 ESTACIÓN PRINCIPAL	124

4.3 PROBLEMAS COMUNES EN INSTALACIONES DE COMUNICACIONES INDUSTRIALES.....	126
5 CONCLUSIONES GENERALES Y TRABAJOS FUTUROS.	132
5.1 CONCLUSIONES GENERALES.	132
5.2 PERSPECTIVAS PARA TRABAJOS FUTUROS.	134
GLOSARIO.	136
BIBLIOGRAFÍA.	138

1 INTRODUCCIÓN.

La electricidad se ha convertido hoy en día en una forma de energía imprescindible y con una infinidad de usos, esto debido principalmente a su gran versatilidad, controlabilidad, a la inmediatez en su utilización y a la limpieza que ofrece en el punto de consumo. Hoy en día la electricidad tiene un papel fundamental en la vida del siglo XXI tanto en los aspectos cotidianos, como en los ámbitos industriales, científicos y de investigación, esto hace que la electricidad sea un recurso estratégico para las naciones tanto en los sectores tecnológico, político o económico.

En el ámbito residencial, la electricidad, se emplea para proporcionar toda clase de servicios, desde los más básicos, hasta los asociados al ocio y un sinnúmero de comodidades. En el ámbito industrial el uso de la electricidad está igualmente extendido: alumbrado, climatización, motores eléctricos con multitud de aplicaciones e industrias con una utilización específica e intensiva, donde la electricidad es fundamental.

En la actualidad, la demanda de electricidad está en continuo crecimiento en todas partes del mundo a diferentes ritmos. Aproximadamente dos mil millones de personas todavía no tienen acceso a la electricidad en numerosos países, y se requerirán respuestas técnicas específicas en muchos casos. En otros países, el desarrollo en el nivel de vida, nuevas aplicaciones o el reemplazo de otras formas de energía por la electricidad, dan como resultado un mayor consumo: nuevos electrodomésticos, computadoras, transporte eléctrico (por ejemplo, vehículos eléctricos recargables, la electrificación de trenes, etc.). Es un hecho indiscutible que se tendrá un desarrollo y un cambio significativo en el consumo de electricidad, es decir, en volumen (nuevos usuarios con servicio), en su

naturaleza, en infraestructura, con el uso de la generación más barata en todo momento, con la gestión de la carga a nivel de hogares, con condiciones de entrega específicas como por ejemplo: calidad de onda y continuidad. Adicionalmente, el desarrollo continuo de los mercados de energía al por mayor y al por menor, y la necesidad de los consumidores de estar más estrechamente vinculados al sistema de potencia, requerirán la utilización de tecnologías, tales como medidores inteligentes y otros servicios basados en la tecnología de la información.

Una cuestión importante es la aceptación pública de la infraestructura del sistema de potencia, sobre todo de las nuevas instalaciones. La escasez de espacio disponible para nueva infraestructura, el efecto de los campos eléctricos y magnéticos (CEM), las perturbaciones eléctricas, el ruido y las cuestiones estéticas, están en la raíz de la mayoría de las preocupaciones públicas. Las respuestas tecnológicas las han de dar, por ejemplo, los sistemas de transmisión subterránea o de cable submarino y el mejor uso de los derechos de paso. Es imperativo que se dé información técnico-científica concisa e imparcial para la sociedad en una forma fácilmente entendible. La búsqueda de mayor eficiencia o de ahorro de energía será de interés a lo largo de la cadena de la distribución de la energía. Las tecnologías de los sistemas de potencia desempeñarán un papel importante en esta búsqueda. Como el cambio climático es hoy motivo de gran preocupación, el desafío para el sistema eléctrico de potencia es la forma de integrar el creciente número de fuentes de electricidad sin emisión de carbono, ya sea como energía a granel, a larga distancia de la carga (grandes centrales hidroeléctricas, nucleares, parques eólicos) o como pequeñas unidades distribuidas (millones de pequeñas turbinas de viento, unidades solares, plantas de biomasa, energía de las olas y conjuntos motor-generator). Las dos características distintivas de estas fuentes son la intermitencia o falta de flexibilidad y su condición remota. Esto implica la necesidad de almacenamiento, interconexiones robustas y grandes capacidades de transmisión a larga

distancia, con las tecnologías asociadas como vínculos de alta tensión en corriente continua, sistemas de transmisión flexibles en corriente alterna, controles avanzados, locales y, sobre todo, de sistema. Los cambios climáticos pueden dar lugar a las condiciones más extremas, lo que significa nuevas condiciones de diseño de la infraestructura: más robusta e intrusiva, o recurrir a tecnologías menos vulnerables, por ejemplo: instalaciones subterráneas, subestaciones de seguridad aumentada.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En la actualidad, los procesos industriales y de servicios se han vuelto descentralizados, los métodos de fabricación están distribuidos a lo largo de un país o a nivel global, razón por la cual la industria actual requiere de sistemas de monitoreo eficaces y capaces de analizar las variables implicadas en el proceso productivo o de servicio, así como de métodos o técnicas prácticas para obtener medios de comunicación a bajo costo de implementación, instrumentación y mantenimiento, esto sin sacrificar la confiabilidad, robustez y estabilidad de los mismos.

Aunque en el pasado podía considerarse que el único objetivo del control de procesos consistía en mantener una operación estable, actualmente las industrias se enfrentan a un mercado cambiante y difícil de predecir. La competencia en muchos sectores industriales y el creciente interés por obtener productos de mejor calidad, requiere que las plantas industriales cuenten con la implementación de sistemas de monitoreo y control que permitan mantener la operación con gran eficiencia y flexibilidad.

Actualmente los sistemas de monitoreo y control en la industria, deben satisfacer criterios económicos, asociados con el mantenimiento de las variables de

proceso en sus puntos de ajuste, maximizando los criterios de seguridad y de medio ambiente.

1.2 OBJETIVO.

Ofrecer una solución a las necesidades industriales de monitoreo de facilidades eléctricas, a través del diseño de un sistema basado en una arquitectura de red de datos estándar, aplicando las normas oficiales reconocidas nacional e internacionalmente.

1.3 JUSTIFICACIÓN.

La industria requiere mejorar el control de sus unidades mediante la instrumentación necesaria y adecuada, además de contar con sistemas de monitoreo que permitan en conjunto, minimizar costos de instrumentación, cableado e implementación, con el objetivo de incrementar la calidad de la producción y el nivel de seguridad de sus instalaciones.

La industria tiene un alto grado de lo que se puede llamar automatización básica: salas de control con sistemas de control distribuido, controladores lógicos programables (PLC, por sus siglas en inglés) para sistemas de seguridad, secuenciamiento, etc., están hoy día presentes en todas las instalaciones. La flexibilidad se considera como la facilidad de adaptación a cambios en los productos que se fabrican, sus características, demanda, etc. Del mismo modo se extienden y avanza los buses de campo (MODBUS, PROFIBUS, etc.), a la vez que los sistemas basados en computadoras y la relativa normalización de las comunicaciones permiten disponer de grandes cantidades de análisis y procesamiento de datos.

Por otra parte, el funcionamiento correcto de la automatización depende en gran medida de la habilidad para conocer el estado real del funcionamiento del

proceso, en su operación normal o en funcionamiento degradado, debido a la aparición de fallas o cambios de estado interno. Los modernos sistemas basados en buses de campo facilitan esa tarea al ofrecer diagnósticos automáticos de la instrumentación, pero esto es solo una parte del diagnóstico, los puntos principales son: el propio proceso y el sistema de control.

Uno de los rasgos de la sociedad actual es, sin duda, la disponibilidad a bajo precio de sistemas de cómputo y comunicaciones, lo cual previsiblemente continuará en el futuro, así como el papel que éstas juegan en todos los ámbitos y la facilidad de interconexión debida a la extensión de los sistemas abiertos o interoperables.

2 INTRODUCCIÓN A LAS REDES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES.

A través de la historia, desde el descubrimiento de las propiedades eléctricas de la materia por parte de los griegos. El ser humano ha utilizado la electricidad en diversos ámbitos, desde considerarla un fenómeno de entretenimiento, un recurso para divertir a los invitados en las fiestas de la nobleza en el Siglo XVIII, pasando por los usos cotidianos y de ocio de la vida moderna, hasta llegar a las aplicaciones modernas que existen en los innovadores centros de investigación.

Los sistemas eléctricos de potencia nacen en 1878 cuando Thomas A. Edison empezó a trabajar en el alumbrado eléctrico y formuló el concepto de una estación central generadora de energía con un alumbrado distribuido que diera servicio a un área circundante. Tras el perfeccionamiento de su sistema y la apertura de su primera estación en *New York*, se marca el principio de la industria eléctrica, industria que creció a un ritmo notable; un crecimiento basado en reducciones continuas en el precio de la electricidad, debido principalmente a los logros tecnológicos y a la creatividad, ingenio e innovación de la ingeniería.

La introducción del motor de corriente directa, por parte de la *Sprague Electric* así como el crecimiento del alumbrado público incandescente, promovió la expansión de los sistemas de corriente directa de 220 volts. El crecimiento de los sistemas de corriente alterna se vio impulsado, cuando Nikola Tesla presentó un artículo ante el *American Institute of Electrical Engineers* describiendo los motores bifásicos, de inducción y síncronos, haciendo evidentes las ventajas de los sistemas polifásicos en comparación con los monofásicos. En el mismo año en que se inauguraron los generadores impulsados por vapor de Édison, se instaló un generador impulsado por una turbina hidráulica en Appleton, desde entonces la mayor parte de la energía eléctrica se ha generado en plantas accionadas por vapor y por turbinas hidráulicas.

Los desarrollos tecnológicos que han ocurrido junto con la transmisión de la electricidad en su forma de corriente alterna incluyendo desarrollos en el aislamiento, protección y control, son por si mismos importantes. Los ejemplos siguientes son dignos de mención:

- El aislador de suspensión.
- El sistema de relevadores de alta velocidad, capaces en la actualidad de detectar corrientes de cortocircuito en menos de un ciclo (0.017s).
- Interruptores de alta velocidad y extra alta tensión (ehv), capaces de interrumpir corrientes trifásicas de cortocircuito hasta de 63 [kA] en menos de dos ciclos (0.033s).
- Reconexión de alta velocidad de las líneas de ehv, lo cual permite un regreso automático al servicio en menos de una fracción de segundo, después de que se ha eliminado una falla.
- El apartarrayos de ehv, que proporciona protección contra sobretensiones transitorias debidas a descargas atmosféricas y operacionales de conexión o desconexión de líneas.

- Onda portadora sobre línea de energía, microondas y fibras ópticas como mecanismos de comunicación para la protección, control y medición de las líneas de transmisión.
- El principio de la coordinación de aislamiento aplicado al diseño de un sistema de transmisión completo.
- **Centros de control de energía con adquisición de datos y supervisión de control (SCADA, *Supervisory Control And Data Acquisition*)** y con Control Automático de la Generación (AGC) para la supervisión y control de la generación, transmisión y distribución por computadora centralizados.
- Características automatizadas en la distribución, incluyendo reconectores e interruptores seccionadores controlados a larga distancia, con capacidad de indicación de fallas junto con la utilización automatizada de mapas, administración de instalaciones y sistemas de información geográfica.
- Relevadores digitales capaces de realizar el control de los interruptores, registrar datos, localizar fallas, auto probarse, llevar a cabo análisis de fallas, interrogación a distancia y registro de eventos.

2.1 CONCEPTOS BÁSICOS.

Para facilitar la comprensión de los términos utilizados en esta tesis es necesario hacer repaso de los conceptos básicos referentes a la energía eléctrica.

Carga eléctrica, conductores y aislantes: La cantidad fundamental en electrostática es la carga eléctrica. Hay dos clases de carga: Positiva y negativa. Las cargas del mismo signo se repelen mutuamente; las cargas del signo opuesto se atraen. La carga se conserva; la carga total de un sistema aislado es constante. Toda materia ordinaria está hecha de protones, neutrones y electrones. Los protones positivos y los neutrones eléctricamente neutros del núcleo de un átomo se mantienen unidos por

la fuerza nuclear (fuerza fundamental de la naturaleza), los electrones negativos circundan el núcleo a distancias mucho mayores que el tamaño de éste. Los conductores son materiales que permiten que la carga eléctrica se mueva con facilidad a través de ellos. Los aislantes permiten el movimiento de las cargas con mucho menos facilidad. La mayoría de los metales son buenos conductores, en tanto la mayoría de los no metales son aislantes.

Campo eléctrico y ley de Coulomb. A escala microscópica, la carga eléctrica está cuantificada. Sin embargo, con frecuencia se presentan situaciones en las que un gran número de cargas están tan próximas que la carga total puede considerarse distribuida continuamente en el espacio. El uso de una densidad de carga continua para describir una distribución de un gran número de cargas discretas, es semejante al uso de una densidad de masa continua para describir el aire, el cual realmente consta de un gran número de moléculas discretas. En ambos casos es normalmente fácil encontrar un elemento de volumen ΔV que sea suficientemente grande para contener una multitud de cargas o moléculas individuales y al mismo tiempo suficientemente pequeño para sustituir ΔV por la diferencial dV y utilizar el cálculo sin error apreciable.

La carga existente por unidad de volumen puede describirse por la densidad de carga volúmica ρ , definida como:

$$\rho = \frac{\Delta Q}{\Delta V}$$

El campo eléctrico dE , en un punto del campo P debido a un elemento de carga, suficientemente pequeña para considerarse como una carga puntual, esta dada por la ley de Coulomb, definida como:

$$dE = \frac{k dq}{r^2} r'$$

en donde r' es un vector unitario que apunta desde el elemento a dicho punto. Ver figura 2.1.

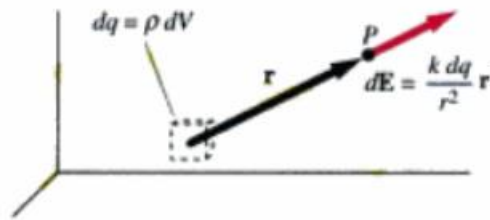


Figura 2.1. El campo eléctrico dE , en un punto del campo P debido a un elemento de carga.

El campo total en P se determina integrando esta expresión para la distribución de carga completa. Es decir:

$$E = \int_v \frac{k dq}{r^2} r'$$

en donde $dq = \rho dV$.

Superposición de campos eléctricos: El campo eléctrico total en un punto es la suma vectorial de los campos en este punto debidos a cada carga puntual en la distribución de carga

$$\vec{E}_{\text{total}} = \frac{\vec{F}_0}{q_0} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots$$

Flujo eléctrico: Es una medida del “flujo” del campo eléctrico a través de una superficie. Es igual al producto de un elemento de área por la

componente perpendicular del campo eléctrico, integrada sobre la superficie.

$$\Phi_E = \int \vec{E} \cdot \vec{n} dA$$

Ley de Gauss: Es una alternativa a la ley de Coulomb, aunque equivale por completo a ésta, ofrece una forma distinta de expresar la relación entre la carga eléctrica y el campo eléctrico, y ésta establece que el flujo eléctrico total a través de una superficie cerrada, que se escribe como la integral de superficie de la componente del campo eléctrico, es igual a una constante por la carga total Q encerrada por la superficie.

La ley de Gauss simplifica mucho los problemas con un alto grado de simetría. Cuando se coloca carga en exceso en un conductor en reposo, ésta permanece toda en la superficie, y en todos los puntos del material del conductor.

$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot \vec{dA} = \frac{Q_{\text{encerrada}}}{\epsilon_0}$$

Energía potencial eléctrica: La energía potencial eléctrica denotada por U se define en términos del trabajo realizado por el campo eléctrico sobre una partícula con carga que se mueve en el campo. En otras palabras se puede interpretar como la cantidad de trabajo que se necesita hacer para mover una partícula desde un punto b , en el que la energía potencial es U_b , hasta un punto a en el que la energía potencial tiene un valor mayor U_a (por ejemplo, al empujar dos cargas positivas para acercarlas).

El trabajo W realizado por la fuerza eléctrica sobre una partícula con carga que se mueve en un campo eléctrico se representa por el cambio en una función de energía potencial U .

$$W_{a-b} = U_a - U_b$$

La energía potencial eléctrica para dos cargas puntuales q y q_0 depende de su separación r y esta defina por:

$$U = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_0}{r}$$

Potencial eléctrico: El potencial, denotado por V , es energía potencial por unidad de carga. La diferencia de potencial entre dos puntos es igual a la cantidad de trabajo que se requeriría para trasladar una unidad de carga de prueba positiva entre esos puntos. El potencial V debido a una cantidad de carga se calcula mediante una suma (si la carga es un conjunto de cargas puntuales) o mediante integración (si la carga es una distribución).

$$V = \frac{U}{q_0}$$

Superficies equipotenciales: Una superficie equipotencial es una superficie tridimensional sobre la que el potencial eléctrico V es el mismo en todos los puntos. Si una carga de prueba q_0 se desplaza de un punto a otro sobre tal superficie, la energía potencial eléctrica U permanece constante, de igual forma cuando todas las cargas están en reposo, la superficie de un conductor siempre es una superficie equipotencial.

Corriente y densidad de corriente: La corriente es la cantidad de carga que fluye a través de un área específica, por unidad de tiempo.

$$I = \frac{dQ}{dt}$$

La unidad del SI para la corriente es el ampere, que es igual a un coulomb por segundo:

$$1A = 1 \frac{C}{s}$$

La corriente I a través de un área A depende de la concentración de partículas n y la carga q de los portadores de carga, así como de la magnitud de su velocidad de deriva v_d por lo que se puede expresar con la siguiente expresión.

$$I = nqv_dA$$

Cabe resaltar que la corriente se describe convencionalmente en términos de un flujo de carga positiva, aun cuando los portadores de carga real sean negativos o de ambos signos.

La densidad de corriente J , es corriente por unidad de área de la sección transversal:

$$J = \frac{I}{A} = nqv_d$$

Las unidades de la densidad de corriente son amperes por metro cuadrado.

Resistividad: La densidad de corriente en un conductor depende del campo eléctrico y de las propiedades del material. En general, esta dependencia es muy compleja. Pero para ciertos materiales, en especial metálicos, a una temperatura dada, es casi directamente proporcional a E y la razón de las magnitudes de E y J es constante. Esta relación es la llamada ley de Ohm que nos define la resistividad de un material cómo la razón de las magnitudes del campo eléctrico y la densidad de corriente:

$$E = \frac{1}{\sigma} J$$

Resistores: Se llama resistencia a la relación entre el voltaje (V) y la corriente (I) y se puede relacionar con la resistividad de la siguiente manera:

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

Donde L es la longitud del material en cuestión.

Sí ρ es constante, como en el caso de los materiales óhmicos, entonces también lo es R. Por lo que se puede decir que para los materiales que obedecen la ley de Ohm, la diferencia de potencial V a través de una muestra particular de material es proporcional a la corriente I a través del material.

$$R = \frac{V}{I}$$

El dispositivo de un circuito hecho para tener un valor específico de resistencia entre sus extremos se llama resistor.

Circuitos y FEM: Para que un conductor tenga una corriente constante, debe ser parte de una trayectoria que forme una espira cerrada o circuito completo.

La influencia que hace que la corriente fluya del potencial menor al mayor se llama fuerza electromotriz (FEM) y todo circuito completo que lleva una corriente constante debe contener una fuente de fuerza electromotriz (FEM). La unidad del SI para la fuerza electromotriz es el volt.

Una fuente ideal de FEM mantiene una diferencia de potencial constante, independiente de la corriente que pasa a través del dispositivo, pero toda fuente real de FEM tiene alguna resistencia interna r y por consiguiente, la diferencia de potencial terminal V_{ab} depende de la corriente.

$$V_{ab} = \varepsilon - Ir$$

Donde ε es el valor ideal de la fuente ideal FEM, por lo que V_{ab} llamado voltaje terminal siempre es menor que el voltaje ideal de la FEM.

El cambio neto en la energía potencial para una carga q que hace un viaje redondo alrededor de un circuito completo debe ser igual a cero. Por lo tanto, el cambio neto del potencial alrededor del circuito también debe ser igual a cero:

$$\varepsilon - Ir - IR = 0$$

Una ganancia de potencial E está asociada con la FEM, y caídas de potencial de Ir e IR están asociadas con la resistencia interna de la fuente y el circuito externo, respectivamente.

Energía y potencia en los circuitos: La relación de transferencia de energía por unidad de tiempo es la potencia, y se denota mediante P

$$P = V_{ab}I$$

Donde P se entiende como la rapidez con la que se entrega energía a un elemento de circuito o se extrae de éste.

Resistores en serie y en paralelo: Cuando se conectan en serie varios resistores $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$, la resistencia equivalente R_{eq} es la suma de las resistencias individuales.

En una conexión en serie fluye la misma corriente a través de todos los resistores con lo que la resistencia equivalente de cualquier número de resistores en serie es igual a la suma de sus resistencias individuales.

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

Todos los resistores en una conexión en paralelo tienen la misma diferencia de potencial entre sus terminales. Cuando se conectan en paralelo varios resistores, el recíproco de la resistencia equivalente, es la suma de los recíprocos de resistores conectores en paralelo.

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Reglas de Kirchhoff: Para circuitos eléctricos hay dos reglas esenciales que son las llamadas reglas de Kirchhoff.

La regla de Kirchhoff de las uniones se basa en la conservación de la carga. Establece que la suma algebraica de las corrientes en un nodo debe ser igual a cero.

$$\sum I = 0$$

La regla de Kirchhoff de las mallas se basa en la conservación de la energía y la naturaleza conservativa de los campos electrostáticos. Dice que la suma algebraica de las diferencias de potencial alrededor de una malla debe ser igual a cero.

$$\sum V = 0$$

Capacitores y capacitancia: Un capacitor es un dispositivo que almacena energía potencial eléctrica y carga eléctrica. Para hacer un capacitor, basta aislar dos conductores uno del otro. Para almacenar energía en este dispositivo hay que transferir carga de un conductor al otro, de manera que uno tenga carga negativa y en el otro haya una cantidad igual de carga positiva. Debe realizarse trabajo para trasladar las cargas a través de la diferencia de potencial resultante entre los conductores, y el trabajo efectuado se almacena como energía potencial eléctrica.

Cuando el capacitor está cargado hay cargas de igual magnitud Q y signo opuesto en los dos conductores, y el potencial V_{ab} del conductor con carga positiva con respecto al que tiene carga negativa es proporcional a Q . A ésta razón se le conoce como capacitancia C teniendo como unidades en el SI el farad [F].

$$C = \frac{Q}{V_{ab}}$$

Cuanto mayor es la capacitancia C de un capacitor, mayor será la magnitud Q de la carga en el conductor de cierta diferencia de potencial dada V_{ab} , y, por lo tanto, mayor será la cantidad de energía almacenada. Así, la capacitancia es una medida de la capacidad de un capacitor para almacenar energía.

Capacitores en serie y paralelo: Cuando se conectan en serie capacitores con capacitancias $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$ el recíproco de la capacitancia equivalente C_{eq} es igual a la suma de los recíprocos de las capacitancias individuales:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

Cuando los capacitores se conectan en paralelo, la capacitancia equivalente C_{eq} es igual a la suma de las capacitancias individuales:

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

Dieléctricos: Es todo aquel material que no conduce carga eléctrica, la mayoría de los capacitores tienen un material no conductor o dieléctrico entre sus placas conductoras. La colocación de un dieléctrico sólido entre las placas de un capacitor tiene tres funciones. La primera es que resuelve el problema mecánico de mantener dos hojas metálicas grandes con una separación muy pequeña sin que hagan contacto. La segunda función es que un dieléctrico incrementa al máximo posible la diferencia de potencial. La tercera función es que la capacitancia de un capacitor de dimensiones dadas es mayor cuando entre sus placas hay un material dieléctrico en vez de vacío de potencial entre las placas del capacitor.

2.1.1 DEFINICIÓN Y ESTRUCTURA BÁSICA DE UNA RED ELÉCTRICA.

A partir del descubrimiento de la energía eléctrica y su posible utilización comercial por parte del hombre, ésta ha jugado un papel importante en el desarrollo de la humanidad. El desarrollo de grandes fuentes de energía para ejecutar trabajos útiles ha sido la clave del progreso industrial y parte primordial en la mejora de la calidad de vida del hombre en la sociedad moderna. Para el proceso de hacer llegar energía eléctrica desde las fuentes hasta los consumidores se requieren de estructuras cada vez más complejas, denominadas sistemas de potencia, las cuales poseen asociadas una serie de fenómenos en condiciones operativas normales y anormales, que son motivo del estudio de la ingeniería eléctrica electrónica. El Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos (Institute of Electrical and Electronics Engineers: IEEE) define un sistema de potencia como:

“Una red formada por unidades generadoras eléctricas, cargas y/o líneas de transmisión de potencia, incluyendo el equipo asociado conectado eléctricamente o mecánicamente a la red.”

Por otra parte el diccionario de términos eléctricos y electrónicos de la IEEE, define el sistema de potencia como:

“Las fuentes de potencia eléctrica, conductores y equipo requerido para suplir la potencia eléctrica.”

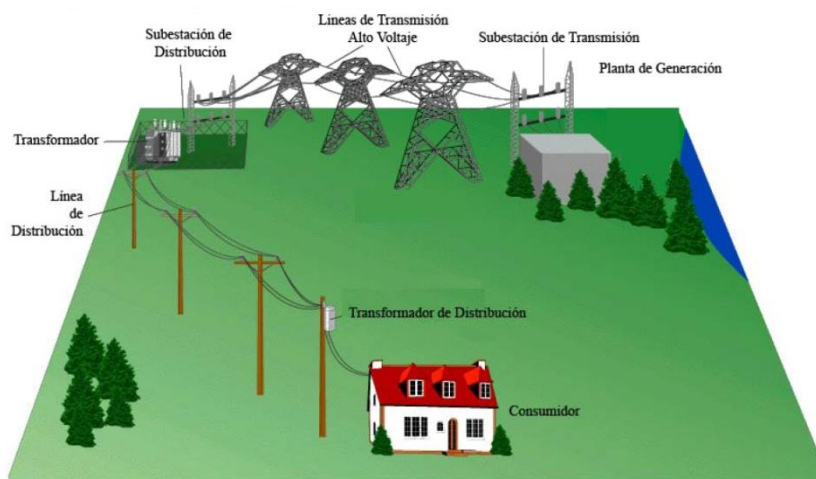


Figura 2.1.1.1 Estructura de un sistema de potencia

Ha de entenderse, entonces, un sistema eléctrico de potencia, como:

“El conjunto de elementos que constituyen la red eléctrica de potencia siendo su función: generar, transmitir y distribuir la energía eléctrica hasta los usuarios, bajo ciertas condiciones y requerimientos..”

2.1.2 COMPONENTES DE LA RED ELÉCTRICA.

Dentro de los equipos que son de relevancia en una instalación eléctrica industrial, podemos mencionar los siguientes:

1. Subestación receptora-reductora.
 - Transformadores.
 - Interruptores.
 - Cuchillas seccionadoras.
 - Aisladores.
 - Apartarrayos.
 - Pararrayos
2. Líneas y cables de energía.
3. Subestaciones de distribución.
4. Centros de carga.
5. Centros de control de motores.
 - Arrancadores magnéticos.
 - Arrancadores de estado sólido.
 - PLC.
6. Bancos de capacitores de baja tensión y de alta tensión.
7. Motores eléctricos.
8. Planta de emergencia.
9. Sistemas y red de tierra.

Subestación. Se puede definir como el conjunto de aparatos, máquinas, equipos y circuitos que cumplen con la función de modificar la tensión y la corriente para funcionar como interconexión entre las diferentes líneas de transmisión de un sistema. Las subestaciones eléctricas se diseñan para tener, en la medida de lo posible, una máxima confiabilidad y flexibilidad de operación. Dado esto, existen varios arreglos de subestaciones que son

usados para satisfacer el requerimiento de una operación confiable y flexible del sistema. Algunos de estos arreglos se usan en las subestaciones de los sistemas eléctricos de potencia, pero también en instalaciones para grandes usuarios industriales y comerciales. La selección de un arreglo en particular y su representación en un diagrama unifilar requiere de un estudio previo donde se determinen: los requerimientos de la demanda de energía, las ampliaciones del sistema y la afectación que esto pueda tener, la flexibilidad y facilidades para el mantenimiento, así como los costos asociados a la cantidad de equipo que interviene en cada tipo de arreglo. Los arreglos más comunes son los mostrados a continuación:

Arreglo de barra sencilla: Son subestaciones que constan de una barra para cada tensión, como se muestra en la Figura 2.1.2.1, por lo que no ofrecen mayor grado de flexibilidad, ya que una falla en barras produce la salida total de la operación, por lo que se procura que tengan la capacidad de poder ser seccionadas a través de cuchillas. El mantenimiento en ellas se dificulta al no poder transferir el equipo, su utilización es principalmente en subestaciones de pequeña capacidad o de tipo industrial pequeñas.

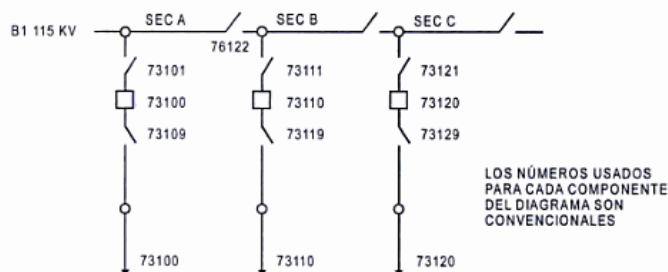


Figura 2.1.2.1 Arreglo de barra sencilla

Arreglo de barra radial: El esquema de barra radial mostrado en la Figura 2.1.2.2 representa el arreglo más económico en términos de requerimiento de equipo. Se puede observar que solo tiene un interruptor por cada terminación de línea. Sin ninguna previsión para alimentar una línea de otra barra dentro de la subestación; por lo tanto la configuración radial ofrece la menor flexibilidad operativa. Se usa en subestaciones de distribución o de sub transmisión.

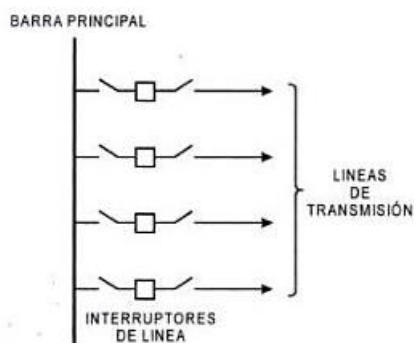


Figura 2.1.2.2 Esquema de barra radial

Arreglo de Anillo: En el arreglo de anillo el número de interruptores es igual al número de líneas que terminan en la subestación, Figura 2.1.2.3. Este es un diseño económico pero también ofrece menor confiabilidad y flexibilidad de operación en comparación con otros arreglos. El nombre de Anillo, viene del hecho que los interruptores y el bus de trabajo forman un anillo eléctricamente.

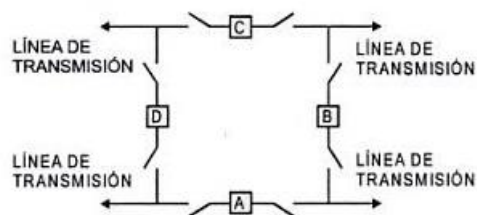


Figura 2.1.2.3: Arreglo de anillo

Arreglo de barra de transferencia: Este arreglo puede tener algunas variantes ya que cada línea de transmisión está conectada a la barra principal por medio de una cuchilla desconectadora, como se muestra en la Figura 2.1.2.4. La barra o bus de transferencia está conectado a la barra o bus principal por medio de un interruptor de transferencia, el bus de transferencia sirve entonces como una alternativa de suministro para cualquiera de las líneas de transmisión. En condiciones normales de operación, el bus principal está siempre energizado.

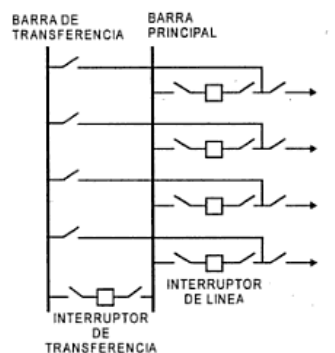


Figura 2.1.2.4 Arreglo de barra de transferencia.

Arreglo de interruptor y medio: En este arreglo hay dos barras o buses principales con tres interruptores que conectan a las dos barras. Las líneas de transmisión terminan en un punto eléctricamente entre cualquier de los dos interruptores. El nombre del “interruptor y medio” viene del hecho de que hay tres interruptores por cada dos líneas de transmisión, o bien, $1 \frac{1}{2}$ interruptor por línea.

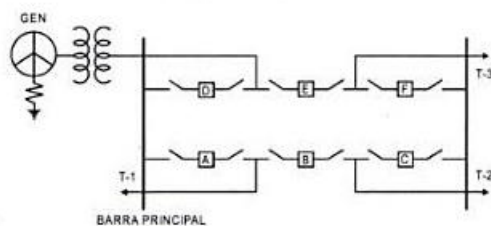


Figura 2.1.2.5: Arreglo de interruptor y medio

Con este esquema se logra un alto grado de confiabilidad, dado que cualquier interruptor se puede retirar de operación, manteniendo todas las líneas de transmisión energizadas, lo cual ofrece facilidad de mantenimiento y alta flexibilidad. Por ejemplo, de la figura anterior, si el interruptor A falla o es retirado de servicio para mantenimiento programado, la línea T-1 queda energizada a través del interruptor B.

En algunas ocasiones, una subestación puede ser diseñada para un arreglo de interruptor y medio y estar operada como un arreglo de bus de anillo.

Transformador. Máquina electromagnética que se utiliza para transferir energía eléctrica entre dos circuitos aislados eléctricamente que se encuentran unidos magnéticamente. Es capaz de cambiar las características de la energía eléctrica como son el voltaje y la corriente, manteniendo la frecuencia constante.

Interruptor. Se define como el dispositivo que sirve para abrir o cerrar uno o más circuitos eléctricos. Entendiendo el cierre de un circuito como la maniobra que permite el cierre completo del circuito eléctrico para que sea recorrido por una corriente dada, y abrir es aquella operación en donde se interrumpe el paso de la corriente.

Cuchillas seccionadoras. Se definen como los aparatos de conexiones capaces de establecer, soportar e interrumpir las corrientes en condiciones normales del circuito, tomando en cuenta eventualmente condiciones específicas de sobrecarga en servicio, así como soportar durante un tiempo determinado corrientes anormales como las de un cortocircuito.

Aisladores. Estos dispositivos cumplen con la función de sujetar mecánicamente el conductor manteniéndolo aislado de tierra y de los otros conductores. Deben poder aislar eléctricamente el conductor, soportando la tensión en condiciones normales así como las sobretensiones máximas previstas. Así como la tensión debe ser soportada por el material aislante también lo debe soportar su superficie.

Apartarrayos. Dispositivos que su función es la de proteger contra sobretensiones a los equipos en las subestaciones eléctricas. Protegen de sobretensiones por descargas atmosféricas, por maniobras de interruptores o por alguna otra causa. Son conectados entre línea y tierra, contribuyen en forma importante a la confiabilidad, economía y continuidad de operación de un sistema eléctrico de potencia.

Pararrayos. Dispositivo que protege a las líneas de transmisión contra los efectos de las descargas atmosféricas, proporcionando un camino a tierra para la disipación de la energía inducida electrostáticamente. La instalación de estos dispositivos en todas las fases y en cada torre de una zona crítica, disminuye la posibilidad de desconexión del servicio en esta sección.

Líneas y cables de energía. Conjunto de dispositivos que sirven para transportar o guiar la energía eléctrica desde una fuente de generación hasta los centros de consumo.

Subestaciones de distribución. Son aquellos puntos donde se realiza la transformación del nivel de distribución primara al nivel de distribución secundaria.

Centros de carga. Se le denomina así a los dispositivos en los cuales se concentra la energía con la que se alimentara cierta instalación o cierta sección de la misma, de los centros de carga se derivan los circuitos hacia los equipos que se energizan. Están constituidos de barras concentradoras y de acoplamientos donde se colocan los interruptores de protección para los circuitos derivados. Las barras concentradoras deben resistir las corrientes nominales del diseño como también las corrientes de un cortocircuito sin sufrir daños que afecten su operación.

Centros de control de motores. Se definen como las unidades que agrupadas protegen a un determinado número de motores. Permitiendo también el automatizado de estos para realizar un determinado proceso, con la ventaja que el sistema nos permite tanto la operación como la supervisión a un bajo costo. Las unidades que se utilizan para la protección y el corte del circuito pueden ser interruptores termomagnéticos o fusibles.

Arrancadores magnéticos. Como su nombre lo indica, estos dispositivos pueden arrancar un motor, pararlo, acelerarlo y protegerlo. Controlan el uso de la energía suministrada, se elaboran de dos bloques: contactores y protección contra sobrecarga. Los contactores controlan la corriente eléctrica suministrada al motor, su función es establecer o interrumpir de manera repentina el circuito de alimentación. La protección contra sobrecargas protege a los motores para impedir que consuman una cantidad excesiva de corriente eléctrica y se sobrecarguen.

Arrancadores de estado sólido. Estos dispositivos de control protegen a un motor contra sobrecarga, haciendo uso de componentes de estado sólido en vez de contactos para arrancar o parar la corriente que fluye hacia el motor. Estos arrancadores son más seguros y más eficientes que los arrancadores mecánicos ya que reducen los grandes picos eléctricos.

PLC. Se conoce como controlador lógico programable por sus siglas en inglés y es un sistema de control basado en un microprocesador y los elementos necesarios para que el microprocesador opere de manera correcta. Gracias al microprocesador, es posible que la función a realizar sea programable por cada usuario para satisfacer cada necesidad de control. Lo que lo convierte en una herramienta flexible y de gran utilidad. El uso del PLC se ha vuelto imprescindible para la automatización de todos los tipos de procesos industriales.

Banco de capacitores. Es un conjunto de capacitores que son utilizados como compensadores de la potencia reactiva de un sistema eléctrico. Brindan una estabilidad al sistema y aumentan la calidad del suministro eléctrico.

Motor eléctrico. Se define como la máquina que es capaz de transformar la energía eléctrica en energía mecánica. Se clasifican en motores de corriente directa y motores de corriente alterna.

Planta de emergencia. Sistema que tiene la función principal de suministrar energía cuando falla la alimentación principal de energía eléctrica, dependiendo de la actividad que se realice, es vital que no se interrumpa la alimentación del servicio.

Sistemas y red de tierra. Es el sistema que permite que no haya diferencias de potencial de peligro entre las instalaciones y los equipos

utilizados, esto se logra con la conexión directa, sin ningún tipo de protección entre las instalaciones con un conjunto de electrodos que se encuentran enterrados en el terreno con ciertas especificaciones.

2.1.3 DIAGRAMA UNIFILAR.

Uno de los principales fundamentos para el diseño conceptual en redes eléctricas es la preparación de un diagrama unifilar que se usa durante la fase de estudio e incluye los principales componentes del sistema.

















El diagrama unifilar se define como:

“Diagrama eléctrico que representa los equipos y elementos de un sistema ya sea de 3 o 4 hilos, conectándolos por medio de una línea simple y representándolos mediante símbolos simplificados”. Su propósito es que el diseñador desarrolle de una manera sencilla sus ideas y tenga una forma simple de comunicar a otros sus proyectos.

En la elaboración de un diagrama unifilar debe incluirse la siguiente información:

- Valores nominales de los equipos.
- Fuentes de alimentación o puntos de conexión a la red.
- Dispositivos de protección (fusibles, relevadores, interruptores).
- Tamaño de transformadores.
- Capacitores para mejoría del factor de potencia.
- Valores nominales de los interruptores de circuito y capacidad de interrupción.
- Calibre y tipos de cable.
- Voltaje, números de fase de todos los circuitos, especificando si el neutro esta puesto a tierra o no.
- Ampliaciones futuras.

La simbología usada en los diagramas unifilares es la que se indica en la tabla Tabla 2.1.3.1:

Símbolo	Significado
	Transformador de potencia con devanado terciario.
	Cuchilla desconectadora de operación manual.
	Cuchilla desconectadora de operación manual con conexión a tierra.
	Cuchilla desconectadora de operación con motor.
	Interruptor de potencia.
	Línea de alimentación.
	Línea de barras.
	Banco de capacitores.
	Entrada de alimentador.
	Salida de alimentador.
	Apartarayos autovalvular.
	Apartarayos de óxido de zinc.
	Transformador de potencia tipo capacitivo.
	Transformador de potencia tipo inductivo.
	Transformador de corriente tipo devanado.
	Trampa de onda.

	Transformador de corriente tipo onda.
	Auto transformador de potencia.
	Auto transformador de potencia con devanado terciario
	Transformador de potencia (dos devanados)

Tabla 2.1.3.1

La cantidad de detalle en un diagrama unifilar está determinado por su uso relativo y no necesariamente debe contemplar toda la información descrita anteriormente.

2.2 IMPORTANCIA DE LA DISPONIBILIDAD DE LAS FACILIDADES ELÉCTRICAS.

Las facilidades eléctricas se pueden definir como las prestaciones, infraestructura, dotaciones y servicios que permiten el suministro adecuado de la energía eléctrica. Estas se han convertido en una parte fundamental de la cadena productiva, ya que en los últimos años ha fungido como en uno de los principales factores que mantiene las líneas de producción en constante funcionamiento, esto debido a que la gran mayoría de los procesos de manufactura es realizado por maquinaria que es alimentada por este tipo de energía.

Dada la creciente importancia de la disponibilidad de energía eléctrica hoy en día toda industria tiene un departamento de ingenieros, encargado de supervisar y garantizar la disponibilidad de las llamadas facilidades eléctricas. El ingeniero encargado de las facilidades, aplica sus conocimientos en la planificación, desarrollo, diseño y mantenimiento de las instalaciones y diversas estructuras de los edificios, que puede ir desde los puentes, presas, canales, caminos, los

ferrocarriles hasta los aeropuertos, oleoductos, sistemas de agua y alcantarillado y plantas de energía. Típicamente llevan a cabo investigaciones, recopilan información y analizan informes, planos, datos topográficos y geológicos y hacen uso de los hallazgos en la planificación de proyectos. Dentro de sus responsabilidades incluyen la estimación de los costos y el uso de mano de obra, equipos y materiales, la determinación de la viabilidad de un proyecto, y proporcionar a los clientes la gestión de los informes pertinentes.

Los ingenieros supervisan y gestionan al personal técnico en obras de implementación de infraestructura, tienen a su cargo todas las operaciones y actividades de mantenimiento, tienen injerencia en la gestión de desarrollo, proponen modificaciones a los diseños, soluciones existentes y recomiendan reparaciones estructurales cuando es necesario.

2.3 NORMATIVIDAD.

Los sistemas de protección constituyen hoy, en el sector eléctrico, una de las más complejas y cambiantes disciplinas, no solo debido a la evolución experimentada en los sistemas eléctricos, sino también a los adelantos tecnológicos introducidos en los equipos.

Con el objetivo de tener un control sobre la fabricación de dispositivos eléctricos, se han creado estándares, que dictan como se debe construir dichos dispositivos, sus características físicas, de operación, condiciones de servicio y simbología.

2.3.1 ¿QUÉ ES UNA NORMA?

Es un documento que establece por consenso de los participantes reunidos en un organismo reconocido, reglas y criterios para usos comunes y repetidos. De esta forma, determina las condiciones mínimas y necesarias que debe reunir un producto, servicio o sistema de gestión.

Las normas están diseñadas con el fin de proteger la salud de las personas y sus propiedades de riesgos asociados a la electricidad, entre otros factores. El uso de normas hace que los productos elaborados bajo ellas sean más aptos y seguros, de mejor calidad y posean información de guía al consumidor, además de ayudar al medio ambiente, facilitar el comercio, permitir la transferencia de tecnología y promover el desarrollo económico, también permiten innovar, anticiparse y mejorar productos.

Entre las normas eléctricas consideradas, se pueden citar:

- Norma Oficial Mexicana 001-SEDE-2012.
- National Electrical Code (NEC).

Y, entre los organismos que elaboran las normas, se encuentran:

- American National Standards Institute (ANSI).
- National Electrical Manufacturers Association (NEMA).
- The Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. (IEEE).
- Asociación de Normalización y Certificación Eléctrica (ANCE).

2.3.2 MARCO LEGAL Y NORMATIVO.

Constitucionalmente, la regulación de la energía eléctrica se encuentra contenida en los artículos 25, 26, 27 párrafo sexto; 28, 73, 74, 90, 108, 110, 123, y 124 de nuestra carta magna.

Marco Jurídico en materia de Electricidad

Leyes

- Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.
- Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional.

Reglamentos

- Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.
- Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica en Materia de Aportaciones.

Decretos

- Decreto por el que se extingue el organismo descentralizado Luz y Fuerza del Centro.
- Decreto por el que se crea el Instituto de Investigaciones Eléctricas.

2.3.3 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEDE-2012.

En México, la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012, establece las especificaciones y lineamientos de carácter técnico que deben satisfacer las instalaciones destinadas a la utilización de la energía eléctrica, a fin de que ofrezcan condiciones adecuadas de seguridad para las personas y sus propiedades, en lo referente a la protección contra:

- Las descargas eléctricas.
- Los efectos térmicos.
- Las sobre corrientes.
- Las corrientes de falla.
- Las sobretensiones.

El cumplimiento de las disposiciones indicadas en esta Norma Oficial Mexicana (en adelante NOM) promueve el uso de la energía eléctrica en forma segura.

La estructura de esta NOM, responde a las necesidades técnicas que se requieren para la utilización de la energía eléctrica en las instalaciones eléctricas

en el ámbito nacional. Las disposiciones en esta NOM no deben considerarse como guía de diseño de instalaciones ni como un manual de instrucciones para personas no calificadas.

3 SISTEMAS DE MONITOREO.

Un sistema de monitoreo es una aplicación en conjunto con elementos de campo, tales como sensores o multimedidores inteligentes, que permiten verificar sistemáticamente el desempeño y la disponibilidad de los elementos críticos de un sistema a través de la identificación y aislamiento de problemas. Es concebido para industrias que necesitan mantener un desempeño confiable y escalable en sus equipos, aplicaciones, y que desean reducir el personal técnico.

Características:

- Identificación y registro de eventos tales como falta de disponibilidad de un equipo o recurso y violaciones a los umbrales de operación definidos.
- Identificación de degradaciones en el desempeño del sistema que provocan problemas o tiempos de respuesta lentos.
- Registro de los eventos identificados (bitácora).
- Emisión de reportes mensuales de eventos.

Beneficios:

- Facilita la planeación de la capacidad de sus operaciones.
- Continuidad de su operación gracias a detección temprana de eventos.

3.1 IMPORTANCIA.

Con el desarrollo de los sistemas de monitoreo ha sido posible supervisar el comportamiento de variables críticas en los equipos eléctricos; el elevado costo

de estos equipos y su repercusión en la red eléctrica, justifican los sistemas de monitoreo cuando son capaces de encontrar una falla incipiente en evolución. Una de las funciones de las redes eléctricas inteligentes (REI) está orientada a aumentar la confiabilidad de la red eléctrica y por lo tanto, los sistemas de monitoreo forman parte de este tipo de redes.

Tener un sistema adecuado de monitoreo deriva en ventajas tales como redes industriales más controladas, menores costos de desarrollo, soporte y mantenimiento más eficiente, mayor portabilidad de aplicaciones que van desde monitorear una fábrica hasta un edificio de oficinas, interoperabilidad mejorada, mejor administración de datos y sistemas.

Por lo tanto, tener un sistema de monitoreo asociado en una REI permitirá responder de una manera más eficiente a los requerimientos de la industria y lograrlo al mejor costo y efectividad, por lo que se puede ver como una herramienta estratégica que brinda una ventaja competitiva.

3.2 REDES INDUSTRIALES DE COMUNICACIÓN.

La comunicación de datos es la transferencia de información desde un punto de origen a uno de destino, ya sea en forma analógica o digital. En la actualidad los instrumentos de comunicación están mayormente ligados a la transmisión digital de datos.

Un sistema de comunicación básico, requiere la existencia de un transmisor y un receptor para poder enviar la información a través de un medio entre los dos. Los tipos comunes de medio son: el cable de cobre, la fibra óptica, las señales de radio y de microondas.

Las redes industriales constituyen sistemas de comunicación flexibles que permiten la intercomunicación entre dispositivos en entornos industriales; se

caracterizan por garantizar la transmisión de datos en tiempo real, garantizando al mismo tiempo la operatividad de estas en entornos electromagnéticamente agresivos para los equipos de instrumentación. Por ejemplo, al interior de una fábrica donde se trabaja con una línea de ensamble en la que participan equipos de soldadura, los cuales generan campos magnéticos al operar.

En una red industrial coexistirán dispositivos de diversos tipos, a los cuales se les puede agrupar de forma jerárquica para establecer la conexión adecuada, dependiendo del área de aplicación. Dentro de una red industrial se definen cuatro niveles jerárquicos:

- **Nivel de gestión:** El mayor de la cadena de comunicación y a cargo de la integración de los subsecuentes niveles en una estructura de una fábrica o incluso varias plantas. Las máquinas instaladas en este nivel suelen ser estaciones de trabajo, las cuales funcionan como puente entre el proceso productivo y el área de gestión.
- **Nivel de control:** Su labor es enlazar y dirigir las diferentes zonas de trabajo. En este nivel se encuentran los autómatas de gama alta y las computadoras dedicadas al diseño, control de calidad, programación, etc.
- **Nivel de campo y procesos:** Ejecuta la integración de pequeños automatismos (multiplexores de E/S, controladores PID, etc.) dentro de subredes o islas. En el nivel más alto de esta clase de redes se pueden encontrar uno o varios autómatas modulares, actuando como maestros de la red o maestros flotantes.
- **Nivel de entrada y salida:** Es el nivel más cercano al proceso, en el cual se pueden encontrar los sensores y actuadores, encargados de manejar el proceso productivo y tomar las medidas necesarias para la correcta automatización y supervisión.

Pese a lo anteriormente descrito, la estructura de una red de comunicación industrial no es universal y podrá constar de un mayor o menor número de niveles, dependiendo del tamaño del proceso y la propia industria.

Cuando se planea que exista un intercambio de información (datos) entre equipos, mediante un sistema de comunicaciones, se debe definir un sistema de transmisión en común. De igual forma resulta necesario definir cómo se establecerán las conexiones y los enlaces entre los equipos, además de cómo será mantenido el dialogo durante el intervalo de tiempo que dure la conexión. Los convenios que establecen el lenguaje de dialogo entre cada capa del sistema, son conocidos como protocolos de comunicación.

Los protocolos permiten que exista comunicación entre equipos de diferentes clases, así por ejemplo una computadora puede enviar datos a una impresora, datos que de igual forma habría recibido desde un sensor conectado a un PLC.

3.2.1 TOPOLOGÍAS.

Hay tres grandes clases de redes de comunicaciones, la distinción entre ellas es un tanto confusa y se tiende a sobreponer.

- **Red de área local (LAN: Local Area Network)**, usualmente confinada dentro de un edificio o un conjunto de edificios ubicados en un radio no mayor a los cien metros. Todos los elementos de una LAN, están conectados a un medio de transmisión en común, por ejemplo a un cable coaxial. Las velocidades de transmisión que usualmente se encuentran en estas redes, son de unos cientos de Mbps (megabytes por segundo).
- **Red de área metropolitana (MAN: Metropolitan Area Network)**, usualmente cubre una ciudad o un área metropolitana y tiene varias

LAN's conectadas a ella. Las velocidades de transmisión que emplea son de unos cientos de Mbps.

- **Red de área amplia (WAN: Wide Area Network)**, puede cubrir miles de kilómetros e incluye diversos medios de transmisión (tales como fibra óptica, links satelitales, microondas y cable coaxial); por lo que las velocidades de transmisión varían en gran forma.

Existen dos tipos básicos de redes, las de “circuito” conmutado y las de “paquete” conmutado. En una red de circuito conmutado, la conexión es establecida y mantenida, entre dos terminales durante el periodo de tiempo que dure el intercambio de comunicación (por ejemplo la red telefónica).

Una red de paquete conmutado no establece una conexión directa entre terminales, en su lugar, el mensaje es dividido en una serie de paquetes o cuadros de información. Los cuales son transmitidos, uno a uno, llevando consigo la dirección de destino. Dependiendo de las condiciones de la red, los paquetes pueden tomar diferentes direcciones para alcanzar su destino y llegar de forma desordenada. Por lo que es el trabajo, del protocolo empleado, la reconstrucción correcta del mensaje transmitido.

Existen diversas formas de interconectar sistemas, para que estos se puedan comunicar entre sí. Los sistemas industriales usualmente consisten de dos o más dispositivos. A medida que un sistema industrial se hace más grande, se debe considerar la topología de la red de comunicación. Las tres topologías que principalmente serán empleadas en una red industrial de comunicaciones son: la estrella, el bus y la de anillo, como se ilustra en la siguiente figura 3.2.1.1.

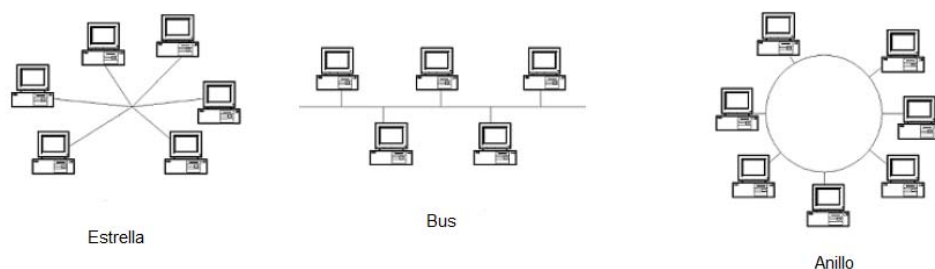


Figura 3.2.1.1 Topologías.

En la topología de estrella, todos los nodos de la red (es decir los puntos terminales, desde los cuales se origina y hacia los cuales se envía la información) están físicamente conectados a un punto o nodo central conocido como “**hub**”. El nodo central debe tener la capacidad de enviar y recibir mensajes de manera simultánea.

Las mayores desventajas que la topología en estrella puede presentar son las siguientes:

- Si el nodo central se deshabilita, el sistema completo, quedaría inoperable.
- Dependiendo de la capa física, el costo del cableado de una red en estrella tiende a ser mucho mayor que el de otras opciones.

En la topología de anillo o de lazo, los nodos se encuentran conectados uno a uno formando un lazo cerrado. El flujo de datos a menudo está configurado para ser unidireccional, por lo que cada nodo le transfiere la información al siguiente y así sucesivamente. Es importante que cada nodo del sistema tenga la capacidad de remover la información destinada para dicho nodo del anillo de comunicación para que esta no fluya de forma indefinida.

En cierto sentido esta configuración de red, tiene una similitud con la de estrella, ya que en ésta si uno de los elemento del lazo se deshabilita o descompone, la red queda totalmente inoperable.

La topología de bus, consiste de nodos interconectados a un camino de comunicación en común, esto es algo análogo a un conjunto de hojas de árbol conectadas a su rama; los nodos no se encuentran físicamente conectados dentro del camino de comunicación como ocurre en el caso de la topología de anillo. Las redes de tipo bus, pueden ser unidireccionales o bidireccionales. Los datos transmitidos sobre el bus central pueden ser vistos por todos los nodos de la red, pero sólo será recibido y copiado por el nodo al que la información ha sido direccionada.

En el caso de que un nodo de una red de comunicaciones, del tipo bus, quedara fuera de servicio por alguna descompostura o un error de control de acceso, por ejemplo el nodo destino, no toma la información que se le ha enviado del bus principal, la red podría continuar operando sin dicho elemento.

Por otra parte, como cualquiera de los dispositivos interconectados a una red podría enviar y recibir datos en cualquier momento, existe un problema potencial de control de tráfico de datos.

3.3 PROTOCOLOS INDUSTRIALES DE COMUNICACIÓN.

Los buses de campo son tecnologías y protocolos de comunicación, serie de normas que usan los equipos informáticos para gestionar sus diálogos en los intercambios de información, en automatización y control de procesos en industrias, existen dos tipos: propietarios y abiertos. Los propietarios son propiedad intelectual de una compañía en particular y restringe su uso a una sola marca de equipos. En cambio, los buses abiertos son:

- **Interconectables:** Porque dispositivos de diferentes fabricantes pueden ser conectados con seguridad al mismo bus.
- **Interoperables:** Porque pueden comunicarse exitosamente entre dispositivos de diferentes proveedores.
- **Intercambiables:** Porque los dispositivos provenientes de una marca pueden ser reemplazados con dispositivos funcionalmente equivalentes de otras marcas.

3.3.1 PROFIBUS.

El bus de campo Profibus (Process Field Bus), es un estándar de redes ampliamente aceptado de manera internacional, comúnmente encontrado en procesos de control y en maquinaria de manejo de materiales. Soporta cableado de un solo alambre de bloques de sensores multientrada, válvulas neumáticas, subredes inteligentes e interfaces de operador.

El protocolo Profibus es prácticamente de uso universal en Europa y muy popular en Norte y Sur América, así como en partes de África y Asia. Es un estándar abierto, independiente del fabricante de los equipos, que asegura la intercomunicación fácil y efectiva entre una gran variedad de dispositivos de diversos fabricantes. Ha sido estandarizado bajo el estándar alemán nacional, como DIN 19 245, partes 1 y 2, en adición, también ha sido ratificado bajo el estándar nacional europeo EN 50170, volumen 2.

El estándar Profibus fue iniciado por la BMFT (**Bundesministerium für Forschung und Technologie = Ministerio Federal Alemán de investigación y tecnología**) en cooperación con varios fabricantes de productos para la automatización en 1989. El hardware para hacer la interface de este bus es implementado por medio de circuitos integrados del tipo ASIC (application specific integrated circuit = circuito integrado de aplicación general), producidos

por múltiples fabricantes, y basados en el protocolo RS-485 tanto como en las especificaciones eléctricas europeas del EN50170. Este protocolo es respaldado por la Organización de Comercio Profibus, cuya página de internet está disponible en la siguiente dirección: www.profibus.com.

Profibus emplea conectores tipo D de 9 pines o conectores de desconexión rápida de 12 [mm]. El número de nodos con el que trabaja está limitado a 127. La distancia de transmisión máxima que soporta es de hasta 24 km (transmitiendo por medio de repetidores y fibra óptica), con velocidades variables, desde los 9600 bps hasta los 12 Mbps. La máxima longitud del mensaje puede ser de hasta 244 bytes de datos por nodo por mensaje (12 bytes de elevación, para una longitud máxima de mensaje de 256 bytes), mientras que el mecanismo de control de acceso al medio es el sondeo y la identificación (polling & token passing).

Profibus es compatible con dos tipos principales de dispositivos, denominados, maestro y esclavo:

- Los dispositivos maestros, controlan el bus o puerto y cuando ellos tienen acceso adecuado al bus, estos pueden transferir mensajes sin ninguna petición remota. A estos se les refiere como estaciones activas.
- Los dispositivos esclavos, son típicamente dispositivos periféricos, por ejemplo: actuadores, sensores. Los cuales sólo pueden reconocer mensajes de petición o, a petición de un dispositivo maestro transmitir mensajes a dicho dispositivo maestro. A estos se les refiere como estaciones pasivas.

Hay varias versiones de este estándar, concretamente, Profibus DP (maestro/esclavo), Profibus FMS (maestro múltiple/equipo a equipo o peer to peer), y Profibus PA (intrínsecamente seguro).

Profibus DP (periféricos distribuidos), permite el empleo de múltiples dispositivos maestros, en cuyo caso cada esclavo se asigna a un maestro. Esto significa que múltiples maestros pueden leer entradas desde un dispositivo pero un sólo dispositivo maestro podrá escribir las salidas a dicho dispositivo. Profibus DP está diseñado para transferir datos a alta velocidad, al nivel de sensor u actuador y está basado en la DIN 19 245 partes 1 y 2, desde 1993. Es adecuado para reemplazar el costoso alambrado de medición de señales de 24 V a 4-20 [mA]. El intercambio de datos es cíclico para Profibus, es decir, el controlador central, que actúa como maestro, lee las entradas de datos desde los esclavos y posteriormente envía la salida de datos de vuelta a dichos esclavos.

Profibus FMS (especificación de mensaje de bus de campo), es un formato de comunicación, equipo a equipo, el cuál le permite a los dispositivos maestros tener comunicación entre maestros. Se dispone de un máximo de 126 nodos de conexión, con la característica de que todos pueden ser empleados como maestros, si es deseado.

Existe el modo combinado de emplear los dos tipos de protocolo Profibus FMS y DP. Esto es más comúnmente empleado en algunas situaciones donde un PLC está siendo empleado en conjunción con una computadora, y el maestro primario se comunica con el maestro secundario vía Profibus FMS. Los mensajes del tipo Profibus DP, son enviados a través de la misma red a los dispositivos de entrada/salida.

Profibus PA (automatización de procesos), es básicamente el mismo protocolo que el Profibus DP, pero incluye una extensión de diagnóstico V1 que reduce los

niveles de voltaje y corriente, para cumplir con los requerimientos de seguridad intrínseca (clase I división II), para el proceso industrial. Muchas tarjetas maestro del tipo DP/FMS, soportan Profibus PA, pero requieren de una barrera que convierta de PA a DP.

La arquitectura de pila del protocolo Profibus, está resumida en la figura 3.3.1.1.

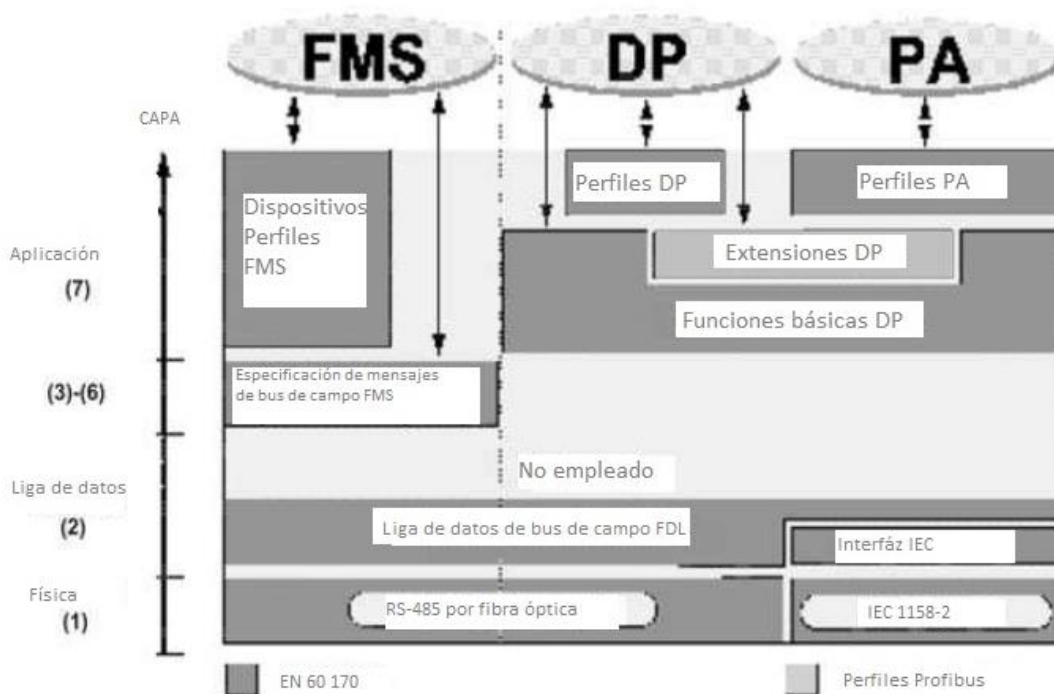


Figura 3.3.1.1 Arquitectura de pila del protocolo Profibus

Las tres variantes de Profibus, concretamente FMS, DP y PA, emplean el mismo protocolo de ligadura de datos (capa 2). Las versiones DP y PA, emplean la misma capa física de implementación (capa 1), específicamente RS-485, mientras que PA, emplea una variante de lo anterior (IEC 61158-2) en orden de acomodar los requerimientos de seguridad intrínseca.

La capa física (capa 1) del estándar Profibus DP se basa en RS-485 y tiene las siguientes características:

La topología de red es un bus lineal que finaliza en ambos lados.

El medio de transmisión es un par trenzado blindado.

3.3.2 CAN.

CAN (Controller Area Network) es un protocolo de comunicaciones basado en una arquitectura de bus para transferencia de mensajes en ambientes distribuidos. Creado por la compañía Robert Bosch en 1982 y fue originalmente concebido para aplicaciones en el área automotriz, pero rápidamente despertó una creciente atención en el área de control y automatización industrial.

El protocolo CAN está basado en el mensaje en lugar de la dirección, es decir, que es un protocolo cliente-servidor en el que los dispositivos del bus serie y los mensajes intercambiados no están referenciados explícitamente por las direcciones de los distintos nodos, es decir, todos los dispositivos pueden comunicar y recibir. Este simple concepto aporta enormes ventajas en aplicaciones de automatización puesto que un nodo puede transmitir una única información dirigida y harán uso del mensaje al mismo tiempo. Si un dispositivo del bus tiene acceso directo a un sensor específico, los demás elementos del bus podrán recibir simultáneamente el valor actualizado en el momento que transmita el mensaje.

Recíprocamente si un dispositivo del bus necesita de cierta información puede enviar la correspondiente demanda transmitiendo un mensaje de identificación y un especial de demanda de transmisión remota. Cualquier modulo del bus que posea información podrá responder a la demanda.

Entre sus fortalezas el bus CAN considera una arquitectura multi maestro capaz de proveer características de respuesta en tiempo real y tolerancia a fallas en la recepción de mensajes y mal funcionamiento de los nodos. Además, CAN está estructurado de acuerdo con el modelo OSI en una arquitectura colapsada de dos capas: Capa Física y Capa de enlace de datos.

La capa física: Es la responsable de la transferencia de bits entre los distintos nodos que componen la red. Define aspectos como, niveles de señal, codificación, sincronización y tiempos en que los bits se transfieren al bus. En la especificación original de CAN, la capa física no fue definida, permitiendo diferentes opciones para la elección del medio y niveles eléctricos de transmisión. Las características de las señales eléctricas en el bus fueron establecidas más tarde por el estándar ISO 11898.

La especificación CiA (CAN in AUTOMATION, <http://www.can-cia.de>), complementó las definiciones respecto al medio físico y conectores. Los nodos conectados al bus interpretan dos niveles lógicos denominados: Dominante: la tensión diferencial (CAN_H - CAN_L) es del orden de 2.0 V con CAN_H = 3.5V y CAN_L = 1.5V (nominales). Recesivo: la tensión diferencial (CAN_H - CAN_L) es del orden de 0V con CAN_H = CAN_L = 2.5V (nominales).

Velocidad	Tiempo de Bit	Longitud Maxima
1 Mbps	1 μ s	30 m
800 Kbps	1.25 μ s	50 m
500 Kbps	2 μ s	100 m
250 Kbps	4 μ s	250 m
125 Kbps	8 μ s	500 m
50 Kbps	20 μ s	1000 m
20 Kbps	50 μ s	2500 m
10 Kbps	100 μ s	5000 m

Tabla 3.3.2.1 Velocidad-Distancia en CAN

Componentes del CAN BUS

El can bus básicamente consta de un controlador, un transceptor, dos elementos finales del bus y dos cables para la transmisión de datos. Con excepción de los cables del bus, todos los componentes están alojados en las unidades de control.

Controlador CAN: Recibe del microprocesador, en la unidad de control, los datos que han de ser transmitidos. Los acondiciona y los pasa al transceptor CAN. Asimismo recibe los datos procedentes del transceptor CAN, los acondiciona y los pasa al microprocesador en la unidad de control.

Transceptor CAN (Transmisor-receptor): Es un transmisor y un receptor. Transforma los datos del controlador CAN en señales eléctricas y transmite éstas sobre los cables del CAN-Bus. Asimismo recibe los datos y los transforma para el controlador CAN.

Elemento final del bus de datos (terminadores) es una resistencia (generalmente de 120Ω , aunque su valor en ohms depende de la topología específica del ramal de cables). Evita que los datos transmitidos sean devueltos en forma de eco de los extremos de los cables y que se falsifiquen los datos.

Cables del bus de datos: Funcionan de forma bidireccional y sirven para la transmisión de los datos. Se denominan con las designaciones CAN-High (señales de nivel lógico alto) y CAN-Low (señales de nivel lógico bajo).

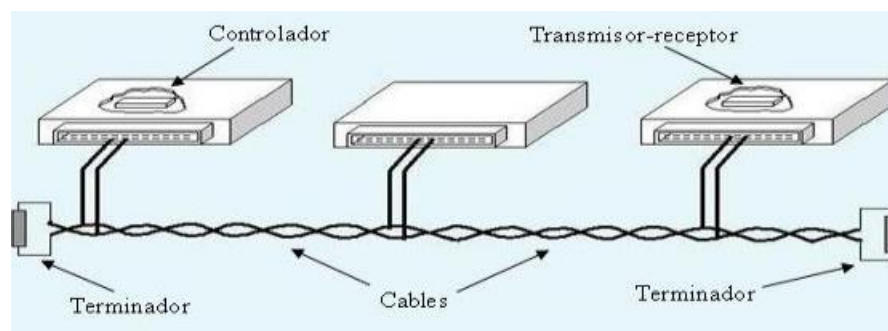


Figura3.2.2.1 componentes del CAN bus

Trama de datos CAN, la trama de datos consta de 7 campos de bits diferentes:

Start of frame (SOF): El campo de inicio de la trama está compuesto de un único bit. Se trata de un bit de sintonización dominante que indica el inicio de la transmisión. El flanco descendente de este bit es utilizado por los nodos receptores para sincronizarse entre sí.

Campo de arbitraje (Identificador + RTR): Se trata del campo de identificación que permite reconocer a los nodos la prioridad del mensaje. Cuanto más bajo sea el valor del identificador más alta es la prioridad, y por lo tanto, determina el orden en que van a ser introducidos los mensajes en la línea. Los bits de identificador se transmiten en orden de más significativo a menos significativo. Según sea el formato de la trama estándar (CAN 2.0-A) o extendido (CAN 2.0-B), este campo tendrá 11 ó 29 bits respectivamente. Dentro del mismo campo de arbitraje, hay un bit denominado RTR que indica si el mensaje contiene datos (0) o si se trata de una trama remota sin datos (1).

Campo de control (IDE+r₀+DLC): Este campo informa sobre las características del campo de datos. El bit IDE es el identificador del formato, es decir, si el bit IDE se transmite en nivel dominante, se trata del formato estándar y si es en nivel recesivo, es un formato extendido. Los cuatro bits que componen el campo DLC indican en binario el número de bytes de datos en el mensaje (de 0 a 8). En cuanto al bit r₀, es un espacio reservado para futuras ampliaciones del bus.

Campo de datos: En este campo aparece la información del mensaje con los datos que el nodo correspondiente introduce en el bus CAN. Puede contener desde 0 a 8 bytes (de 0 a 64 bits en saltos de 8).

Cyclic Redundancy Check (CRC): Este campo tiene una longitud de 16 bits y es utilizado para averiguar si se ha recibido correctamente lo que se ha transmitido. Se produce un error de CRC cuando el resultado calculado no es el mismo que la secuencia CRC recibida. Para ello se utilizan los 15 primeros bits, mientras el último siempre es un bit recesivo que delimita el campo CRC.

Campo de reconocimiento (ACK): El campo ACK es un campo de dos bits que indica si el mensaje ha sido recibido correctamente. El nodo transmisor pone este bit como recesivo y cualquier nodo que reciba el mensaje lo pone como dominante para indicar que el mensaje ha sido recibido.

End of frame (EOF): El campo fin de trama indica el final del mensaje con una cadena de 7 bits recesivos.

Campo de intermisión (IFS): Consta de un mínimo de 3 bits recesivos que indican la separación entre dos tramas CAN seguidas. Los campos realmente importantes a tener en cuenta serían el de arbitraje (identificador más RTR), el de control (IDE más DLC) y el de datos. Los campos CRC, ACK e IFS se detallarán más a fondo en los siguientes apartados.



Figura 3.2.2.2 Trama de Datos de CAN

Existen dos implementaciones hardware básicas, aunque la comunicación en ambas es idéntica y son compatibles entre sí. Esto permite administrar el uso del bus en función de las necesidades de cada nodo.

Basic CAN: Hay un vínculo muy fuerte entre el controlador CAN y el micro controlador asociado. El microcontrolador será interrumpido para tratar con cada uno de los mensajes del CAN. Cada nodo transmitirá tan sólo cuando se produzca un evento en alguna de las señales que le conciernen. Este modo de funcionamiento es adecuado para aquellos nodos encargados de manejar informaciones esporádicas, disminuyendo la ocupación del bus.

Full CAN: Contiene dispositivos hardware adicionales que proporcionan un servidor que automáticamente recibe y transmite los mensajes CAN, sin necesidad de interrumpir al microcontrolador asociado, reduciéndose la carga del mismo. Está orientado a nodos encargados del manejo de señales con un alto nivel de exigencia en cuanto a frecuencia de actualización y/o seguridad.

3.3.3 MODBUS.

El protocolo MODBUS fue desarrollado por Modicon a finales de los años 80's. Este protocolo fue usado como un servidor de comunicaciones cliente maestro-esclavo entre diferentes dispositivos como son los PLC.

El protocolo MODBUS es un bus de campo que se puede definir como el medio de comunicación entre diferentes equipos de un sistema de automatización, este puede ser, desde un sensor o un actuador, hasta una computadora o un autómeta programable. Ver Figura 3.3.3.1 donde se muestra gráficamente.

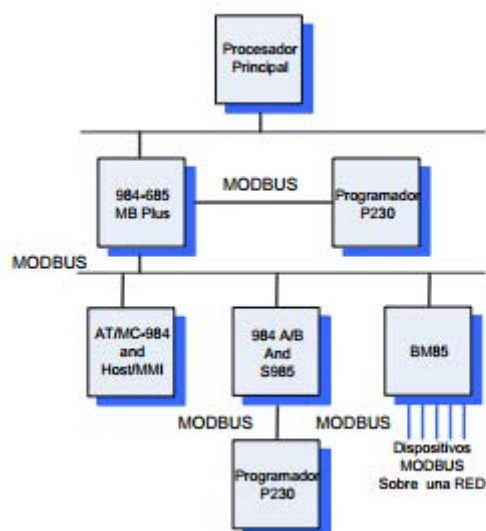


Figura 3.3.3.1: Aplicación general del protocolo MODBUS.

El MODBUS define una estructura de mensaje que los controladores reconocerán y usarán, independientemente del tipo de redes sobre la que se comunican. Proporciona el estándar interno que los controladores usan para el análisis de los mensajes. Durante la comunicación sobre una red MODBUS, el protocolo determina cómo cada controlador conocerá su dirección de dispositivo, reconocerá un mensaje direccionado a él, determinará el tipo de acción a tomar y extraerá cualquier dato u otra información contenida en el mensaje.

Los puertos estándar MODBUS utilizan una interfaz serie compatible RS-232C. Los controladores se comunican usando una técnica maestro - esclavo, en la cual sólo un dispositivo, el maestro, puede iniciar transacciones (llamadas "peticiones"). Los otros dispositivos, los esclavos, responden suministrando al maestro el dato solicitado, o realizando la acción solicitada en la petición, ver Figura 3.3.3.2



Figura 3.3.3.2: Dinámica petición- respuesta.

A continuación se describen las operaciones de “petición-respuesta” en la transmisión de información sobre redes MODBUS.

La petición: El código de función en la petición indica al dispositivo esclavo el tipo de acción a realizar. Los bytes de datos contienen cualquier información adicional que el esclavo necesitará para llevar a cabo la función. Por ejemplo el pedir al esclavo que lea registros y responda con sus contenidos. El campo de datos debe contener la información que indique al esclavo en qué registro debe comenzar y cuántos han de leer. El campo de comprobación de error proporciona un método para que el esclavo valide la integridad del contenido del mensaje recibido.

La respuesta: Si el esclavo elabora una respuesta normal, el código de función contenido en la respuesta es una réplica del código de función enviado en la petición. Los bytes de datos contienen los datos recolectados por el esclavo, tales como valores de registros o estados. Si ocurre un error, el código de función contenido en la respuesta es diferente al código de función enviado en la petición, para indicar que la respuesta es una respuesta de error y los bytes de datos contienen un código que describe el error. El campo de comprobación de error

permite al maestro confirmar que los contenidos del mensaje son válidos. El protocolo MODBUS establece el formato para la petición del maestro, colocando en ella la dirección del dispositivo esclavo, un código de función que define la acción solicitada, cualquier dato que haya de enviarse y un campo de comprobación de error. El mensaje de respuesta del esclavo está también definido por el protocolo MODBUS. Contiene campos confirmando la acción tomada, cualquier dato que deba devolverse y un campo de comprobación de error. Si el mensaje que se recibe por el esclavo es defectuoso o el esclavo es incapaz de realizar la acción solicitada, construirá un mensaje de error y lo enviará como respuesta.

Modos de transmisión serie.

Los controladores pueden ser configurados para comunicarse sobre redes estándar MODBUS utilizando cualquiera de los dos modos de transmisión: ASCII o RTU. El usuario selecciona el modo deseado, junto con los parámetros de comunicación del puerto serie (velocidad, paridad, etc.), durante la configuración de cada controlador. El modo y los parámetros serie deben ser los mismos para todos los dispositivos conectados a una red.

La selección del modo ASCII o RTU tiene que ver únicamente con redes MODBUS estándar. Se definen los bits contenidos en los campos del mensaje transmitido en forma serie en esas redes. Se determina cómo debe ser empaquetada y decodificada la información en los campos del mensaje.

Modo ASCII.

Cuando los controladores se configuran para comunicarse en una red MODBUS según el modo ASCII (**American Standard Code for Information Interchange, Código estándar americano para el intercambio de la información**), cada byte (8 bits) en un mensaje se envía como dos caracteres ASCII. La principal

ventaja de este modo es que permite intervalos de tiempo de hasta un segundo entre caracteres sin dar lugar a error.

El formato para cada byte en modo ASCII es:

Sistema de codificación: Hexadecimal, caracteres ASCII 0-9, A-F. Un carácter hexadecimal contenido en cada carácter ASCII del mensaje.

Bits por byte: 1 bit de arranque. 7 bits de datos, el menos significativo se envía primero. 1 bit para paridad par o impar; ningún bit para no paridad. 1 bit de paro si se usa paridad; 2 bits si no se usa paridad.

Campo de comprobación de error: Comprobación Redundante Longitudinal (siglas en ingles *LRC*).

Modo RTU.

Cuando los controladores son configurados para comunicarse en una red MODBUS usando el modo RTU (**Remote Terminal Unit, unidad terminal remota**), cada byte de 8 bits en un mensaje contiene dos dígitos hexadecimales de 4 bits. La principal ventaja de este modo es que su mayor densidad de caracteres permite mejor rendimiento que el modo ASCII para la misma velocidad. Cada mensaje debe ser transmitido en un flujo continuo.

Sistema de codificación: Binario 8-bits, hexadecimal 0-9, A-F. Dos dígitos hexadecimales contenidos en cada campo de 8 bits del mensaje.

Bits por byte: 1 bit de arranque. 8 bits de datos, el menos significativo se envía primero. 1 bit para paridad par o impar; ningún bit para no paridad. 1 bit de paro si se usa paridad; 2 bits si no se usa paridad.

Campo de comprobación de error: Comprobación Redundante Cíclica (siglas en inglés *CRC*).

Campos de trama del mensaje MODBUS.

En cualquiera de los modos de transmisión serie (ASCII o RTU), un mensaje MODBUS es situado por el dispositivo que transmite. Esto permite a los dispositivos receptores comenzar en el arranque del mensaje, leer la parte de la dirección y determinar que dispositivo es direccionado (o todos los dispositivos si es una difusión `dirección = 0') y conocer cuando se ha completado el mensaje.

El protocolo define una unidad de datos de protocolo simple (**PDU, protocol data unit**) independiente debajo de la línea de comunicación [MODBUS IDA, 2004]. Básicamente el marco general de envío de datos se muestra en la figura siguiente:

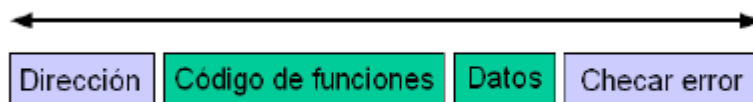


Figura 3.3.3.3. Mensaje general MODBUS.

Introducción al protocolo.

El campo de código de funciones es un código de un byte, su rango es de 1 a 255 decimales. Cuando un mensaje es enviado desde un maestro a un dispositivo esclavo (computadora-columna), el código llama al esclavo a que inicie la acción solicitada.

El campo de datos del mensaje enviado desde un maestro a un dispositivo esclavo contiene información adicional que el esclavo utiliza para tomar la acción

definida por el código de funciones. Este puede incluir campos discretos y dirección de registros. Si no existe un error relacionado a las funciones MODBUS requeridas, el esclavo responderá con los datos solicitados por el maestro. Si existe un error, el mensaje contiene un código de excepción o chequeo de error, que la aplicación de error puede determinar para que en la siguiente acción pueda ser tomada en cuenta.

Campo de direcciones.

El campo dirección de un mensaje contiene dos caracteres (ASCII) u ocho bits (RTU).

Las direcciones de esclavo validas están en el rango de 0 a 247 decimales. Los dispositivos esclavos individuales tienen direcciones asignadas en el rango 1 a 247. Un maestro direcciona un esclavo situando la dirección del esclavo en el campo de dirección del mensaje. Cuando un esclavo envía su respuesta, sitúa su propia dirección en el campo dirección de la respuesta, para dar a conocer al maestro que esclavo está respondiendo.

Campo de funciones.

El campo código de función de un mensaje, contiene dos caracteres (ASCII) u ocho bits (RTU). Los códigos válidos están en el rango de 1 a 255 decimales. Cuando un mensaje es enviado desde un maestro a un dispositivo esclavo, el campo del código de función indica al esclavo que tipo de acción ha de ejecutar. Por ejemplo: leer los estados on/off de un grupo de bobinas o entradas discretas; leer el contenido de datos de un grupo de registros; leer el estado de diagnóstico de un esclavo; escribir en determinadas bobinas o registros o permitir cargar, salvar o verificar el programa dentro del esclavo.

En MODBUS el término bobina se refiere a dispositivos que sólo tienen dos estados: abierto y cerrado.

Cuando el esclavo responde al maestro, utiliza el campo del código de función para indicar bien una respuesta normal (libre de error) o que algún tipo de error ha tenido lugar (denominado respuesta de excepción). Para una respuesta normal, el esclavo simplemente replica el código de función original. Para una respuesta de excepción, el esclavo devuelve un código que es equivalente al código de función original con su bit más significativo puesto a valor 1. Por ejemplo, para leer un grupo de registros almacenados en un mensaje, desde un maestro a un esclavo, tendría el siguiente código de función: 0000 0011 (Hexadecimal 03). Si el dispositivo esclavo ejecuta la acción solicitada, sin error, devuelve el mismo código en su respuesta. Si ocurre una excepción devuelve: 1000 0011 (Hexadecimal 83). Además de la modificación del código de función para una respuesta de excepción, el esclavo sitúa un único código en el campo de datos del mensaje respuesta. Esto indica al maestro qué tipo de error ha tenido lugar, o la razón para la excepción.

Campo de datos.

El campo datos, se construye utilizando conjuntos de dos dígitos hexadecimales, en el rango de 00 a FF hexadecimal. Pueden formarse a partir de un par de caracteres ASCII o desde un carácter RTU, de acuerdo al modo de transmisión serie de la red.

El campo datos de los mensajes enviados desde un maestro a un esclavo, contiene información adicional que el esclavo debe usar para tomar la acción definida por el código de función. Esto puede incluir partes como direcciones discretas y de registros, la cantidad de partes que han de ser manipuladas y el cómputo de bytes de datos contenidos en el campo.

Por ejemplo, si el maestro solicita a un esclavo leer un grupo de registros almacenados (código de función 03), el campo de datos especifica el registro de comienzo y cuántos registros han de ser leídos. Si el maestro escribe sobre un grupo de registros en el esclavo (código de función 10 hexadecimal), el campo de datos especifica el registro de comienzo.

3.3.4 ETHERNET.

Ethernet es una topología de red, normalmente usada en redes de área local, con topología en bus, ampliamente extendida, que se rige por el estándar IEEE 802.3. El protocolo de acceso al medio es el **CSMA/CD** o por su traducción, acceso múltiple con escucha del medio de transmisión y detección de colisiones, y tiene una velocidad de 10 Mbit/s.

Ethernet se utiliza para construir desde la red más pequeña, hasta la más grande y desde la más sencilla hasta la más compleja, conecta a computadoras de escritorio, los puntos de acceso inalámbricos que soportan teléfonos inteligentes, computadoras portátiles, tabletas, así como también servidores.

En 1973, Bob Metcalfe trabajó en el centro de investigación de Xerox en Palo Alto, California y diseñó el sistema de red para la interconexión de estaciones de trabajo avanzadas llamadas Xerox Alto, lo que permitía el envío de datos entre las impresoras láser. La Xerox Alto fue la primer interfaz de usuario gráfica para estaciones de trabajo de computadora personal y apuntando con ratón. Con la creación de Ethernet, se inicia con la primera tecnología de alta velocidad red de área local (LAN) para vincular todo en conjunto.

Una de los principales impulsores de este cambio revolucionario fue el uso de las redes LAN Ethernet para permitir la comunicación entre ordenadores. En combinación con el desarrollo de Internet y la Web, este nuevo modelo de

interacción entre computadoras trajo un nuevo mundo de la tecnología de las comunicaciones a la existencia.

Ethernet es un sistema de red inspirado en un experimento anterior de red llamado la red Aloha, desarrollada en la Universidad de Hawái en la década de 1960, cuando Norman Abramson y sus colegas crean una red de radio para la comunicación entre las islas de Hawái. Este sistema fue un experimento temprano en el desarrollo de mecanismos para el intercambio de un canal. El protocolo Aloha era muy simple: una estación de Aloha podía enviar cada vez que se requiriera, y luego esperar una confirmación. Si no había reconocimiento recibido dentro de un corto período de tiempo, la estación asumía que otra estación había transmitido simultáneamente, provocando una colisión, ocasionándose con esto, transmisiones confusas, de manera que la estación receptora no “escucho” al transmisor, y no regresaba un reconocimiento. Al detectar una colisión, ambas estaciones elegirían un tiempo de espera aleatorio, y retransmitían sus paquetes, ahora existía una buena probabilidad de éxito. Sin embargo, como el tráfico aumentó, la tasa de colisiones aumentó también.

El funcionamiento del protocolo CSMA/CD puede ser denominada de acceso aleatorio o de contención. De acceso aleatorio, en referencia de que no existe un tiempo determinado o predecible para que las estaciones transmitan, y de contención debido a que compiten para conseguir el acceso al medio.

En 1980, Xerox, Intel Corporation y Digital Equipment Corporation en manera conjunta publican una especificación para la red local Ethernet, la cual más adelante es introducida en los estudios de los comités IEEE 802, y con pocas modificaciones, es publicada como el estándar IEEE 802.3.

CSMA/CD Ethernet tiene una organización en base a la idea de protocolos por capas. El nivel de usuario es atendido por dos capas CSMA/CD, las cuales son

la de enlace y la física. Dando la lógica que manda la red el nivel de enlace, siendo independiente del medio, por lo que no afecta el que la red sea de banda estrecha o ancha. El estándar 802 contempla las opciones para ambas modalidades.

El nivel de enlace incluye una entidad que es la encargada de encapsular y desencapsular los datos, y otra encargada de controlar el acceso al medio, ya sea para transmitir como para recibir.

Encapsulado/desencapsulado: Provee las direcciones de la fuente y del receptor, calcula en el nodo emisor, un campo para la detección de errores y emplea este mismo campo en el nodo del receptor para indicar si ha ocurrido un error.

Control de acceso al medio: Se encarga de transmitir la trama al nivel físico y la extrae también del mismo nivel, almacena la trama en un buffer o memoria intermedia, intenta evitar y controlar las colisiones.

El nivel físico depende del medio, este es el encargado, entre otras cosas, de ingresar las señales eléctricas en el canal, darles el sincronismo requerido y de codificar y decodificar los datos. Está formado por dos entidades principales: codificación/decodificación de los datos y el de acceso al canal en recepción y en transmisión.

Codificación/decodificación de datos: Genera las señales necesarias para la sincronización de las estaciones del canal (a esta señal se le conoce como preámbulo). También codifica datos binarios con un código de autosincronización en el nodo emisor y vuelve a convertir el código en datos binarios en el receptor.

Acceso al canal: detecta las colisiones en el canal en el lado emisor, indica que el canal se encuentra ocupado, detectando la presencia de una portadora tanto

en el lado emisor como en el receptor, e introduce la señal física dentro del canal en el lado emisor, y la toma en la parte receptora de la interfaz.

En cada estación de una red CSMA/CD, hay una parte emisora y otra parte receptora, para poder así manejar el tráfico de datos entrantes como salientes. El lado emisor es requerido cuando el usuario desea enviar datos a otro equipo de la red, y el receptor se llama cuando el cable transporta señales dirigidas a las estaciones de la red.

La parte de encapsulado de tramas es la que recibe los datos del usuario y construye una trama MAC (**Media Access Control**, o por su traducción control de acceso al medio), también le añade un campo de comprobación de secuencia y la envía a la parte de gestión del acceso al medio, que si el canal no esta libre, la almacena en memoria intermedia. El canal es considerado libre cuando la entidad de acceso al medio en emisión, advierte la desactivación de la señal piloto de detección de portadora. Pasado un pequeño retardo, la entidad de gestión de acceso al medio entrega la trama al nivel físico.

En el nivel físico del nodo emisor, la parte de codificación de datos transmite la señal de sincronización, codifica también los datos binarios mediante un código Manchester con autosincronización. Seguido a esto la señal se entrega a la entidad de acceso al medio de acceso en transmisión, que se encarga de introducirla en el canal.

La trama CSMA/CD llega a todas la estaciones que se encuentren conectadas al canal. La señal se propaga desde el nodo originario en ambas direcciones hacia el resto de los nodos. Una estación receptora detecta la señal de preámbulo, se sincroniza con la señal y activa la señal que da la dirección de una portadora. Seguido, la entidad de acceso al medio en recepción, entrega la señal al

decodificador de datos, que convierte los datos de formato Manchester al formato de cadena binaria convencional, y entrega la trama al gestor de acceso al medio.

En la parte emisora, el gestor de acceso al medio en recepción guarda la trama en un buffer hasta que la parte de acceso al canal en recepción indique que se ha desactivado la señal de detección de portadora, lo que indica que han llegado todos los bits. A continuación, la entidad de gestión del acceso al medio entrega los datos a un nivel superior para llevar a cabo su desencapsulado, durante este último proceso, se comprueban errores sobre los datos, para determinar si se produjo alguno durante la transmisión, de lo contrario se comprueba el campo de dirección para saber si esa trama está destinada a ese nodo. En caso afirmativo, se entrega al nivel de usuario, en conjunto con la dirección de destino, la fuente y la unidad de datos.

Colisiones: En CSMA/CD, al ser una estructura de red de igual a igual, todas las estaciones luchan por el uso del canal cuando tienen datos que enviar. Lo que puede provocar que las señales de algunas estaciones sean introducidas en cable casi a la vez. Si esto sucede, las señales colisionarán y se distorsionarán mutuamente, lo que hará que las estaciones no podrán recibirlas correctamente.

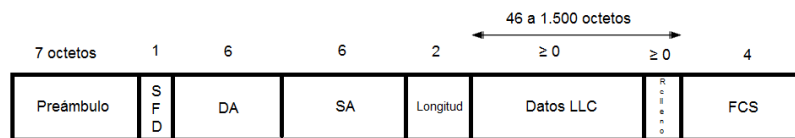
La ventana de colisión es un aspecto importante de las colisiones. Este se refiere a la cantidad de tiempo que requiere una señal para propagarse por el canal hasta ser detectada por todas y cada una de las estaciones de la red.

En una red en banda base, el tiempo necesario para la detección de una colisión, es el doble del retardo de propagación, ya que la señal colisionada puede reflejarse hacia atrás y retornar a la estación emisora. En una red en banda ancha con dos cables, uno que sirve para enviar y el otro para recibir, el tiempo necesario para detectar las colisiones, en el peor de los casos, es de cuatro veces mayor que el retardo de propagación.

No son deseables las colisiones, ya que producen errores en la red. Estas duran más tiempo en el canal si las tramas transmitidas son largas. CSMA/CD enfrenta este problema en el nivel de gestión de acceso al medio en transmisión, al interrumpir la transmisión de la trama justo en el momento de la detección de una colisión.

En la mayor parte de los sistemas CSMA/CD, incluyendo a las normalizaciones IEEE, aplica una regla importante, se trata de que la trama debe ser lo suficientemente larga como para permitir la detección de la colisión antes de que finalice la transmisión. En caso de usarse tramas más cortas, no se produce la detección de la colisión.

La Figura 3.3.4.1 muestra el formato de la trama del protocolo 802.3, que está compuesta por los siguientes campos:



SFD = Delimitación de comienzo de trama.
DA = Dirección de destino.
SA = Dirección de origen.
FCS = Secuencia de comprobación de trama.

Figura 3.3.4.1 Formato de la trama IEEE 802.3.

- **Preámbulo:** El receptor usa un byte patrón de 7 bits ceros y unos alternados para establecer la sincronización entre la estación emisora y receptora.
- **Delimitador del comienzo de la trama (start frame delimiter, SFD):** Consiste en la secuencia de bits 10101011, e indica el comienzo real de la trama y posibilita al receptor localizar el primer bit del resto de la trama.

- **Dirección de destino (destination address, DA):** Indica la estación o las estaciones a las que va dirigida la trama.
- **Dirección de origen (source address, SA):** Indica la estación que envió la trama.
- **Longitud/tipo:** Contiene la longitud del campo de datos expresado en bytes, o el campo tipo Ethernet, dependiendo de que la trama siga la norma IEEE 802.3 o la especificación primitiva de Ethernet, cualquiera de los casos el tamaño máximo de la trama sin considerar el preámbulo y el SFD, es de 1.518 bytes.
- **Datos LLC:** Unidad de datos proporcionada por el LLC (**logic link control, control de enlace lógico**).
- **Relleno:** Bytes añadidos para asegurar que la trama sea lo suficientemente larga para asegurar que la técnica de detección de colisiones funcione correctamente.
- **Secuencia de comprobación de trama (frame check sequence, FCS):** Comprobación redundante cíclica de 32 bits, calculada considerando todos los campos excepto el de preámbulo, el SFD y el FCS.

3.3.4.1 MODELO OSI.

El modelo de OSI (**Open System Interconnection**) o por su traducción interconexión de sistemas abiertos, fue desarrollado por la organización internacional de estandarización ISO, como una arquitectura para comunicaciones entre computadoras, con el objetivo de ser la referencia que permitiese diseñar, ejecutar y mantener protocolos de comunicaciones de datos. La UIT (**Unión Internacional de Telecomunicaciones**) y la ISO publicaron numerosos protocolos que siguieron las reglas del modelo OSI.

El modelo se comprende en siete capas. Cada una de estas capas se comunica únicamente con la capa inmediatamente superior o inferior dentro del mismo equipo. Estas comunicaciones se logran mediante las llamadas de funciones o de biblioteca de software. El único propósito de las comunicaciones en capas es que uno de los equipos de los extremos transmita datos a un equipo en el otro extremo. El transporte de estos datos se realiza en forma de paquetes.

En la Figura 3.3.4.2, se ilustran las flechas de trazo continuo correspondientes a los datos junto con la información de control de cada una de las capas, se traspasa físicamente entre una y otra capa en sentido vertical. Mientras que las flechas de trazo discontinuo muestran como los datos y las cabeceras se intercambian de forma lógica a través de las capas parejas, en sentido horizontal. Mientras que las líneas punteadas muestran los datos tal y como se transmiten a través de los enlaces de comunicaciones.

El objetivo principal del proceso vertical es de ejecutar el proceso horizontal. La transmisión que se da a lo largo del enlace o enlaces de comunicaciones, se produce únicamente en la capa 1, indicada mediante el uso de líneas punteadas.

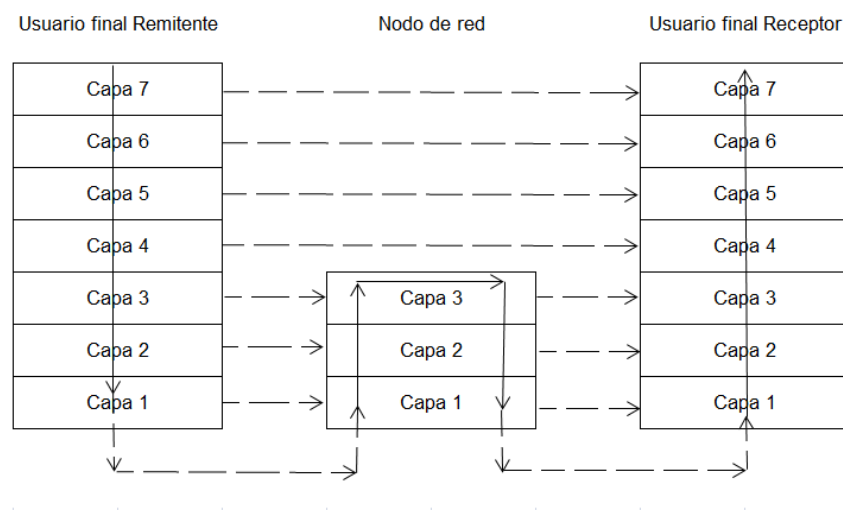


Figura 3.3.4.2. Modelo OSI. Transportación de datos a través de la red.

Como se ilustra en la parte central de la Figura 3.3.4.2. no es necesario que todas las capas se ejecuten en todos los equipos de la red, para la transmisión de paquetes a través de una red entre dos equipos situados en los extremos de la misma, únicamente son requeridas de la capa 1 a la capa 3, sin preocupar las actividades de las capas 4 a la 7.

Cada una de las capas tiene sus funciones, mencionadas a continuación:

Capa 1 (física): Esta capa guarda la relación con los aspectos físicos de la operación, como lo son las señales eléctricas, electromagnéticas y ópticas.

Capa 2 (enlace de datos): Esta capa establece el conjunto de reglas para el transporte del tráfico sobre un enlace de un nodo a otro. Esta capa no es consciente de las condiciones existentes más allá de este enlace. Se encarga de encontrar una vía para que los componentes de la capa 3 se comuniquen de manera transparente con los componentes de la capa 1. La capa 2 es capaz de colocar los paquetes dentro de tramas que son utilizados por los dispositivos de hardware, para el envío y recepción del tráfico por debajo de la capa 3.

Capa 3 (de red): Esta capa es la que se encarga de proporcionar los servicios de dirección y enrutamiento. Cuando una computadora envía datos, utiliza direcciones, y para poder llevar a cabo este envío la capa 3 coloca dos direcciones en el paquete, su propia dirección o la dirección de origen y la dirección del destinatario del paquete o la dirección de destino.

Capa 4 (de transporte): Esta capa es la encargada de asegurarse de que el envío de datos llegue de forma segura a su destinatario. Si un paquete no llegase al usuario final, esta capa vuelve a enviarlo, sirve para la recuperación de cualquier error que se haya producido en las capas 1 a la

3. Si se llega a perder el tráfico por un fallo temporal, la capa 4 del equipo remitente debe contener una copia de todos y cada uno de los paquetes que se envíen y solo se puede descartar este paquete cuando se haya recibido confirmación del equipo receptor. Y en el caso de que el equipo receptor reciba paquetes duplicados, se utilizarán los números de secuencia de cada paquete para poder descartar los datos redundantes.

Capa 5 (de sesión): Es la capa encargada de gestionar los diálogos entre sistemas, administrando las comunicaciones en ambos sentidos o en un solo sentido. La capa 5 permite a los usuarios enviar y recibir mensajes de forma simultánea.

Capa 6 (de presentación): Esta capa es la encargada de establecer la sintaxis de los datos, guarda relación con la forma en la que los diferentes sistemas representan la información. Puede realizar conversiones de códigos.

Capa 7 (de aplicación): En esta capa se contiene las aplicaciones utilizadas por los usuarios, proporcionándoles el acceso al entorno OSI.

En la Figura 3.3.4.3 se muestra el resumen del modelo OSI.

Aplicación
Proporciona el acceso al entorno OSI para los usuarios así como también brinda servicios de información distribuida.
Presentación
Proporciona independencia a los procesos de aplicación, respecto a las diferencias en la representación de los datos.
Sesión
Establece, gestiona y cierra las conexiones entre las aplicaciones, controla la comunicación entre las aplicaciones.
Transporte
Proporciona seguridad, transferencia transparente de datos entre los puntos finales.
Red
Proporciona independencia a los niveles superiores respecto a las técnicas de conmutación y transmisión que conectan los sistemas.
Enlace de datos
Brinda un servicio de transferencia de datos seguro a través del enlace físico.
Física
Realiza la transmisión de cadenas de bits no estructurados sobre el medio físico se relaciona con las características mecánicas, eléctricas, funcionales para acceder al medio físico.

Figura 3.3.4.3 Capas del modelo OSI.

3.4 SISTEMA SCADA.

Los sistemas SCADA (**Supervisory Control And Data Acquisition, Adquisición de Datos y Supervisión de Control por sus siglas en inglés**), permiten la gestión y control de cualquier sistema local o remoto gracias a una interface gráfica que comunica al usuario con el sistema.

En la era moderna, las necesidades de ver en la distancia y controlar una máquina aparecen en los primeros cuadros de control, donde multitud de luces indicaban las diferentes situaciones previstas de la máquina.

La aparición de la informática permitió realizar este tipo de control de manera más sencilla. En la actualidad no es necesario tener verdaderos expertos en sistemas de automatización cada vez que hiciera falta cambiar el ajuste de un temporizador en un sistema de control. Los grandes cuadros de control

comenzaron a convertirse en monitores que podían mostrar la misma información en menor espacio.

Vista la necesidad, varios fabricantes desarrollan paquetes de software capaces de comunicarse con los sistemas de control existentes y permitieron así una flexibilidad de uso no imaginada hasta el momento. Esta tendencia ha ido aumentando, de tal manera que hoy día las opciones existentes son amplias.

Con la irrupción de Internet en el mundo de las comunicaciones industriales, ahora es posible conectarse con un sistema de control situado en cualquier lugar del mundo gracias a la tecnología web-server: un ordenador dotado de un explorador y la dirección IP del sistema que queremos visualizar serán suficientes.

Con el control a distancia, aparece el concepto de telemetría, entendido como la transmisión a distancia de información sobre algún tipo de magnitud. Si además la presentación de los datos se realiza de forma comprensible, ya nos proporciona la base para el desarrollo de un sistema de control y monitorización a distancia.

La topología de un sistema SCADA variará adecuándose a las características de cada aplicación. Unos sistemas funcionaran bien en configuraciones de bus, otros en configuraciones de anillo. Unos necesitarán equipos redundantes debido a las características del proceso. Los sistemas SCADA se conciben principalmente como una herramienta de supervisión y mando. Entre sus características están:

Economía: Es menos costoso ver que ocurre en la instalación desde la oficina que enviar a un operario a realizar la tarea.

Accesibilidad: Será posible modificar los parámetros de funcionamiento de la máquina monitoreada, poniendo fuera de servicio las que den indicios de anomalías, consultar el estado de funcionamiento y detener las que no sean necesarias.

Mantenimiento: La misma aplicación se puede programar de manera que avise cuando se aproximen las fechas de revisión o cuando una máquina tenga más fallos de los considerados normales. La adquisición de datos materializa la posibilidad de obtener información de un proceso, almacenarla y presentarla de manera comprensible para un usuario no especializado.

Ergonomía: Es la ciencia que procura hacer que la relación entre el usuario y el proceso sea lo más amigable y entendible posible.

Gestión: Todos los datos recopilados pueden ser valorados de múltiples maneras mediante herramientas, estadísticas, gráficas, valores tabulados, que permitan explorar el sistema con el mejor rendimiento posible.

Flexibilidad: Cualquier modificación de alguna de las características del sistema de visualización no significa un gasto en tiempo y medios, pues no hay modificaciones físicas que requieran instalación.

Conectividad: Se buscan sistemas abiertos, sin secretos ni sorpresas para el integrador. La documentación de los protocolos de comunicación actuales permite la interconexión de sistemas de diferentes proveedores y evita la existencia de lagunas informativas que puedan causar fallos en el funcionamiento o en la seguridad.

El paquete SCADA, en su vertiente de herramienta de interface hombre-máquina (**Human Machine Interface, HMI**), comprende toda una serie de funciones y

utilidades encaminadas a establecer una comunicación lo más clara posible entre el proceso y el operador. Entre las prestaciones de una herramienta de este tipo destacan:

- **La monitorización:** Representación de datos en tiempo real a los operadores de planta.
- **La supervisión:** Supervisión, mando y adquisición de datos de un proceso y herramienta de gestión para la toma de decisiones. Tienen además la capacidad de ejecutar programas que puedan supervisar y modificar el control establecido y, bajo ciertas condiciones, anular o modificar tareas asociadas a los autómatas. Evita una continua supervisión humana.
- **La adquisición de datos de los procesos en observación:** En un sistema se pueden observar los datos, guardando los valores obtenidos y evaluándolos a posterioridad.
- **La visualización de los estados de las señales del sistema:** Reconocimiento de eventos excepcionales sucedidos en la planta y su inmediata puesta en conocimiento a los operarios para efectuar las acciones correctivas pertinentes. Además, los paneles de alarma pueden exigir alguna acción de reconocimiento por parte del operario, de forma que queden registradas las incidencias.
- **El mando:** Posibilidad de que los operadores puedan cambiar consignas u otros datos claves del proceso directamente desde la computadora.
- **Grabación de acciones o recetas:** En algunos procesos se utilizan combinaciones de variables que siempre son las mismas. Un sistema de recetas permite configurar toda una planta de producción ejecutando un solo comando.

- **Garantizar la seguridad de los datos:** Tanto el envío como la recepción de datos debe estar suficientemente protegidos de influencias no deseadas, intencionadas o no.
- **Garantizar la seguridad en los accesos:** Restringiendo zonas de programa comprometidas a usuarios no autorizados, registrando todos los accesos y acciones llevadas a cabo por cualquier operador.
- **Posibilidad de programación numérica:** Permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre la CPU de la computadora.

Cuando hablamos de un sistema SCADA, tras las pantallas que nos informan de cómo van las cosas en nuestra instalación, se encuentran multitud de elementos de regulación y control, sistemas de comunicaciones y múltiples utilidades de software que pretenden que el sistema funcione de forma eficiente y segura.

3.4.1 VENTAJAS DEL SISTEMA SCADA.

Las ventajas más evidentes de los sistemas de control automatizado y supervisado podemos mencionar:

- El actual nivel de desarrollo de los paquetes de visualización permite la creación de aplicaciones funcionales sin necesidad de ser un experto en la materia.
- Un sistema PLC está concebido para trabajar en condiciones adversas, proporcionando robustez y fiabilidad al sistema que controla.
- La modularidad de los autómatas permite adaptarlos a las necesidades actuales y ampliarlos posteriormente si es necesario.
- Cualquier tipo de sensores y actuadores pueden integrarse en un programa de PLC mediante las múltiples tarjetas de adquisición disponibles.

- Gracias a las herramientas de diagnóstico, se consigue una localización más rápida de errores. Esto permite minimizar los periodos de paro en las instalaciones y repercute en la reducción de costos de mantenimiento.
- Un sistema de control remoto RTU puede definirse de manera que pueda funcionar de forma automática, aun sin comunicaciones con la estación maestra.
- El concepto de telemantenimiento permite realizar modificaciones de software en las estaciones remotas desde el centro de control.
- Los programas de control pueden documentarse convenientemente de manera que puedan ser fácilmente interpretados por los técnicos de mantenimiento.
- Los sistemas de diagnóstico implementados en los elementos de control informan continuamente de cualquier incidencia en los equipos.
- Los programas de visualización pueden presentar todo tipo de ayuda al usuario, desde la aparición de una alarma hasta la localización de la causa implicada en la misma. Esto permite reducir los tiempos de localización de averías al proporcionarse información sobre el origen y las causas de los fallos.
- Generación y distribución automática de documentación, el sistema de visualización puede recoger los datos del autómatas y presentarlos en formatos fácilmente exportables a otras aplicaciones de uso común.
- Haciendo uso de las tecnologías de comunicación celular, los sistemas de control pueden mantener informados sobre cualquier incidencia a los operadores responsables de los mismos mediante mensajes de voz o de correo electrónico.
- La integración de sistemas es rápida gracias a los sistemas de comunicación estandarizados.

- La tecnología Web permite el acceso desde cualquier punto geográfico a nuestro sistema de control.
- Los protocolos de seguridad permiten una gestión segura y eficiente de los datos, limitando el acceso a personas no autorizadas.
- Aumento de calidad del producto mediante las herramientas de diagnóstico. El operador es notificado en el momento en que se presenta una incidencia.
- La reducción de personal permite menor número de equipos de mantenimiento, más reducidos y mejor coordinados gracias a la información proveniente de las estaciones remotas, evaluada en el centro de control.
- Posibilidad de mantenimiento por parte de proveedores locales de servicios.
- El nivel de descentralización va en aumento, apostando por la modularidad. Esto permite una mayor disponibilidad, pues las funciones de control se pueden repartir y/o duplicar.
- La distribución de recursos y control sobre la red permite una mejor coordinación entre las estaciones remotas en caso de falla en una de ellas.

3.4.2 CRITERIOS DE DISEÑO.

Disponibilidad: Los componentes individuales del sistema SCADA contribuyen a la fiabilidad general del sistema. La estación maestra es una parte estratégica de todo el sistema SCADA, es importante que la fiabilidad y disponibilidad del sistema se consideren cuidadosamente. La pérdida de una RTU sola, debe permitir que el sistema siga funcionando correctamente.

Robustez: Ante un fallo de diseño, un accidente o una intrusión, un sistema eficiente debe de poder mantener un nivel de operatividad suficiente para

mantener unos mínimos de servicio. Es lo que llamaríamos el plan de contingencia. Si una parte de un sistema queda aislada, accidentalmente o no, la parte aislada debe tener la suficiente capacidad de autogestión como para poder mantener un mínimo de control sobre su área de influencia. En el caso de ocurrir el fallo grave en el sistema central puede establecerse un protocolo de desconexión de las estaciones remotas, pasando éstas al estado de autogestión hasta que la unidad central esté de nuevo habilitada y pueda retomar el control.

Seguridad: Un fallo en el diseño, un usuario malintencionado o una situación imprevista, podrían alterar los parámetros de funcionamiento de un sistema. Cualquier sistema de control puede utilizar uno o varios métodos de comunicación para enlazar todos los puntos de control de un proceso y, en el momento en que se utilizan sistemas de comunicación que implican el acceso desde múltiples puntos, no siempre dentro de la empresa, es posible que alguno de estos accesos sea no deseado. Ante estas situaciones el sistema debe permitir establecer estrategias para prevenir, detectar y defenderse de acciones no deseadas, como son:

- Estableciendo toda una serie de derechos y las jerarquías de usuario, que limitan el acceso a datos sensibles, mediante contraseñas.
- Encriptando los datos que se emiten desde las estaciones remotas o el control central.
- Filtrando toda la información recibida, comprobando si su origen es conocido o no.
- Fijando unos caminos de acceso predeterminados para información.
- Una vez que los datos ya se encuentren dentro del sistema, este debe ser capaz de detectar y reaccionar ante incoherencias en los mismos.
- Programas de vigilancia de otros programas, que ejecuten acciones predefinidas en caso de detectarse un problema.

Prestaciones: Básicamente se refieren al tiempo de respuesta del sistema. Durante el desarrollo normal del proceso, la carga de trabajo de los equipos y el personal se considera que es mínima y está dentro de los parámetros que determinan el tiempo real de un sistema. En caso de declararse un estado de alerta, la actividad que se desarrolla aumenta de forma considerable la carga de los equipos informáticos y del personal que los maneja. El equipo debe poder asimilar toda la información que se genera, incluso bajo condiciones de trabajo extremas, de manera que no se pierda información aunque su proceso y presentación no se realicen en tiempo real.

Mantenimiento: Los tiempos de mantenimiento pueden reducirse al mínimo si el sistema está provisto de buenas herramientas de diagnóstico que permitan realizar tareas de mantenimiento preventivo, modificaciones y pruebas de forma simultánea al funcionamiento normal del sistema.

Escalabilidad: Posibilidad de ampliar el sistema con nuevas herramientas o prestaciones y los requerimientos de tiempo necesarios para implementar estas ampliaciones.

Un planteamiento correcto en el diseño permitirá un mejor aprovechamiento de los recursos. La tendencia es la de dividir los grandes sistemas de supervisión y control en multitud de componentes, distribuyendo los sistemas de control y las aplicaciones en diferentes máquinas distribuidas a lo largo de la red y con capacidad de comunicarse entre ellas.

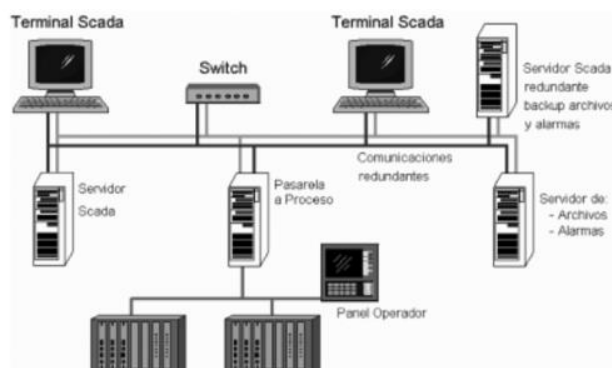


Figura 3.4.2.1 Sistema SCADA

3.5 AUTÓMATAS PROGRAMABLES.

Los autómatas programables (abreviados como API o PLC) se desarrollan para cumplir con la demanda en la industria de un sistema económico, robusto, flexible, fácilmente modificable y con mayor facilidad para tratar con tensiones y corrientes fuertes, que las que tenía el ordenador.

En un principio, los autómatas buscaban básicamente sustituir a los sistemas convencionales con relés o circuitos lógicos, con las ventajas evidentes que suponía tener un hardware estándar.

Actualmente los autómatas han mejorado sus prestaciones respecto a los primeros en muchos aspectos, pero fundamentalmente a base de incorporar un juego de instrucciones más potentes, mejorar la velocidad de respuesta y dotar al autómata de capacidad de comunicación. Las instrucciones incluyen actualmente, aparte de las operaciones lógicas con bits, temporizadores y contadores, otra serie de operaciones lógicas con palabras, operaciones aritméticas, tratamiento de señales analógicas, funciones de comunicación y una serie de funciones de control no disponibles en la tecnología clásica de relés.

La robustez y la facilidad de interconexión al proceso son las principales virtudes del autómata, la tendencia actual no es precisamente la de acercarlo más a las prestaciones de los ordenadores en cuanto a su capacidad de cálculo, sino dotarlo de funciones específicas de control y de canales de comunicación para

que puedan conectarse entre sí y a los propios ordenadores. Como resultado de esta integración, es la red de autómatas conectada a un ordenador, capaz de ofrecer las prestaciones y ventajas de ambos sistemas al incluir en uno solo todas las funciones de producción asistida por un ordenador.

En un sistema de control el objetivo es el de gobernar la respuesta de una planta, sin que el operador intervenga directamente sobre sus elementos de salida. Dicho operador manipula únicamente las magnitudes denominadas de consigna y el sistema de control se encarga de gobernar dicha salida a través de los accionamientos.

En una automatización a los elementos que intervienen en ésta, se les denomina automatismos. Con la automatización se sustituye la mano de obra humana, en las tareas iterativas, peligrosas, complejas, casi de cualquier tipo, involucrando a los automatismos de forma que se garantice el correcto funcionamiento del proceso en su totalidad o en parte de él.

Según la naturaleza de las señales que intervienen en el proceso, los sistemas de control pueden dividirse en los siguientes grupos:

- Sistemas analógicos.
- Sistemas digitales.
- Sistemas híbridos analógico-digitales.

Los sistemas analógicos trabajan con señales de tipo continuo, dichas señales suelen representar magnitudes físicas del proceso. Los sistemas digitales, en cambio, trabajan con señales todas o nada, que sólo pueden presentar dos estados o niveles: abierto o cerrado. Dentro de los sistemas digitales hay dos grupos, los que trabajan con variables de un solo bit, denominados automatismos lógicos y aquellos que procesan señales de varios bits, a estos últimos se les denomina genéricamente automatismos digitales.

Los sistemas de control actuales con un cierto grado de complejidad, y en particular los autómatas programables, son casi siempre híbridos, sistemas que procesan a la vez señales analógicas y digitales. No obstante, se tiende a que la unidad de control sea totalmente digital y basada en un microprocesador.

En los automatismos encontramos una diversidad de componentes o subsistemas los cuales pueden ser de tipo mecánico, hidráulico, eléctrico, neumático o fisicoquímico. Combinan diversas tecnologías haciendo necesario un lenguaje en común para la integración y buen funcionamiento de todos ellos en el sistema.

Un equipo automático tiene que considerar dentro del proceso los posibles casos que se puedan presentar para poder tener una respuesta adecuada sobre el mismo. Estos equipos pueden operar a lazo abierto o lazo cerrado, dependiendo del proceso que se requiere automatizar y los medios económicos para realizarlo.

En lazo abierto, el elemento de control da señales a los actuadores y pre actuadores a efecto de conducir el proceso hacia el fin para el cual está diseñado, sin tomar en cuenta si el fin se cumple o no, dado a que no existe ninguna verificación de si la determinada tarea propuesta por el control fue llevada a cabo de manera efectiva en el proceso. La ventaja de este control, es la economía de los dispositivos que intervienen en el proceso de control.

En lazo cerrado, el equipo automático recolecta la información del proceso mediante los sensores y se dan ordenes a elementos que pueden tener acciones eficaces sobre el proceso, a estos últimos se les conoce como actuadores. Los actuadores responden bajo el mando de las señales eléctricas, llevando a cabo acciones mecánicas.

3.5.1 ARQUITECTURA DEL AUTÓMATA PROGRAMABLE.

El autómata programable está compuesto de los bloques siguientes:

- Unidad central de proceso o de control, CPU.
- Memorias internas.
- Memorias de programas.
- Interfaces de entrada y salida.
- Fuente de alimentación.

En un autómata programable industrial las dos unidades funcionales básicas están formadas por la unidad central de proceso y por el sistema de entradas y salidas.

El bloque de las entradas y salidas lo conforman el conjunto de señales que provienen de los transductores analógicos y digitales que recolectan la información del proceso, haciendo posible la comunicación del autómata con la planta. Para ello se requiere conectar por una parte con las señales de proceso a través de los bornes previstos y por otra parte con el bus interno del autómata. La interfaz es la encargada de adaptar las señales que son manejadas en el proceso a las utilizadas internamente por la máquina.

La unidad central de control está conformada por el procesador y la memoria. Es la encargada de consultar las entradas y recolecta de la memoria de programa la secuencia de instrucciones a ejecutar, para que a partir de ellas se generen las señales de salida o las ordenes que se enviaran al proceso. Las instrucciones durante la ejecución del programa son procesadas en serie. La unidad de control también es la responsable de actualizar los temporizadores y los contadores internos los cuales hayan sido programados.

El API de manera opcional dispone de una serie de dispositivos periféricos como lo son: las unidades o consolas de programación, los dispositivos de monitorización y las unidades de diálogo.

El procesador tiene la función de la interpretación de las instrucciones dadas por el usuario, además de encargarse también de las tareas de coordinación internas y externas.

El API, en su arquitectura interna, siendo un sistema que se basa en un microprocesador, está compuesto por una serie de unidades funcionales las cuales están interrelacionadas por un conjunto de buses de direcciones, datos y de control.

La organización de la memoria de un API está dividida por áreas de trabajo que se encuentran perfectamente delimitadas, dedicadas cada una de ellas a tareas específicas y por ello con denominaciones distintas en función a las operaciones que se realizan en estas. La zona de la memoria donde se almacenan las instrucciones de programa es denominada zona de memoria de usuario, la zona de almacenamiento de los estados de las entradas y salidas, tanto de los datos internos como de los datos de carácter general específicos del tratamiento numérico, aritmético o de operaciones de las comunicaciones, es nombrada tabla de datos. En la memoria del sistema se almacena el programa interior y éste a su vez utiliza una zona para el almacenamiento de los valores intermedios y temporales denominada scratch-pad.

Las memorias ROM, RAM, EPROM, EEPROM, físicamente son implementadas dependiendo de la finalidad para la cual serán utilizadas. En las memorias ROM se almacenará el programa monitor por parte del fabricante, el cual es inalterable y al cual no se tiene acceso por parte del usuario. En la memoria RAM, durante el periodo de diseño y depuración de programas, se almacenará el programa

usuario, dado que en esta etapa es muy probable que sea modificado el programa.

La memoria se encuentra organizada en grupos de 1, 8, 16 y 32 bits, esto va a depender del tipo de variables que se utilice.

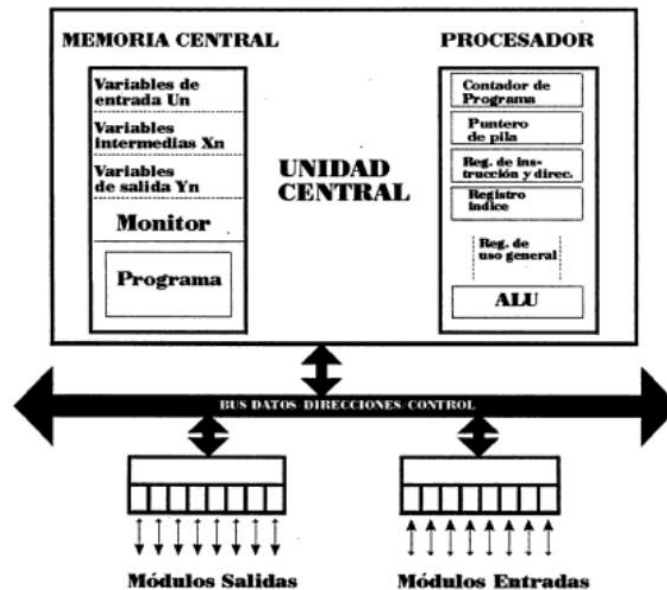


Figura 3.5.1. Arquitectura del autómata programable.

La fuente de alimentación a partir de una tensión exterior, proporciona las tensiones necesarias para el correcto funcionamiento de los distintos circuitos electrónicos del sistema. El autómata puede disponer de una batería que se encuentra conectada a esta fuente de alimentación, lo que permite asegurar el programa y algunos datos en caso de fallo en el suministro de la tensión exterior.

El bus interno es el conjunto de líneas y conexiones que permiten la unión eléctrica entre la unidad de control, las memorias y las interfaces de entrada y salida. Está constituido por un conjunto de hilos o pistas utilizadas para intercambiar datos u órdenes. Debido a que la unidad de control sólo es capaz de comunicarse en forma secuencial con sus periféricos, el conjunto de hilos o pistas del bus es común y compartido por todos ellos. La estructura anterior exige que siempre, sólo pueda haber un periférico ocupando el bus, de lo contrario habría una mezcla de datos y los periféricos recibirían datos que no les corresponden. Cualquier conexión entre bloques o módulos, que no necesite de algún proceso específico de comunicación en sus extremos, también se considera como bus del autómata.

3.5.2 CONTROLADORES DE LÓGICA PROGRAMABLE (PLC).

Un controlador de lógica programable es un dispositivo electrónico basado en un microprocesador, pero habilitado para poder reconfigurarse sin la necesidad de volver a alambrear el circuito, además de contar con funciones de entrada y salida. La figura 3.5.1.1, muestra el diagrama de entradas y salidas de un PLC, éste emplea una memoria programable para almacenar instrucciones e implementar funciones tales como: lógicas, secuenciales, temporizadores, contadores y aritméticas, en orden de controlar máquinas y procesos. Los controladores de lógica programable (PLC), están diseñados para ser operados por ingenieros, incluso, con un limitado conocimiento en computación, lenguajes de programación o simplemente para evitar el trabajo de diseño de un circuito de control dedicado a una aplicación en específico, ya que, como previamente se mencionó, al inicio de este párrafo, éstos son reconfigurables.

Los diseñadores del PLC, lo han preprogramado para que el control del programa pueda ser configurado por el usuario final en base a un lenguaje, simple e intuitivo.

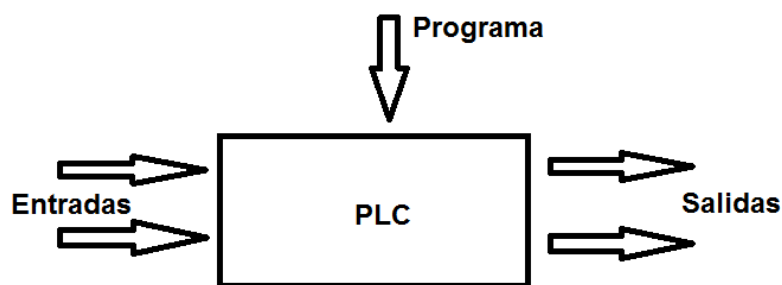


Figura 3.5.1.1 Diagrama de entradas y salidas.

El término “lógica” está relacionado con los PLC, debido a que la programación de este último primariamente concierne con la programación de funciones lógicas de interruptores. El programador ingresará una secuencia de instrucciones (programa) en la memoria del PLC, y este con base a sus puertos de entrada y salida, enviará al exterior las señales para ejecutar las reglas de control para las que previamente se le ha programado.

La gran ventaja de los PLC radica en que pueden ser empleados para una amplia gama de sistemas de control. Para modificar un sistema de control y las reglas que en éste se implementarán, lo único que un operador de PLC requiere hacer, es teclear un nuevo conjunto de instrucciones, sin la necesidad de re alambrar. El resultado es un sistema de control flexible y efectivo en cuanto a costo, que podrá emplearse en sistemas de control, con una amplia variación en cuanto a su naturaleza y complejidad.

Los PLC son similares a las computadoras, pero mientras las computadoras han sido optimizadas para realizar cálculos y desplegar tareas en pantalla, los PLC han sido diseñados para el control de tareas en ambientes industriales, a un costo inferior con respecto a una computadora industrial. No obstante, se les suele encontrar trabajando en conjunto, dependiendo de la aplicación y el proceso para el cual se ocupen.

Los PLC tienen las siguientes características:

- 1.- Resistentes y están diseñados para soportar vibraciones, humedad y ruido.
- 2.- Tienen interfaces de entrada y salida dentro de su controlador.
- 3.- Son fáciles de programar, dado que su programación se cimienta en funciones lógicas e interruptores cerrado/abierto.

Los PLC son ampliamente utilizados en los diferentes sectores industriales de la actualidad, y se les puede encontrar en una amplia gama de presentaciones, desde los pequeños, auto contenidos en una sola unidad, con quizá 20 puertos de entrada/salida digital, hasta los sistemas modulares los cuales aceptan tarjetas de expansión y que pueden ser utilizados para manejar un gran número de entradas y salidas, manipular entradas y salidas analógicas o digitales, e incluso, efectuar controles del tipo integral-proporcional-derivativo.

Un sistema PLC se compone de los siguientes elementos básicos:

- Unidad procesadora o unidad central de procesamiento (CPU).
- Memoria.
- Unidad de fuente de energía.
- Sección interface de líneas de entrada y salida.
- Interface de comunicaciones.
- Dispositivo de programación.

La figura 3.5.1.2, muestra la arquitectura básica de un PLC.

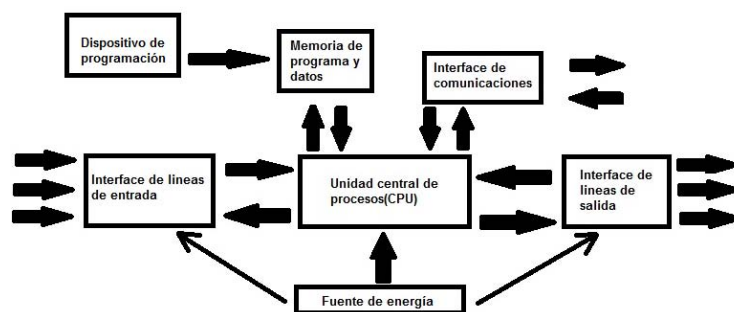


Figura 3.5.1.2 Arquitectura básica de un PLC.

- La unidad procesadora o unidad central de procesamiento (CPU), contiene al microprocesador/microcontrolador, interpreta las señales de entrada para ejecutar las acciones de control, de acuerdo al programa almacenado en su memoria, comunicando las decisiones en forma de señales de salida. Vigila que el tiempo de ejecución no exceda de un determinado tiempo de ciclo máximo. Crea una copia de las señales de entrada, puesto que el programa del usuario no debe de acceder directamente a dichas entradas. Renueva el estado de las salidas en función de los valores de las mismas obtenidas al final de la ejecución del programa del usuario.
- Unidad de fuente de energía, se encarga de suministrar los voltajes y corrientes, necesarios para la correcta operación del sistema, mediante la conversión de la señal de corriente alterna, que provee la compañía de suministro eléctrico, al adecuado nivel de corriente directa para los circuitos integrados del PLC.
- El dispositivo de programación, es empleado para ingresar el programa de usuario dentro de la memoria del microprocesador/microcontrolador, el programa se desarrolla o escribe en este dispositivo para ser transferido a la unidad de memoria del PLC.
- La unidad de memoria, es donde el programa se almacena para ser empleado por las acciones de control a ser ejecutadas por el

microprocesador/microcontrolador sobre los datos almacenados desde los puertos de entrada para enviar las señales correspondientes a los puertos de salida.

- Las secciones de entrada y salida son donde el microprocesador recibe la información desde los dispositivos externos y de igual forma comunica información hacia los dispositivos externos.
- La interfaz de comunicaciones es empleada para recibir y transmitir datos a redes de comunicaciones o a otros PLC (Fig. 3.5.1.3).

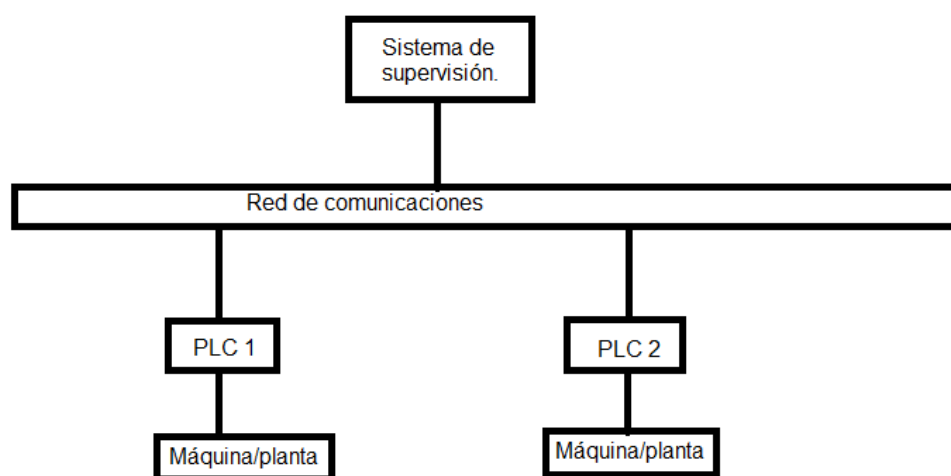


Fig. 3.5.1.3 arquitectura básica.

La figura 3.5.1.3, muestra la arquitectura básica de un PLC, la cual consiste de una unidad central de proceso (CPU), en donde reside el microprocesador del sistema, la unidad de memoria y la circuitería de entrada y salida de datos. El CPU controla y procesa todas las operaciones dentro del PLC, la información al interior del PLC es transportada por señales digitales, las vías que estas señales ocupan para su transmisión son llamadas buses. Los cuales en el sentido físico son una serie de conductores que permiten la transmisión de señales de datos y podrían estar impresos sobre una tarjeta fenólica o simplemente alambrados. El

CPU emplea el bus de datos para enviar información entre los elementos constituyentes del sistema, el bus de direcciones sirve para enviar al microprocesador las direcciones de los datos almacenados en memoria.

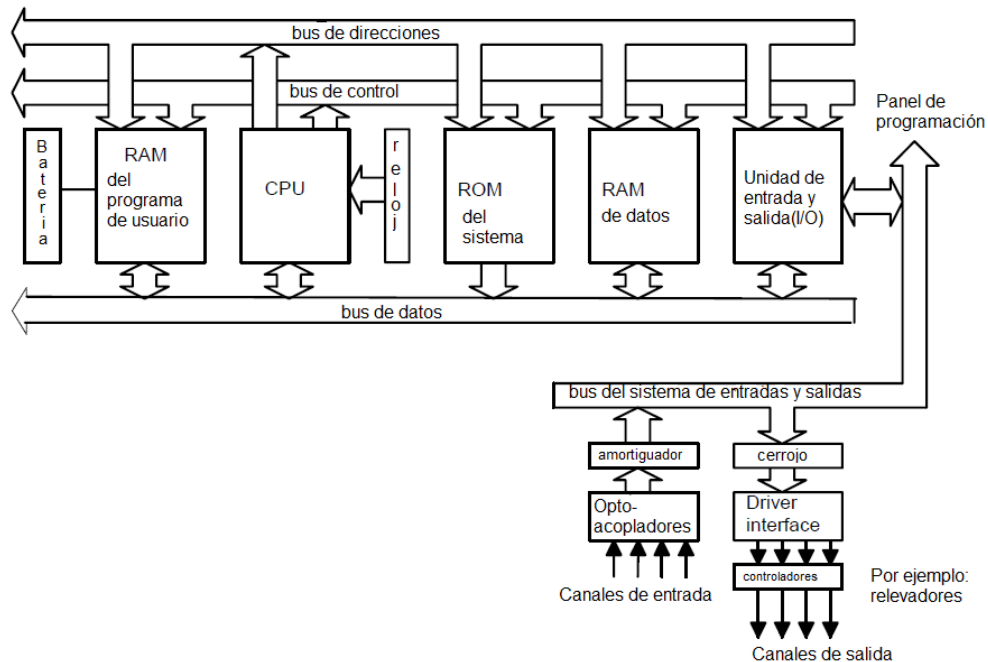


Fig. 3.5.1.4 Arquitectura general del PLC

Los PLC han sido diseñados para interactuar con dispositivos, tanto digitales como analógicos; tales como: interruptores mecánicos para la detección de posición, interruptores de proximidad, interruptores fotoeléctricos, encoders, interruptores de presión y temperatura, entre otros. De igual forma, los PLC pueden realizar las acciones de control mediante la comunicación con dispositivos como: relevadores, contactores, válvulas solenoides e incluso motores.

El término sensor se emplea para designar a un dispositivo de entrada, capaz de entregar una respuesta eléctrica al aplicársele una variable física, por ejemplo un sensor de presión, que responderá, eléctricamente a la variación de la presión

sobre su membrana. Por otro lado el término transductor, se refiere al elemento interno que le permite al sensor realizar su labor.

Los sensores que entregan señales de salida, digitales, por ejemplo de encendido y apagado, pueden fácilmente conectarse a los puertos de entrada de un PLC, mientras que los sensores que entregan salidas analógicas, deben ser conectados a circuitos de acondicionamiento que permitan la entrega de señales digitales al PLC.

Los siguientes términos son empleados para definir el funcionamiento de los sensores:

- **Exactitud:** Es el alcance con el cuál la medida realizada por un sistema o elemento, podría ser erróneo. Por ejemplo un sensor de presión podría tener una exactitud de +/- 5 bar. El error de una medición es la diferencia existente entre el valor medido y el valor real de la magnitud observada.
- **Rango o intervalo:** Se refiere a los límites entre los cuales se debe de encontrar la variable a ser medida. Por ejemplo, la temperatura dentro de una nevera debería comprender entre -10 y 4 °C.
- **El tiempo de respuesta:** Se refiere a la cantidad de tiempo que le toma a un sensor entregar la lectura por algún porcentaje determinado previamente del valor de la variable a medir, mientras que el tiempo de levantamiento, es aquel que necesita el sensor para que su salida alcance un porcentaje determinado de su estado estable.
- **La sensibilidad de un instrumento o sistema:** Indica en qué grado la salida del sistema o uno de sus elementos puede cambiar cuando la cantidad a ser medida está en función otra cantidad determinada cuando ésta varia. Por ejemplo, un termómetro electrónico podría tener una sensibilidad de 15 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$, por lo que tendrá un cambio de 15 μV por cada $^\circ\text{C}$ que haya de incremento en la temperatura.

- **La estabilidad del sistema:** Es la habilidad de este para entregar la misma salida, cuando se mide la misma entrada (constante) a lo largo de un periodo de tiempo.
- **La repetibilidad:** Es empleada por la habilidad de un sistema de medición, para entregar el mismo valor en mediciones repetidas de la misma variable. Las variaciones en la repetibilidad de un proceso usualmente se deben a fluctuaciones aleatorias en el medio ambiente, circundante al proceso, por ejemplo la temperatura y humedad de un lugar.

Los siguientes, son ejemplos de dispositivos empleados comúnmente para enviar señales de entrada a un PLC:

Interruptor mecánico: genera una señal de encendido/apagado, como resultado de la acción mecánica de abrir o cerrar dicho interruptor. Tal sensor podría ser empleado para indicarle a un PLC la presencia de una pieza de trabajo sobre una mesa de maquinado, mediante la acción de cerrar el interruptor por parte de la pieza, así de acuerdo a la configuración mostrada en la figura 3.5.1.5, inciso a), el PLC podría interpretar lo siguiente de acuerdo al estado del interruptor:

Pieza de trabajo, ausente de la mesa de maquinado, 0.

Pieza de trabajo, sobre la mesa de maquinado, 1.

Con lo cual el usuario podría definir al nivel 1, como un voltaje de 24 V_{DC} y al nivel 0 como 0 V_{DC}.

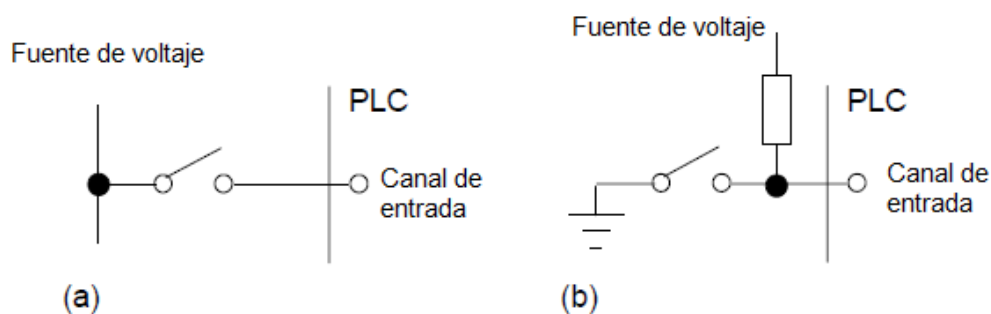


Figura 3.5.1.5 interruptor mecánico

Con la configuración mostrada en la figura 3.5.1.5 inciso b), al dejar el interruptor abierto la fuente de poder aplica un voltaje a la entrada del PLC, mientras que cuando el interruptor está abajo el voltaje es drenado a un valor bajo.

Lo que nos deja los niveles de lógica como a continuación se describe:

Pieza de trabajo, ausente de la mesa de maquinado, 1.

Pieza de trabajo, sobre la mesa de maquinado, 0.

Los interruptores, se pueden encontrar disponibles en las configuraciones de contacto, normalmente abierto (NO) y normalmente cerrado (NC). Un interruptor o contacto NO tendrá sus contactos abiertos, en ausencia de una entrada mecánica, empleada para cerrar el interruptor. Por el contrario, un interruptor o contacto NC, mantendrá sus contactos cerrados, mientras no exista una entrada mecánica que lo force a abrir el contacto, entre sus terminales.

El término interruptor de límite, se utiliza para denominar a un interruptor, que es empleado para detectar la presencia o el paso de una parte móvil. Estos tipos de

interruptores pueden ser accionados por una leva móvil, un rodillo o una palanca, de acuerdo a como se ilustra en la figura Fig. 3.5.1.6.

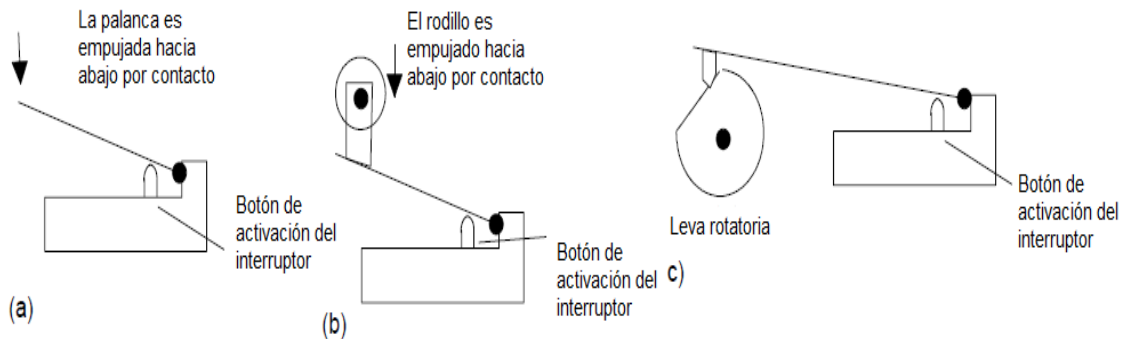


Figura.3.5.1.6 Interruptores de límite.

Existen toda una infinidad de dispositivos y sensores de entrada que pueden ser conectados a un PLC. A continuación se procede a describir a los dispositivos de salida, que se pueden encontrar operando junto a un PLC.

Los puertos de salida de los PLC son del tipo relevador u optoaislador del tipo transistor o triac, dependiendo del dispositivo a ellos conectados, para ser encendido o apagado. Generalmente una salida digital de uno de los puertos de salida del PLC, es utilizada para controlar un actuador, que sólo es un dispositivo que transforma una señal eléctrica de control en una señal eléctrica de potencia para controlar un proceso.

-Relevadores.

Los solenoides forman la base de un buen número de actuadores de control. Como es bien sabido, al hacer pasar una corriente eléctrica a través de una bobina, en ésta se genera un campo magnético, el cuál puede atraer componentes ferrosos a su cercanía. Un ejemplo, de este tipo de actuadores es el relevador, el término contactor se emplea para el caso especial en donde se

manejan corrientes eléctricas considerablemente altas. La figura 3.5.1.7, muestra el esquema básico empleado por un relevador, cuando la bobina es energizada, se genera un campo magnético que jala la palanca del interruptor y cierra los contactos de éste, permitiendo el paso de corriente. Lo que permite controlar cargas que demanden un valor alto de corriente, tales como un motor.

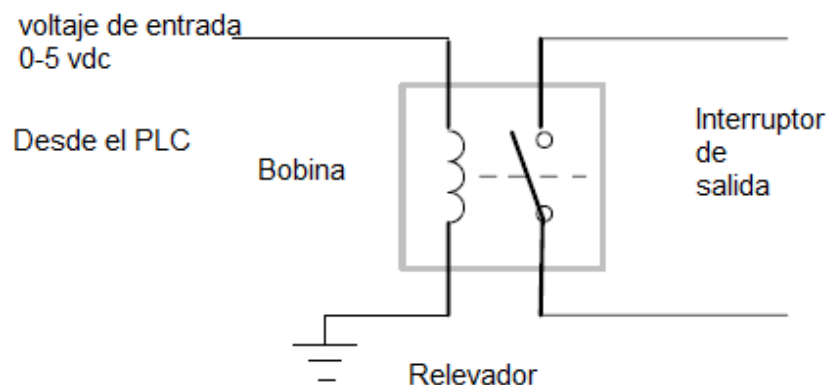


Figura 3.5.1.7 Relevador

Otro ejemplo del uso de un solenoide como un actuador, es la operación de las válvulas solenoide. Ésta clase de válvulas, se pueden emplear para controlar las direcciones del flujo, de fluidos como aire o aceite, presurizados, con los cuales se puede operar el movimiento de un pistón al interior de un cilindro. La figura 3.5.1.8 muestra una aplicación de tales válvulas, en caso de una válvula de carrete o bobina, el aire o fluido presurizado es ingresado a través del puerto P, el cual está conectado a la fuente de presión, desde una bomba o compresor en el puerto T, además ha sido conectado para permitir que el fluido hidráulico retorne al tanque de origen o en el caso de un sistema neumático, que el aire se ventile hacia la atmósfera.

Sin corriente a través del solenoide (figura 3.5.1.8 inciso a), el fluido hidráulico de aire presurizado, es alimentado a la derecha del pistón, dando como resultado el movimiento del pistón hacia la izquierda.

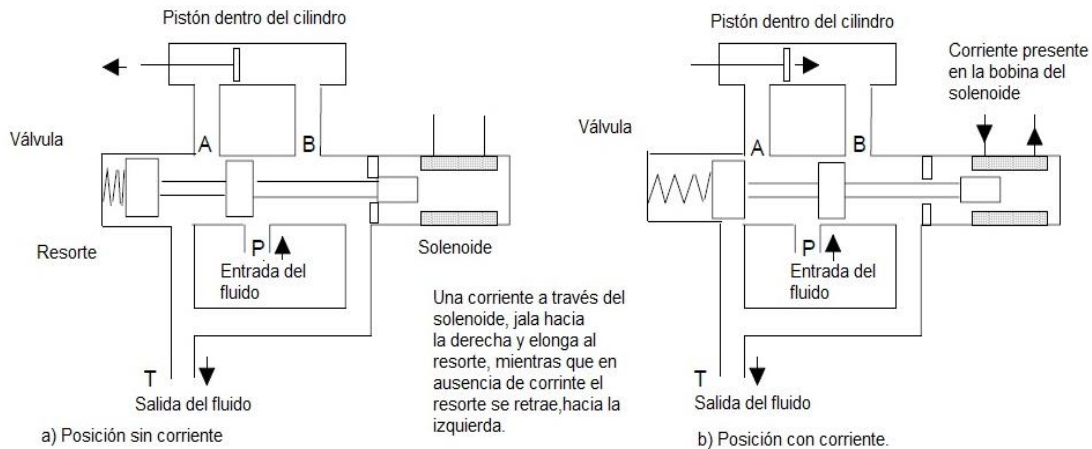


Fig. 3.5.1.8. Válvulas Solenoide.

Cuando una corriente pasa a través de la bobina (figura 3.5.1.8 inciso b), la válvula de rodillo conmuta al fluido hidráulico o aire presurizado hacia la izquierda del pistón y provocando que el pistón se mueva a la derecha.

Como es posible observar en la figura 3.5.1.8 incisos a y b, hay dos posiciones de control; las válvulas de control de dirección, son descritas por el número de puertos con el que cuentan, así como el número de posiciones de control permitidas. La válvula de la figura 3.5.1.8 cuenta con cuatro puertos, A, B, P y T y dos posiciones de control, siendo referenciada como una válvula de 4/2. El símbolo básico para dibujar válvulas es un rectángulo dividido en dos cuadrados, cada cuadro se emplea para describir gráficamente las posiciones de control. Por lo que el símbolo representativo de la válvula de la figura 3.5.1.8, consistiría de dos cuadrados, como lo muestra la figura 3.5.1.9 inciso a. Dentro de cada cuadrado las posiciones de conmutación de la máquina son ilustradas mediante

el empleo de flechas, las líneas de terminación indican que no hay camino para el flujo del fluido, de acuerdo a lo ilustrado en la figura 3.5.1.9 inciso b.

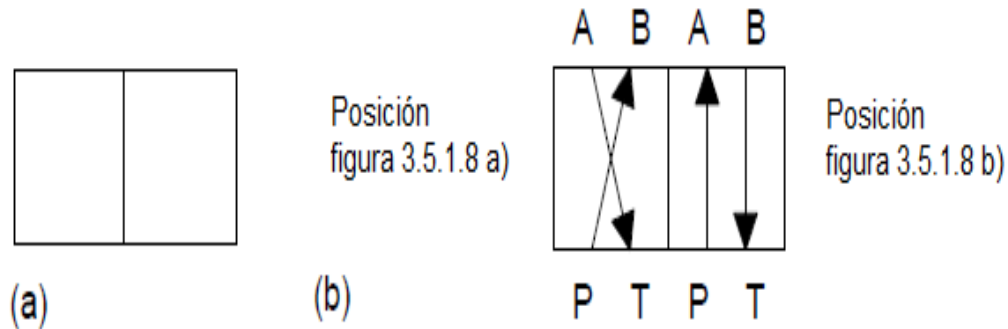


Fig. 3.5.1.9 Diagrama general de una válvula

En los diagramas de control, los métodos de actuación que emplean válvulas son agregados al símbolo de la válvula en cuestión, tal y como lo muestra la figura 3.5.1.10.

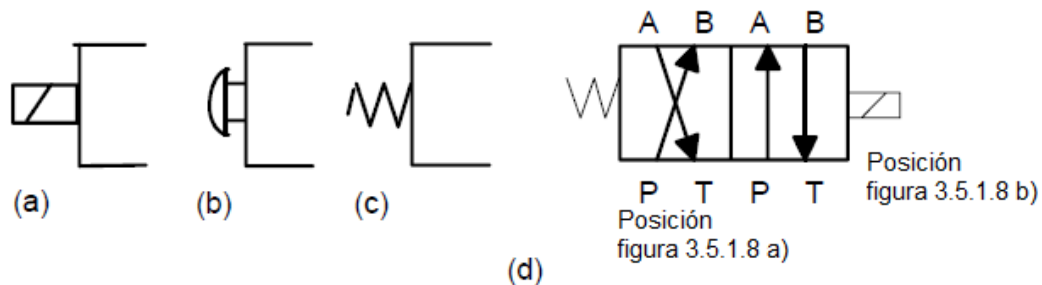


Figura 3.5.1.10 Diagrama general de una válvula solenoide

Deben de existir los circuitos adecuados para aislar las entradas y las salidas del PLC, de los riesgos de una posible descarga eléctrica proveniente del exterior.

Las señales provenientes de los sensores y las salidas necesarias para controlar a los actuadores, pueden ser de la siguiente naturaleza:

- **Analógica:** Señal relacionada con la magnitud del fenómeno físico que está siendo censado.
- **Discreta:** Esencialmente una señal del tipo: encendido o apagado.
- **Digital:** una secuencia de pulsos.

La unidad central de procesamiento (CPU), necesita de un nivel adecuado de voltaje, entre 0-5 [V_{DC}], de igual forma la CPU entrega entre 0-5 [V_{DC}].

Existe la necesidad de manipular las señales de entrada y salida, de tal forma que estén dentro de los valores requeridos por el PLC.

Los términos, “fuente” y “sumidero” se refieren a la forma en la cual los dispositivos de entrada y salida se interconectan con un PLC. Si el PLC le entrega corriente al dispositivo de salida, se dice que ésta actúa como una fuente, mientras que si la fuente de corriente proviene del dispositivo de entrada, entonces el PLC se encuentra actuando como un sumidero de corriente, como lo ilustra la figura 3.5.1.11.

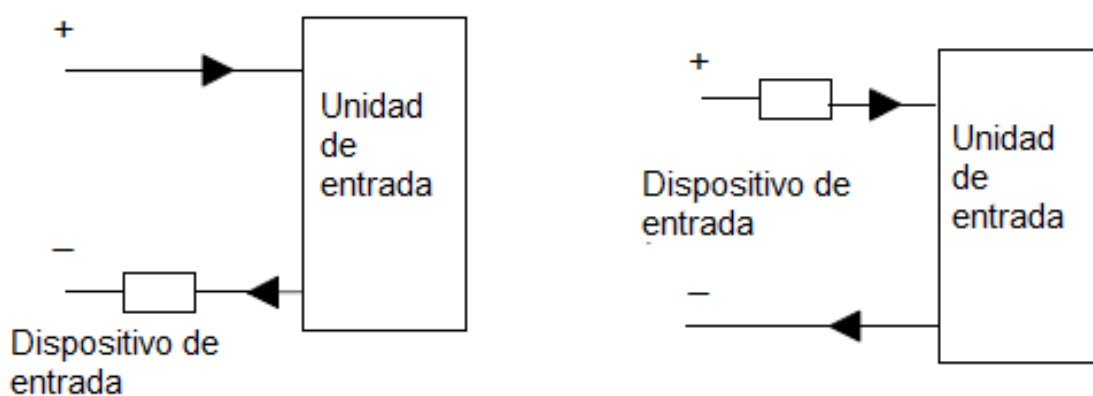


Figura 3.5.1.11 Puerto de entrada de un PLC.

Las figuras 3.5.1.12 y 3.5.1.13, muestran los circuitos de acoplamiento básico para señales de entrada, discreta y digital de corriente directa (DC), así como discreta de corriente alterna (AC).

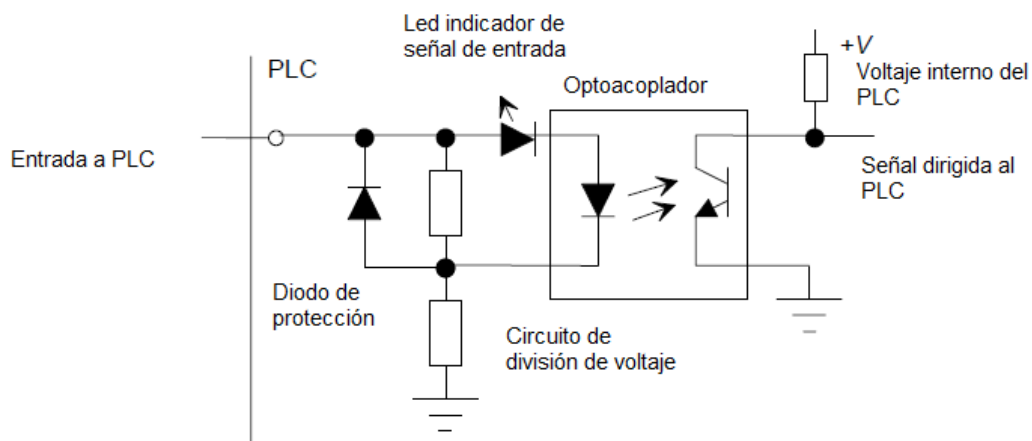


Figura 3.5.1.12 Circuito básico de acoplamiento de entrada para señal de DC.

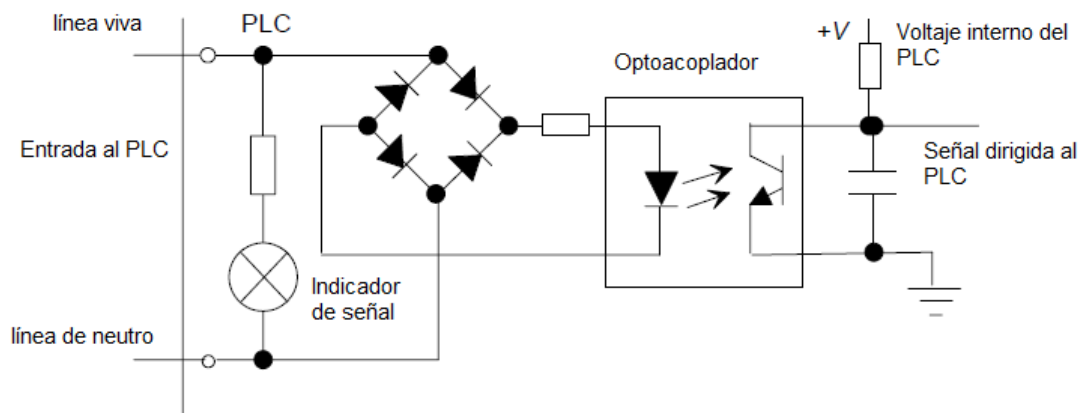


Figura 3.5.1.13 Circuito básico de acoplamiento de entrada para señal de AC.

Los optoacopladores, son empleados para proveer protección. Con la unidad de entrada de corriente alterna, un puente rectificador de diodos es empleado para transformar una señal de AC en una de DC, de tal forma, que el optoacoplador recibe un adecuado nivel de DC para poder operar y enviar la señal de entrada al CPU del PLC.

Las señales analógicas también pueden ser ingresadas directamente a un PLC, si éste último tiene en sus puertos de entrada la capacidad de convertir dicha señal en digital, mediante el empleo de un convertidor analógico-digital.

Cuando la unidad de salida del PLC, provee la corriente al dispositivo interconectado a éste, se dice que funciona como una fuente de corriente, mientras que si se recibe corriente desde el dispositivo entonces funciona como sumidero de corriente. A menudo las unidades de salida en configuración de sumidero, son empleadas para hacer interface con dispositivos electrónicos, mientras que las unidades de salida en configuración de puente se emplean para hacer interface con solenoides.

Las unidades de salida pueden conectarse a transistores, relevadores o triac.

La figura 3.5.1.14, muestra la conexión básica de salida a relevador. Mientras que la figura 3.5.1.15 incisos a y b, muestra la salida a interfaz con transistor.

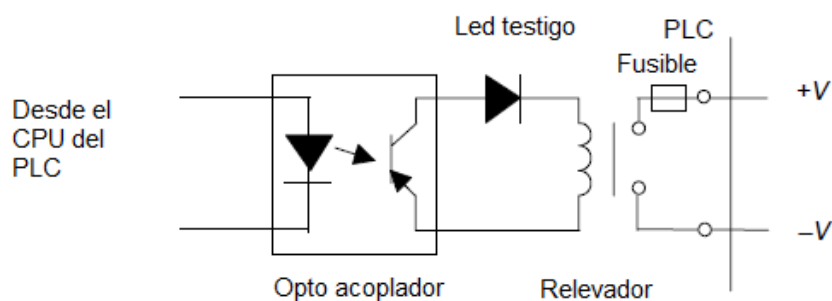


Figura 3.5.1.14 Conexión a relevador.

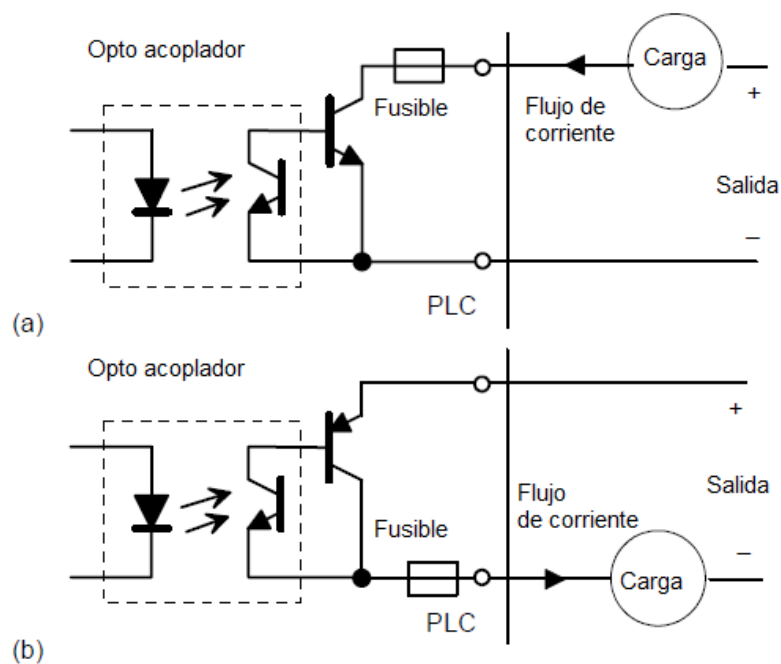


Figura 3.5.1.15 Conexión a transistor.

Por otra parte la figura 3.5.1.16, muestra la interconexión de salida hacia una interfaz con triac.

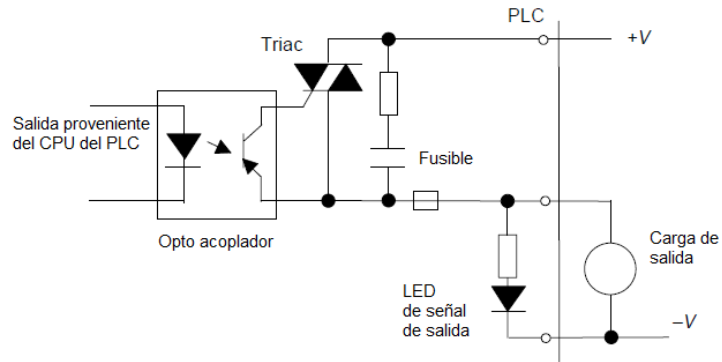


Figura 3.5.1.16 Conexión a interfaz con Triac.

Las señales analógicas de salida son a menudo requeridas y pueden ser suministradas desde el PLC por medio de un convertidor digital-analógico (DAC) en el canal de salida del propio PLC. La entrada al convertidor consta de una secuencia de bits, con cada bit a lo largo de una línea paralela, a cuya salida se obtiene un valor analógico. La figura 3.5.1.17 incisos a y b, ilustra tal situación.

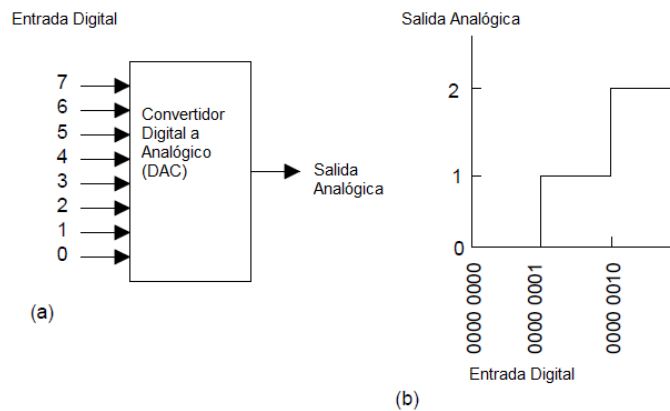


Figura3.5.1.17 Convertidor Digital a Analógico.

Un bit en el canal 0 del convertidor dará por resultado un levantamiento, de cierta medida en el pulso de salida. Un bit en la línea 1 dará un levantamiento del doble de aquel que salió por la línea 0. Un bit en la línea 2 dará un levantamiento del doble de aquel que salió por la línea 1 y así sucesivamente. Al final todas las salidas serán sumadas para entregar la versión analógica de la entrada digital. Si la entrada digital llegase a cambiar, la salida analógica cambiará de forma gradual, de acuerdo al voltaje asociado a cada bit de entrada. Así que para un convertidor de 8 bits, la salida del mismo está constituida para entregar valores de voltaje analógico en escalones de $2^8=256$, suponiendo que el intervalo de salida se configura para ser de 10 [V_{DC}], un bit dará un cambio de 10/255 aproximadamente 0.04 [V_{DC}], lo que nos daría los resultados de la figura 3.5.1.18.

Entrada Digital (V)	Salida Analógica (V)
00000000	0.00
00000001	0.04
00000010	$0.08 + 0.00 = 0.08$
00000011	$0.08 + 0.04 = 0.12$
00000100	0.16
00000101	$0.016 + 0.00 + 0.04 = 0.20$
00000110	$0.016 + 0.08 = 0.24$
00000111	$0.016 + 0.08 + 0.04 = 0.28$
00001000	0.32
etc.	

Figura 3.5.1.18 Relación Entrada Digital-Salida Analógica

Los módulos de salida analógica de los PLC, usualmente proveen un número de salidas, por ejemplo: 4 a 20 [mA], 0 a 5 [V_{DC}], 0 a 10 [V_{DC}], la salida de voltaje apropiada para la aplicación se selecciona usualmente mediante interruptores de selección.

Con lo anteriormente expuesto, se puede considerar al PLC como una caja negra a la que el usuario le entrega ciertas entradas y en función de las mismas espera una respuesta; al considerar al PLC como una caja negra, el operador o programador del mismo no tiene acceso a su arquitectura interna, por lo que no tiene el permiso de acceder a su programación, en lugar de esto los fabricantes de PLC han desarrollado un lenguaje de fácil interpretación para poder indicarle que es lo que debe de hacer. Al método empleado para realizar dicha tarea, se le conoce como programación mediante diagrama de escalera. El cuál funciona como un medio para escribir programas para PLC y que posteriormente un software interprete del fabricante convertirá al código máquina que emplea el microprocesador del PLC. Debido a la diversidad de fabricantes de controladores lógicos programables, fue necesario llegar a un consensó, es decir, a normalizar o estandarizar los símbolos y el método para programar al PLC. El estándar fue publicado en 1993 por la comisión de electrotecnia internacional (**IEC, International Electrotechnical Commission**), IEC 1331-3, de acuerdo a dicho estándar, los lenguajes válidos para programar un PLC, son los diagramas de escalera (**LAD, Ladder Diagrams**), las listas de instrucciones (**IL, Instruction Lists**), cartas de flujo secuencial (**SFC, Secuencial Flow Charts**), texto estructurado (**ST, Structured Text**) y los diagramas de funciones de bloque (**FBD, Function Block Diagrams**).

Considérese la figura 3.5.1.19 inciso a, la cual muestra un circuito eléctrico que consta de un motor conectado a un interruptor de encendido y apagado.

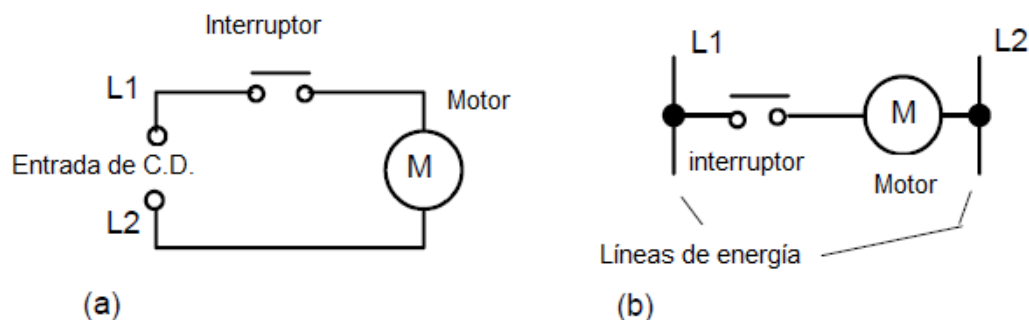


Figura 3.5.1.19 circuito de arranque de un motor

El mismo circuito se puede redibujar para que luzca como en la figura 3.5.1.19 inciso b, donde el motor y el interruptor quedan entre dos líneas verticales que representan las líneas de energía del sistema, a esta forma de representar al circuito se le conoce como diagrama de escalera.

En tales diagramas, las fuentes de voltaje siempre se muestran como dos líneas verticales paralelas, las cuales contienen al circuito entre ellas, como los peldaños de las escaleras.

Los diagramas de circuito eléctrico a menudo están enfocados a mostrar la posición relativa de cada elemento del sistema y como están los elementos alambrados, por el contrario los diagramas de escalera están enfocados a mostrar como es ejercido el control al sistema.

La figura 3.5.1.20, muestra el diagrama de escalera para un circuito en donde se ha colocado un motor con dos botones pulsadores, uno de activación y el otro de paro.

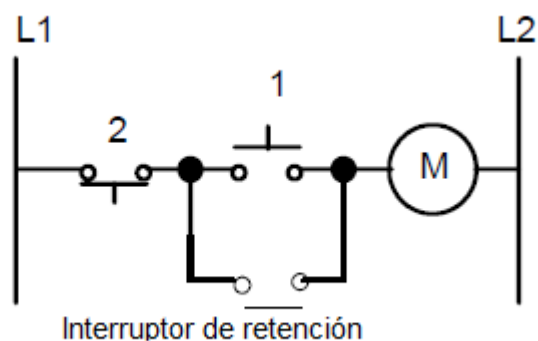


Figura 3.5.1.20 Diagrama de escalera

En condiciones normales, el botón pulsador 1 se encuentra abierto, mientras que el botón pulsador 2 se encuentra cerrado. Al ser presionado el botón 1, el circuito de arranque del motor se cierra y el motor inicia su marcha. Al dejar de ser presionado el botón 1, el motor se mantendrá energizado a través de los contactos de retención que han sido cerrados al mismo tiempo que el botón 1 fue presionado. Para detener el movimiento del motor bastara con oprimir el botón pulsador 2, el cuál forzara a que el circuito regrese al estado previo a su operación.

El método más común para programar un PLC es mediante un diagrama de escalera; método que permite que al escribir un programa sea equivalente a dibujar un circuito de interruptores. El diagrama de escalera consiste de dos rectas verticales, las cuales representan las líneas de energía. Los circuitos son dibujados entre las rectas verticales a forma de que simulan los peldaños de una escalera.

Al dibujar un diagrama de escalera se deben de aplicar ciertas convenciones:

Las rectas verticales representan las líneas de energía del circuito. El flujo de energía se toma de izquierda a derecha a través del peldaño del diagrama.

- Cada peldaño del diagrama de escalera define una operación en el proceso de control.
- El diagrama de escalera debe ser leído desde la parte izquierda hacia la derecha y desde el peldaño superior hacia abajo. La figura 3.5.1.21 muestra gráficamente como debe de interpretarse un diagrama de escalera.

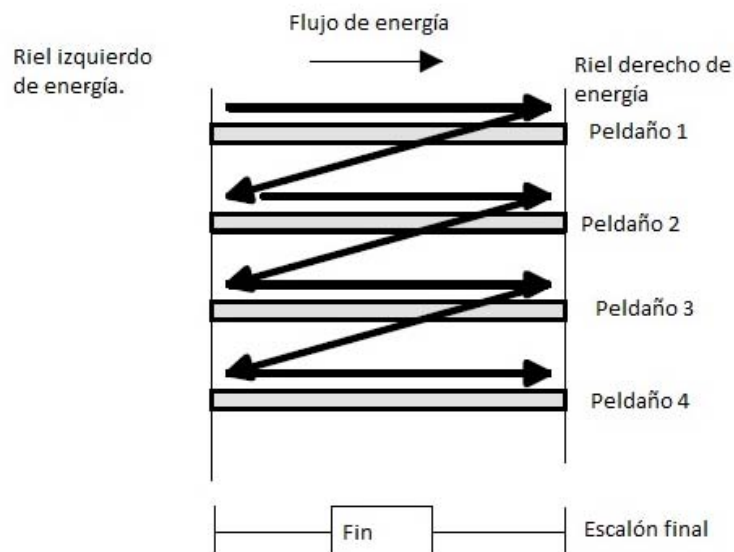


Figura 3.5.1.21 Secuencia de acción del diagrama de escalera

- Cada peldaño u escalón, debe comenzar con una entrada o entradas y debe tener al menos una salida. El término “entrada” es empleado para denominar a una acción de control, tal como cerrar los contactos de un interruptor, mientras que el término salida se refiere al dispositivo que se conectará a una salida del PLC, por ejemplo un motor.
- Los dispositivos eléctricos son mostrados en sus condiciones normales. De tal forma que si un interruptor es NO, cambiara su estado hasta que alguna acción sobre él, lo obligue a cerrarse, este último aparecerá como normalmente abierto en el diagrama de escalera y viceversa un interruptor cerrado aparecerá como NC.

- Un dispositivo en particular podría aparecer en más de un escalón del diagrama de escalera. Por ejemplo, es posible encontrar en el diagrama de escalera un relevador que conmute a uno o más dispositivos. La misma letra o número entonces será empleado para etiquetar a dicho dispositivo en cada situación en la que aparezca dentro del diagrama de escalera.
- Las entradas y las salidas al PLC están todas identificadas por sus correspondientes direcciones, la notación empleada depende de cada fabricante.

La figura 3.5.1.22 muestra los símbolos del estándar IEC 1131-3, que son empleados para describir a los dispositivos de entrada y salida. Ocurren algunas variaciones cuando se dibujan los símbolos en forma semi gráfica y en forma completa. Adviértase que las entradas son representadas por diferentes símbolos, representando contactos normalmente abiertos o contactos normalmente cerrados. Así la acción de entrada es equivalente a abrir o cerrar un interruptor; las bobinas de salida son representadas justo por una de las formas del símbolo de una bobina.

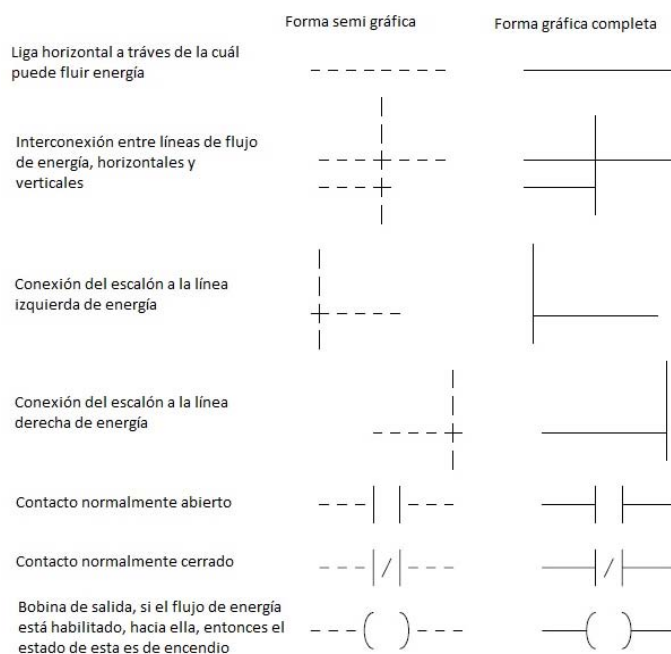


Figura 3.5.1.22 los símbolos del estándar IEC 1131-3

La forma en que estos elementos se deben etiquetar dentro del diagrama de escalera dependerá de cada fabricante de PLC.

Hay muchas aplicaciones de control que requieren que se ejecuten acciones cuando una combinación de condiciones es ejecutada. La forma en la que un PLC se percata de que se dan dichas condiciones es por medio de funciones lógicas.

4 PROPUESTA DE UN SISTEMA DE MONITOREO.

En el presente capítulo se aborda la propuesta de un sistema de monitoreo para una red eléctrica de un conjunto de Oficinas de Conmutación de Telefonía móvil (**Mobile Telephone Switching Office o MTSO, por sus siglas en inglés**). El conjunto de MTSO se caracteriza por estar distribuido a lo largo del territorio

nacional, lo cual representa un reto en la conectividad y en la arquitectura a utilizar. A continuación se presenta el desarrollo de la propuesta.

4.1 PLANTEAMIENTO.

Se requiere el diseño de un sistema de monitoreo que asegure un buen desempeño, incorporando aplicaciones de tecnologías actuales y modernas; sobre una arquitectura abierta basada en estándares de mercado, garantizando así su configuración, adaptabilidad y confiabilidad, facilitando al mismo tiempo la incorporación de nuevos desarrollos que permitan su crecimiento y modernización.

El sistema tiene las siguientes características:

- Existen 5 MTSO principales, ubicados en puntos estratégicos llamados regiones:
 - Región Norte
 - Región Bajío
 - Región Noroeste
 - Región Centro
 - Región Sureste

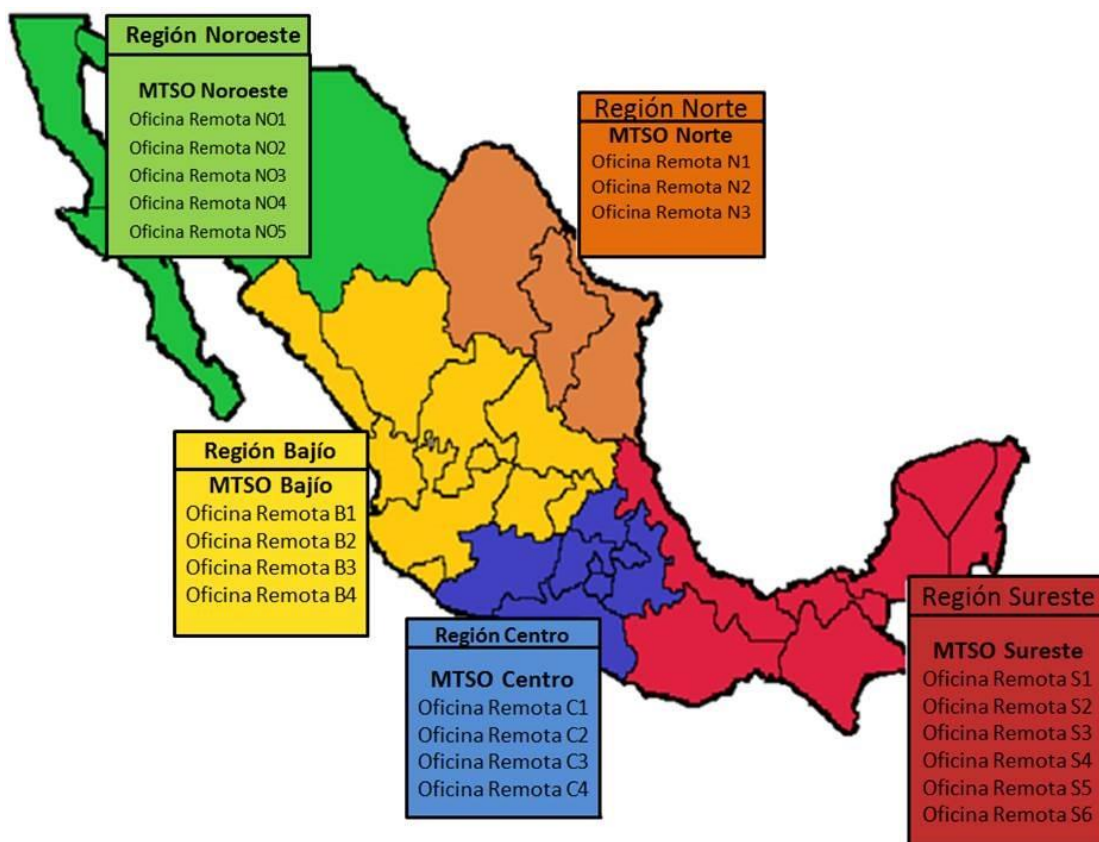


Figura 4.1 Mapa de los MTSO.

- Cada MTSO tiene a su cargo la supervisión de Oficinas Remotas de Conmutación (**Remote Switching Office, RSO por sus siglas en inglés**). Véase la figura anterior
- Los MTSO están diseñados con la misma arquitectura base, es decir se rigen bajo el mismo diseño eléctrico, véase anexo 1 diagrama unifilar.

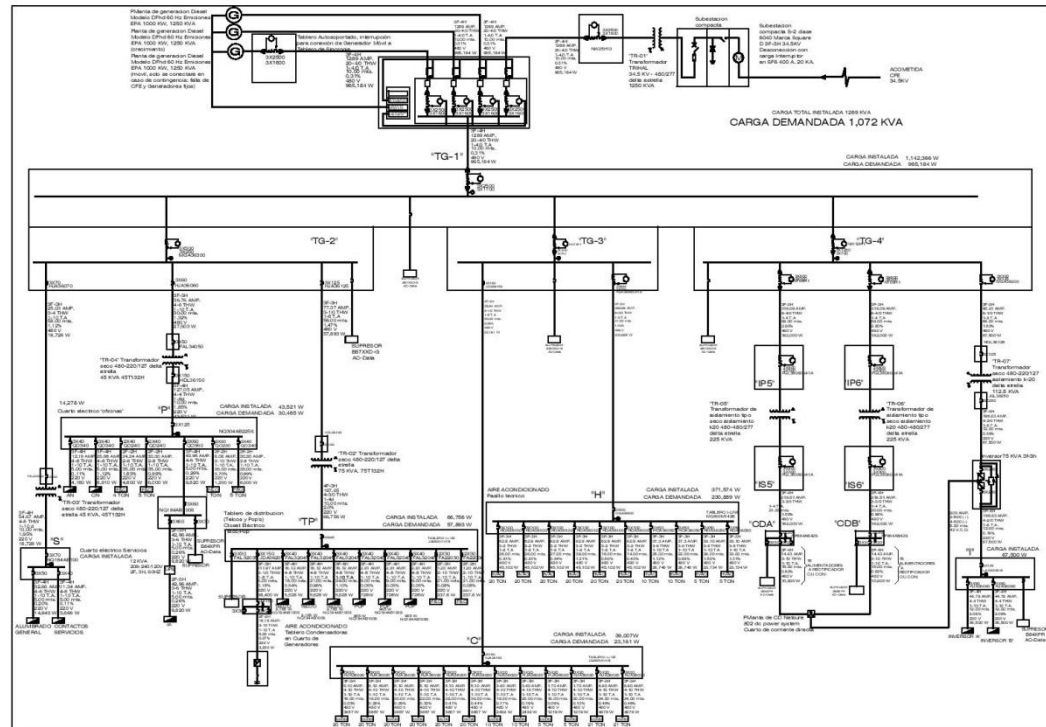


Figura 4.2 Diagrama unifilar.

- Supervisión de los principales componentes de la red eléctrica, con base al diagrama unifilar de la figura 4.2(para mejor visualización referirse al anexo 1), los dispositivos a monitorear son los siguientes:
 - Tablero General 1 (TG1) en el diagrama unifilar.
 - Tablero C de condensadoras en el diagrama unifilar.
 - Tablero TP EME 3032: Tablero de TP de Telcos y POP's en el diagrama unifilar.
 - Tablero CDA EME 3032: Tablero de corriente directa A
 - Tablero CDB EME 3032: Tablero de corriente directa B
 - Tablero H EM: Tablero H para la carga que demanda el aire acondicionado.

- Para la comunicación entre las MTSO y RSO se tiene previsto usar la red e infraestructura de intercomunicación del proveedor de telefonía móvil, de la cual el diseño y operación está bajo su control.
- Los dispositivos a monitorear cuentan con tarjeta de comunicación MODBUS TCP/IP y RTU.

4.2 SOLUCIÓN PROPUESTA.

Considerando la teoría expuesta en este trabajo, se propone la siguiente red industrial de monitoreo como solución al problema descrito en el capítulo 1. Usando como base las características del sistema mencionadas en el punto anterior:

Se desarrollará una red industrial de monitoreo para facilidades eléctricas, usando como base el protocolo de comunicación industrial MODBUS, en sus modos RTU y TCP/IP, utilizando como controlador principal un arreglo de PLC modulares, capaces de interactuar con el protocolo de comunicación antes mencionado. Empleando dos HMI gráficas: una que sea capaz de mostrar el estado operativo de los principales dispositivos del sistema eléctrico y otra que nos muestre los valores de los parámetros eléctricos de funcionamiento en tiempo real.

4.2.1 ARQUITECTURA PROPUESTA.

Se propone una topología de comunicación entre MTSO, combinando las topologías estrella y anillo, como se muestra en la figura 4.2.1.1.

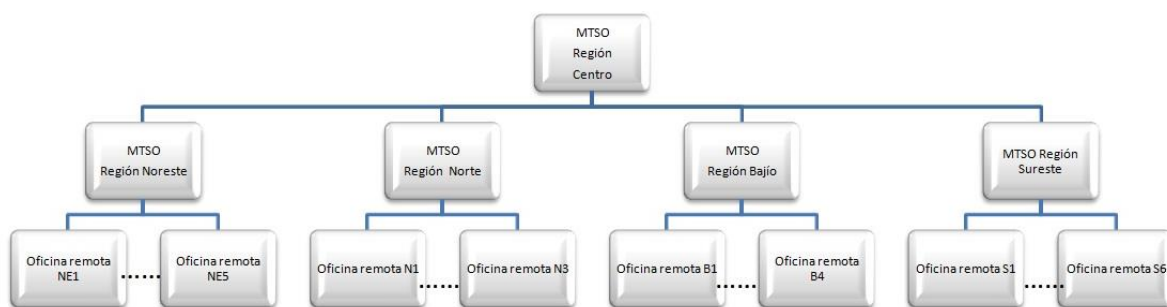


Figura 4.2.1.1 Topología propuesta

Existe una MTSO principal, MTSO Centro, quien funcionará como un administrador de información de las MTSO secundarias. Esta última será consolidada y mostrada en las HMI, logrando así poder tomar acciones desde la MTSO centro hacia las MTSO y RSO secundarias.

Tomando en cuenta las características geográficas y densidades poblacionales del territorio nacional mexicano, este se dividió en cuatro MTSO secundarias las cuales están comunicadas con RSO que se encuentran localizadas a lo largo de cada región respectivamente, el número de RSO asignadas a cada MTSO también dependerá de las características ya antes mencionadas.

Cada MTSO cuenta con su respectivo sistema de monitoreo local, el cual consiste en: estaciones de trabajo (PC), un PLC, un HUB y pasarelas que convierte MODBUS RTU a MODBUS TCP/IP.

Cada uno de los componentes de las MTSO tiene su función en específico la cual se puede ejemplificar gráficamente en la figura 4.2.1.2.

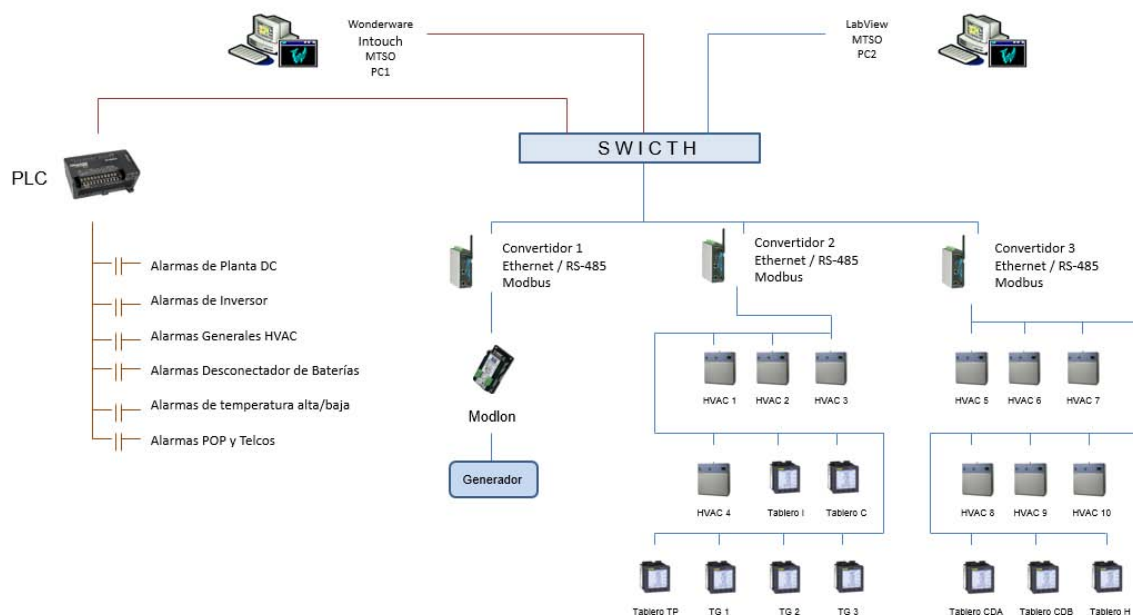


Figura 4.2.1.2.Arquitectura de las MTSO.

En la propuesta existen dos PC por MTSO que funcionarán como servidores y en las cuales se instalará un HMI distinto, ya que cada una muestra distintos tipos de información. En la PC1 se instalará la aplicación HMI wonderware intouch que mostrará el funcionamiento normal o en dado caso los estados de falla, como:

- Alarmas de planta de corriente directa.
- Alarma de inversor.
- Alarmas generales HVAC.
- Alarmas des conector de baterías.
- Alarmas de temperaturas alta y baja.

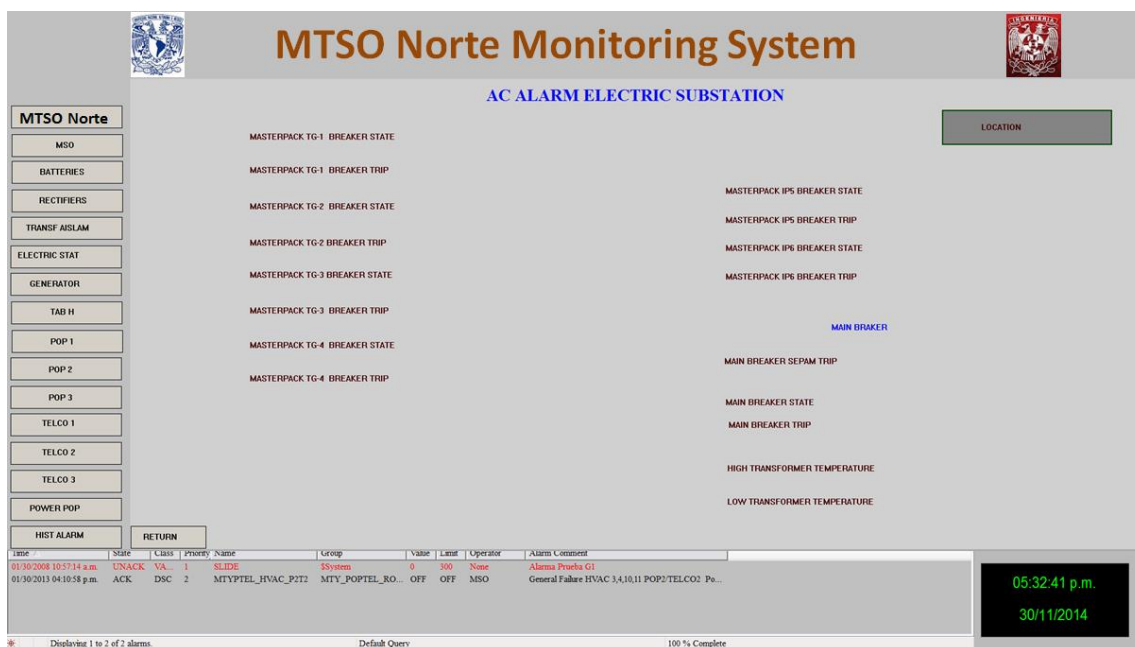
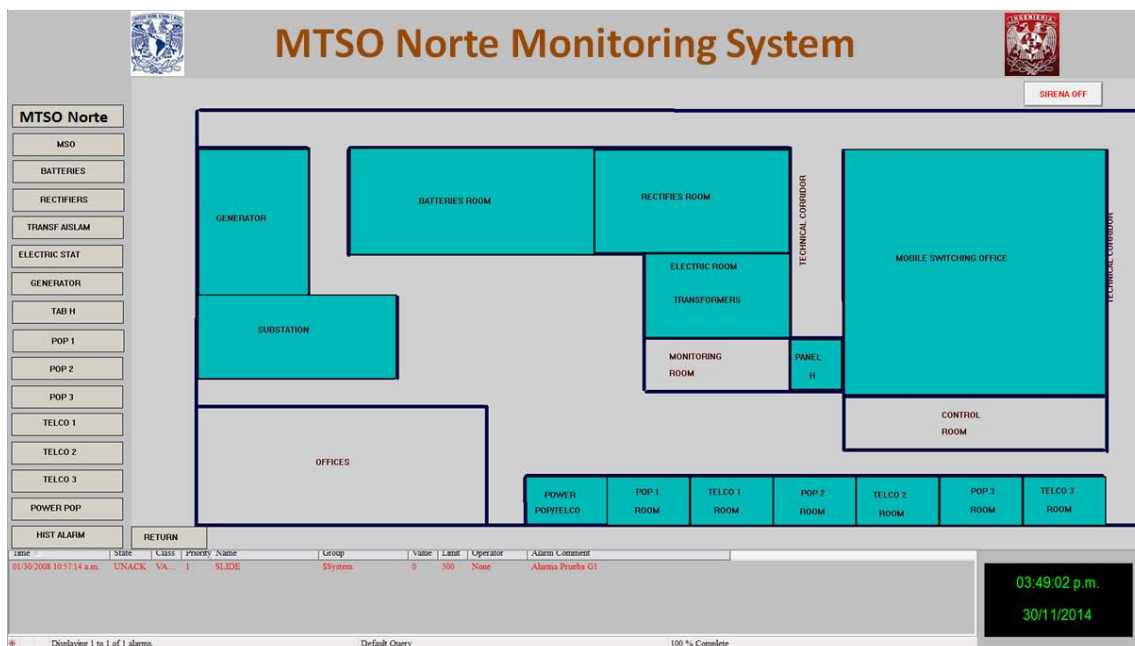


Figura 4.2.1.3. Interfaz de usuario de la aplicación Wonderware Intouch.

En la PC2 se instalara la aplicación LABVIEW encargada de mostrar los parámetros eléctricos:

- Corriente eléctrica [A].
- Potencia [kW].
- Factor de potencia.
- Tensión [V].
- Frecuencia [Hz].
- Consumo eléctrico [Kwh].

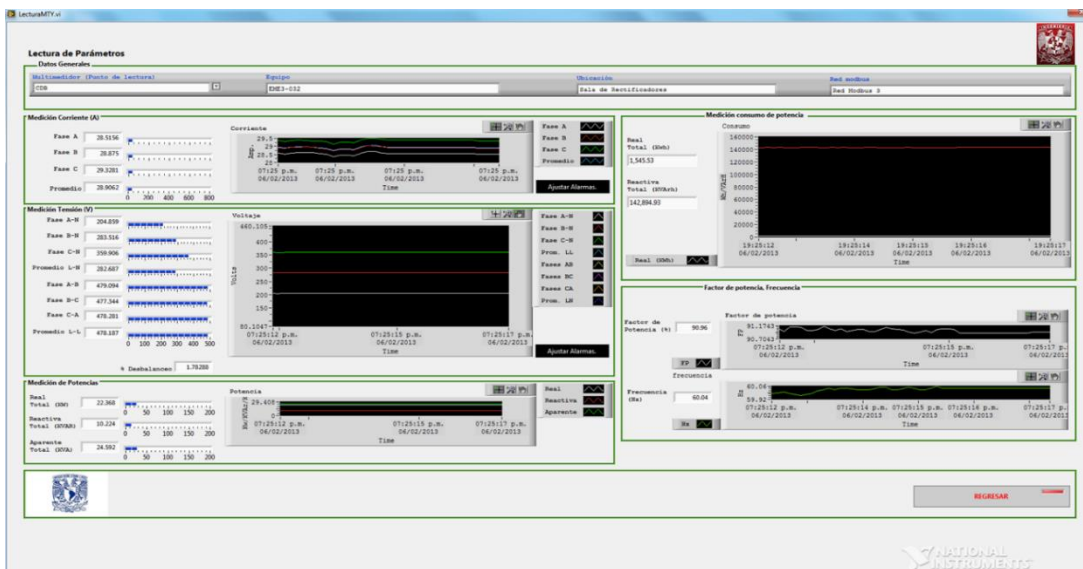
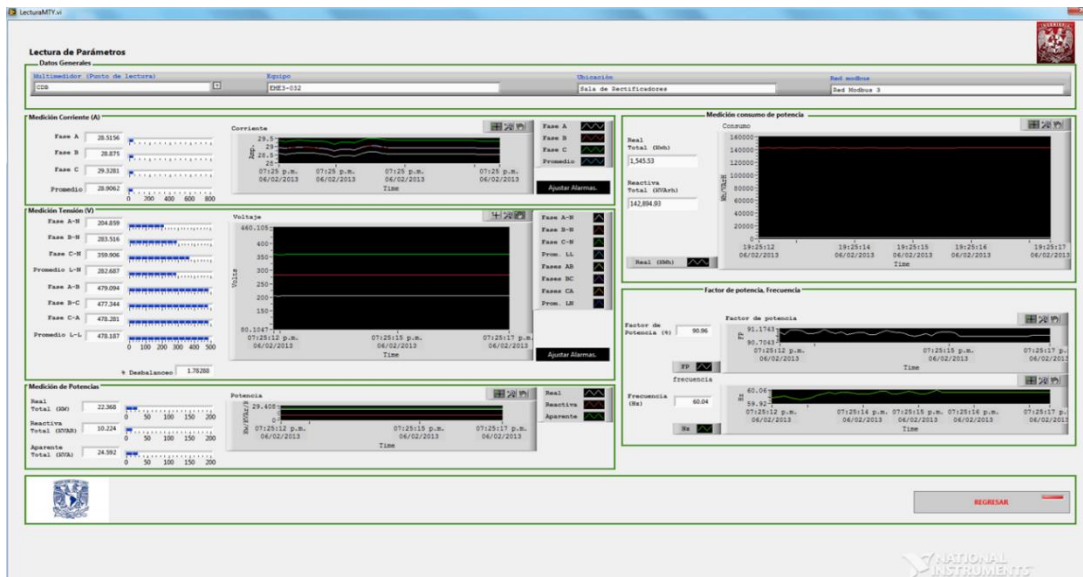


Figura 4.2.1.4. Interfaz de usuario de la aplicación NI LabVIEW.

Como se observa en la figura 4.2.1.2., la PC1 recibe la información del estado de funcionamiento a través del HUB (concentrador), que realiza la función de un enrutador de la información que recibe del PLC. El PLC detecta el estado de los contactos secos de cada dispositivo, a través de sus tarjetas de entradas y salidas digitales, las cuales están conectadas de acuerdo a la cédula de cableado, mostrada en el anexo 2, se considera un estado de funcionamiento normal cuando el contacto seco el dispositivo en cuestión se encuentra cerrado. En caso de falla el contacto se abrirá cambiando el estado de una entrada digital, lo que el PLC interpretará como una falla en proceso. Como se puede observar en el anexo 2, y cada entrada digital se le asigna un registro donde se almacena el valor que representa su estado, 1 para operación normal y 0 para falla. Como se muestra en la figura 4.2.1.5 las entradas digitales se conectan al contacto seco como NC, lo que indica que al fallar el equipo, el contacto seco se abre provocando un cambio de estado en la entrada digital haciendo que el PCL cambie de 1 a 0 el registro asignado a esa entrada. Dado lo anterior la PC1 mostrada cambiará de verde turquesa, estado normal, a rojo, estado en alarma, Figura 4.2.1.6.

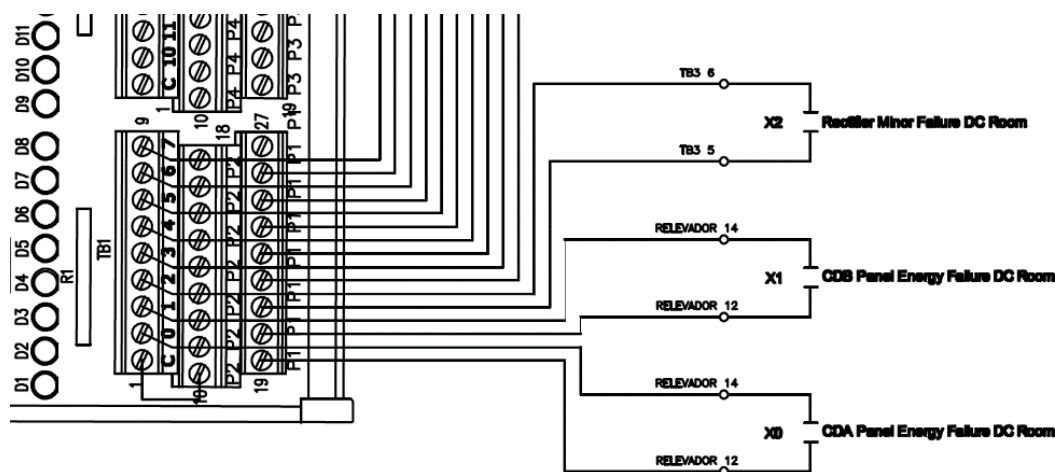


Figura 4.2.1.5. Conexiones de entradas digitales del PLC.

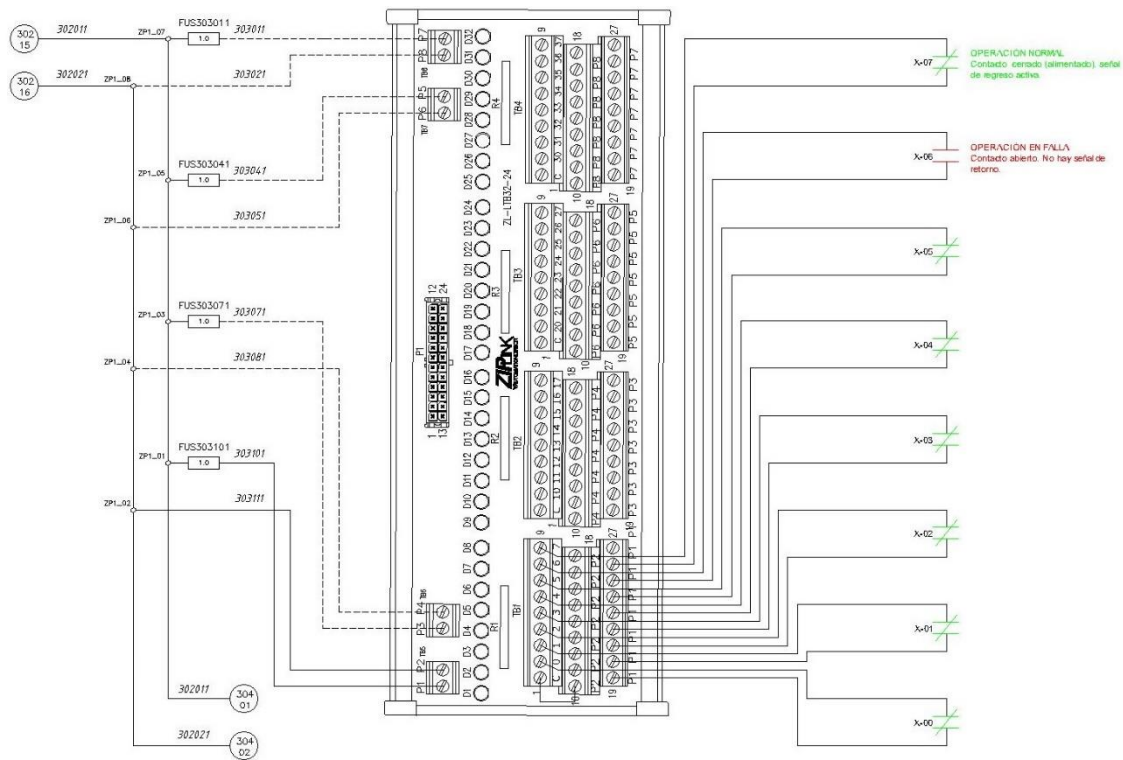


Figura 4.2.1.6. Estado de falla.

Retomando la figura 4.2.1.2., la PC2 es la encargada de mostrar la información referente a los parámetros eléctricos monitoreados en el sistema, de igual forma es responsable del encendido remoto del generador de emergencia en caso de falla del suministro eléctrico. La PC2, recibe la información a través del HUB que realiza la función de un enrutador y que a su vez recibe datos de las pasarelas que son las encargadas de convertir la información codificada en MODBUS RTU a MODBUS TCP/IP y viceversa, para poder comunicarse a través del HUB con la PC2. En las MTSO existen tres pasarelas Ethernet a las cuales están conectados los dispositivos a través de una conexión RS-485, figura 4.2.1.7. Como se puede observar en la tabla 4.2.1.1 a cada pasarela se le asigna una dirección IP una sub mascara de red y una puerta enlace, que es la misma para

todos los dispositivos de la MTSO. A los dispositivos multimedidores encargados de leer, los parámetros eléctricos, se les asigna un ID. Cada pasarela hace un barrido constante de los multimedidores, censado los valores que cada uno ellos emiten, una vez obtenida la información de todos los dispositivos los procesa y queda a la espera de que la PC2 pida la transferencia de ciertos datos.

Cabe resaltar que el HUB es parte de la infraestructura de transmisión de la compañía proveedora de comunicación móvil y su configuración así como diseño se encuentra fuera del alcance de este proyecto.

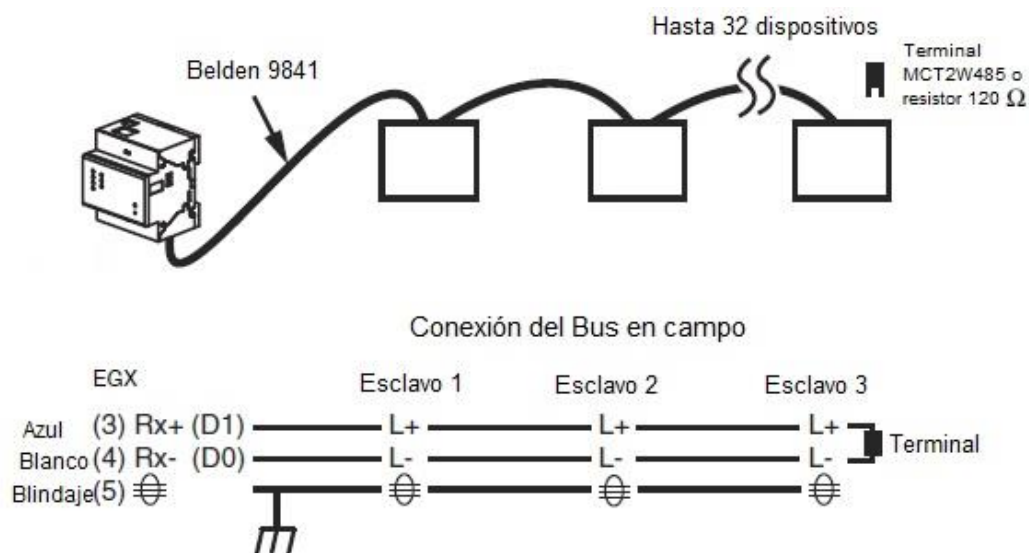


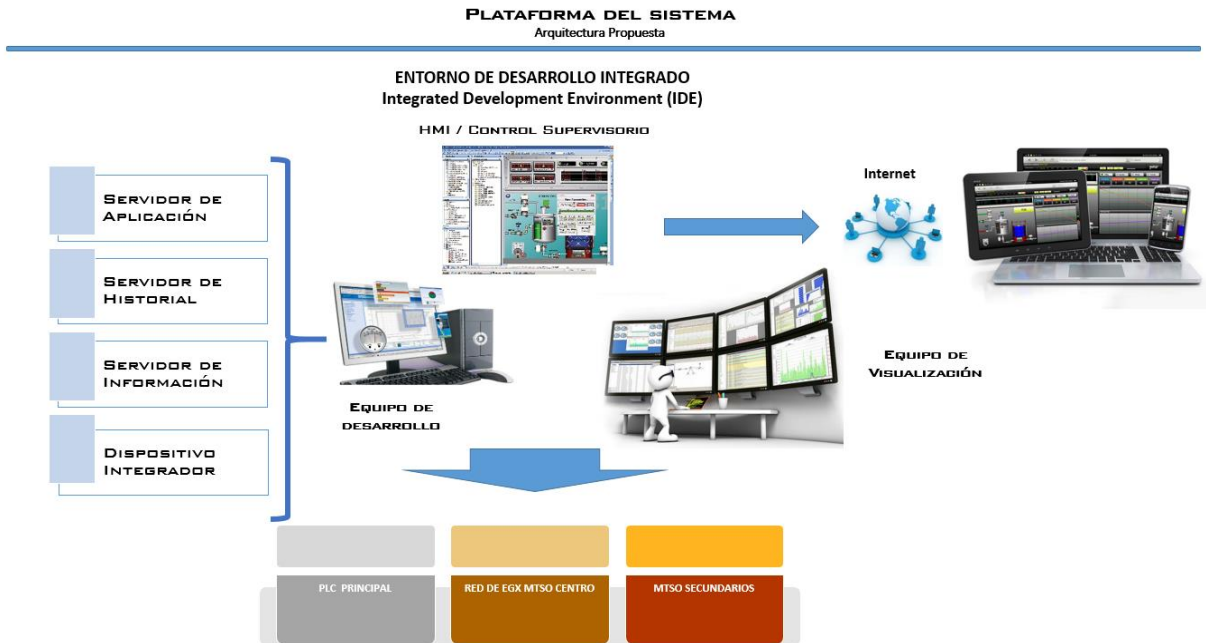
Figura 4.2.1.7. Conexión pasarela-red MODBUS RS-485

4.2.1.1 ESTACIÓN PRINCIPAL.

Cómo se explicó en el subtema anterior, la red de monitoreo cuenta con una MTSO principal la cual llamaremos MTSO Centro de ahora en adelante. Retomando la figura 4.2.1.2., la PC2 es la encargada de mostrar la información referente a los parámetros eléctricos monitoreados en el sistema, de igual forma

es responsable del encendido remoto del generador de emergencia en caso de falla del suministro eléctrico. La PC2, toma las funciones de:

- Servidor de aplicación.
- Historiador



- Servidor de información
- Dispositivo integrador

Figura 4.2.1.1.8 Entorno de desarrollo, estación principal.

La estación principal permite el acceso a usuarios remotos, encargada de la visualización global de toda la plataforma, tolerable a falla de alguno o varios de los servidores secundarios

Asimismo en la MTSO centro existe una Estación Desarrollo y Visualización Secundaria: con acceso a usuarios remotos, con capacidad manipulación de aplicaciones para su desarrollo, capaz de dar mantenimiento al sistema y

permitir la visualización en tiempo real de la aplicación, tolerable a falla de alguno o varios de los servidores secundarios.

4.3 PROBLEMAS COMUNES EN INSTALACIONES DE COMUNICACIONES INDUSTRIALES.

Los problemas que afectan la entrega de información por parte de un sistema de comunicación industrial, se traducen en errores al momento de la entrega de datos. Un error de comunicación es simplemente la alteración del estado de un bit de datos, es decir el cambio en su valor lógico de cero a uno y viceversa.

Los errores de comunicación son producidos por cualquiera de los tres elementos siguientes:

- Eventos estáticos.
- Ruido térmico.
- Eventos transitorios.

Un evento estático es ocasionado por procesos predecibles tales como fluctuaciones de alta frecuencia, distorsión de la polarización de los dispositivos electrónicos o interferencia de radiofrecuencia.

El ruido térmico es ocasionado por las fluctuaciones naturales de la temperatura en el medio de transmisión físico.

Los eventos transitorios son difíciles de predecir debido a que son ocasionados por fenómenos naturales tales como la interferencia eléctrica, caídas del sistema o réplicas de la señal.

También hay factores que afectan la propagación de la señal a través de un medio de transmisión, tales como:

- Atenuación.

- Ancho de banda limitado.
- Distorsión de retraso.
- Ruido.

La atenuación de la señal es el decremento de la amplitud del valor de dicha señal cuando es propagada a través de un medio de transmisión.

Un límite debe ser configurado en la longitud máxima permisible, antes de introducir uno o más amplificadores o repetidores que restauren la señal a su nivel original. La atenuación de una señal se incrementa para componentes de mayor frecuencia.

En cuanto al ancho de banda, esencialmente, cuanto más grande sea el ancho de banda del medio, más estrecha será la señal transmitida.

La ley de Hartley es empleada para determinar la tasa máxima de transferencia de datos de una línea de transmisión, en ausencia de ruido:

Así:

$$\text{La máxima tasa de transferencia (bps)} = 2 B \log_2 M$$

Dónde:

B es el ancho de banda en Hertz, y **M** es el número de niveles por elemento señalizado.

La distorsión por retraso, se debe a que al transmitir señales digitales las componentes de frecuencia que integran a una señal, llegan al receptor con variaciones de retraso entre ellas, la señal recibida es afectada por la distorsión de retraso. Ocurre interferencia inter simbólica cuando los retrasos son lo suficientemente grandes, tal que los componentes de frecuencia de diferentes

bits interfieren entre sí. A medida que las tasas de transmisión de bits son incrementadas, la distorsión por retraso puede dejar una creciente interpretación incorrecta de la señal recibida.

Otro parámetro muy importante asociado con el medio de transmisión es la relación señal a ruido (S/N). Los niveles de señal a ruido a menudo diferirán en varios grados de magnitud, por lo que es común que la razón S/N se exprese en decibeles como se muestra a continuación:

$$S/N = 10 \log_{10} \left(\frac{S}{N} \right) \text{ dB}$$

Dónde:

S es la magnitud de la potencia de la señal en watts.

N es la magnitud de la potencia de la señal de ruido en watts.

Hay dos enfoques para tratar con los errores en un mensaje:

- Control del error por retroalimentación.
- Corrección directa del error.

El control de error por retroalimentación es aquel donde el receptor es capaz de detectar la presencia de errores en el mensaje que ha enviado el transmisor. El error detectado no puede ser corregido pero su presencia es indicada. Lo anterior le permite al receptor emitir una petición de retransmisión del mensaje de acuerdo a como lo define un protocolo en específico. La mayoría de los sistemas industriales emplea este enfoque.

Los tres mecanismos más importantes para la detección de errores dentro del control de error por retroalimentación son los siguientes:

- Redundancia de caracteres: Revisión de paridad.
- Redundancia de bloque: Revisión longitudinal de paridad, suma aritmética.
- Revisión de redundancia cíclica (**CRC, cycle redundancy check**).

Revisión de la redundancia de caracteres (paridad).

Antes de la transmisión de un carácter, el transmisor emplea el mecanismo de acuerdo de paridad par o impar para calcular el bit de paridad necesario para adjuntarlo al carácter.

Por ejemplo:

Si ha sido elegida la paridad impar, entonces el código en ASCII 0100001 viene a ser 10100001, para asegurar que hay un número impar de 1s en el byte.

Para una cadena de paridad par, el carácter de arriba quedaría representado como 00100001. Al final de la recepción, la paridad de los 7 bits de datos del byte es calculada y comparada a la paridad del bit recibido. Si ambas no concuerdan entonces hubo un error.

La revisión de paridad provee únicamente una detección de error mínima, detectando solo alrededor del 60% de los errores en los sistemas de alta velocidad de transmisión.

La revisión de paridad ha sido popular debido a:

- Es barata y fácil de implementar a nivel electrónico.
- Permite una rápida revisión de la exactitud de los datos transmitidos.
- Es fácil de calcular mentalmente por el ingeniero para verificar el desempeño del sistema.

Aunque la revisión de paridad es un método significativamente débil aun es empleado en donde la aplicación no es crítica, tal como en la transmisión de datos de una impresora o en la comunicación entre dos componentes adyacentes en común de un sistema eléctrico donde el nivel de ruido es bajo. La revisión de paridad es apropiada donde se espera que la longitud de la ráfaga de ruido no exceda de un bit, así por ejemplo solo se espera un solo bit de error. Lo cual se traduce en que este método es solo efectivo para sistemas bajos, por lo que la detección de error de paridad no es empleada mucho en la actualidad para la comunicación entre diferentes computadoras y sistemas de control. Por el contrario hoy en día se prefiere emplear algoritmos sofisticados tales como: Redundancia de bloque, revisión de redundancia longitudinal y revisión de redundancia cíclica (CRC), para aplicaciones críticas.

La revisión de paridad de caracteres individuales puede ser complementada por una revisión de paridad sobre un bloque de caracteres. Existen dos métodos de revisión en bloque:

Revisión de redundancia longitudinal (paridad vertical y de columna): En la revisión de redundancia vertical (VRC), los mensajes son tratados como dos arreglos dimensionales, un bit de paridad es adjuntado a cada carácter, después un número definido de caracteres, un carácter de revisión de bloque (BCC), representando la revisión de paridad de las columnas, es transmitido. Aunque la VRC, que también es referida como una paridad de columna, es mejor que la revisión de error por paridad de carácter ya que ésta aún no puede detectar un número impar de errores en los renglones. Ésta es aceptable para mensajes de hasta 15 caracteres de longitud.

Para mensajes largos, un enfoque alternativo debe ser empleado. Por ejemplo, una trama de bits Ethernet, tiene hasta 1500 bytes o 12000 bits en el mensaje. Un mecanismo de revisión de errores efectivo y muy popular, es la revisión de

redundancia cíclica (**cyclic redundancy check**). La cual empleando un valor de revisión de 16 bits, promete detectar errores de acuerdo a la tabla siguiente:

Error de un solo bit	100%
Error de bit doble	100%
Errores de números pares	100%
Errores por estallido menores s 16 bits	100%
Errores por estallido de 16 bits	99.9969%
Todos los errores por estallido	99.9964%

Tabla 4.2.2.1

El divisor binario, que es la clave para la implementación exitosa de la CRC, es de la siguiente forma:

10001000000100001

El cual puede ser expresado como:

$$1 * X^{16} + 0 * X^{15} + 0 * X^{14} + 0 * X^{13} + 1 * X^{12} + \dots + 1 * X^5 + \dots + 1 * X^0$$

Que al ser simplificado queda como:

$$X^{16} + X^{12} + X^5 + 1$$

Ésta notación de polinomio es la preferida para varios mecanismos de revisión de error.

Hay dos polinomios CRC de 16 bits muy populares para la detección de errores:

- CRC-CCITT
- CRC-16

En el polinomio CRC-CCITT, los bits de información tomados en conjunción, corresponden a los coeficientes de un mensaje polinomio con términos de la forma X^{n-1} (n = número total de bits en una secuencia o bloque) descendiendo desde X^{16} . Este polinomio es dividido por un módulo de 2, dando como resultado el polinomio $X^{16} + X^{12} + X^5 + 1$. Los bits de revisión corresponden a los coeficientes de los términos desde X^{15} a X^0 en el residuo de la división del polinomio original.

5. CONCLUSIONES GENERALES Y TRABAJOS FUTUROS.

5.1 CONCLUSIONES GENERALES.

Como resultado del presente trabajo escrito, se logró diseñar una red para monitorear las variables eléctricas y el correcto funcionamiento del equipo eléctrico de un complejo industrial distribuido en cinco distintas locaciones.

Estableciendo la conveniencia de utilizar protocolos de comunicación MODBUS RTU a nivel sitio, para posteriormente convertirlos al protocolo TCP/IP, mediante el cual se logró la interoperabilidad entre las cinco locaciones, distribuidas a lo largo del territorio nacional.

La utilización del protocolo MODBUS RTU en su versión RS485 a nivel sitio nos concedió varias ventajas tanto operativas como económicas: debido a que sólo utiliza un par trenzado para la comunicación entre todos los dispositivos de una red local representando un ahorro considerable en la implementación del diseño.

A nivel general del sistema el protocolo TCP/IP nos ofreció la posibilidad de transferir datos a lo largo de la red pudiendo verificar las facilidades eléctricas desde el punto definido como central hasta cualquier locación deseada sin necesidad de estar físicamente en cada de una de ellas. Con lo que se logró

monitorear de manera efectiva y práctica las variables eléctricas del sistema sin la necesidad de emplear operadores humanos para realizar dicha tarea en sitio.

Lo que se tradujo en una mejora, en la mayoría de los casos, en la determinación de fallas ya que se logró aislar de una manera rápida y eficiente el origen de las mismas, mediante la medición de las variables eléctricas del sistema de manera remota.

Los autómatas programables representaron una parte esencial del sistema de monitoreo de fallas, siendo estos el principal reto que encontramos al momento de diseñar el presente sistema, debido a su extenuante programación ya que cada de los PLC se programo de manera específica para cada MTSO, sin embargo con el desarrollo de un programa base, en el presente trabajo, logramos optimizar la programación antes mencionada.

Las HMI permitieron que el usuario final, sin necesidad de gran capacitación, tuviera acceso a la información requerida de manera clara, transparente y entendible. En cuestión de las HMI el principal problema encontrado fue el almacenamiento de información debido a que el sistema operativo seleccionado nos limitaba en el desarrollo de sistema. De igual forma el desarrollo de la HMI para la detección de fallas representó un problema económico ya que la paquetería usada representaba un costo importante, el cual fue resuelto gracias a las relaciones profesionales creadas con la industria privada quien nos permitió el uso, las licencias de esta paquetería, para el desarrollo e implementación del proyecto.

Otro punto a recalcar es la aplicación de las distintas normas aplicables en el área de eléctrica y de comunicación, siendo éstas una guía idónea para la correcta selección de puntos esenciales en la implementación de la

infraestructura tales como: materiales, tipo de cable, estándares de comunicación, códigos de colores y elementos de seguridad física e informática.

En cuestión de las visitas a sitio, éstas se vieron limitadas por la cuestión económica del grupo y las actividades laborales de cada uno de los integrantes del equipo, sin embargo las visitas realizadas a las MTSO central y norte fueron de gran ayuda debido a la cooperación del personal de la industria privada logrando con éstas la visualización del sistema en optimo funcionamiento.

El presente trabajo fue enriquecido en gran medida con la experiencia profesional adquirida a lo largo de los años laborados en la industria privada, siempre aplicando los conocimientos y habilidades adquiridos en la H. Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, de cada uno de los miembros del equipo de trabajo así también como sus relaciones laborales creadas con la realización de sus actividades de trabajo.

Finalmente y tomando en cuenta lo antes mencionado se puede considerar que el diseño e implementación del sistema de monitoreo de facilidades eléctricas propuesto fue un rotundo y completo éxito, resolviendo en su totalidad el problema planteado al inicio de este trabajo.

5.2 PERSPECTIVAS PARA TRABAJOS FUTUROS.

Hoy en día, es bien sabido, que la tecnología avanza a niveles insospechados, teniendo logros importantes día con día en la mayoría de los sectores incluyendo el industrial. Gracias a esto se puede considerar que la tecnología de la información avanzará para permitir mayor ancho de banda traducido en mayor velocidad de transmisión de datos, más segura y estable permitiendo tener mayor control de las variables a monitorear y aumentar considerablemente el número de estas.

Los autómatas programables han llegado al punto de ser equipo inteligentes capaces de realizar actividades por si mismos sin necesidad de una PC que los controle, esto nos llevara a sistemas de monitoreo más robustos, extensos y eficientes logrando una considerable mejoría en los procesos industriales.

De igual forma el avance tecnológico ha reducido los costos de ciertas tecnologías acercándolas a más usuarios, lo cual permite tener cada día sistemas más sofisticados a un menor costo.

Gracias a la experiencia adquirida durante la realización de este proyecto y tomando como base el diseño de este, se pueden ofrecer adaptaciones a diferentes industrias y negocios que deseen tener un mejor control de sus locaciones remotas a bajo costo y aumentar sus utilidades.

GLOSARIO.

Aislante. Cuerpo o sustancia que aísla, especialmente del frío, el calor, el ruido o la electricidad.

Capacitancia. Capacidad que tienen los conductores eléctricos de poder admitir cargas cuando son sometidos a un potencial.

Conductor. Se aplica al cuerpo o material que permite el paso del calor o la electricidad a través de sí, o que es óptimo para ello.

Confiabilidad. Calidad de confiable. Probabilidad de buen funcionamiento de algo.

Control. Examen u observación cuidadosa que sirve para hacer una comprobación.

Corriente. Circulación de cargas eléctricas a través de un conductor.

Disponibilidad. Situación de la persona o cosa que está preparada para un fin.

Eficacia. Es la capacidad de alcanzar el efecto que espera o se desea tras la realización de una acción.

Eficiencia. Capacidad de alcanzar un objetivo fijado con anterioridad en el menor tiempo posible y con el mínimo uso posible de los recursos.

Energía. Capacidad que tiene la materia de producir trabajo en forma de movimiento, luz, calor, etc.

Estabilidad. Calidad de estable. En el ámbito de la informática, es la propiedad de los sistemas que tienen un nivel de fallos reducido. A menos fallos, mayor estabilidad.

Estructura. Conjunto de relaciones que mantienen entre sí las partes de un todo. Modo de estar organizadas u ordenadas las partes de un todo.

Flexibilidad. Cualidad de flexible. Capacidad de adaptación.

Industria. Actividad económica y técnica que consiste en transformar las materias primas hasta convertirlas en productos adecuados para satisfacer las necesidades del hombre. Conjunto de instalaciones dedicadas a esta actividad.

Infraestructura. Conjunto de medios técnicos, servicios e instalaciones necesarios para el desarrollo de una actividad o para que un lugar pueda ser utilizado.

Ingeniería. Arte y técnica de aplicar los conocimientos científicos a la invención, diseño, perfeccionamiento y manejo de nuevos procedimientos en la industria y otros campos de aplicación científicos.

Monitoreo. Acción y efecto de monitorear, el verbo que se utiliza para nombrar a la supervisión o el control realizado a través de un monitor.

Prestaciones. Conjunto de características técnicas que una máquina ofrece al usuario.

Red. Término que se utiliza para definir a una estructura que cuenta con un patrón característico.

Redundancia. Principio del diseño que permite que distintos sistemas pueden realizar la misma función de manera simultánea.

Resistencia. Oposición que los cuerpos conductores presentan al paso del calor o de la electricidad Elemento que se intercala en un circuito para hacer más difícil el paso de la corriente eléctrica o para que esta se transforme en calor.

Robustez. Calidad de robusto. En un sistema informático, se refiere a que se pueden ejecutar diversos procesos de manera simultánea sin generar fallos o bloquearse.

Sistema. Conjunto de elementos abstractos y relacionados entre sí. Conjunto de elementos organizados que cumplen determinada función.

Topología. Parte de la geometría que estudia las figuras geométricas en razón de sus propiedades y posiciones respectivas, sin considerar su forma o tamaño.

Voltaje. Diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito eléctrico.

BIBLIOGRAFÍA.

- Vicente Lladonosa Giró. (2004). Instalaciones eléctricas de interior: prácticas de taller. Barcelona: Marcombo.

- Joan Domingo Peña. (2003). Introducción a los autómatas programables. Cataluña: UOC.
- Josep Balcells, José Luis Romeral. (1997). Autómatas programables. Barcelona: Marcombo.
- Willian Stallings. (2000). Comunicaciones y redes de computadores. España: Prentice Hall.
- Uyles Black. (2010). Manual imprescindible de redes. España: Anaya.
- Uyles Black. (1990). Redes de computadoras. México: Macrobit.
- José Manuel Huidobro. (1998). Todo sobre comunicaciones. España: Paraninfo.
- Enrique Harper. (2006). Elementos de Diseño de Subestaciones Eléctricas. México: Limusa.
- Carlos Cannabal, Edmundo Cadena. (1996). Auditoría técnica de sistemas eléctricos de potencia industrial. Caracas: Falta Editorial.
- S. Pefhany. (2000). MODBUS Protocol. Falta lugar de impresión: Trexon INC.
- Modicon Modbus Protocol Reference Guide. PIMBUS-300 Rev. J. MODICON, Inc., Industrial Automation Systems. North Andover, Massachusetts.
- Penin Rodríguez, Aquilino. (2007). Sistemas SCADA. Barcelona: Marcombo.
- David Bailey. (2003). Practical SCADA for industry. Great Britain: Newnes.
- W. Bolton. (2006). Programmable logic Controllers. England: Newnes.
- Deon Reyneders, Steve Mackay & Edwin. (2005). Practical Industrial Data Communications. Netherlands: Newnes.
- Nathan J. Muller (2003). Wireless A to Z. McGraw-Hill Professional.
- James Harry Green (2005). The Irwin handbook of telecommunications. McGraw-Hill Professional.

- Roger L. Freeman (2004). Telecommunication system engineering. John Wiley and Sons.
- Roger L. Freeman (2005). Fundamentals of telecommunications. John Wiley and Sons.