

**“REDES INDUSTRIALES PARA LA CALIDAD Y LA MANUFACTURA
ESBELTA (LEAN)”**

UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA

Estudios con Reconocimiento de Validez Oficial por Decreto Presidencial
Del 3 de abril de 1981



“REDES INDUSTRIALES PARA LA CALIDAD Y LA MANUFACTURA
ESBELTA (LEAN)”

TESIS

Que para obtener el grado de

MAESTRA EN INGENIERIA DE CALIDAD

P r e s e n t a

ZAYRA CRISTINA ROJAS ESPINOZA

Director: Dr. Primitivo Reyes Aguilar

Lectores: Mtro. Felipe Antonio Trujillo Fernández

Ing. José Antonio Barrientos Morales

México, D.F.

2014

ÍNDICE GENERAL

LAN INDUSTRIAL PARA LA CALIDAD Y LA MANUFACTURA ESBELTA (LEAN)	6
ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.....	6
OBJETIVOS.....	10
Objetivos específicos.....	10
ALCANCE Y TRASCENDENCIA.....	11
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
MARCO DE REFERENCIA	14
Calidad	14
Manufactura Esbelta (LEAN)	14
Automatización	14
Comunicación Industrial (Ethernet Industrial).....	14
CONTENIDO CAPITULAR:	17
CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN A LA CALIDAD Y LA PRODUCTIVIDAD.....	18
1.1 Calidad	18
1.2 Evolución de la calidad	18
1.6.1 Etapa de inspección	18
1.6.2 Etapa de control estadístico de la calidad.....	18
1.6.3 Etapa del aseguramiento de la calidad	19
1.6.4 Etapa de la administración de la calidad total	19
1.6.5 Etapa de reestructurar las organizaciones y de mejora sistémica de procesos en la era de la información	19
1.3 Productividad.....	20
1.4 Relación entre Calidad y Productividad	22
1.5 Importancia.....	24
1.6 Manufactura Esbelta (LEAN)	25
1.6.1 ¿Qué es la Manufactura Esbelta?.....	26
1.6.2 Objetivo de la Manufactura Esbelta	26
1.6.3 Beneficios.....	27
1.6.1 En definición, manufactura Lean logra.....	27
1.6.2 Pensamiento Lean (esbelto)	27
1.6.3 Los 5 Principios del Pensamiento Lean (esbelto)	28
1.6.4 Los 7 tipos de muda o desperdicio	28

1.6.5	Los pasos para reducir la muda.....	29
1.6.6	Administración Visual y las 5's.....	30
1.6.7	LAS 5 S.....	31
1.7	Business Process Management (BPM).....	32
CAPITULO 2. IMPORTANCIA DE LAS REDES COMPUTACIONALES EN LA CALIDAD Y PRODUCTIVIDAD		34
2.1	Redes computacionales.....	34
2.2	¿Qué es una LAN?	35
2.3	Uso de las redes en las empresas.....	35
2.4	¿Por qué integrar redes computacionales en una empresa?	40
2.5	Redes computacionales en la calidad.....	42
2.6	Redes computacionales en la productividad	43
2.7	Importancia de las redes computacionales en la calidad y productividad.....	44
CAPITULO 3. COMUNICACIONES INDUSTRIALES – ETHERNET INDUSTRIAL (LAN INDUSTRIAL)		45
3.1	¿Cómo surgen las Comunicaciones Industriales?	46
3.2	¿Qué resuelven?	48
3.3	Redes VLAN para las comunicaciones industriales	49
3.4	¿Qué es una Red Industrial?	50
3.5	Tipos de Industrias	50
3.6	Red industrial y automatización	52
3.7	Clasificación de las redes industriales	54
CAPITULO 4. REDES INDUSTRIALES, AUTOMATIZACIÓN Y PLC		56
4.1	Sistemas de automatización	56
4.2	Historia de los PLC.....	60
4.3	¿Qué es un PLC?	62
4.3.1	Partes de un PLC	62
4.3.2	¿Por qué implementar PLC?	64
4.3.3	Campo de aplicación	64
4.3.4	Ventajas y desventajas de los PLC.....	65
4.3.5	Inconvenientes.	66
4.3.6	Otros dispositivos para la automatización - Sensores:.....	66
4.3.7	Una breve introducción a la programación.....	70
4.3.8	PLC y Redes Industriales	71

4.3.9	Fabricación asistida por computadoras.....	71
4.4	Protocolo de comunicaciones industriales	72
4.4.1	(High way-Addressable-Remote-Transducer) HART	75
4.4.2	(Process Field Bus) PROFIBUS	76
4.4.3	FOUNDATION FIELDBUS.....	76
4.4.4	MODBUS.....	76
4.4.5	DEVICENET	77
4.5	¿Por qué usar buses de campo?	79
4.6	BUSES DE CAMPO	79
4.6.1	Buses de Control - PROFINET	80
4.6.2	Buses de campo – PROFIBUS FMS (Fieldbus Message Specification).....	81
4.6.3	Buses de dispositivos – PROFIBUS DP (Periferia descentralizada)	82
4.6.4	Buses de sensores – PROFIBUS PA (Automatización de procesos).....	82
4.7	PROFIBUS – Una familia de estándares	85
4.8	¿Por qué utilizar Ethernet?	86
4.9	Ventajas y Desventajas de los buses más usados.....	88
4.10	Tipos de dispositivos y Configuración.....	90
4.11	¿Cuándo automatizar?	92
4.12	¿Qué protocolo utilizar?.....	94
4.13	Tendencias.....	95
4.13.1	Simplificación de redes industriales.....	95
4.14	Alineando conceptos	96
CAPITULO 5. CASOS DE ÉXITO, CONCLUSIONES, BIBLIOGRAFÍA		99
5.1	CASOS DE ÉXITO	99
5.1.1	Empresa: Siderca SAIC Campana.....	99
5.1.2	Empresa: Cargill Flours	101
5.1.3	Empresa: Hotel Intercontinental - Nordelta	103
5.2	Otros ejemplos:	105
5.2.1	Estacionamientos automatizados:	105
5.2.2	Sistema de control regulatorio	105
5.3	CONCLUSIONES.....	106
INDICE DE IMAGENES.....		110
BIBLIOGRAFIA.....		111

LAN INDUSTRIAL PARA LA CALIDAD Y LA MANUFACTURA ESBELTA (LEAN)

ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

A finales de la década de los 60's la industria buscó en las nuevas tecnologías electrónicas, una solución más eficiente para reemplazar los sistemas de control basados en circuitos eléctricos como relé, interruptores y otros componentes comúnmente utilizados para el control de sistemas lógicos combinados.

En periodos anteriores a estos, los procesos de producción eran controlados manualmente por los operadores o mediante mecanismos electromecánicos, y la resolución de problemas no presentaba dificultad. Con el tiempo, la complejidad de estos fue incrementando y la gestión manual para la solución de problemas no era sencilla y en ocasiones resultaba riesgosa para el operario.

Ante este panorama surge un nuevo desafío en las empresas, conectar su red de comunicaciones dentro de la planta de producción, incluyendo dispositivos que controlen los procesos y brinden información en tiempo real; esta demanda de comunicaciones integradas requiere una cuidadosa planificación y selección de equipos.



Imagen 1: Red de comunicaciones dentro de una planta de producción¹

En respuesta a esto, se desarrollan las Redes de Comunicación Industrial (Ethernet Industrial), y los Controladores Lógicos Programables (PLC) vienen a innovar los mecanismos de control dentro de los procesos de manufactura. Las Redes de Comunicación Industrial (Ethernet Industrial) poseen características particulares que responden a la necesidad de trabajar en ambientes hostiles con una gran cantidad de ruido electromagnético y condiciones ambientales duras. Y los PLC son dispositivos de Hardware Industrial utilizados para controlar de forma autónoma diferentes procesos y brindar información en tiempo real de los mismos.

En la actualidad contamos con una serie de investigaciones que dejan al descubierto los beneficios de la implementación de los PLC en la industria de manufactura, pero no se cuenta con un estudio puntualizado acerca de la importancia de su implementación para el mejoramiento de la Calidad y la Manufactura Esbelta (LEAN).

La presente investigación demostrará cómo los PLC pueden ser actores determinantes en la toma de decisiones, validando así la relevancia de estos en los procesos de manufactura y mejoramiento de la calidad.

¿Por qué es importante para la empresa automatizar los procesos mediante los PLC? ¿En qué le ayuda? ¿Qué pasa si no utiliza estos dispositivos?

¹ <http://www.panduit.com/es/solutions/industrial-solutions/topics/network-architecture> (IMAGEN)

La importancia de la automatización en los procesos de manufactura, radica en que facilita la realización de cualquier tipo de tarea en menor tiempo y con mayor calidad, es decir estandariza la actividad.

Los PLC por ser dispositivos programables y capaces de ejecutar operaciones de control, incrementan la repetitibilidad del proceso, reducen las fallas por errores humanos y por tanto ahorra tiempo en la resolución de problemas. Estos dispositivos dejan a un lado el criterio humano y siguen la secuencia de pasos con los cuales fueron esquematizados. Esto hace que el proceso sea mucho más confiable y limpio, en el aspecto de mantenimiento y presentación.



Imagen 2: Proceso automatizado. Sistema de automatización²

Los PLC además de automatizar los procesos, permiten establecer una conexión a un dispositivo gráfico (computadora) que facilita la obtención de información acerca del proceso que se lleva a cabo, es decir monitorea los diferentes elementos que son parte del proceso, en tiempo real, para las empresas con procesos de manufactura robustos, este seguimiento es de vital importancia a la hora de toma de decisiones, ya que en caso de fallar algún elemento dentro del proceso, se pueden establecer diferentes mecanismos de respuesta para esta

² <https://www.automation.siemens.com/mcms/automation/es/automation-systems/Pages/Default.aspx>
(IMAGEN)

dificultad, manteniendo así los niveles de productividad y eficiencia de la producción.

Por lo general cuando nos encontramos con procesos no automatizados – en este caso, ausencia de dispositivos PLC – indiscutiblemente estaremos hablando de calidad no estandarizada, de mermas en la producción (desperdicios) y otros aspectos que desfavorecen la rentabilidad de una empresa y cuya falta de atención representará un declive de la presencia de nuestro producto en el mercado. Es por esta última que el empleo de estos dispositivos de control no sólo favorece la simplificación de procesos de manufactura, sino también que procuran la Calidad y la Manufactura Esbelta.

OBJETIVOS

Demostrar la importancia de la toma oportuna de decisiones para el mejoramiento de la calidad y la manufactura esbelta (LEAN) mediante las interconexiones industriales y la automatización de procesos que ofrecen los Controladores Lógico Programables (PLC).

Objetivos específicos

- ✓ Recabar información acerca de las Redes de Comunicación Industriales (Ethernet Industrial).
- ✓ Determinar la relevancia de la Automatización de procesos.
- ✓ Demostrar la importancia de las Redes de Comunicación en la Calidad.
- ✓ Relacionar la importancia de la toma de decisiones oportuna para el mejoramiento de la calidad mediante la implementación de PLC.

ALCANCE Y TRASCENDENCIA

El presente estudio está dirigido a empresas con procesos de manufactura robusta que aún no estén automatizados y que deseen mejorar sus procesos de producción.

Esta investigación pretende facilitar los argumentos teóricos que demuestren la importancia de los PLC en la industria manufacturera, ubicándola como una herramienta útil para el mejoramiento de la calidad y la manufactura esbelta.

Debido a que es la primera investigación que vincula los conceptos de automatización y calidad, se desea hacer especial énfasis en el alcance que pueden llegar a tener estos dos términos en materia de producción, versatilidad y robustez ante las adversidades ambientales propias de las redes industriales.

La motivación personal para la elaboración de esta investigación es contar con los fundamentos necesarios, que me permitan utilizar el conocimiento adquirido en futuras aplicaciones dentro de mi carrera y/o sirvan como marco de referencia para otras investigaciones.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿Qué problemas se presentan por la falta de interconexión LAN dentro de una industria de manufactura?

Los problemas que se pueden presentar por la ausencia de una conexión LAN entre los equipos de producción y control van desde simples desajustes en los parámetros de los procesos, hasta una ausencia total de comunicación entre operario y la máquina, lo que puede conllevar a grandes pérdidas por paro de línea e incluso accidentes laborales.

Para las empresas de manufactura, el contar con mecanismos o medios de comunicación que le permitan obtener información en tiempo real de los diferentes procesos que se llevan a cabo, se vuelve un aspecto relevante a la hora de tomar decisiones, ya que es mediante estas formas de comunicación que se puede determinar el siguiente paso a dar (en caso de ser necesario) considerando las dificultades o desajustes que se presenten.

Tomando en consideración lo anterior, podríamos inferir que los procesos automatizados no tendrían sentido sin una red que los conectara. El no contar con los dispositivos adecuados para la interconexión de los equipos de producción y control (computadoras), puede ocasionar grandes problemas a la hora de tomar decisiones o querer mantener algún registro de las diferentes operaciones en proceso. Es por este motivo que los dispositivos PLC surgen en respuesta a esta problemática.

Los PLC (Controlador Lógico Programable), son dispositivos diseñados para controlar y maniobrar equipos que se encuentran a distancias largas con respecto al operador, facilitando así la comunicación entre ambos. Estos equipos son programados por el usuario y se utilizan en la industria para resolver problemas de secuencias en la maquinaria o procesos, ahorrando costos en mantenimiento y aumentando la confiabilidad de los equipos.

Cabe destacar que los PLC por ser dispositivos de control remoto, son de gran apoyo en empresas donde se necesita inspeccionar procesos de alto riesgo para un operario.

Ante este escenario, los PLC, representan una propuesta de mejoramiento, automatización y mejora de procesos, versátil, capaz de adecuarse a los diferentes procedimientos que se puedan encontrar en una empresa de manufactura que aún no esté automatizada. Los PLC no sólo responden a la necesidad de comunicación, sino también, aporta de manera importante una herramienta eficiente para la Manufactura Esbelta.

MARCO DE REFERENCIA

En esta sección se desarrollan conceptos de Calidad, Manufactura Esbelta (LEAN), automatización, comunicación industrial (Ethernet Industrial), y Controladores Lógico Programables (PLC).

Calidad

Respecto a la calidad existen varias definiciones (Humberto Gutiérrez, 2010)³ que la describen como una característica implícita u obligatoria, un término subjetivo para cada persona y que representa la satisfacción del cliente en cuanto al bien o servicio recibido.

Manufactura Esbelta (LEAN)

Partiendo de lo anterior surge la Manufactura Esbelta (LEAN), la cual es un modelo de gestión de la calidad orientado a la creación de flujo para poder entregar el máximo valor a los clientes, utilizando para ello los mínimos recursos necesarios: es decir ajustados (lean en inglés).

Lean es básicamente todo lo concerniente a obtener las cosas correctas en el lugar correcto, en el momento correcto, en la cantidad correcta, minimizando el despilfarro, siendo flexible y estando abierto al cambio.

Automatización

La automatización no es más que sistemas o elementos computarizados y electromecánicos que ayudan a controlar maquinarias o procesos industriales. Se utiliza mayormente para la implementación de sistemas de control. Su objetivo es gobernar un sistema sin que el operador intervenga directamente sobre sus elementos. El operador manipula valores de referencia y el sistema de control se encarga de transmitirlos al sistema controlado a través de los accionamientos de sus salidas.

Comunicación Industrial (Ethernet Industrial)

Estas redes se centran en la parte inferior de la pirámide de automatización, donde se encuentran los conocidos dispositivos de campo que actúan

³ Calidad Total y Productividad. Tercera edición 2010.

directamente en el proceso productivo. En este nivel las comunicaciones deben poseer características que le permitan resistir los ambientes hostiles y condiciones ambientales duras.

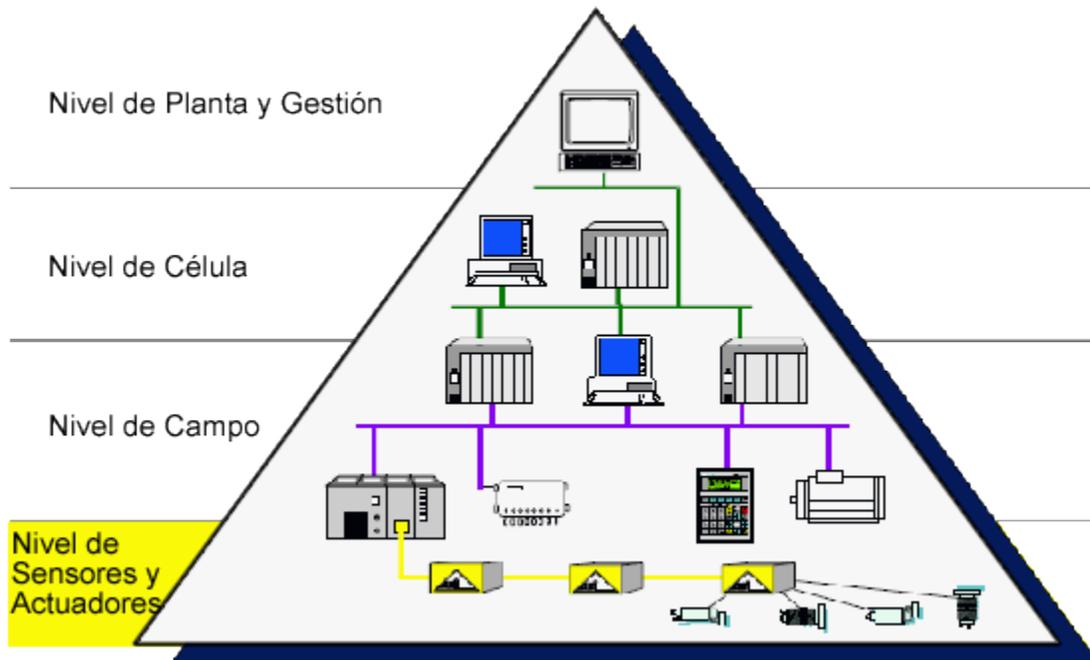


Imagen 3: Niveles en la pirámide de automatización⁴

De acuerdo a los entornos industriales donde será instalada la red, existen los siguientes tipos:

Red de Factoría: para redes de oficina, el volumen de información intercambiada es alto y los tiempos de respuesta no son críticos.

Red de Planta: para interconectar módulos y células de fabricación entre sí. Se necesita disponer de amplio ancho de banda para admitir datos de otras subredes.

Red de Célula: interconecta dispositivos de fabricación que operan en modo secuencial como robots, máquinas de control numérico (CNC), autómatas programables (PLC) y vehículos de guiado automático (AGV).

⁴ <http://www.uhu.es/antonio.barragan/book/export/html/125> (IMAGEN)

Bus de campo: este tipo de buses debe ser de bajo costo, tiempo real y permitir la transmisión serie sobre un bus digital de datos, capaz de interconectar controladores con otro tipo de dispositivos de entrada-salida.

CONTENIDO CAPITULAR:

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN A LA CALIDAD Y LA PRODUCTIVIDAD

En este capítulo se definen los conceptos de calidad y productividad, se establece la relación entre ambos y de esta manera se explica la coexistencia de los mismos para el cumplimiento de la calidad.

Capítulo 2. IMPORTANCIA DE LAS REDES COMPUTACIONALES EN LA CALIDAD Y PRODUCTIVIDAD

Tomando en consideración los conceptos definidos en el anterior capítulo, en este se destaca la importancia de las redes computacionales para el mejoramiento de la calidad y la productividad.

Capítulo 3. COMUNICACIONES INDUSTRIALES – ETHERNET INDUSTRIAL (LAN INDUSTRIAL)

Al haber explicado la importancia de las redes computacionales para el cumplimiento de la calidad y la productividad, en el este capítulo se hace especial en las redes utilizadas en las comunicaciones industriales, LAN Industrial (también conocida como Ethernet Industrial); se presentaran sus características, utilidad y tipos de redes más utilizados.

Capítulo 4. REDES INDUSTRIALES, AUTOMATIZACIÓN Y PLC

En este capítulo se unifican los conceptos desarrollados anteriormente y se destacan los aspectos técnicos de las redes industriales, así como la importancia de la automatización y los PLC (Controladores Lógicos Programables) para el mejoramiento de la calidad y la productividad.

Capítulo 5. CASOS DE ÉXITO, CONCLUSIONES, BIBLIOGRAFÍA

En este capítulo se presentan casos de éxito, donde la implementación de PLC ha contribuido en gran medida al mejoramiento productivo de los procesos, aumento de la calidad y la reducción de costos. Así vez se presentan las conclusiones generales de la presente investigación.

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN A LA CALIDAD Y LA PRODUCTIVIDAD

En el presente capítulo se desglosan los términos de calidad y productividad, a su vez se establece la relación entre ambos conceptos para entender cómo la coexistencia de estos, pueden favorecer positivamente el desarrollo de metas de producción en una empresa.

1.1 Calidad

El concepto de calidad se ha venido transformando a lo largo del tiempo y ha pasado de ser un término subjetivo y variante, a un objetivo estratégico y de mejora para la mayoría de empresas, esto debido a que la supervivencia en el mercado, depende en gran medida de la calidad de los productos y de la aceptación por parte de los clientes.

1.2 Evolución de la calidad

1.6.1 Etapa de inspección

En esta etapa, la calidad era asegurada mediante la inspección del producto final, es decir, se contaba con un empleado específico (inspector) para la revisión del producto, quien se encargaba de determinar la calidad de este y detectar los errores antes que el producto se comercializara. En esta etapa se limitó a contar y detectar la mala calidad.

1.6.2 Etapa de control estadístico de la calidad

En esta etapa el gurú Walter A. Shewhart (1931) introduce fundamentos científicos para la calidad (las cartas de control y el estudio de la calidad a través de variables). Plantea que es posible mejorar la calidad mediante la estabilización y reducción de la variación del proceso, aumentando así la confianza en que el producto cumple con las especificaciones deseadas.

Discípulos de Shewhart, como W. Edwards Deming, trasladaron su conocimiento a Japón, país devastado por la segunda guerra mundial, que acogió las enseñanzas de Deming y su ciclo PHVA (Planear, Hacer, Verificar y Actuar).

Con el apoyo de otros líderes japoneses como Kaoru Ishikawa, Genichi Taguchi, Shingeo Shingo, Taichi Ohono, etc., el ciclo PHVA se ha ido refinando, ahora tomando en cuenta las causas de variación y no el resultado (producto final).

1.6.3 Etapa del aseguramiento de la calidad

En esta etapa el concepto de calidad no se enfocaba únicamente en la manufactura, sino también en áreas de complemento, como diseño, ingeniería, y actividades de servicio.

Aquí se introduce el concepto de costos de calidad por Armand Feigenbaum y Joseph Juran, esto proporcionó un fundamento económico que validaba la importancia de mejorar la calidad, tomando como punto de partida el diseño y concluyendo solamente cuando el producto es entregado en las manos del cliente.

La participación e integración de todas las áreas y trabajadores, fue fundamental para lograr alcanzar los objetivos de calidad, costos y calidad en el servicio. En esta etapa aparece Philip B. Crosby, quien abordó la calidad desde una perspectiva más integral promoviendo hacer las cosas bien a la primera.

1.6.4 Etapa de la administración de la calidad total

En esta etapa la calidad toma una importancia de carácter estratégico y se inician programas de gestión de la calidad total para mejorar la competitividad.

Como resultado se publicó una amplia y variada literatura sobre la administración de la calidad total y en paralelo aparecieron la serie de normas ISO 9000 (1987) que buscaban unificar y estandarizar los diferentes enfoques de sistemas de aseguramiento de la calidad que hasta la fecha existían.

1.6.5 Etapa de reestructurar las organizaciones y de mejora sistémica de procesos en la era de la información

En esta etapa se propone la reinención de las empresas y la renovación en las prácticas directivas, las cuales ayudan a estimular y orientar la creación de visiones compartidas. Lo anterior, en el contexto de la globalización y la era de la información se traduce en que las gestiones de la alta dirección deben estar

orientadas a propiciar el aprendizaje organizacional, promover la creatividad del talento humano y facultar/potenciar el trabajo, dicho de otra manera: la calidad es directa y totalmente orientada al cliente y el mercado.

Tomando en consideración las diferentes etapas anteriormente presentadas y bajo las cuales se ha venido ajustando el concepto de calidad para la industria, es posible afirmar que en la actualidad, la calidad ha evolucionado hasta profundizar en prácticas directivas, metodologías y estrategias que ayudan a impactar en la cultura y efectividad organizacional para cumplir con la misión y visión, logrando hacer las cosas mejor, más rápido y a menor costo a través de la innovación, control y mejora.

1.3 Productividad

La productividad se orienta a los resultados que obtenemos a partir de un proceso o sistema, por lo cual, cuando decimos: incrementar la productividad, nos estamos refiriendo a lograr mejores resultados considerando los recursos utilizados para generarlos.

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Resultados logrados}}{\text{Recursos empleados (tiempo hombre, maquinaria, etc.)}}$$

Usualmente la productividad puede verse a través de dos componentes: eficiencia y eficacia. El primero se refiere a la relación entre el resultado alcanzado y los recursos utilizados, mientras que el segundo, es el grado en que se realizan las actividades y se alcanzan los resultados planteados, es decir, buscar eficiencia es optimizar recursos y procurar que no haya desperdicio, mientras que la eficacia es lograr las metas estipuladas (hacer lo planeado).

A continuación se presenta: la productividad y sus componentes

Productividad: no se trata de producir más rápido, sino mejor.

$$\text{Productividad} = \text{Eficiencia} \times \text{Eficacia}$$

$$\frac{\text{Unidades producidas}}{\text{Tiempo total}} = \frac{\text{Tiempo útil}}{\text{Tiempo total}} \times \frac{\text{Unidades producidas}}{\text{Tiempo útil}}$$

Eficiencia = 50%

50% del tiempo se desperdicia en:

- Paros no programados
- Mantenimiento y reparaciones

Eficacia = 80%

- De 100 unidades 80 están libres de defectos.
- 20 tuvieron algún tipo de defecto

En los datos presentados, se muestra un ejemplo de desperdicio en la eficiencia y eficacia. Para mejorar la productividad, los tiempos desperdiciados por paros no programados, mantenimiento y reparaciones deben ser reducidos. Por otro lado, considerando que la eficacia busca incrementar la capacitación y mejorar las habilidades de los empleados, vendría a ser una acción que ayude a reducir las unidades defectuosas en la producción.

En términos generales, la productividad sirve para evaluar el rendimiento de todos los recursos (humano/máquina) utilizados en la producción de determinado producto.

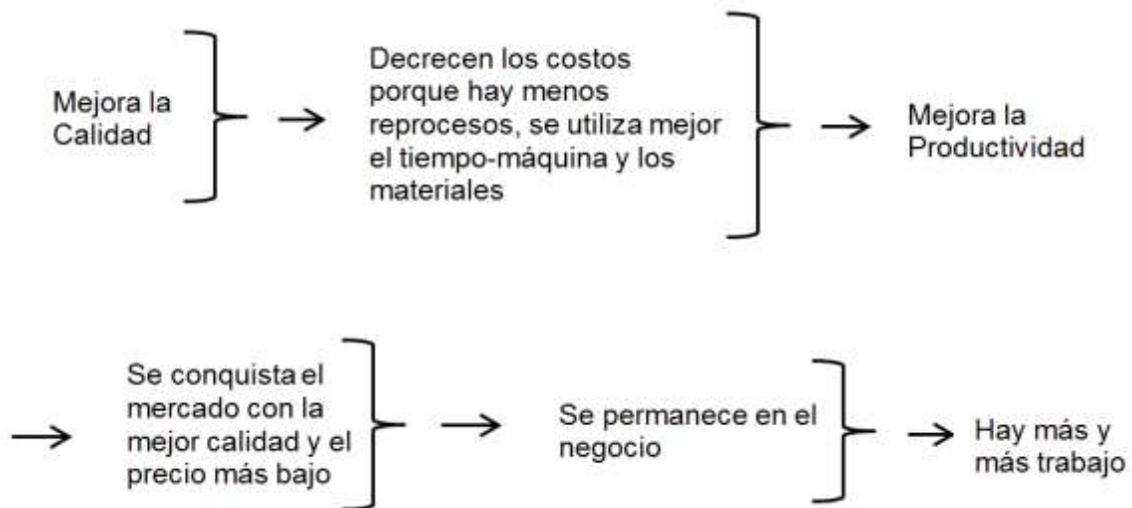
1.4 Relación entre Calidad y Productividad

Anteriormente, calidad y productividad eran términos considerados como opuestos y mutuamente excluyentes, y la explicación que se daba a esto era la siguiente: para incrementar la calidad se tenían que hacer paros en la fábrica y por ende se reducía la producción.

Sin embargo fue Deming con su cadena de reacción, el primer autor que demostró una relación positiva entre la calidad y la productividad. Lo demostró de la siguiente manera: el incremento de la calidad reduce los costos debido a la reducción de fallos, reducción de reprocesos y reducción de desperdicios.

Los primeros en comprobar la relación positiva entre la Calidad y la Productividad fueron los japoneses, quienes estudiaron la bibliografía sobre control de la calidad (en la cual se incluía *Economic Control of Quality of Manufactured Product* de Walter A. Shewhart) y comprobaron que efectivamente la productividad mejora al reducir la variación en los procesos.

Tabla 1. Reacción en cadena: calidad, productividad, reducción de costos⁵



Fue mediante esta cadena de reacción que los directivos en Japón tenían como objetivo común, la calidad.

⁵ Calidad, productividad y competitividad: la salida de la crisis. W. Edwards Deming. Ediciones Díaz de Santos.

A pesar de los estudios realizados, se seguía dudando de la influencia que tenía la calidad sobre la productividad, por lo tanto, fue necesario entrar en acción y ver a la productividad como un sistema, con entradas (proveedor) y salidas (producto terminado), de esta manera fue posible observar como la calidad entra en todos los aspectos de producción.



Imagen 4: La producción vista como un sistema. La calidad abarca toda la línea de producción, desde los materiales en recepción, hasta el consumidor⁶

Cuando decimos que la calidad se encuentra desde los materiales en recepción (proveedor), nos estamos refiriendo que para procurar la calidad, todos los componentes de nuestro proceso deben de estar orientados a cumplir con las especificaciones del cliente y el mercado, así la producción se convierte en un sistema eficiente, capaz de brindar al cliente lo que solicita.

⁶ <http://ihanamelss.blogspot.mx/2009/02/resumen-de-calidad-1capitulo.html>

Tabla 2. Beneficios en la productividad

Ejemplo de beneficios en la productividad al mejorar la calidad

<i>Artículo</i>	<i>Antes de la mejora (11% defectuosos)</i>	<i>Después de la mejora (5% defectuosos)</i>
Coste total	100	100
Desembolso por hacer unidades buenas ..	89	95
Desembolso por hacer unidades defectuosas.	11	5

El ejemplo anterior muestra claramente como el mejoramiento de la calidad contribuye en gran medida a la productividad y la reducción de costos. En este caso, en lugar de entregar 89 unidades buenas al cliente (antes de la mejora), estaremos entregando 95 (después de la mejora), se reducen costos y aumenta la producción.

En conclusión, un proceso con calidad y productivo es aquel, que bien gestionado, aprovecha al máximo el material que debe componer el producto y emplea solo el tiempo necesario para aquellas acciones que añaden valor. Dicho de otro modo, es mucho mejor contar con un proceso que produzca calidad, en lugar de invertir en fallas recurrentes. La recomendación es hacer procesos estables y capaces de brindar siempre la misma calidad y lo exigido por el cliente, sin descuidar la ergonomía de los trabajadores y la prevención de riesgos que también influyen en la calidad y productividad.

1.5 Importancia

Como vimos en el apartado anterior, la calidad y la productividad son términos interdependientes: no se puede alcanzar uno sin el otro.

La importancia de esta interrelación hace referencia a lo que se vive en la actualidad, donde no se puede ignorar los diferentes escenarios con los que nos enfrentamos, en los cuales los aspectos relevantes que garantizan nuestro posicionamiento en el mercado tienen que ver con la calidad y la productividad.

Continuando con la premisa anterior, la industria japonesa, es un buen ejemplo de aumento de productividad basada en la búsqueda de la calidad. La forma de administrar las actividades para la calidad, el uso efectivo de métodos y herramientas estadísticas, dio como resultado una mayor eficacia.

El Dr. Kaoru Ishikawa, demostró la importancia de la calidad en la búsqueda de mejores niveles de productividad; él decía: "... Si hay calidad a nivel de sistema total (calidad de materiales, calidad de proceso, de trabajo, etc.) la productividad y las utilidades son una consecuencia. Además, si el objetivo de la administración es, en primer lugar, la calidad, la confianza del consumidor crecerá, los productos tendrán gran demanda y las utilidades a largo plazo aumentarán, lo que contribuirá a una administración estable"

Por lo anterior podemos decir que la calidad no es sólo un aspecto relevante para la productividad, sino también para generar mayor demanda y lealtad por parte del cliente. Dicho en otras palabras, la calidad es la condición más importante para lograr la eficiencia, eficacia, posicionamiento en el mercado y mejorar a su vez la productividad.

Para sintetizar, podemos decir que la importancia de la calidad y la productividad se basa en cómo se aplica una (calidad) para lograr la otra (productividad), sin perder de vista la eficiencia de los recursos y el impacto que se genera en el cliente.

1.6 Manufactura Esbelta (LEAN)

A lo largo del presente capítulo se han definido algunos conceptos claves para lograr la calidad, sin perder de vista la productividad y el cliente. A continuación se presentará otro concepto que está ligado con los antes mencionados, Manufactura Esbelta (la palabra esbelta y lean, serán utilizadas a lo largo de este documento, de manera indiscriminada para referirse a lo mismo).

La Manufactura esbelta (o LEAN en inglés), se define como una metodología para la mejora de la calidad que permite realizar una producción libre de desperdicios.

El principal objetivo de esta filosofía es implantar un sistema de mejora que le permita a las empresas reducir sus costos, mejorar los procesos y eliminar todo aquello que no genere valor a la producción, manteniendo un margen de utilidad.

1.6.1 ¿Qué es la Manufactura Esbelta?

Manufactura Esbelta son diversos métodos que facilitan la eliminación de las operaciones que no le agregan valor al producto, servicio y a los procesos, aumentando el valor de las actividades realizadas y eliminando lo que no se requiere. Promueve la reducción de desperdicios y el mejoramiento de las operaciones, basándose siempre en el respeto al trabajador. La Manufactura Esbelta nació en Japón y fue concebida por los grandes gurús del Sistema de Producción Toyota: William Edward Deming, Taiichi Ohno, Shigeo Shingo, Eijy Toyoda entre otros.

El sistema de Manufactura Lean o Manufactura Esbelta ha sido definida como una filosofía de excelencia de manufactura, que se basa en:

- ✓ La eliminación planeada de todo tipo de desperdicio
- ✓ El respeto por el trabajador: Kaizen
- ✓ La mejora consistente de Productividad y Calidad

1.6.2 Objetivo de la Manufactura Esbelta

Uno de los principales objetivos de la Manufactura Esbelta es proporcionar a las organizaciones métodos y herramientas para sobrevivir en un mercado global que exige calidad más alta, entrega más rápida a más bajo precio y en la cantidad requerida.

- ✓ Específicamente la Manufactura Esbelta:
- ✓ Reduce los desperdicios en la cadena de valor
- ✓ Reduce el inventario y el espacio en el piso de producción
- ✓ Crea sistemas de producción más robustos
- ✓ Crea sistemas de logística de materiales apropiados
- ✓ Mejora las distribuciones de planta para aumentar la flexibilidad

1.6.3 Beneficios

- ✓ Algunos beneficios que genera son:
- ✓ Reducción de 50% en costos de producción
- ✓ Reducción de inventarios
- ✓ Reducción del tiempo de entrega (lead time)
- ✓ Mejor Calidad
- ✓ Menos mano de obra
- ✓ Mayor eficiencia de equipo
- ✓ Disminución de los desperdicios o Muda
 - Sobreproducción
 - Tiempo de espera (los retrasos)
 - Transporte
 - El proceso
 - Movimientos
 - Mala calidad

1.6.1 En definición, manufactura Lean logra

- ✓ Reducir el inventario y el espacio en el piso de producción
- ✓ Reducir la cadena de desperdicios
- ✓ Crear un sistemas de producción más robustos
- ✓ Generar un sistemas de entrega de materiales apropiados
- ✓ Mejorar las distribuciones en la planta para aumentar la flexibilidad

Por lo anterior podemos decir que la implantación de la metodología Lean, permite hacer una interrelación de esta con los términos antes expuestos, es decir, implementado Manufactura lean, podremos mejorar y lograr la calidad, obteniendo así mayor productividad.

1.6.2 Pensamiento Lean (esbelto)

Lo fundamental en la implantación en el desarrollo de una estrategia esbelta es respetar al personal, ya que muchas veces implica cambios radicales en la manera de trabajar, algo que por naturaleza causa desconfianza y temor.

Más que una técnica, se trata de un buen régimen de relaciones humanas. En el pasado se ha desperdiciado la inteligencia y creatividad del trabajador, a quien se le contrata como si fuera una máquina.

1.6.3 Los 5 Principios del Pensamiento Lean (esbelto)

1. *Definir el Valor desde el punto de vista del cliente:* la mayoría de los clientes quieren comprar una solución, no un producto o servicio.
2. *Identificar la cadena de Valor:* eliminar desperdicios encontrando pasos que no agregan valor, algunos son inevitables y otros son eliminados inmediatamente.
3. *Crear Flujo:* hacer que todo el proceso fluya suave y directamente de un paso que agregue valor a otro, desde la materia prima hasta el consumidor
4. *Producir el “Jale” del Cliente:* una vez hecho el flujo, serán capaces de producir con base en los pedidos de los clientes en vez de producir con base en pronósticos de ventas a largo plazo.
5. *Perseguir la perfección:* una vez que una organización consigue los primeros cuatro pasos, se vuelve claro para aquellos que están involucrados, que añadir eficiencia siempre es posible.

1.6.4 Los 7 tipos de muda o desperdicio

Muda son las actividades que no agregan valor en el lugar de trabajo, su eliminación es esencial:

1. *Sobreproducción:* ocurre cuando las operaciones continúan después de que han sido paradas. Como resultado se tiene: productos no requeridos y productos fabricados antes de que los requiera el cliente.
2. *Procesos adicionales:* se realizan cuando se presentan defectos, hay sobreproducción o faltante de inventario, incluyen reprocesos, retrabados, manejo y almacenamiento y utilizan operadores de línea y de mantenimiento para corregir los problemas.
3. *Inventarios excesivos:* no relacionados con el pedido del cliente. Incluye exceso de materias primas y productos terminados. Para mantener los inventarios se requiere espacio en planta, transporte, montacargas,

sistemas de transportadores, personal adicional, intereses devengados por inventarios de materiales, hasta encontrar un cliente que los compre.

4. *Movimientos innecesarios*: se refiere a los pasos adicionales de los empleados, como en el transporte, los movimientos toman tiempo y no agregan valor al producto o servicio. Se debe analizar cada estación, el operador no debe caminar demasiado, cargar pesado, agacharse demasiado, tener materiales alejados, repetir movimientos, ejemplo traer materiales de uso frecuente de un lugar lejano a la estación de trabajo.
5. *Las esperas o colas*: se refieren a los periodos de inactividad en un proceso debido a que las operaciones anteriores a una estación de trabajo no se desarrollaron a tiempo, no agregando valor al producto.
6. *El transporte y movimientos innecesarios*: de materiales que se transporta de una operación a otra. Se debe minimizar por dos razones: agrega tiempo muerto al proceso, ya que no agrega valor y puede inducir daño al producto o materiales durante el transporte.
7. *Defectos*: son productos o aspectos del servicio que no cumplen las especificaciones o expectativas del cliente. Los defectos tienen costos ocultos, por devoluciones, demandas y pérdida de ventas. También ocurren una diversidad de errores en las áreas administrativas.

1.6.5 Los pasos para reducir la muda

- ✓ Con un grupo de trabajo identificar un producto u operación ineficiente.
- ✓ Identificar los procesos asociados que tienen un bajo desempeño o requieren mejora. De ser posible seleccionar la operación cuello de botella en el proceso total.
- ✓ Crear un mapa de la cadena de valor para la operación que se selecciona.
- ✓ Identificar en el mapa de la cadena de valor, la localización, magnitud, y frecuencia de los siete tipos de desperdicio asociados con esta operación.
- ✓ Establecer métricas e indicadores para identificar la magnitud y frecuencia de del muda asociado con esta operación.
- ✓ Iniciar actividades de solución de problemas con métodos Lean para reducir o eliminar el Muda.

- ✓ Periódicamente continuar revisando los indicadores que se han identificado para continuar eliminando los desperdicios o muda relacionados con esta operación.
- ✓ Repetir el proceso con otras operaciones ineficientes en la organización.

1.6.6 Administración Visual y las 5's

La Administración Visual es un conjunto de técnicas que:

- ✓ Expone los desperdicios o Muda para que pueda eliminarlos y prevenir su recurrencia.
- ✓ Hace que los estándares de operación de la organización sean conocidos por todos los empleados para que puedan seguirlos fácilmente.
- ✓ Mejora la eficiencia del espacio de trabajo a través de la organización.

La Implementación de estas técnicas requiere 3 pasos:

- ✓ Organizar su espacio de trabajo usando el método conocido como las 5'S (Clasificar, Poner en orden, Limpiar, Estandarizar, y Mantener)
- ✓ Asegurarse que todos los estándares de trabajo requeridos e información relacionada este visible en el lugar de trabajo.
- ✓ Controlar todos los procesos del lugar de trabajo exponiendo y deteniendo errores y previniéndolos en el futuro.

Las técnicas de Administración Visual permiten a la organización hacer lo siguiente:

1. Mejorar la calidad del “ciclo-completo-por-primera-vez” de los productos o servicios creando un ambiente que:
 - Prevenga la mayoría de los defectos y errores antes de que ocurran.
 - Detecte los errores y defectos que ocurran y permita una respuesta y corrección rápida.
 - Establezca y mantenga estándares de cero errores, defectos y desperdicios.

2. Mejorar la seguridad del espacio de trabajo y la integridad del empleado:
 - Reduciendo riesgos.
 - Mejorando la comunicación.
 - Respondiendo rápidamente a problemas.
3. Mejorar la eficiencia del lugar de trabajo y equipo, cumpliendo así con las expectativas del cliente.
4. Reducir los costos totales.

1.6.7 LAS 5 S

Este concepto se refiere a la creación y mantenimiento de áreas de trabajo más limpias, más organizadas y más seguras, es decir, se trata de imprimirle mayor "calidad de vida" al trabajo.

Las 5'S provienen de términos japoneses que se ponen en práctica a diario y no son parte exclusiva de una "cultura japonesa" ajena a nosotros. Las 5'S son:

- ✓ Clasificar, organizar o arreglar apropiadamente: Seiri
Su objetivo es mantener lo que se necesita y quitar todo lo demás.
- ✓ Ordenar: Seiton
En este paso se evalúa y mejora la eficiencia de su flujo de trabajo actual, los pasos y movimientos que los empleados realizan para llevar a cabo las actividades.
- ✓ Limpieza: Seiso
Elimina todas las formas de contaminación, incluyendo suciedad, polvo, fluidos, y otros escombros.
- ✓ Estandarizar: Seiketsu
Promueve que todos los trabajadores ejecuten de igual manera las operaciones de producción, en este caso la información acerca de "cómo hacerlo" debe ser difundida en los niveles de trabajo correspondientes.
- ✓ Disciplina: Shitsuke
Los pasos anteriormente ejecutados deben ser mantenidos y evaluados (para futuras mejoras) periódicamente.

Por lo anterior podemos indicar que la Manufactura Esbelta (LEAN) es una metodología que permite reducir todos aquellos procedimientos que no agregan valor a nuestro producto/servicio final, factor que debe tomarse en consideración si lo que se desea es mejorar la calidad y aumentar la productividad. Más allá de promover una cultura de calidad, es también motivar una cultura organizacional que beneficie tanto al trabajador como a la empresa y sus procesos de manufactura.

1.7 Business Process Management (BPM)

Con la aparición de enfoques tendientes a mejorar la calidad como Seis Sigma y TQM (Total Quality Management), lograr los mejores niveles de calidad se vuelve muy importante en la gestión corporativa. La industria asiática, liderada por Japón desarrolló conceptos de mejora continua centrada en los procesos de baja jerarquización (KAISEN y manufactura esbelta), bajo este panorama surge BPM.

BPM (Gestión de procesos de negocio), es la aplicación de metodologías orientadas a optimizar de forma sistemática los resultados de una empresa garantizando procesos efectivos y eficientes que estén alineados a la estrategia y que aprovechen al máximo los beneficios de la tecnología y de los equipos de trabajo. A su vez está orientada a la capacidad que tiene una empresa/organización para adaptarse al cambio de su entorno y ajustar sus procesos.

Como es una metodología que surge a partir de los fundamentos de la Manufactura esbelta, procura la reducción de desperdicios y optimiza recursos, tanto humanos como de producción, mediante la sistematización de procesos, garantizando así la calidad del bien y/o servicio.

BPM es la consolidación de distintos esfuerzos o líneas de pensamiento sobre los procesos de la organización, que determina cuando el desempeño de un área impacta en los resultados de negocio y las mejoras necesarias para incrementar la productividad.

BPM facilita la visualización de las diferentes áreas de oportunidad que pueda tener la organización, tanto a nivel de procesos de manufactura como de gestión humana, que se orienta a la satisfacción de las necesidades del cliente, sin perder de vista las necesidades e intereses de la empresa.

En términos generales los conceptos desglosados en el presente capítulo son el preámbulo para destacar la importancia de la Manufactura Esbelta en términos de producción, sin hacer a un lado los conceptos tecnológicos que más adelante se explicaran.

En el siguiente capítulo consideraremos se retomaran los aspectos tecnológicos que hacen posible la automatización de los procesos, las redes de computadoras y su importancia en la calidad.

CAPITULO 2. IMPORTANCIA DE LAS REDES COMPUTACIONALES EN LA CALIDAD Y PRODUCTIVIDAD

En el capítulo anterior se abordaron tres conceptos interrelacionados: la calidad, la productividad y la manufactura esbelta. Al final del capítulo se definió otro término importante BPM (Gestión de procesos de negocio) y se determinó que este es una herramienta de Manufactura lean que facilita la sistematización y eficacia de los procesos dentro de una organización; para este efecto, el aspecto tecnológico se vuelve de vital importancia, para el debido establecimiento de comunicación, ya sea de manera interna (entre áreas) o de manera externa (entre la compañía y sus sucursales). En este capítulo se presenta la importancia de las redes computacionales para la calidad y productividad, como parte de la metodología BPM.

2.1 Redes computacionales

Las formas y medios de comunicación en el hombre, han sido un proceso de constante cambio y evolución, que han ido de la mano con el desarrollo de la humanidad. Desde que el ser humano tiene la capacidad de comunicarse ha desarrollado mecanismos y sistemas que le permiten establecer comunicación a distancias mayores a las permitidas por sus propios medios. Estas formas de comunicación han venido apareciendo desde finales del siglo XIX con la invención del teléfono. Posterior a este invento, los medios de comunicación, como por ejemplo las redes computacionales, se han convertido en la manera básica de interacción en la sociedad.⁷

Con la aparición de las computadoras, muy pronto se sintió la necesidad de interconectarlos para que se pudieran comunicar tal como lo hacen los seres humanos, de esta manera poder acortar distancias y tiempos.

Es así como las redes computacionales empiezan a ser un punto de interés, para las nuevas formas de interacción empresarial y social de aquellos tiempos y de

⁷ http://ocw.uoc.edu/computer-science-technology-and-multimedia/computer-networks/computer-networks/XP06_M2105_01496.pdf

nuestros días. Una red computacional (Network) es una conexión de diferentes computadoras que pueden comunicarse e intercambiar información, ya sea utilizando sus propios recursos o recursos ajenos. Cuando las computadoras conectadas están próximas unas a otras, se le denomina red de área local (LAN).

2.2 ¿Qué es una LAN?

LAN, por sus siglas en inglés se define como una Red de Área Local (Local Area Network). También se le conocen como redes individuales, estas generalmente cubren una única área geográfica y proporciona servicios y aplicaciones a personas dentro de una estructura organizacional común (como empresa, campus, región). Por lo general una LAN está administrada por una organización única y las políticas de seguridad y control de acceso se rigen a nivel de red (las define la organización).

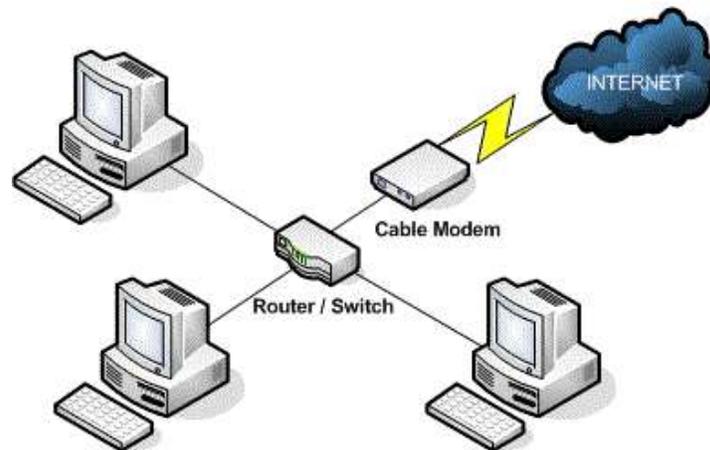


Imagen 5. Red de Área Local (LAN)⁸

2.3 Uso de las redes en las empresas

Para empezar a dar los beneficios que puede obtener la calidad y la productividad con la implementación de redes computacionales, es preciso indicar como estas se pueden utilizar dentro de una empresa.

⁸ <http://upiinfowarriors.comxa.com/info.html> (IMAGEN)

En la actualidad, el uso de LAN es muy frecuente para la comunicación interna y externa de la empresa. Estas formas de interoperabilidad han facilitado los mecanismos de control, procesamiento y distribución de la información.

Por lo general las empresas cuentan con una cantidad considerable de computadoras, las cuales pudieran estar separadas o distribuidas en las diferentes áreas de la empresa, ya sea para supervisar la producción, controlar los inventarios y/o realizar tareas administrativas. Posiblemente al inicio estas computadoras hayan trabajado por separado, pero en algún momento, la alta dirección decidió conectarlas para extraer y correlacionar la información de estas.

Dicho de otra manera, la conexión entre computadoras tiene como fin compartir información y ponerla a disposición de todos los que están conectados a la red. Para la mayoría de las empresas la información computarizada es vital ya sea para compartir recursos, por ejemplo una impresora, un escáner, etc., o para operaciones un poco más complejas, por ejemplo establecer comunicación interna por medio del correo electrónico, establecer videoconferencias, hacer negocios de manera electrónica con otras compañías, proveedores y clientes, o lo que está proliferando en la actualidad: hacer negocios con los consumidores mediante internet.

Una red computacional ayudará a resolver los problemas de comunicación de una empresa en base a sus necesidades y tamaño. A continuación se presenta algunas formas de clasificar a las redes:

Según su tamaño (las más usuales):

LAN: Red de área local. Son implementadas dentro de una misma infraestructura física, en un edificio.

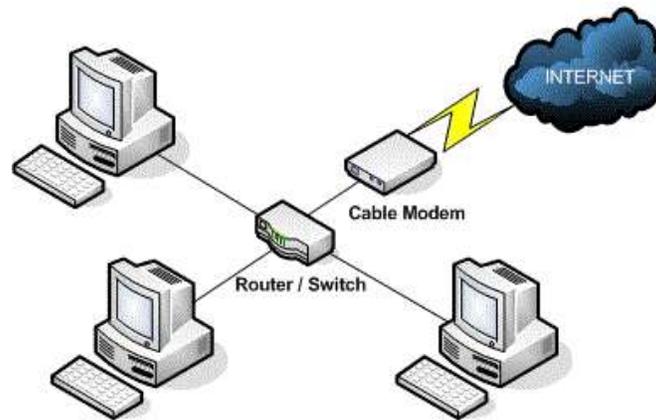


Imagen 6. LAN⁹

WAN: Red de área amplia. Es la conexión de varias LAN que se encuentran geográficamente separadas. Es la comunicación a nivel de países entre las sucursales de una misma empresa.

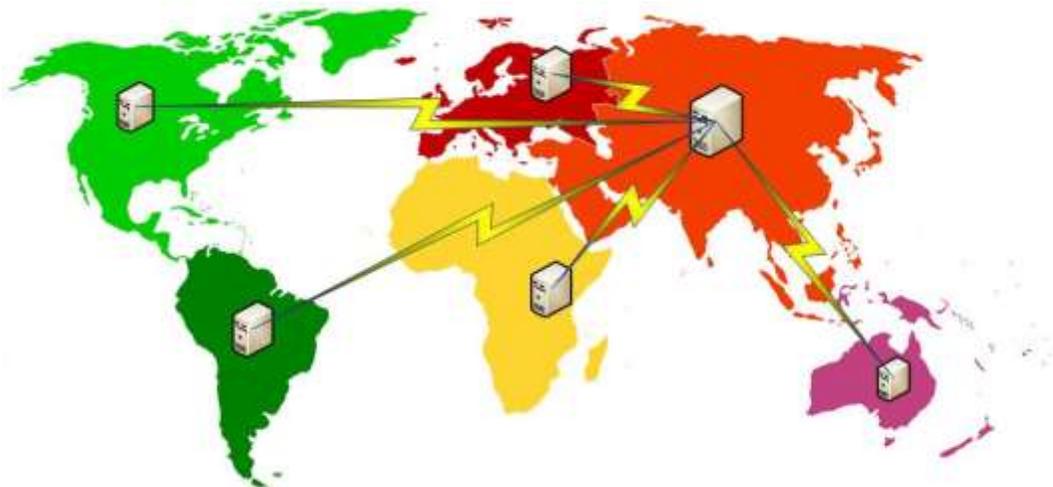


Imagen 7. WAN

⁹ <http://upiinfowarriors.comxa.com/info.html>

VLAN: Red de área local virtual. Se definen como la división lógica de una red que permite optimizar una red física, es decir, podemos separar por medio de VLAN los diferentes departamentos de una empresa, aunque estos se encuentren en un mismo lugar.

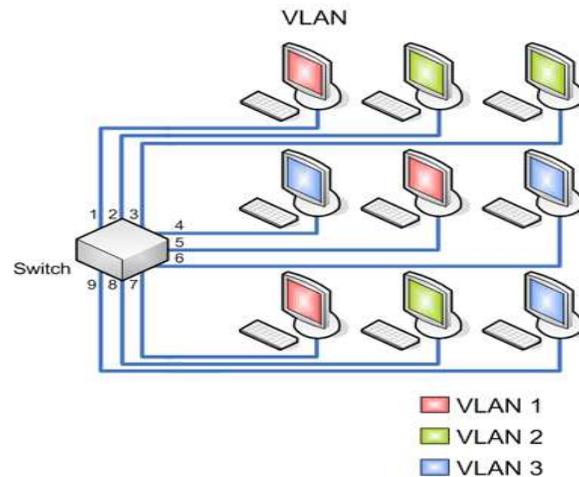


Imagen 8. VLAN¹⁰

WLAN: Red de área local inalámbrica. Su funcionamiento es igual al de las LAN, la diferencia es que estas establecen su comunicación de manera inalámbrica. Su aplicación más conocida es Wi-Fi.

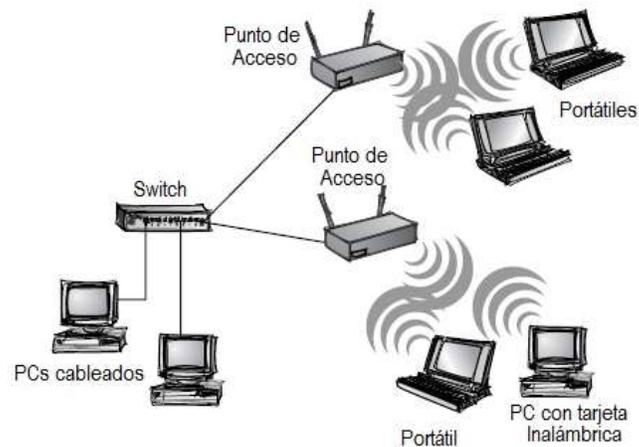


Imagen 9. WLAN¹¹

¹⁰ http://configuracion.solutekcolombia.com/redes_subredes_vlan/ (IMAGEN)

¹¹ http://datateca.unad.edu.co/contenidos/208017/ContLin2/leccin_6_redes_inalmbricas_de_rea_local.html (IMAGEN)

Según su tecnología de transmisión¹²:

Redes Broadcast: o redes de difusión, estas son las que transmiten los datos por un solo canal de comunicación y los datos son enviados a todos los equipos conectados en la red.

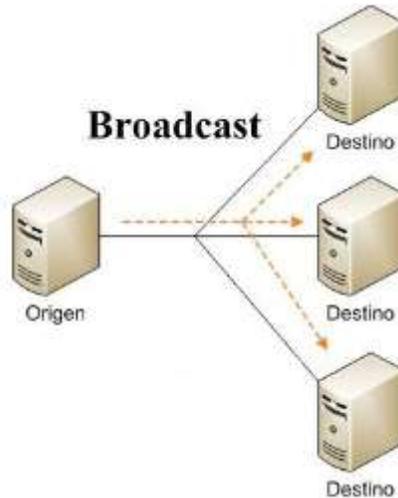


Imagen 10. Broadcast¹³

Redes point to point (punto a punto): estas redes son aquellas donde la comunicación se establece en pares, es decir, de un punto a otro, en ocasiones desde una LAN a otra.

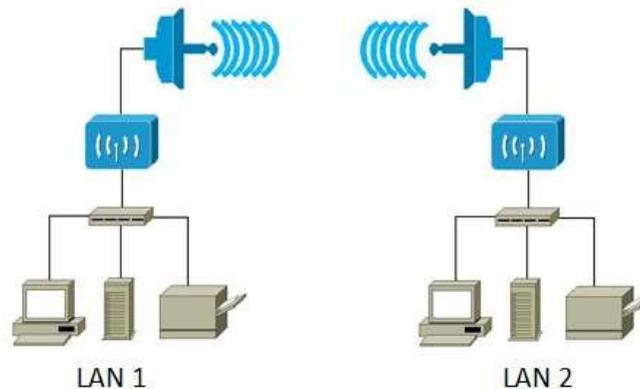


Imagen 11. Redes Point to Point¹⁴

¹² http://usuaris.tinet.cat/acl/html_web/redes/topologia/topologia_1.html - Clasificación de los tipos de redes. Consultado el 16/04/2014

¹³ http://datateca.unad.edu.co/contenidos/208017/ContLin2/leccin_6_redes_inalmbricas_de_rea_local.html

Según su topología¹⁵:

Topología de bus: esta consiste en un cable (canal físico) al cual se conectan todas las computadoras a la red.

Topología de anillo: consiste en conectar a una computadora con otros dos, de tal manera que formen un anillo.

Topología de estrella: es una red en la cual se conecta a cada computadora a un punto central.

Topología de malla¹⁶: consiste en establecer varias conexiones para enviar la información de una computadora a otra.

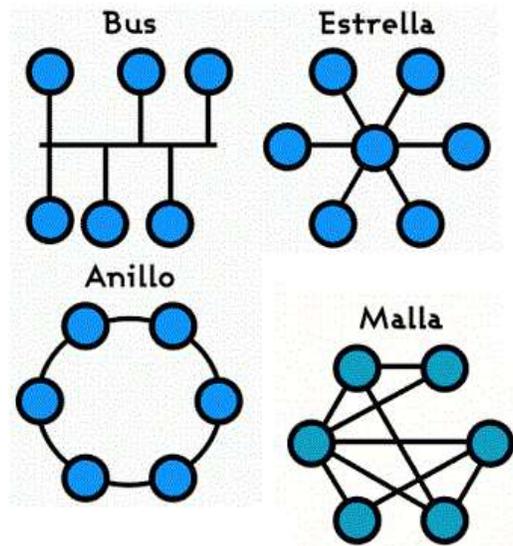


Imagen 12. Tipos de redes según su topología¹⁷

2.4 ¿Por qué integrar redes computacionales en una empresa?

Las razones por las cuales integrar las redes computacionales a los procesos de una empresa, más allá de representar la prevalencia en el mercado, es también una forma de mejorar y facilitar las maneras en que se capturan, almacenan,

¹⁴ <http://www.ibersystems.es/servicios/instalacion-redes-inalambricas/instalaciones-wimax/enlaces-wimax/>

¹⁵ http://ocw.uoc.edu/computer-science-technology-and-multimedia/computer-networks/computer-networks/XP06_M2105_01496.pdf

¹⁶ http://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Presentaciones/huejutla/sistemas/redes/topologias.pdf

¹⁷ http://guimi.net/monograficos/G-Redes_de_comunicaciones/G-RCnode4.html (IMAGEN - EDITADO)

procesan y distribuyen los datos generados por las diferentes unidades administrativas, operativas y productivas de la empresa.

La incorporación de las redes computacionales en una empresa pueden traer consigo los siguientes beneficios:

- ✓ Reducción de costos de producción
- ✓ Mejoramiento de la calidad
- ✓ Mejoramiento de la productividad
- ✓ Mejoramiento de la efectividad de los sistemas

Para lograr esto, el sistema debe de permitir:

- ✓ Sistema de comunicación que enlace la planta de producción con la de gestión e ingeniería de la empresa.
- ✓ Integración de las diferentes áreas (producción, perdidos, almacén, etc.)
- ✓ Compartir aplicaciones en diferentes niveles:
 - Software: archivos: textos, hojas de cálculo, etc. Producción: PLC, robots, etc.
 - Hardware: impresoras, otros dispositivos.

La implementación de una red computacional puede variar según:

- ✓ las necesidades de la empresa,
- ✓ el área en la que se desarrolla y
- ✓ el entorno en el que se desenvuelve;

Pero como motivación predominante, todas se orientan a la necesidad de optimizar sus procesos mediante las nuevas maneras de manejar la información que brinda la actual era del conocimiento.

Respondiendo a la pregunta sugerida en este apartado, la razón por la cual se debe integrar a las redes computacionales en una empresa, es porque estas permiten la unificación de la gestión del conocimiento y la optimización de los procesos mediante el uso de las nuevas formas de comunicación. El éxito de esto

se dará en medida que conduzca al logro de iniciativas que ayuden a la resolución de problemas y/o generen nuevas oportunidades, representando un valor agregado diferenciado, tanto para la empresa como para sus clientes. De este modo la implementación de las redes de comunicación ofrece a las empresas las condiciones para crear ventajas competitivas ofreciendo al mercado productos y/o servicios mejorados.

2.5 Redes computacionales en la calidad

La implementación de las redes computacionales, representan una de las formas por las cuales la tecnología viene a revolucionar la manera en que los procesos de las diferentes áreas de una empresa se ven mejorados.

Como se explicó en el capítulo I, la metodología BPM (Business Process Management) permite optimizar de forma sistemática los resultados de una empresa obteniendo procesos efectivos y eficientes alineados a la estrategia de la misma, es decir, no sólo se optimizan los recursos humanos y administrativos, sino también se aprovechan al máximo los beneficios de la tecnología y de los equipos de trabajo.

En las primeras implementaciones de las redes computacionales, el principal objetivo de estas, era poder compartir la información y recursos (impresora, escáner, etc.) para el uso de las diferentes actividades administrativas de la organización, con el tiempo las tareas que podían ser facilitadas por la interconexión de las computadoras fueron valoradas y extendidas a diversas áreas, como la de producción, inventario, control, etc.

La verdadera importancia de las redes computacionales para la calidad, radica, en que mediante esta es posible establecer comunicación en tiempo real entre las diferentes áreas que intervienen en los procesos de una empresa (administrativos, de control, de producción); este “real time” permite que la alta dirección obtenga la información de primera mano que permita tomar decisiones acorde a las necesidades que se vayan presentando.

Siguiendo con la idea anterior, las redes computacionales son mucho más que un medio de comunicación, en la actualidad representan un factor importante para la creación de riquezas y mejoramiento de la calidad desde diversos puntos: administrativos, culturales, productivos, de control, etc.

Desde que se han establecido los modelos de gestión de la calidad para los diferentes aspectos de las organizaciones, los medios que se utilizan (por ejemplo, las redes computacionales) vienen a representar un aspecto importante para el cumplimiento de este objetivo. En este particular podríamos afirmar que la calidad y las redes computacionales están estrechamente vinculados, ya que una (redes computacionales) facilita el cumplimiento de la otra (mejoramiento de la calidad).

2.6 Redes computacionales en la productividad

Como se definió en el capítulo anterior, la productividad es la capacidad de poder obtener los mejores resultados considerando los recursos empleados para lograrlo, siguiendo esta misma idea, las redes computacionales representan un medio a través del cual las empresas pueden mejorar los aspectos de productividad.

Las redes computacionales permiten mejorar la eficiencia y eficacia en una empresa de manufactura, ya que al contar con los medios necesarios para establecer una comunicación en tiempo real entre los operarios y los procesos, la productividad de las áreas aumenta.

Como se ha explicado en apartados anteriores, la implementación de redes computacionales representa un elemento de BPM, cuyo objetivo principal sigue siendo el poder brindar medios que faciliten los procesos de producción que acorten tiempos, mejoren resultados y reduzcan la merma tanto a nivel humano como de proceso.

2.7 Importancia de las redes computacionales en la calidad y productividad

Las redes computacionales vienen a ser una manera de implementación de BPM, la cual es una metodología utilizada para el mejoramiento de la calidad y por ende de la productividad.

Básicamente las redes computacionales representan un medio por el cual las empresas pueden lograr mejorar sus actuales formas de comunicación que faciliten los procesos de manufactura y productividad.

Es esta unificación de procesos y gestión de la información la que logra el establecimiento de alianzas que concatenan a las diferentes áreas de una empresa, logrando así una interoperabilidad capaz de favorecer el logro de los objetivos primarios de toda empresa.

En conclusión, las redes computacionales además de adecuar a las empresas a los crecientes cambios tecnológicos, llegan a ser una ventaja competitiva que optimiza los procesos administrativos y de manufactura de las organizaciones.

CAPITULO 3. COMUNICACIONES INDUSTRIALES – ETHERNET INDUSTRIAL (LAN INDUSTRIAL)

En el capítulo anterior se destacó la importancia de las redes computacionales para la calidad y productividad, a su vez, se les clasificó según su tamaño, forma de transmisión y topología. En el presente capítulo se hará especial énfasis en las redes utilizadas en las comunicaciones industriales, LAN Industrial (también conocida como Ethernet Industrial); se presentaran sus características, utilidad y tipos de redes más utilizados.

Los sistemas de comunicación proporcionan el esqueleto sobre el cual se articulan las estrategias de automatización, en este sentido los sistemas de comunicación industrial son mecanismos de intercambio de datos distribuidos en los diferentes niveles de trabajo de la empresa.

En la búsqueda de la integración de las Comunicaciones industriales, fueron desarrolladas las Redes de Comunicaciones Industriales (RCI). Las RCI, tienen su origen en los estudios de la fundación Fieldbus, que buscaba la creación y desarrollo de esquemas de Comunicaciones.

La red Profibus está basada en los estándares de Fieldbus, realiza el proceso de adquisición de datos y los transmite a niveles gerenciales, pudiendo comunicarse a través de Ethernet y realizar aplicaciones de nivel de red sin producir interferencia entre ellas¹⁸

Las soluciones basadas en Ethernet se están utilizando cada vez más en el sector de las tecnologías de automatización, donde las secuencias de procesos y producción son controladas por un modelo cliente/servidor con controladores lógicos programables (PLC), teniendo acceso a cada sensor que se conecta a la red.

Ethernet es uno de los estándares más ampliamente utilizados en las redes de empresas. El rango de velocidades de 10 Mbps hasta 10 Gbps, permite a Ethernet ofrecer una gama superior de prestaciones que se adapta a diferentes entornos y

¹⁸ <http://neutron.ing.ucv.ve/revista-e/No4/RCI.html> Consultado 14/05/2014

mercados, por lo que sus componentes son relativamente económicos y de elevada disponibilidad.

Los sistemas convencionales de automatización de procesos de fabricación operan con buses de campo a tan solo 1 o 2 Mbps. Comparado con una red Ethernet, los buses de campo resultan más costosos. Esto convierte a Ethernet en una alternativa más atractiva en automatización industrial.

Una LAN basada en Ethernet, permite conectar a la red controladores lógicos programables (PLC) con computadoras industriales convencionales, dispositivos de entrada/salida y otros interfaces hombre-máquina para el control de procesos.

La característica principal de las redes Ethernet es que poseen una disponibilidad inigualable, que garantiza que la comunicación de datos y usuarios siempre se halle a salvo. Además podemos encontrar una gran cantidad de documentación con respecto al uso de esta.

3.1 ¿Cómo surgen las Comunicaciones Industriales?

Inicialmente, el cableado de equipos eléctricos se realizaba mediante diversos cables que permitían interacción entre estos. Esta forma de conexión cubría todas las necesidades, tanto para señales digitales como para analógicas pero con la influencia de las tecnologías de la información, las normas de la industria y la proliferación del intercambio de datos digitales, impuso conexiones por redes de comunicación que incluyeran el uso de conectores y conexiones prefabricadas. Esto simplificó la construcción de equipamiento eléctrico dado que los errores de cableados eran reducidos y el mantenimiento era más sencillo.

Ante este nuevo panorama industrial, surgen las comunicaciones industriales que suplen la necesidad de implementar una LAN capaz de trabajar en ambientes hostiles de producción, tales como empresas de manufactura, ensamble, etc.

Las redes industriales (también conocidas como Ethernet Industrial) son una aplicación satisfactoria del estándar IEEE 802.3, que define el cableado,

conectores y hardware que cumple con los requisitos de ruido eléctrico, vibraciones, temperatura y duración del equipo en la fábrica.

Las redes industriales son una aplicación especializada, basada en una tecnología rigurosa que parte de los estándares de las redes de oficina, añade todos o algunos de los siguientes requisitos¹⁹:

- ✓ Tiempos de respuestas críticos: los tiempos de inactividad en la fábrica son mucho menos tolerables que en la oficina. Cuando se cae la comunicación en la fábrica todo el personal se moviliza a la planta para reparar el problema y poder seguir en marcha.
- ✓ Ambiente hostil: en redes industriales, los equipos no son instalados en cuartos climatizados, por el contrario, se encuentran en lugares más hostiles donde la temperatura es extrema y las vibraciones amenazan la instalación de los equipos. Para esto es importante saber elegir los dispositivos, cables y conectores a utilizar. Estos son elementos cruciales en las redes industriales.
- ✓ Ruido eléctrico: en las fábricas por lo general los equipos trabajan en voltajes de alta tensión de hasta 480 CA. Las redes industriales permiten la interoperabilidad de las líneas eléctricas, cargas reactivas, radiofrecuencia, las unidades de motor, y conmutación de alta tensión trabajar de forma fiable a pesar de estos peligros.
- ✓ Vibración: este es un factor muy presente en la industria de manufactura, y por tanto un inconveniente que puede ocasionar problemas con otros equipos, las redes industriales tienen la capacidad de superar estos inconvenientes sin afectar el rendimiento de la red.
- ✓ Dispositivos de energía: algunos dispositivos deben ser alimentados por el propio cable de red. Muchos dispositivos de automatización funcionan a 24 CC. Los equipos de redes industriales permiten que estos sean alimentados eléctricamente por medio de la conexión de red.

¹⁹ Ethernet Industrial. Consultado 06/05/2014 (libro en inglés)

- ✓ Seguridad: la información que circula en las redes industriales no son más importantes que los de la oficina, pero se las amenazas son diferentes. Los equipos de la fábrica no están exentos de delitos informáticos, pero es más probable que ocurran accidentes provocados por los mismos operarios, por lo tanto se deben tomar precauciones específicas.

3.2 ¿Qué resuelven?

Las redes industriales vienen a resolver unos de los paradigmas de las industrias de manufactura: el trabajo hombre-máquina bajo condiciones adversas de ejecución.

Como resultado de la integración de las redes industriales a los procesos manufactureros, encontramos la proliferación de los procesos de automatización dentro de las empresas, parte la metodología BPM. Esta forma de implementación de BPM facilita los procesos de producción que mantiene a su vez los mismos niveles de calidad para los diferentes procesos automatizados.

Las redes industriales por ser parte de la metodología BPM, implican la convergencia de procesos, maquinaria y capacidades de gestión, elementos clave para la automatización y vinculación de las áreas adyacentes.

Las redes industriales permiten reunir todos los aspectos tanto tecnológicos como humanos en una sola plataforma que administra los ciclos de vida de los procesos.

El principal reto de las organizaciones es ajustar, analizar y optimizar sus procesos de tal manera que se puedan armonizar unos con otros a lo largo de aplicaciones en ocasiones incompatibles, superando aquellos límites que constituyan una barrera de comunicación entre áreas, de esta manera poder compartir procesos e información independientemente de las tecnologías que lo soporten.

Así como las bases de datos en su momento representaron la afinación de la captura de información, así hoy las redes computacionales se conciben en la industria como un motor de procesos que optimiza la forma de trabajo hombre-máquina.

3.3 Redes VLAN para las comunicaciones industriales

Las VLAN son Redes de Área Local Virtuales (Virtual Local Area Network por sus siglas en inglés). Las VLAN son un tipo de LAN que permite segmentar de manera lógica los puertos de un Switch. El objetivo principal de estas redes es poder segmentar de manera lógica los puertos de un Switch, esta segmentación lo que permite es poder conectar a una misma red equipos que se encuentren geográficamente distantes.

Si en una empresa se tienen diferentes áreas (producción, inventario, recursos humanos, etc.) las cuales necesitan establecer comunicación explícitamente entre ellas, las VLAN son una opción ideal para este tipo de escenarios, ya que permite conectar a los equipos en una misma red, aunque estas se encuentren lejos entre sí.

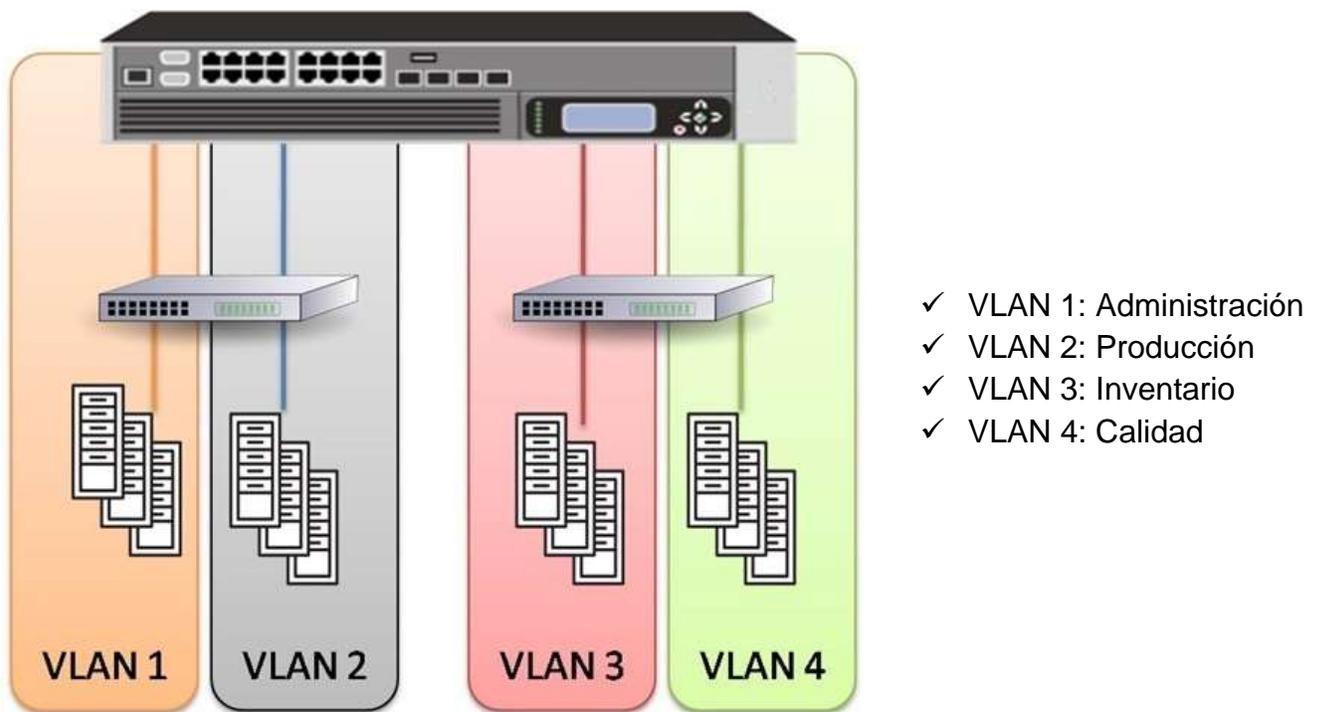


Imagen 13. Ejemplo gráfico de VLAN²⁰

²⁰ <https://devcentral.f5.com/articles/virtualization-how-to-isolate-application-traffic> (IMAGEN)

Como se observa en la imagen anterior dentro del Switch se segmentaron los puertos para que fueran asignados a ciertas áreas, de esta forma aunque los equipos conectados se encuentren en diferentes pisos o lugares, podrán interactuar como que estuvieran en un mismo lugar. Esto permite una mejor interoperabilidad y reducción de cableado.

Para las redes de comunicaciones industriales las VLAN son de mucha utilidad ya que permiten establecer una conexión directa entre los equipos de manufactura y las áreas que estén interesadas en obtener información de primera mano con respecto a los procesos de manufactura que se llevan a cabo.

3.4 ¿Qué es una Red Industrial?

Una Red Industrial no es más que la aplicación de una red de oficina implementada dentro de una empresa de manufactura o producción. La diferencia entre una red de oficina y la una red Industrial es que esta última permite conectar a los equipos de producción, con computadoras para su control y programación que ayuden al operario en la ejecución de los procesos.

3.5 Tipos de Industrias

Las industrias relacionadas con la automatización son básicamente la industria manufacturera y la industria de procesos.

La industria manufacturera se caracteriza por la presencia de máquinas, herramientas de control numérico y computadoras como núcleo del sistema de fabricación. En esta industria, destaca el uso de estaciones robotizadas en tareas de soldadura al arco o por puntos, pintura, montaje, etc., de forma que en la actualidad la necesidad de automatización es elevada si se desea ofrecer productos de calidad en un entorno competitivo.



Imagen 14. Robot de ensamble²¹

Los principales problemas que se desean resolver en esta industria son la planificación y gestión de la producción, es decir, la asignación de tareas a máquinas, diseño de la planta, diseñar sistemas flexibles capaces de fabricar diversos productos y políticas de planificación que favorezcan la optimización.

En cuanto a la industria de procesos, existen fábricas de productos de naturaleza más o menos continua, como la industria petroquímica, cementera, de la alimentación, farmacéutica, etc. Dentro del proceso de fabricación de estas industrias, se investigan nuevas tecnologías, para la obtención de nuevos catalizadores, bioprocesos, membranas para la separación de productos, microrreactores, etc.

²¹<https://devcentral.f5.com/articles/virtualization-how-to-isolate-application-traffic> (IMAGEN)



Imagen 15. Industrias de investigación²²

En estas industrias, destacan la aplicación de algoritmos de control avanzado, - como, por ejemplo, el control predictivo -, o la formación de operarios de salas de control mediante simuladores. Respecto a las necesidades de automatización, la industria de procesos tiene un nivel consolidado en cuanto a salas de control con sistemas de control distribuido (DCS), y el uso de controladores lógicos programables (PLC) son de mucha utilidad para tareas secuenciales o para configurar sistemas redundantes seguros ante fallos.

3.6 Red industrial y automatización

La automatización tiene como fin innovar procesos que se encuentran obsoletos mediante la búsqueda de áreas de oportunidad que permitan brindar una solución que convierta en acciones de crecimiento y no obstáculos. Por otro lado la automatización permite que las organizaciones comiencen a fabricar un producto atractivo al mercado, de calidad y estandarizado.

Siguiendo la idea anterior, las redes industriales pueden considerarse como el medio mediante el cual es posible comunicar los diferentes instrumentos de control dentro de los procesos de manufactura.

²²http://www.sartorius.es/es/detalle/news/sartorius_group_announces_offer_to_acquire_uk_company_tap_biosystems_group_plc/

Las redes computacionales están conformadas por tres elementos básicos que logran llevar a cabo la secuencia o regulación continua dentro de los procesos de manufactura, estos son: los controladores lógicos programables (PLC), la computadora industrial y los reguladores industriales (tanto en versión analógica como digital).

Estos tres elementos son vitales para los procesos de automatización de cualquier empresa. La utilización de los PLC dentro de las redes industriales, es un elemento clave que seguirá en evolución e implementación dentro de las redes industriales.

La automatización industrial dio lugar a las islas automatizadas que eran equipos (autómatas, controles numéricos, computadoras) independientes entre sí. La integración de las islas automatizadas dio lugar a las redes industriales.

Niveles de las redes industriales (desde el nivel superior)

- ✓ Nivel LAN/WAN
- ✓ Nivel LAN
- ✓ Nivel de bus de campo

3.7 Clasificación de las redes industriales

Las redes industriales se pueden dividir básicamente en tres niveles, los cuales se muestran en la Imagen 16²³:

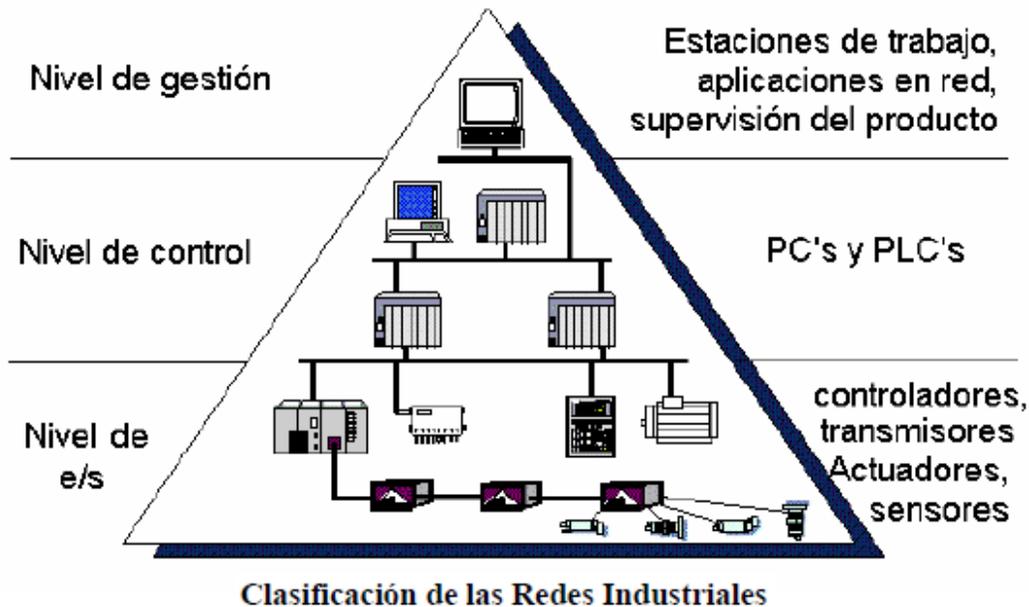


Imagen 16. Clasificación de las Redes Industriales²⁴

✓ Nivel de Entrada/Salida (E/S)

Es el nivel más bajo de la red donde se conectan los dispositivos de adquisición de los datos en campo tales como: Sensores, Interfaces de operador, electroválvulas, controladores, etc.

✓ Nivel de control

En este nivel se encuentran los protocolos que permiten conectar los elementos que realizan el control en la industria, tales como PLC, Sistemas de control distribuidos básicos (DCS) y algunas computadoras industriales, usados para la ejecución de los procesos.

✓ Nivel de gestión

Este nivel se conoce como nivel de Información, aquí se conectan directamente los DCS, PLC con procesadores avanzados y estaciones de trabajo para realizar

²³ <ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIET/DEIC/Materias/SW%20para%20aplicaciones%20Industriales%20II/Sw%20II/Conferencias/Capitulo%205.pdf> (IMAGEN)

²⁴ <http://www.uhu.es/antonio.barragan/book/export/html/125> (IMAGEN)

el control supervisado del proceso. Este nivel maneja protocolos de comunicaciones estándares, como Ethernet.

Como se observa en la figura anterior, las comunicaciones industriales poseen distintos niveles, y en el presente capítulo se destaca las conexiones de red presentes en el nivel más inferior de la pirámide, donde se encuentran los dispositivos capaces de automatizar, controlar y efectuar los procesos de manufactura más complejos.

Las redes industriales deben su origen a la fundación Fieldbus (Redes de campo), quien desarrolló este protocolo de comunicación con el objetivo de medir y controlar procesos donde todos los equipos de manufactura pudieran comunicarse bajo una misma plataforma. Este protocolo permite disponer de una nueva tecnología orientada a sistemas de control y automatización, más simple, donde las rutinas de control regulatorio y lógico son efectuadas por dispositivos de campo, que permiten la integración de equipos de cualquier fabricante.

El presente capítulo se centró en las Redes Industriales y se destacó su origen, lo que resuelven y algunos aspectos técnicos (como la implementación de VLAN) para poder explicar cómo se pueden optimizar los recursos de red de tal manera que mejoren las formas de comunicación entre áreas y procesos dentro de la línea de manufactura.

En conclusión, podríamos decir que el principal aporte de las redes industriales es la aplicación de las redes computacionales de oficina, acondicionadas para soportar los ambientes hostiles a los que se pueden enfrentar las interconexiones en ambientes de producción/manufactura.

En el siguiente capítulo se ahondará acerca este mismo tema, focalizándose en conceptos como automatización, ahora con la integración de Programadores Lógicos Programables (PLC).

CAPITULO 4. REDES INDUSTRIALES, AUTOMATIZACIÓN Y PLC

En el capítulo anterior se presentaron algunas generalidades de las redes industriales y como estas contribuyen para la automatización, en el presente capítulo se enfatizará los aspectos de diseño de los sistemas de automatización, es decir, se definen algunas metodologías que permitan la automatización dentro de la producción industrial y algunas recomendaciones en el diseño de interfaces persona-máquina. Así como la descripción de los dispositivos utilizados, los tipos de redes y los protocolos de comunicación más utilizados.

4.1 Sistemas de automatización

La automatización debe su origen a la palabra *automática*, que está definida por la RAE²⁵ en una de sus acepciones como:

Dicho de un mecanismo: Que funciona en todo o en parte por sí solo.

De esta definición se desprende *automatización* que se define como la aplicación de la automática al control de procesos industriales.

Proceso se define como la parte del sistema en la cual a partir de una entrada (material, energía e información), se genera una transformación que da lugar a una salida de material en forma de producto. En el caso de la industria, los procesos pueden ser tres²⁶:

- ✓ Los procesos continuos: estos se caracterizan porque a la salida del proceso se forma un flujo continuo de material, como por ejemplo: la purificación del agua, generación de electricidad.

²⁵ <http://lema.rae.es/drae/srv/search?id=Qfs84blhhDXX2UfhS8lB>

²⁶ <http://www.epsevg.upc.edu/hcd/material/lecturas/interfaz.pdf>



Imagen 17. Equipo automatizado para la purificación del agua²⁷

- ✓ Los procesos discretos: son los que contemplan la salida del proceso en forma de unidades o número finito de piezas. Ejemplo la fabricación de automóviles.



Imagen 18. Proceso automatizado para la producción de automóviles²⁸

²⁷ <http://www.medicaexpo.es/prod/mar-cor-purification/sistemas-purificacion-agua-laboratorio-por-osmosis-inversa-electrodeionizacion-ultrafiltracion-78786-487568.html> (IMAGEN)

²⁸ <http://www.atraccion360.com/exportacion-automotriz>

- ✓ Los procesos batch: son en los cuales la salida del proceso forma cantidades o lotes de material. Ejemplo los productos farmacéuticos o la producción de cerveza.



Imagen 19. Proceso para la producción de fármacos²⁹

Los tipos de procesos únicamente define la cantidad de producto obtenido (continuo, finito, por lotes) por las diferentes industrias, ya sea manufacturera o de procesos, en todo caso estas industrias podrán enfocar sus esfuerzos por mejorar en mayor o igual medida los aspectos de calidad y/o costos, en este sentido la automatización industrial contribuye decisivamente en el control de procesos industriales.

El control de procesos industriales abarca desde un punto de vista teórico, la instrumentación de control (sensores, actuadores, dispositivos electrónicos, etc.), la aplicación a procesos industriales (ejemplo, la mezcla de componentes en un reactor químico), las diversas arquitecturas de control (centralizado, distribuido), las estructuras de control (*feedback*, *feedforward*, cascada, etc.) y la teoría de control avanzada (control predictivo, control multivariable, etc.), por mencionar los relevantes.

En la industria manufacturera y de procesos, se destacan dos algoritmos de control:

²⁹ <http://logitek.es/soluciones/farmacia> (IMAGEN)

- ✓ Control secuencial: este propone estados (operaciones a realizar para la transformación de la materia prima) y transiciones (información relativa a sensores o elementos lógicos como temporizadores o contadores) en una secuencia ordenada que identifica la evolución del proceso.
- ✓ Regulación continua: mediante la estructura clásica feedback, se toma en cuenta el control proporcional, el control derivativo o control integral para conseguir una regulación de la variable principal del proceso (temperatura, nivel, caudal, etc.).

En cuanto a la instrumentación utilizada para el control, se encuentran tres elementos básicos:

- ✓ Controladores Lógicos Programables – PLC
- ✓ Computadora industrial
- ✓ Reguladores industriales

En el proceso de automatización, las redes industriales deben resolver la problemática de la transferencia de información entre los equipos de control y entre los correspondientes a los niveles contiguos de la pirámide CIM (Computer Integrated Manufacturing).

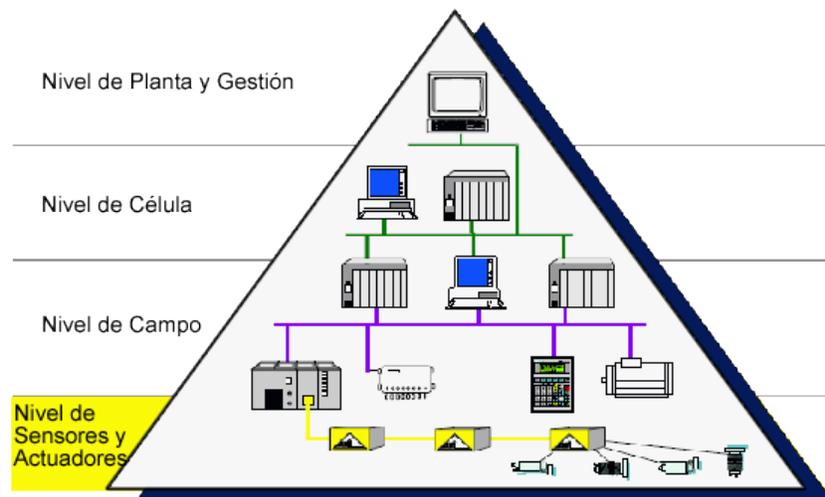


Imagen 20. Pirámide CIM³⁰

³⁰ <http://www.uhu.es/antonio.barragan/book/export/html/125> (IMAGEN)

La imagen anterior, representa de manera gráfica los diferentes niveles que se encuentran unificados en una empresa de manufactura donde se han integrado los procesos de producción (diseño, ingeniería y fabricación), con los de gestión de la empresa.

Esta pirámide puede unificar las siguientes áreas:

- ✓ Órdenes de entrada
- ✓ Control de inventarios
- ✓ Planificación de necesidades de materiales
- ✓ Diseño del producto y proceso
- ✓ Simulación
- ✓ Planificación de la fabricación
- ✓ Automatización de la producción
- ✓ Control de calidad
- ✓ Ensamblado automático
- ✓ Control de ventas

En el presente capítulo se enfatizará en los niveles más bajo de la pirámide, donde se encuentran los PLC, sensores y actuadores, los cuales son elementos claves en los procesos de automatización de las empresas de producción.

4.2 Historia de los PLC³¹

En la actualidad el desafío constante de la industria es poder ser altamente competitiva, este factor se ha convertido en el motor impulsor que ha desarrollado nuevas tecnologías para lograr la productividad.

Ya que algunas etapas del proceso de manufactura se realizan en ambientes nocivos para la salud, con gases tóxicos, ruidos, temperaturas extremadamente altas o bajas y considerando la productividad como un aspecto medular, se pensó en la posibilidad de dejar estas tareas tediosas, repetitivas y peligrosas a un ente que no le pudieran afectar dichas condiciones, es así como nace la automatización.

³¹ http://www.edudevices.com.ar/download/articulos/PLC/CURSO_PLC_01.pdf - consultado el 19/05/2014

Surgieron empresas dedicadas al desarrollo de los elementos que hicieran posible tal automatización; ya que las máquinas eran diferentes en infraestructura y maniobras a realizar, se hizo necesario crear estándares que, mediante la combinación de los mismos, el usuario pudiera realizar la secuencia de movimientos deseada para solucionar su problema de aplicación particular.

Los primeros dispositivos ideados para resolver este nuevo paradigma fueron los relés, temporizadores, contadores, pero con el constante énfasis en la mejora, la calidad y el aumento de producción las etapas dentro del proceso de manufactura fueron aumentando y por ende los requerimientos para estos dispositivos.

Los primeros inconvenientes relacionados a estos dispositivos fueron: los armarios o tableros de maniobra en donde se colocaban ya que mientras aumentaban los procesos, así mismo aumentaban la cantidad de dispositivos (relés, temporizadores, contadores) para controlarlos, el espacio, la localización de los equipos, el panel de programación y el costo se habían vuelto factores relevantes a resolver.

Con el desarrollo tecnológico se introdujeron los semiconductores y los circuitos integrados.

Con estos nuevos elementos se obtuvo fiabilidad y se redujo el problema del espacio, pero no así la detección de averías ni el problema de mantenimiento de los tableros. Además, subsistía un problema: la falta de flexibilidad de los sistemas.

Por las constantes modificaciones en las que se veía obligada a realizar la industria para incrementar la productividad, los armarios de maniobra debían ser cambiados, lo cual representaba pérdida de tiempo y aumento de costo.

Fue a finales de la década de los 60 que grandes empresas de la industria automotriz de EUA impusieron a sus proveedores de automatización, unas especificaciones para la realización de un sistema de control electrónico para determinada maquinaria y procesos.

Es así como incursionan los controladores lógicos programables (PLC). Limitados en sus inicios a los tratamientos de lógica secuencial, su desarrollo fue muy rápido y actualmente extienden sus aplicaciones al conjunto de sistemas de control de procesos y de máquinas.

4.3 ¿Qué es un PLC?

Un PLC es el cerebro de un proceso industrial de producción, que reemplaza a los sistemas de control de relés y temporizadores cableados. Se puede decir que un PLC es como una computadora desarrollada para soportar las condiciones que se desarrollan en un ambiente industrial. En definición, un PLC es un equipo electrónico, programable y diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial, procesos secuenciales. Estos equipos permiten el monitoreo de entradas y la toma de decisiones se basan en su programa, controla las salidas que son el resultado de la automatización del proceso. Su manejo y programación puede ser realizada por personal eléctrico o electrónico sin conocimientos informáticos. Realiza funciones lógicas: series, paralelos, temporizaciones, cuentas y otras más potentes como cálculos, regulaciones, etc. La tarea del usuario se reduce a realizar el “programa”, que no es más que la relación entre las señales de entrada que se tienen que cumplir para activar cada salida.

4.3.1 Partes de un PLC

Un PLC consiste básicamente en módulos de entrada, CPU (Unidad Central de Procesamiento) y módulos de salida, una fuente de alimentación y una terminal de programación.

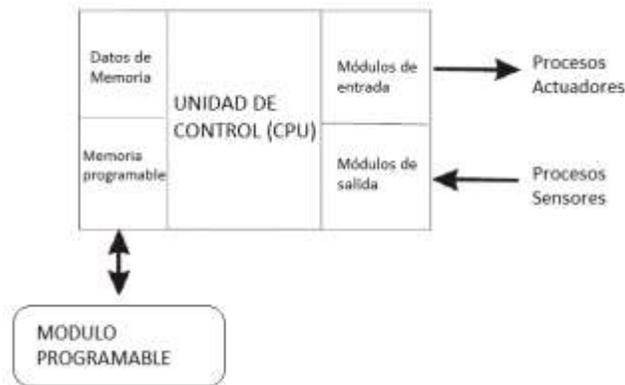


Imagen 21. Partes de un PLC

El módulo de entrada acepta señales analógicas o digitales de varios dispositivos de campo (sensores), que posteriormente los convierte en señal digital para que el CPU (Unidad Central de Procesamiento) los utilice.

El CPU toma las decisiones y ejecuta las instrucciones de control que se basan en las instrucciones del programa en la memoria. El CPU se encarga de recibir las órdenes del operario a través de la consola de programación y el módulo de entradas. Luego, las procesa para enviar las respuestas al módulo de salida. Los módulos de salida convierten las instrucciones de control del CPU en una señal (ya sea) analógica o digital que es usada para controlar los dispositivos de campo (actuadores).

Los PLC son utilizados para ejecutar instrucciones deseadas, las cuales se ejecutan según una entrada específica. La terminal o módulo programable es la que comunica al operario con el sistema. Sus funciones básicas son:

- ✓ Verificar la programación.
- ✓ Transferir y modificar programas.
- ✓ Informa el funcionamiento de los procesos.

Estos módulos de programación pueden ser construidos específicamente para PLC, o puede ser una computadora que soporte un “software” diseñado para la programación y control.

Por lo general las computadoras en estos procesos de automatización son utilizadas para:

- ✓ Reemplazar la lógica de los relés para el comando de motores, máquinas, cilindros, etc.
- ✓ Reemplazar temporizadores y contadores.
- ✓ Ser interface entre una computadora y el proceso de fabricación.
- ✓ Diagnosticar fallas y alarmas.
- ✓ Comandar y controlar tareas repetitivas y peligrosas para el operario.
- ✓ Regular aparatos remotos desde puntos específicos de la fábrica.

4.3.2 ¿Por qué implementar PLC?

Las razones por las cuales se implementan PLC en la automatización de los procesos de manufactura, pueden variar según la empresa, en todo caso, el objetivo y utilidades brindadas por los PLC, podrían resumirse en:

- ✓ Reduce de tableros y cableado.
- ✓ Reduce de mantenimiento.
- ✓ Brinda adaptabilidad a los proceso, permitiendo que estos puedan ser ajustados acorde a las necesidades presentadas.
- ✓ Permite que se agreguen nuevas maquinarias, aun cuando estas no fueron estimadas desde un inicio.
- ✓ El desgaste o mantenimiento mecánico es muy poco.
- ✓ Agiliza el diagnóstico y corrección de fallas.

4.3.3 Campo de aplicación

El PLC por su versatilidad en diseño y la constante evolución del Hardware y Software amplía continuamente su campo de aplicación.

Se utilizan fundamentalmente en instalaciones en donde es necesario ejecutar procesos de maniobra, control, señalización, etc., por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industrial de cualquier tipo hasta de transformaciones industriales, control de instalaciones, etc.

Algunos ejemplos de aplicación:

- a. Máquinas
 - ✓ Industria del mueble y madera.
 - ✓ En procesos de grava, arena y cemento.
 - ✓ En la industria del plástico.
- b. Instalaciones
 - ✓ De aire acondicionado, calefacción, etc.
 - ✓ De seguridad.
 - ✓ De frío industrial.
- c. Señalización y control
 - ✓ Chequeo de programas.
 - ✓ Señalización del estado de procesos.

4.3.4 Ventajas y desventajas de los PLC

Si bien no todos los PLC presentan las mismas ventajas, esto se debe mayormente a la variedad de modelos que se encuentran en el mercado y las innovaciones técnicas que surgen constantemente. De cualquier modo, a continuación se presentan algunas ventajas.

Las condiciones favorables que presenta un PLC son las siguientes:

Reducen el tiempo de elaboración de proyectos debido a que:

- ✓ No es necesario dibujar el esquema de contactos, esto quiere decir que los esquemas técnicos no son necesarios, ya que la programación de los PLC se puede realizar de manera gráfica desde una computadora o una consola de programación.
- ✓ No es necesario simplificar las ecuaciones lógicas, ya que, por lo general, la capacidad de almacenamiento es lo suficientemente grande.
- ✓ La lista de materiales queda reducida, y en la elaboración del presupuesto se eliminan los problemas que supone el contar con diferentes proveedores, distintos plazos de entrega, etc.

- ✓ Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado ni añadir aparatos.
- ✓ Reducción de espacio por ocupación.
- ✓ Menor costo de mano de obra.
- ✓ Mantenimiento económico. Además se aumenta la fiabilidad del sistema, al eliminar contactos móviles, los mismos PLC pueden detectar e indicar averías.
- ✓ Posibilidad de gobernar varias máquinas con un mismo PLC.
- ✓ Reducción de tiempo para la puesta en funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo de cableado.

4.3.5 Inconvenientes.

Los inconvenientes que pueden presentarse por la implementación de un PLC, son a nivel de programación, ya que en este sentido se requiere de un programador, lo que obliga a adiestrar a uno de los técnicos en este aspecto. Pero hay otro factor importante, como el costo inicial, que puede o no ser un inconveniente, según las características de la automatización en cuestión. Dado que el PLC cubre un amplio espacio entre la lógica cableada y el microprocesador, es preciso que el encargado del proyecto conozca la amplitud y limitaciones de la automatización; y aunque el costo inicial debe ser considerado a la hora de decidirnos por uno u otro sistema, conviene analizar todos los factores para asegurar una decisión acertada. Si por alguna razón la máquina queda fuera de servicio, el PLC sigue siendo útil para otra máquina o sistema de producción.

4.3.6 Otros dispositivos para la automatización - Sensores³²:

La mayoría de las variables físicas a medir no son eléctricas. Entre ellas se puede citar la temperatura, la presión, el nivel de un líquido o de un sólido, la fuerza, la radiación luminosa, la posición, velocidad, aceleración o desplazamiento de un objeto, etc. Por ello, el acoplamiento entre el sistema electrónico y el proceso productivo se debe realizar a través de dispositivos que convierten las variables no eléctricas en eléctricas y que reciben el nombre de sensores.

³² <http://www.marcombo.com/Descargas/9788426715753/EXTRACTO%20DEL%20LIBRO.pdf>

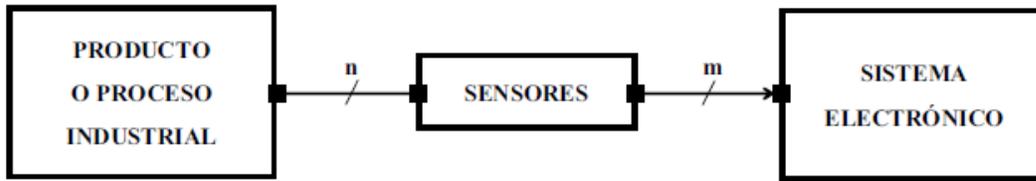


Imagen 22. . Conexión de un producto o proceso industrial a un controlador lógico

Por otra parte, numerosos productos y procesos industriales generan, por medio de sensores, variables eléctricas que sólo pueden tener dos valores diferentes. Dichas variables reciben el nombre de binarias o digitales y en general se las conoce como todo-nada (On-Off). Los sistemas electrónicos que reciben variables binarias en sus entradas y generan a partir de ellas otras variables binarias reciben el nombre de controladores lógicos (PLC).

En la siguiente imagen 23 se representa el esquema de la conexión de un controlador lógico a un producto o proceso industrial que genera un número n de variables binarias. El controlador lógico recibe órdenes externas y genera m variables todo-nada de control que se conectan al producto o proceso industrial.

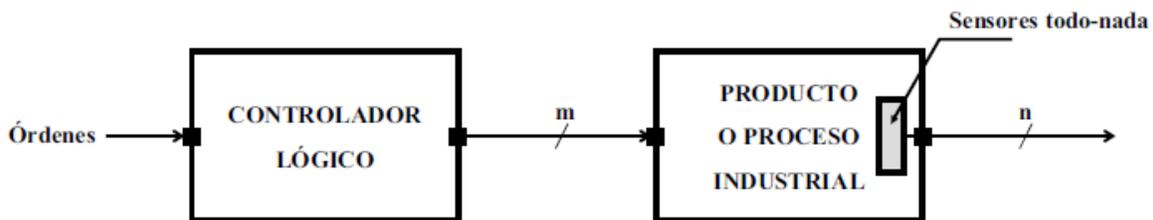


Imagen 23. Conexión de un controlador lógico a un producto o un proceso industrial

De acuerdo al manejo de las variables de salida se tiene:

- ✓ Un sistema de control en bucle abierto (Imagen 24) si las variables todo-nada de salida del producto o proceso industrial, y en su caso del controlador lógico, simplemente se visualizan para dar información a un operador humano.

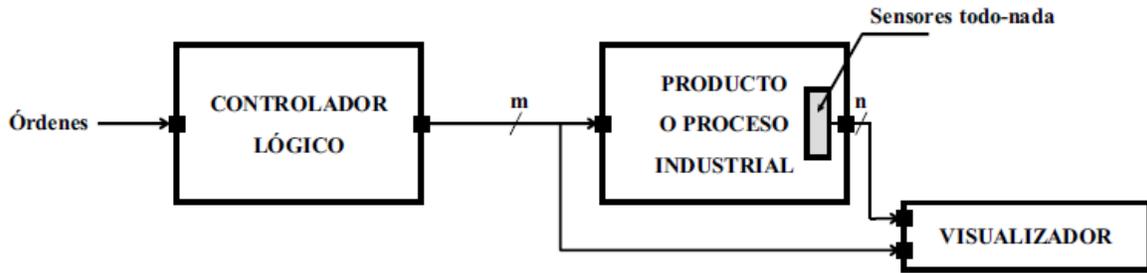


Imagen 24. Controlador lógico en bucle abierto

Un sistema de control en bucle cerrado (Imagen 25) si las variables todo-nada de salida del producto o proceso industrial actúan sobre el controlador para influir en la señales de control generadas por él.

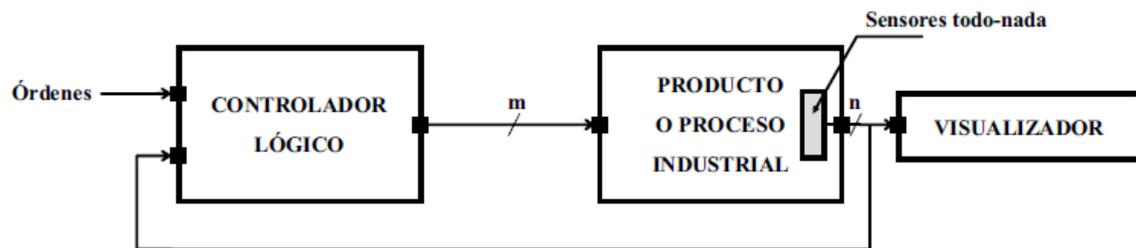
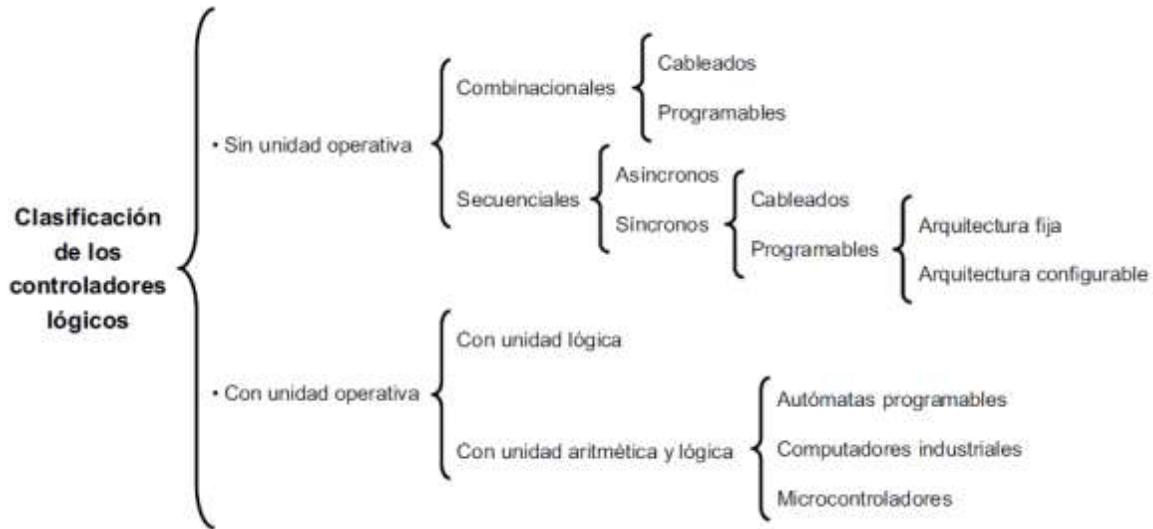


Imagen 25. Controlador lógico en bucle cerrado

El funcionamiento de los PLC debe de responder a las necesidades y/o exigencias del sistema que controlan. A partir de esto podemos clasificarlos de la siguiente manera:

Tabla 3. Clasificación de los controladores lógicos



- ✓ Combinacionales/Cableados: se implementan mediante circuitos de puertas lógicas interconectadas.
- ✓ Combinacionales/Programables: se implementan mediante circuitos de puertas lógicas interconectadas.
- ✓ Secuenciales asíncronos: surgen de la necesidad de poder diseñar sistemas de control capaces de tomar decisiones en un instante en función del valor que las entradas tuvieron en el pasado, o en base a la secuencia de valores variables de entrada a lo largo del tiempo.
- ✓ Secuencial/síncronos/cableados: una señal de reloj sincroniza el cambio de valor lógico de las variables de entrada.
- ✓ Programables arquitectura fija: una señal de reloj sincroniza el cambio de valor lógico de las variables de entrada.
- ✓ Programables arquitectura configurable: el número de variables de entrada y salida puede ser modificado dentro de un margen. Son poco flexibles para automatizar procesos industriales.
- ✓ Con unidad operativa: únicamente ejecuta las funciones de inversión y suma lógica de dos variables.
- ✓ Con procesador: poseen una unidad aritmético-lógica, capaces de realizar operaciones con variables binarias simultáneamente.

4.3.7 Una breve introducción a la programación

La programación de un controlador lógico programable (PLC) consiste en el establecimiento de una secuencia ordenada de instrucciones que dan solución a determinada tarea de control. Esta secuencia establece la relación entre las distintas variables lógicas y constituyen la lógica del PLC.

Debido a la diversidad de propietarios de sistemas de programación para los PLC se propició el desarrollo de un sistema de programación normalizado por parte de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC). En la actualidad encontramos la coexistencia entre el sistema de programación normalizado y los propietarios, dando lugar al sistema de programación normalizado IEC 1131-3.

Como se indicó anteriormente, debido a la variedad de sistemas de lenguajes para programar a los PLC hizo que la IEC (Comisión Electrotécnica Internacional) estandarizada esta variedad, con el objetivo de responder a la complejidad de los sistemas de control y la diversidad de los PLC que eran incompatibles entre sí, fue por esta razón que se desarrolló la norma IEC 1131-3, (que ha sido paulatinamente aceptada por los diferentes fabricantes), dicha norma constituye un sistema de programación que está formado por dos tipos de lenguaje de programación diferentes:

- ✓ Lenguajes literales: están formados por letras, números y símbolos especiales:
 - El lenguaje de lista de instrucciones (Instruction List – IL)
 - El lenguaje de texto estructurado (Structured Text – ST)
- ✓ Lenguajes gráficos: las instrucciones están representadas por figuras geométricas:
 - Lenguaje de esquema de contactos (Ladder Diagram – LD)
 - Lenguaje de diagrama de funciones (Function Block Diagram – FBD)
 - Diagrama funcional de secuencias (Sequential Function Chart – SFC)

4.3.8 PLC y Redes Industriales

A inicio de la automatización de procesos, las empresas se veían afectadas por la falta de interoperabilidad que había entre sus equipos, esto debido a que los fabricantes de PLC eran diversos y no operaban entre ellos, fue así como se generaron las llamadas “islas de automatización”, denominadas así por su incapacidad de dialogo con otros equipos automatizados que no pertenecieran al mismo fabricante. Fue esta situación la que motivó a la creación de sistemas electrónicos que brindaran la capacidad de comunicación entre todos los dispositivos automatizados, dando lugar a las telecomunicaciones dedicadas a comunicar las áreas de producción y administrativas de una empresa.

En la actualidad a esta área se le conoce como “comunicaciones industriales” (también redes industriales) y fue resultado de la confluencia de dos circunstancias:

- ✓ La elevación de la complejidad de los procesos y los productos industriales que dejaron de poder ser controlados de forma manual y necesitaron de un proceso digital.
- ✓ La evolución de las comunicaciones digitales como resultado del avance de la microelectrónica que permitió ampliar la capacidad de los procesadores digitales.

4.3.9 Fabricación asistida por computadoras

La fabricación asistida por computadoras (CAM) consiste en un conjunto de técnicas que tienen como objetivo elevar la productividad de los procesos de fabricación mediante la sustitución de la mano de obra humana por sistemas físicos que combinan la tecnología electrónica con otras, como la mecánica, las máquinas eléctricas, etc. A este conjunto suele llamársele Automatización de la producción. Esta se caracteriza porque:

- ✓ Necesita un conocimiento profundo del proceso productivo.
- ✓ Puede ser la mejor solución para elevar la rentabilidad y garantizar la competitividad de una empresa industrial.

- ✓ No siempre implica la mayor automatización posible, también puede conducir a un aumento en los costos de mantenimiento.

Computadoras industriales

Estas son sistemas electrónicos de control constituidos por una computadora de aplicación general adecuada para trabajar en el entorno del proceso industrial y soportar condiciones ambientales adversas.

La utilización de computadoras en procesos industriales se inició para llevar a cabo las tareas de diseño, edición y depuración de los programas de control asociados a los sistemas electrónicos de automatización de procesos como por ejemplos los PLC.

De ahí parte la necesidad de incluir en los sistemas de producción a las redes computacionales ya que estas además de ser el medio de comunicación entre el proceso (equipo automatizado) y el operario, es también un medio por el cual se desarrollan, diseñan y controlan las actividades de producción, a su vez permite obtener información en tiempo real de los índices de cada proceso y por ende la toma de decisiones va orientada a solventar cualquier necesidad o dificultad que se presente en el momento.

4.4 Protocolo de comunicaciones industriales³³

Para familiarizarnos un poco con el término “protocolo” lo definiremos como un conjunto de reglas que permiten la comunicación y transferencia de datos entre distintos dispositivos que forman una red.

En la actualidad, el número de empresas que cuentan con sistemas y procesos automatizados (islas automatizadas) ha ido aumentando, en ocasiones dichas islas no presentan comunicación entre sí, en tales casos, las redes y los protocolos de comunicación industrial son indispensables para realizar un enlace entre las distintas etapas que conforman el proceso.

³³ <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/articulos/agosto-06.pdf>

La integración de las redes dentro de la industria, presentan las siguientes ventajas:

- ✓ Mayor precisión derivada de la integración de tecnología digital en las mediciones.
- ✓ Mayor y mejor disponibilidad de información de los dispositivos de campo.
- ✓ Diagnóstico remoto de avería en los componentes.

La integración de islas automatizadas suele dividir las tareas entre grupos de procesos jerárquicamente anidados. Esto da lugar a una estructura de redes Industriales, las cuales se pueden agrupar en tres categorías:

- ✓ Buses de campo
- ✓ Redes LAN
- ✓ Redes LAN-WAN

En el presente apartado se desglosarán los protocolos de comunicación más usados en la industria.

Los buses de datos que permiten la integración de equipos para la medición y control de variables de proceso, se les conoce como buses de campo. Un bus de campo es un sistema de transmisión de información (datos) que simplifica la instalación y operación de máquinas y equipamientos industriales utilizados en procesos de producción.

El objetivo de un bus de campo es sustituir las conexiones punto a punto entre los elementos de campo y el equipo de control. Generalmente son redes digitales, bidireccionales, multipunto, montadas sobre un bus serie, que conecta dispositivos de campo como PLC, transductores, actuadores, sensores y equipos de supervisión.

Aunque los esfuerzos por unificar y normalizar la implementación de los buses de campo han sido muchos, en la actualidad no existe un bus de campo universal. Pero los protocolos con mayor presencia en el área de control y automatización de procesos son:

- ✓ HART
- ✓ Profibus
- ✓ Fieldbus Foundation

4.4.1 (High way-Addressable-Remote-Transducer) HART

El protocolo HART agrupa la información digital sobre la señal analógica típica de 4 a 20 mA DC. La señal digital usa dos frecuencias individuales de 1200 y 2200 Hz, que representan los dígitos 1 y 0 respectivamente y que en conjunto forman una onda sinusoidal. A continuación, una representación gráfica.

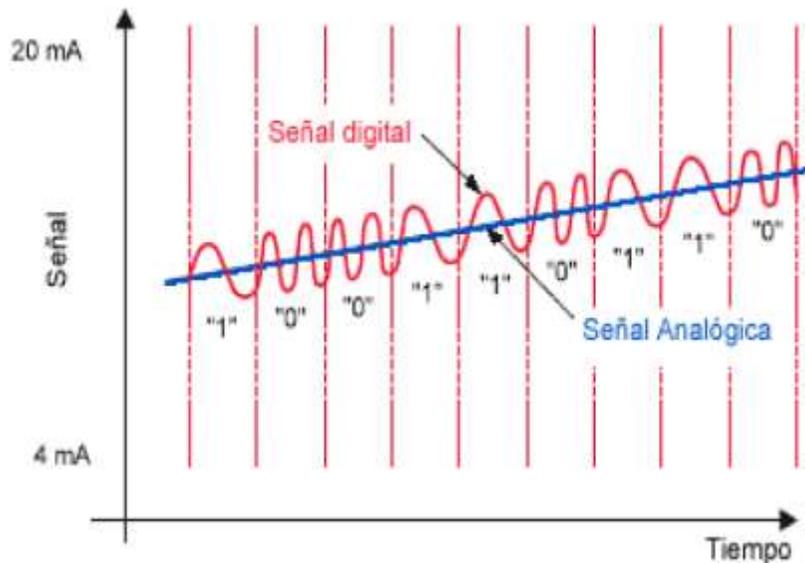


Imagen 26. Protocolo HART. Análisis de señal analógica a digital³⁴

Como la señal promedio de una onda sinusoidal es cero, no se añade ninguna componente DC a la señal analógica de 4-20 mA., permitiendo utilizar la variación analógica para el control del proceso.

³⁴ <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/articulos/agosto-06.pdf> (IMAGEN)

4.4.2 (Process Field Bus) PROFIBUS

PROFIBUS es una norma internacional de comunicación para los buses de campo de alta velocidad para control de procesos normalizada en Europa por EN 50170.

Existen tres perfiles:

- Profibus DP (Decentralized Periphery). Orientado a sensores/actuadores enlazados a procesadores (PLC) o terminales.
- Profibus PA (Process Automation). Para control de proceso, cumple normas especiales de seguridad para la industria química (IEC 1 1 15 8-2, seguridad intrínseca).
- Profibus FMS (Fieldbus Message Specification). Para comunicación entre células de proceso o equipos de automatización.

4.4.3 FOUNDATION FIELDBUS

Foundation Fieldbus (FF) es un protocolo de comunicación digital para redes industriales, específicamente utilizado en aplicaciones de control distribuido. Puede comunicar grandes volúmenes de información, ideal para aplicaciones con varios lazos complejos de control de procesos y automatización. Está orientado principalmente a la interconexión de dispositivos en industrias de proceso continuo. Los dispositivos de campo son alimentados a través del bus Fieldbus cuando la potencia requerida para el funcionamiento lo permite.

Otros protocolos ampliamente usados aunque de menor alcance son:

- ✓ Modbus
- ✓ DeviceNet

4.4.4 MODBUS

Modbus es un protocolo de transmisión para sistemas de control y supervisión de procesos (SCADA) con control centralizado, puede comunicarse con una o varias Estaciones Remotas (RTU) con la finalidad de obtener datos de campo para la

supervisión y control de un proceso. La Interfaces de Capa Física puede estar configurada en: RS-232, RS-422, RS-485.

En Modbus los datos pueden intercambiarse en dos modos de transmisión:

- ✓ Modo RTU
- ✓ Modo ASCII

4.4.5 DEVICENET

Red de bajo nivel adecuada para conectar dispositivos simples como sensores fotoeléctricos, sensores magnéticos, pulsadores, etc. y dispositivos de alto nivel (PLC, controladores, computadores, HMI, entre otros). Provee información adicional sobre el estado de la red, cuyos datos serán desplegados en la interfaz del usuario.

En la siguiente tabla se muestra una comparación entre algunos buses y protocolos:

Nombre	Topología	Soporte	Max. Dispositivos	Trans. bps	Distancia Máx. km	Comunicación
Profibus DP	línea, estrella y anillo	par trenzado fibra óptica	127/segm	Hasta 1.5M y 12M	0.1 segm 24 fibra	Master/Slave peer to peer
Profibus PA	línea, estrella y anillo	par trenzado fibra óptica	14400 /segm	31.5K	0.1 segm 24 fibra	Master/Slave peer to peer
Profibus FMS		par trenzado fibra óptica	127/segm	500K		Master/Slave peer to peer
Foundation Fieldbus HSE	estrella	par trenzado fibra óptica	240 p/segm 32.768 sist	100M	0.1 par 2 fibra	Single/multi master
Foundation Fieldbus H1	estrella o bus	par trenzado fibra óptica	240 p/segm 32.768 sist	31.25K	1.9 cable	Single/multi master
LonWorks	bus, anillo, lazo, estrella	par trenzado fibra óptica coaxial, radio	32768 /dom	500K	2	Master/Slave peer to peer
Interbus-S	segmentado	par trenzado fibra óptica	256 nodos	500K	400/segm 12.8 total	Master/Slave
DeviceNet	troncal/puntual c/bifurcación	par trenzado fibra óptica	2048 nodos	500K	0.5 6 c/repetid	Master/Slave, multi-master, peer to peer
AS-I	bus, anillo, árbol, estrella	par trenzado	31 p/red	167K	0.1, 0.3 c/rep	Master/Slave
Modbus RTU	línea, estrella, árbol, red con segmentos	par trenzado coaxial radio	250 p/segm	1.2 a 115.2K	0.35	Master/Slave
Ethernet Industrial	bus, estrella, malla-cadena	coaxial par trenzado fibra óptica	400 p/segm	10, 100M	0.1 100 mono c/switch	Master/Slave peer to peer
HART		par trenzado	15 p/segm	1.2K		Master/Slave

En la sección anterior se definieron los protocolos de comunicación industrial, los cuales son el lenguaje mediante el cual los diferentes equipos de una red industrial pueden establecer comunicación en los diferentes niveles. A continuación se describen los buses de campo, estos representan el medio físico y lógico que se utiliza en las redes industriales para establecer interoperabilidad entre PLC, equipos de control (computadoras) y las maquinas a controlar.

4.5 ¿Por qué usar buses de campo?³⁵

El auge que han adquirido los buses de campo en la actualidad, se debe a que facilitan el intercambio de información entre sistemas de automatización y sistemas de campo distribuidos. Las diferentes implementaciones de estos, han demostrado satisfactoriamente que el uso de la tecnología de los buses de campo puede ahorrar un 40% en los costos de cableado, mantenimiento, etc. esto al compararlo con las tecnologías tradicionales. Solo se usan dos líneas para transmitir toda la información relevante (es decir, datos de entrada y salida, parámetros, diagnósticos, programas y modos de operación para distintos dispositivos de campo).

Anteriormente la incompatibilidad entre los buses de campo era muy común, afortunadamente en la actualidad todos los sistemas responden a características estándar. por tanto, el usuario no está “obligado” a un único proveedor y/o equipo y es capaz de seleccionar el producto que mejor se adapte a sus necesidades dentro de una amplia gama.

4.6 BUSES DE CAMPO³⁶

Un bus de campo, puede definirse como un sistema de transmisión de datos que interconecta dispositivos industriales con elementos de control. A diferencia de los sistemas analógicos, los buses de campo son por lo general redes digitales bidireccionales que permiten reducir considerablemente los costos de implementación al rebajar la cantidad de cableado a instalar. La rapidez para transportar Información, la facilidad para administrar los elementos de la red y la

³⁵ <http://www.etitudela.com/entrenadorcomunicaciones/downloads/profibusteoria.pdf>

³⁶ http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/Buses_Campo.pdf

flexibilidad para distribuir el control son características que priorizan a los buses de campo en la automatización de la industria.

A continuación se presenta una clasificación aceptada de los buses de campo:

- ✓ Buses de Control: Control Buses (HSE, ControlNet, Profinet)
- ✓ Buses de Campo: Field Buses (Foundation Fieldbus, Profibus FMS)
- ✓ Buses de Dispositivos: Device buses (DeviceNet, Profibus DP)
- ✓ Buses de Sensores: Sensor Buses (ASI, Profibus PA)

La elección del bus de campo dependerá de factores como el tamaño de la solución a implementar (cantidad de dispositivos que se interconectarán), rapidez a la cual se necesita transmitir los datos (según la criticidad del proceso a controlar), costo de implementación, interoperabilidad con equipamiento y medios de transmisión ya instalados en la empresa y escalabilidad.

A continuación se presentan algunas descripciones de los diferentes buses y protocolos de comunicación para redes industriales más conocidos.

4.6.1 Buses de Control - PROFINET

PROFINET es el estándar Ethernet abierto que cumple la especificación IEC 61158 para la automatización industrial. Este permite conectar equipos desde el nivel del campo (PLC y otros dispositivos) hasta el nivel de gestión (sistemas informáticos e internet). Este estándar permite una comunicación homogénea con áreas de ingeniería, cubriendo toda la parte industrial y de gestión mediante el uso de las tecnologías de la información aplicadas a nivel de campo. En la actualidad los ejemplos más relevantes de la automatización mediante este tipo de estándar son la industria del automóvil, la industria de alimentación y bebidas como en la logística,

La versatilidad de PROFINET permite la integración con buses de campo como PROFIBUS sin tener que modificar los equipos existentes. PROFIBUS o INTERBUS son estándares integrales que cumplen todos los requisitos para el

uso de Ethernet en automatización, siendo PROFINET el estándar que ha integrado estos dos sistemas.

PROFINET se orienta a la modernización de las redes de campo que incluye PLC y sistemas de comunicación entre estos dispositivos a la Red Ethernet aportando un alto rendimiento en las respuestas y seguridad requeridas en las instalaciones industriales.

4.6.2 Buses de campo – PROFIBUS FMS (Fieldbus Message Specification)

Los controladores programables, como los PLC, se comunican entre ellos, mediante el envío de grandes paquetes de datos, los cuales son transferidos en innumerables y potentes funciones de comunicación. A su vez, la integración con los sistemas corporativos existentes (Intranet, Internet) es obligatoria para cubrir de manera integral la necesidad de comunicación. Esta última es llevada a cabo por los PROFIBUS FMS y PROFINet.

Estos estándares ofrecen una solución a las tareas complejas de comunicación entre los PLC y los equipos que los programan (PC). Es usada en general a nivel de control. Debido a que su función primaria es establecer la comunicación maestro-a-maestro (peer-to-peer).

Características³⁷:

- Automatización de propósito general Amplio rango de aplicaciones
 - ✓ Nivel de célula
 - ✓ Comunicación multi-maestro
 - ✓ Comunicación orientada a objetos
 - ✓ Interconexión en red de autómatas, supervisores de procesos, paneles de operación, PC, etc.

³⁷ <http://homepage.cem.itesm.mx/vlopez/profibus.htm>

4.6.3 Buses de dispositivos – PROFIBUS DP (Periferia descentralizada)

Es una solución de alta velocidad de PROFIBUS. Su perfeccionamiento se debió principalmente para comunicar los sistemas de automatización y los equipos descentralizados. Es aplicable en los sistemas de control, donde se destaca el acceso a los dispositivos distribuidos de Entrada/Salida. Es utilizado en sustitución a los sistemas convencionales HART o en transmisiones de medio físico RS-485 o fibra óptica.

Requiere menos de 2 ms para transmitir 1 kbyte de entrada y salida y es muy usado en controles con tiempo crítico.

Características:

- Automatización de planta Alta velocidad, tiempos de reacción muy pequeños
 - ✓ Plug and play
 - ✓ Eficiente y barato
 - ✓ Transferencia de pequeñas cantidades de datos
 - ✓ Conexión de equipos de campo, accionamientos, paneles de operación, autómatas programables y PC

4.6.4 Buses de sensores – PROFIBUS PA (Automatización de procesos)

PROFIBUS PA es parte de la familia de protocolos PROFIBUS. Es muy parecido a PROFIBUS DP, y facilita la integración de dispositivos en ambas redes de forma fácil y transparente.

PROFIBUS PA es un bus de campo de conformidad con IEC 61158-2, suministra potencia y transmite la comunicación digitalmente entre el sistema anfitrión DCS o PLC y la instrumentación de campo. La información sobre el estado y los comandos de control se transmiten digitalmente entre el maestro y hasta 31 esclavos conectados al mismo cable. PROFIBUS es más que un control de

proceso. PROFIBUS posibilita la realización de la configuración remota, la administración de recursos y el mantenimiento proactivo.

Características:

- Automatización de procesos Conexión de equipos de procesos sobre autómatas, supervisores de procesos, PC.
 - ✓ Datos y alimentación sobre un cable
 - ✓ Seguridad intrínseca

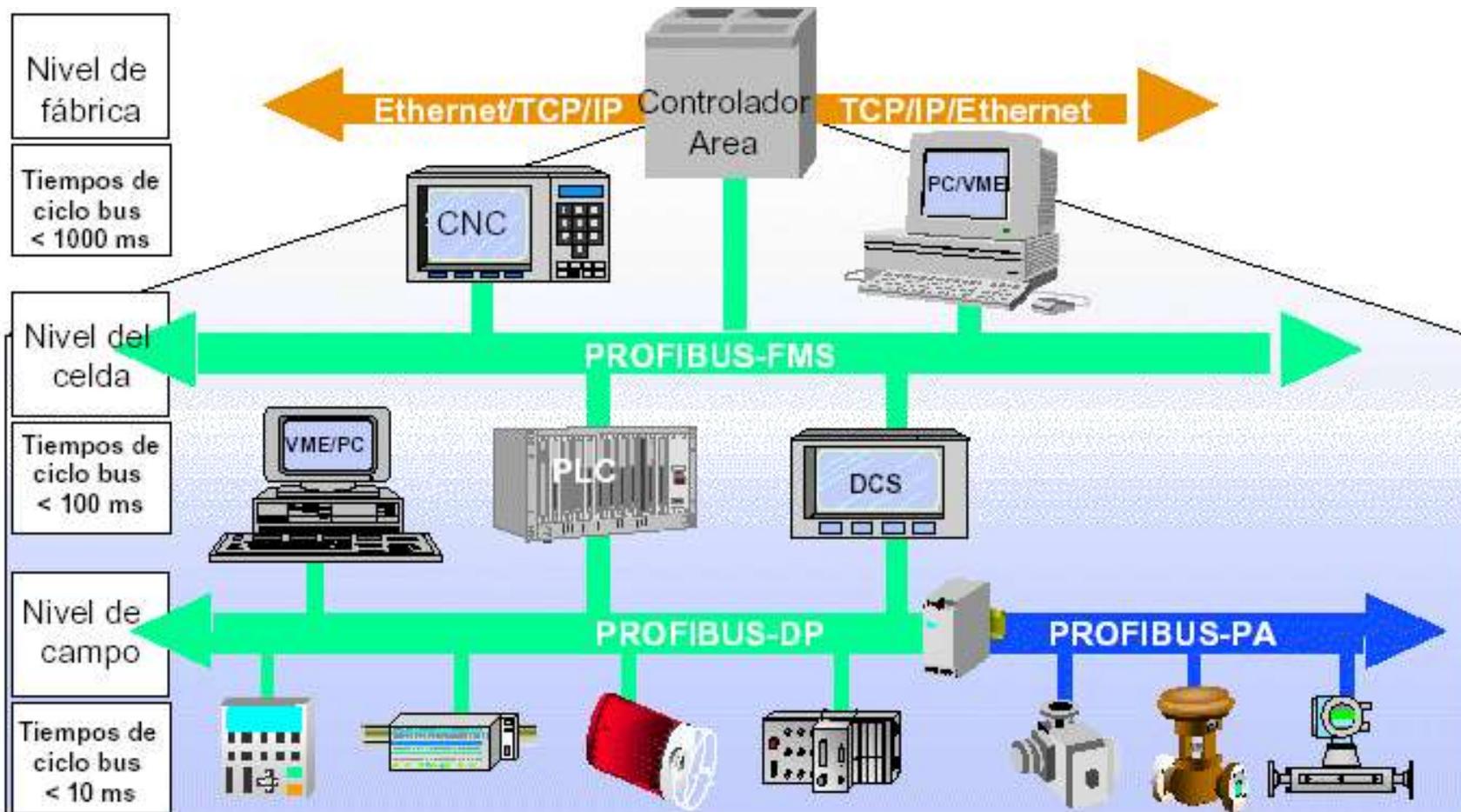


Imagen 27. Aplicación de los diferentes protocolos para los buses de campo³⁸

³⁸ <http://homepage.cem.itesm.mx/vlopez/images/probifus2.gif>

4.7 PROFIBUS – Una familia de estándares

En la actualidad PROFIBUS es un estándar de red de campo abierto, lo que lo independiza de los diferentes proveedores del mercado, esto permite una amplia implementación de estos en los procesos de manufactura y la automatización predial.

La tecnología de la información fue medular en el desarrollo de la automatización, cambiando jerarquías y estructuras en el ambiente de la oficina, llegando en la actualidad a los más variados sectores del entorno industrial, desde las industrias de proceso y manufactura hasta los edificios y sistemas logísticos. La capacidad de comunicación entre instrumentos y el uso de mecanismos estandarizados, abiertos y transparentes son componentes indispensables del moderno concepto de automatización.

La comunicación se amplió rápidamente tanto en sentido horizontal (niveles inferiores) y como en el vertical (niveles jerárquicos de un sistema). Ethernet, PROFIBUS y AS-Interface, brindan las condiciones ideales de redes abiertas en procesos industriales.

En el apartado anterior se presentaron algunos detalles de los protocolos que forman parte de la familia PROFIBUS, lo que nos hace evidenciar que su potencialidad es notable a nivel mundial, tanto en aplicaciones como en la supervisión de divulgación y soporte de los procesos de manufactura.³⁹

Por tanto se puede concluir que la aplicación de PROFIBUS está orientada a una serie de servicios que facilitan la conexión de dispositivos de muy distinta índole. El objetivo es la fácil integración del bus en la estructura de automatización jerárquica, manejando a nivel inferior el control del flujo de información y el estado de las conexiones.

³⁹ <http://www.smar.com/espanol/profibus.asp>

4.8 ¿Por qué utilizar Ethernet?⁴⁰

La conexión a establecerse entre una computadora y un PLC se muestra en la Imagen 29, en la cual se observa un operador (humano) que es el que observa y controla los movimientos del PLC o simplemente los observa. Para ejecutar esta instrucción la computadora que contiene la interfaz de usuario, se conecta a través de un modem a un router compartido, al cual se conecta el adaptador Ethernet que se conecta al PLC para realizar la transmisión de señales. El adaptador Ethernet es esencial y contiene un módulo incorporado al PLC, el cual tiene entradas y salidas que traduce en instrucciones para el equipo que controla, esta es uno de los diferentes tipos de conexión que se puede establecer entre computadoras, PLC y equipos de manufactura.

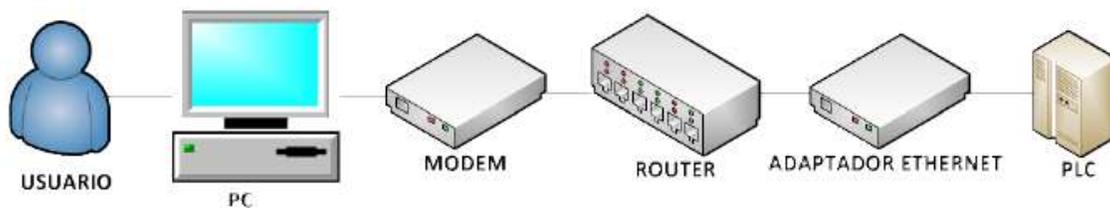


Imagen 28. Esquema de conexión PC-PLC

Ethernet es un estándar de redes de computadores de área local (LAN), en las redes industriales surge como una alternativa a los otros medios de conexión (como PPI) su diferencia radica en la velocidad de transmisión, Ethernet transmite a 10Mbps, mientras que PPI a 9.6 Kbps. Por una rapidez de transmisión mil veces mayor la opción escogida es Ethernet.

El uso de Ethernet como interfaz es altamente usado ya que, en comparación al cable serial es más económico.

La conexión Ethernet no es la única forma de comunicación PLC-PC, puesto que existen otras variantes (como las conexiones inalámbricas) que permiten mayor grado de libertad para poder monitorear y controlar el sistema a través de un PLC.

⁴⁰ <http://profesores.elo.utfsm.cl/~agv/elo322/1s12/project/reports/KlennerSalazarSalazar.pdf>

De lo anterior, podríamos mencionar que otra ventaja de contar con una conexión Ethernet PLC-PC es que obtiene información en tiempo real de lo que sucede en los diferentes procesos de manufactura que se llevan a cabo, es decir, si un equipo presentará alguna dificultad técnica o de falta de materia prima, mediante la conexión PLC-PC el operario pudiera intervenir y ejecutar los procedimientos pertinentes para corregir la anomalía y continuar con la producción, en todo caso, si el incidente debe ser informado a una entidad superior, igual se dispone de la información necesaria para poder tomar decisiones. Más allá de ser una automatización y una forma en que se estandariza la producción y mejorar la productividad, es también un medio por el cual se logran los objetivos máximos de la empresa orientados a la calidad.

4.9 Ventajas y Desventajas de los buses más usados⁴¹

BUSES DE CAMPO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
PROFIBUS	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Soporte de red a nivel de dispositivo, control de proceso y Ethernet. ✓ Las Interfaces están disponibles para variadores de frecuencia y aplicaciones de centros de control de motores(Profibus DP) ✓ Instrumentación de procesos disponible con dispositivos Profibus PA. ✓ Instalaciones intrínsecamente seguras disponibles para instrumentos Profibus PA. ✓ Los Gateway permiten integración directa para Profibus PA hacia redes Profibus DP. ✓ Interfaces Host disponibles para la mayoría de sistemas PLC, DCS y PC 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Entrenamiento para puesta en marcha, solución de problemas y calibración podría ser requerido. ✓ Profibus DP no soporta instalaciones intrínsecamente seguras. ✓ Inversión de instrumentación.
INDUSTRIAL ETHERNET	<ul style="list-style-type: none"> ✓ La interoperabilidad en las capas 1 y 2 dan a la electrónica de red Ethernet un impulso industrial notable. ✓ Ofrece soluciones basadas en diferentes protocolos a los fabricantes, lo cual implica un acceso a mayores mercados. ✓ Hace más fácil el mantenimiento a los instaladores y diseñadores. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ La rotura del cable afecta a todos los usuarios. ✓ Límites en la longitud del cable. ✓ Difícil localizar fallas. ✓ Al añadir usuarios baja considerablemente el rendimiento de la red. ✓ Un fallo en el cable afecta a muchos usuarios, conexionado y cableado muy costoso.
DEVICENET	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Excelente para soportar variadores de frecuencia y convencional I/O. ✓ Costo moderado por dispositivos. ✓ Bajo costo de instalación. ✓ Módulos I/O permitidos para 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Esclavos solo pueden ser controlados por un máster. ✓ No soporta instalaciones intrínsecamente seguras. ✓ Entrenamiento para puesta en marcha,

⁴¹ <http://repository.ean.edu.co/bitstream/10882/328/1/RianoDiana2010.pdf>

	<p>integración convencional discreta y análoga</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Velocidades de transmisión relativamente rápidas ✓ Alimentación y señal sobre el mismo cable. ✓ Hasta 64 nodos direccionables ✓ Amplia variedad de topología disponibles incluyendo troncal, lineal, derivaciones ✓ Doble detección de direccionamiento de nodos ✓ Soporta algunos diagnósticos de dispositivos. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ solución de problemas y calibración podría ser requerido. ✓ Inversión de instrumentación. ✓ En los últimos años, ha perdido posicionamiento en el mercado, la tecnología ha sido reemplazada por buses de campo como HART, Profibus o Foundation Fieldbus.
MODBUS	<ul style="list-style-type: none"> ✓ El medio físico de conexión puede ser un bus semidúplex (RS-485 o fibra óptica) o dúplex (full dúplex) (RS-422, BC 0-20mA o fibra óptica). ✓ La comunicación es asíncrona y es un bus con múltiples aplicaciones. ✓ La máxima distancia entre estaciones pueden alcanzar hasta 1200 m sin repetidores. ✓ Protocolo ampliamente soportado por muchos PLC, DCS y sistemas de procesos. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Limitado uso como bus de dispositivos ✓ Limitadas capacidades de diagnóstico para las aplicaciones de dispositivos. ✓ Alimentación separada requerida para la operación de los dispositivos

4.10 Tipos de dispositivos y Configuración⁴²

PROFIBUS DP (Decentralized Periphery) permite sistemas mono-maestro y multi-maestro. Lo que brinda un alto grado de flexibilidad durante la configuración del sistema, permitiendo conectar hasta 126 dispositivos (maestros o esclavos) en un bus.

La descripción de la configuración del sistema consiste en:

- ✓ El número de estaciones,
- ✓ La asignación entre la dirección de la estación y
- ✓ Las direcciones de las entradas/salidas,
- ✓ El formato de los datos de entrada/salida,
- ✓ El formato de los mensajes de diagnóstico y
- ✓ Los parámetros del bus usados.

Cada sistema PROFIBUS DP puede contener 3 tipos diferentes de dispositivos:

- ✓ DP Maestro Clase 1 (DPM1): Controlador central que intercambia información con las estaciones descentralizadas (DP esclavos) con un ciclo de mensaje específico. Dispositivos típicos son los controladores programables (PLC), las computadoras y los sistemas de programación.
- ✓ DP Maestro Clase 2 (DPM2): Son programadores, dispositivos de configuración y operadores. Se usan para la identificación de la configuración del sistema DP o para el funcionamiento y supervisión de operaciones.
- ✓ DP esclavo: Es un dispositivo periférico (entradas/salidas, válvulas, etc.) que recoge información de entrada y/o manda información de salida.

La cantidad de información de entrada y salida depende del tipo de dispositivo, permitiendo un máximo de 244 bytes de entrada y 244 bytes de salida.

En los sistemas mono-maestro sólo se activa un único maestro en el bus durante la fase de operación, siendo el controlador programable el componente de control

⁴² <http://www.etitudela.com/entrenadorcomunicaciones/downloads/profibusteoria.pdf>

central. Los DP esclavos distribuidos son enlazados mediante el bus. Estos sistemas presentan el tiempo de ciclo más corto.

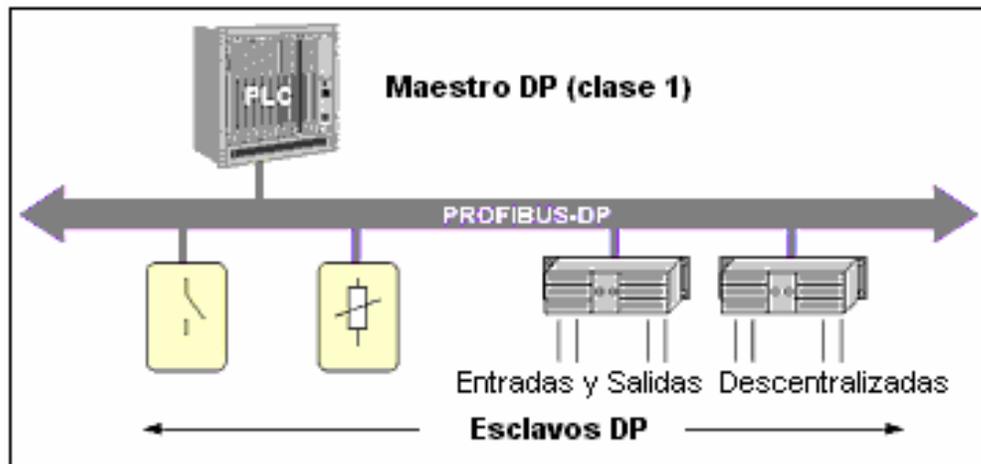


Imagen 29. Sistema mono-maestro PROFIBUS DP

En la configuración multi-maestro se conectan varios maestros al bus. Estos maestros son subsistemas independientes consistentes cada uno en un DPM1 maestro y sus correspondientes DP esclavos (o dispositivos adicionales). Las entradas y las salidas de los esclavos pueden ser leídas por todos los DP maestros. Sin embargo, sólo un DP maestro (el asignado durante la configuración) puede tener acceso de escritura en las salidas. Los sistemas multi-maestro presentan un tiempo de ciclo mayor que los sistemas mono- maestro.

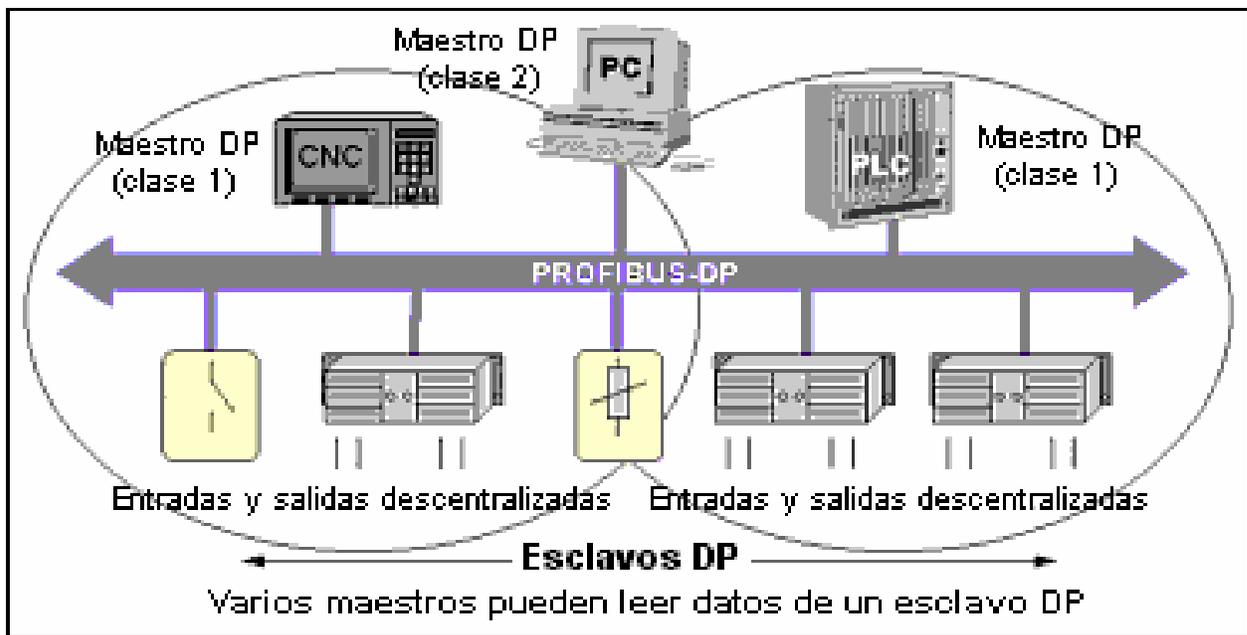


Imagen 30. Sistema multi-maestro PROFIBUS DP

4.11 ¿Cuándo automatizar?

Para decidir la automatización y cómo hacerlo debe hacerse un estudio que evalúe las necesidades reales que se desean atender, es decir, considerar si es verdaderamente prioritario sustituir o actualizar los procesos que están en marcha en ese momento.

Podría decirse que la automatización reduce considerablemente la necesidad sensorial y mental del ser humano en los procesos de producción, lo que permite a su vez una optimización de costos, ya que esto permite una liberación de recursos humanos para atender otras tareas, la calidad incrementa, mediante la eliminación de errores manuales, así como la productividad al reducir el tiempo total de producción. Ante este escenario podemos plantearnos ¿Cuándo automatizar un proceso?

- ✓ Cuando la producción es elevada.
- ✓ Cuando el proceso es complejo para ser maniobrado por un operador.
- ✓ Si el costo de la mano de obra es alto o su disponibilidad es escasa.

- ✓ Cuando las tareas son rutinarias, en ambientes nocivos, o requieren de fuerza excesiva.
- ✓ Cuando se cuenta con disponibilidad tecnológica.
- ✓ Cuando se quieren reducir tiempos por detección de fallas.
- ✓ Para reducir los costos de producción
- ✓ Para mejorar la calidad del producto
- ✓ Para entregar en plazos más breves
- ✓ Cuando los clientes presentan mayores exigencias.
- ✓ Para ser más competitivos

De lo anterior, podemos decir que, la automatización es viable si al evaluar los beneficios económicos y sociales de las mejoras, estas son mayores a los costos de operación y mantenimiento del sistema.

Algunos beneficios son:

- ✓ Reducción de la contaminación y daño ambiental;
- ✓ Racionalización y uso eficiente de la energía y la materia prima;
- ✓ Aumento en la seguridad de las instalaciones y la protección a los trabajadores.

Para concluir, es necesario tener claras las necesidades, objetivos y beneficios de la automatización, con la finalidad de poder orientar los esfuerzos en dicha dirección y evitando así que los recursos, se dispersen en el intento.

4.12 ¿Qué protocolo utilizar?

Como se expuso en los apartados anteriores, en la actualidad se cuentan con una serie de protocolos y tipos de buses que pueden ser utilizados para interconectar una red industrial. A continuación se sugiere el estándar de red industrial más prominente para la automatización de procesos.

Los estándares con mayor apertura y mayor presencia en el mercado son los que pertenecen a la familia de PROFIBUS, en este caso PROFINET hace posible la comunicación en sistemas industriales que necesitan respuestas inmediatas para actuar y reaccionar a diferentes circunstancias que se llevan a cabo en forma cotidiana o en otros casos para dar solución a la aparición de eventos que requieran su rápida actuación.

Profinet posibilita la interconexión a nivel de campo entre los procesos industriales y los sistemas de gestión. Más allá de representar a una red Ethernet que interconecta áreas, le proporciona a esta última una especialización que posibilita el mejor manejo de las respuestas del sistema frente a eventos y el dominio de las prioridades que se requieran para que los dispositivos como PLC y otros equipos industriales que trabajan en tiempo real.

Este tipo de red (PROFINET) asegura las respuestas en tiempo real, las cuales son definidas por ingenieros en el proceso de diseño y puesta en marcha para poder ofrecer respuestas adecuadas, su versatilidad favorece el funcionamiento con Ethernet y se integra con sistemas de redes estándares y sistemas de gestión tradicionales.

Por tanto podemos indicar que para los procesos de automatización utilizando los medios Ethernet, lo remendable es implementar redes basadas en PROFINET ya que por ser un estándar abierto, permite mayor interoperabilidad entre equipos de distintos proveedores.

4.13 Tendencias⁴³

En la actualidad la tendencia de automatización industrial es el cambio desde las estructuras propietarias de las comunicaciones al estándar para conexiones en redes de Ethernet y protocolo para Internet (IP). Antes este cambio de Ethernet e IP, o “EtherIP” como se les conoce, las industrias tuvieron que admitir sistemas múltiples con tipos separados de cableado y protocolos, tales como ProfiNet y ModBus. Con la aparición de EtherIP, muchas funciones se están consolidando en una red basada en Ethernet. La tendencia de EtherIP en entornos industriales ha existido por años a tal punto que la mayoría de las operaciones de la automatización industrial se está trasladando a EtherIP.

4.13.1 Simplificación de redes industriales

Con la implementación de Ethernet (o EtherIP) en los procesos de automatización, la administración y gestión de las redes de comunicación, se verá simplificada, ya que ahora los administradores de la red podrán tener acceso a todos los niveles de la organización, desde el área de producción, hasta las áreas administrativas. Esta integración permite a su vez un control en tiempo real de los diferentes procesos y áreas que entran en función en los procesos de manufactura.

Sin embargo, la migración de la automatización industrial no sucede de un día para otro. Las organizaciones necesitarán substituir ciertas herramientas y pueden esperar incurrir en costos adicionales. Pero una vez que todo esté listo, EtherIP permitirá integridad de funciones en un solo tipo de red capaz de proporcionar conectividad con simplicidad. Esta convergencia de sistemas está tomando mayor importancia para las empresas y la interdependencia que ocurre entre los sistemas, no aísla los errores y fallos sino que los centraliza para facilitar la resolución oportuna.

Además de la convergencia, hay otros factores que impulsan la adopción de EtherIP en la automatización industrial. Entre éstos están la flexibilidad y la reducción de costos. Ethernet reduce el costo de cableado en un sistema de control. Diferentes fabricantes que tenían su propio tipo de protocolo y de

⁴³ <http://www.epsevg.upc.edu/hcd/material/lecturas/interfaz.pdf>

cableado de control pueden ahora combinarlos en una sola red de EtherIP. Ethernet ahora puede admitir las tres principales funciones de control de procesos, de configuración y de datos.

Ethernet IP puede implementarse sobre alguna forma de cobre, también puede utilizar fibra óptica o Wi-Fi. Sin importar el medio de la red, en el mercado de la automatización industrial, Ethernet e IP están logrando substituir los múltiples protocolos del pasado.

4.14 Alineando conceptos

Los sistemas de automatización permiten unificar los diferentes procesos llevados a cabo en un empresa manufacturera, las cuales pueden dividirse en producciones continuas, que se caracterizan porque a la salida del proceso se forma un flujo continuo de material (la purificación del agua), están las producciones discretas, las cuales son aquellas donde la salida del proceso se forma de unidades o número finito de piezas (fabricación de automóviles) y las producciones batch, que es donde el producto terminado sale en forma cantidades o lotes de material (productos farmacéuticos).

Para llevar a cabo estos procesos de automatización y poder controlarlos se utilizan tres elementos básicos:

- ✓ Controladores Lógicos Programables – PLC
- ✓ Computadora industrial
- ✓ Reguladores industriales

Desglosando cada elemento podemos definir a los PLC como el autómatas que permite la configuración de los diferentes parámetros a considerar para poder efectuar la secuencia de pasos que dará lugar al proceso de producción. Luego la computadora industrial (computadora) es el elemento que se encarga de monitorear y configurar al PLC, este elemento es manejado por el operario; si bien el trabajo de este último se ve reducido y facilitado, es al final quien determina los pasos o gestiones a seguir cuando se presenta alguna falla u anomalía en el trabajo del PLC y de todo el sistema en cuestión. Por último, pero no menos

importante encontramos a los reguladores industriales, los cuales son elementos que permiten el monitoreo mediante sensores y actuadores que generan un valor (ya sea analógico o digital) el cual es procesado por el PLC y que este a su vez lo traduce en instrucciones para el equipo que controla.

La importancia de la implementación de los PLC podría resumirse de la siguiente manera:

- ✓ Reduce de tableros y cableado.
- ✓ Reduce de mantenimiento.
- ✓ Brinda adaptabilidad a los procesos, permitiendo que estos puedan ser ajustados acorde a las necesidades presentadas.
- ✓ Permite que se agreguen nuevas maquinarias, aun cuando estas no fueron estimadas desde un inicio.
- ✓ El desgaste o mantenimiento mecánico es muy poco.
- ✓ Agiliza el diagnóstico y corrección de fallas.

La versatilidad de los PLC permite que se aplique a casi toda industria que desee automatizar sus procesos en pro de mejorar la calidad, estandarizar la producción y reducir las actividades del operario y que este a su vez pueda ejecutar otras actividades que agreguen valor a las diferentes áreas de la empresa.

El éxito de esta automatización de procesos abarca un ámbito un poco más profundo dentro de la organización, y este se refiere a la comunicación o las redes de comunicación industriales.

Las comunicaciones industriales se caracterizan por definir una serie de protocolos (forma o lenguaje estándares de comunicación entre equipos), para estas existen una serie diversa de protocolos que se ejecutan en las diferentes capas del proceso industrial.

En los incisos anteriores se desglosaron los diferentes protocolos que podían implementarse en las comunicaciones industriales. Por lo anterior se pudo inferir que uno de los protocolos que ofrece mayor flexibilidad para operar con los

diferentes proveedores de equipos de comunicación industrial son los pertenecientes a la familia PROFIBUS.

Es preciso tomar en consideración el estándar Ethernet como punto de referencia para la implementación de las redes. En el aspecto industrial, la familia PROFIBUS cuenta con PROFINET (que no es más que la aplicación de las redes Ethernet en ambientes industriales). Considerando lo anterior podemos decir que las redes industriales pueden tomar la misma versatilidad que las redes Ethernet convencionales (redes de oficina), es decir, pueden utilizar los mismos medios de comunicación (cable coaxial, Fibra Óptica, Wi-Fi, etc.) para ser implementadas dentro de los procesos productivos, la toma de decisión en cuanto al medio que se usará para instalar la red, dependerá en gran medida de las necesidades que se requieran cubrir, por ejemplo, si un PLC necesita controlar un equipo que se encuentra ubicado en una zona de difícil acceso, el implementar una red inalámbrica resolvería sin dificultad este inconveniente.

En conclusión podemos decir que las redes industriales son el medio que facilita la comunicación entre los equipos controlados, los PLC y el operario. Esta unificación de elementos facilita en gran medida el control de cada proceso y a su vez permite que las decisiones ejecutadas por el operario vayan en dependencia de la realidad y las necesidades del momento.

CAPITULO 5. CASOS DE ÉXITO, CONCLUSIONES, BIBLIOGRAFÍA

En los capítulos anteriores, se presentaron los argumentos técnicos que evidenciaban la importancia de la automatización en los procesos industriales, bajo esta afirmación se destacó la importancia de la implementación de Controladores Lógicos Programables (PLC) y como permiten la interoperabilidad entre los equipos de manufactura y los operarios.

En el presente capítulo se presentaran casos de éxito, donde la implementación de PLC ha contribuido en gran medida al mejoramiento productivo de los procesos, aumento de la calidad y la reducción de costos. Las conclusiones consideraran todos los aspectos expuestos en la presente investigación.

5.1 CASOS DE ÉXITO

5.1.1 Empresa: Siderca SAIC Campana⁴⁴

Esta es una empresa argentina fabricante de tubos de acero y su planta está ubicada a 80km de Buenos Aires en Ciudad Campana.

Situación: Migración a PLC 2011 – 2012

En el periodo 2011 – 2012 se deseaba renovar tecnología e integrar a los procesos de manufactura, mecanismos que permitieran la automatización del proceso de manufactura, sin perder de vista aspectos de normalización (aplicación de estándares), bajo impacto en la puesta en marcha y acotar los plazos de entrega.

Situación del proceso sin automatizar

Antes de esta renovación tecnológica, el proceso de manufactura se veía afectado por desperdicios de material, producto con características no conforme debido a la falta de un estándar de producción, tiempos de entrega variables y mano de obra calificada muy escasa.

¿Qué se necesitó?

⁴⁴ <http://www.trendingeneria.com.ar/exito-1.html#1>

Para llevar a cabo el proceso de migración PLC se realizó la adecuación de los tableros de PLC de los sectores de:

- ✓ Laminador de Continua 2 Frío - Laminador de Continua 2 Caliente
- ✓ Medición de Ultrasonidos línea 2
- ✓ Extracción y tratamiento de humos del horno 5 en Acería,
- ✓ Horno barras móviles
- ✓ Sector de Mandriles

Para cada migración se configuraron los valores en los tableros del PLC, para que cumplieran el estándar. Para esta tarea se realizó un exhaustivo relevamiento, para generar la ingeniería de los tableros que permitiera realizar las migraciones en la ventana de tiempo destinada a esta tarea. Se proveyó los tableros y elementos de campo necesarios para la migración.

La migración tecnológica implicó el cambio de equipamiento a la línea de producción. Cada PCL se programó para mantener el estándar deseado, sin perder de vista las configuraciones del sistema de supervisión. Durante las paradas de planta se supervisaron y coordinaron todas las tareas y de los grupos de trabajo simultáneo, coordinando a más de 8 cuadrillas de montaje y conexionado, 6 equipos de programadores de PLC y coordinadores de obra, vigilando los tiempos y calidad para no incurrir en demoras y cumplir los estándares de calidad.

Ventajas

- ✓ Se logró el involucramiento del proceso productivo a los procesos de la gestión de la fábrica.
- ✓ Se redujeron los tiempos y formas de producción, sin afectar esta última.
- ✓ Se logró un alto nivel de calidad.

Desventajas

- ✓ La inversión inicial fue considerable.
- ✓ Hubo paros programados de producción para ejecutar la migración.

5.1.2 Empresa: Cargill Flours⁴⁵

Cargill es una empresa exportadora agroindustrial. Cargill en Argentina desarrolla principalmente actividades de procesamiento, exportación, importación (fertilizantes), comercialización y servicios al cliente. En este caso de éxito se hace referencia al área de producción de harina.

Situación: Migración Mele

El proceso de automatización llevó este nombre porque fue efectuado en la Ciudad de mar del Plata Mele. Lo que se deseaba lograr era poder flexibilizar el sistema productivo de la planta, esto como parte de las políticas de mejora continua de la empresa, a su vez poder efectuar una actualización tecnológica, estandarizando estas últimas y procurando un bajo impacto durante la implementación de esta migración.

Situación del proceso sin automatizar

Antes de esta migración, los procesos de producción eran inflexibles y se requería ejecutar una serie de pasos para cambiar las tareas que ejecutaba un mismo equipo; no había vínculo entre los procesos de manufactura y los registros de estos, es decir, no se llevaba un control fluido de lo que se producía y el flujo de procesos no estaba estandarizado.

¿Qué se necesitó?

La migración se organizó en 4 niveles, donde cada nivel interactúa entre sí.

Nivel 1: Migración de Hardware de PLC discontinuados a PLC última generación y redes Profibus para campo. Periferia distribuida en borneras inteligentes. Redes PROFIBUS FMS para Control.

Nivel 2: Relevamiento de la lógica funcional de los procesos de la planta, desde Recepción de Trigo al Despacho de harina. Implementación de secuencias automáticas. Control Manual y Automático de todos los equipos de planta.

⁴⁵ <http://www.trendingeneria.com.ar/exito-3.html#3>

Nivel 3: Visualización y control de los equipos y secuencias para el manejo de planta. Incorporación de tecnología .net. Comunicación con los equipos de planta.

Nivel 4 Sistema de manejo de producción de la planta e historial de variables. Basado en tecnología Microsoft SQL Server y .net. Reportes de producción.

Ventajas

- ✓ Integración de software
- ✓ Mayor control del proceso a partir de la historización de la producción
- ✓ Se flexibilizan los procesos con la integración de PLC más modernos
- ✓ Modernización de la planta y versatilidad ante futuros cambios

Desventajas

- ✓ Paro de producción durante 5 días (periodo de migración)



Imagen 31. Integración de Software a procesos de automatización

5.1.3 Empresa: Hotel Intercontinental - Nordelta⁴⁶

Hotel de reconocimiento internacional ubicado en Buenos Aires, Argentina. Se caracteriza por su arquitectura de los años 30. El hotel se encuentra en una ubicación ideal en el distrito financiero de Buenos Aires y entre otras atracciones como la arbolada Avenida de Mayo y El Zanjón de Granados.

Situación: Control de Acceso y Transferencia Automática

La administración del Hotel, en su afán de brindar a sus huéspedes una experiencia que unifique el trabajo con el placer, desea automatizar unos de sus procesos, el de control de acceso y transferencia. La idea principal es poder facilitar a sus usuarios la forma de acceso al hotel y poder monitorear de una manera más fácil las diferentes áreas del hotel, mediante monitoreo eléctrico.

Situación del proceso sin automatizar

Antes de la implementación del control de acceso y la transferencia automática, el ingreso vehicular era monitorizado de manera física por el personal del hotel, lo que representaba un recurso humano menos para poder resolver otras áreas de interés. El monitoreo eléctrico era un sistema aparte que no se unificaba con el resto de controles del hotel

¿Qué se necesitó?

Se implementó una arquitectura mixta compuesta por dos sistemas independientes en su funcionalidad, unificados en el monitoreo y supervisión simplificando la interfaz con el usuario. Para Iluminación y servicios generales (Ascensores, bombas, etc.) una arquitectura BMS, y para la transferencia automática y el monitoreo eléctrico PLC modulares, con periferia remota. Comunicados con redes Profibus.

Se diseñaron, construyeron e instalaron 35 gabinetes de acceso y 3 de transferencia para albergar arquitectura de control distribuida. Se instalaron 66 nodos para el de control de acceso con cerradura magnética y lectora de

⁴⁶ <http://www.trendingeneria.com.ar/exito-6.html#6>

proximidad para tarjetas magnéticas. En el acceso vehicular se instalaron 4 barreras asociadas a una espira de detección.

Se diseñó, configuró y puso en marcha una lógica operativa del sistema de control de acceso. Se diseñaron e implementaron la pantalla de operación del sistema.

Se desarrolló un sistema de transferencia automática para administrar la energía del hotel, garantizando la continuidad de servicio. Se realizaron pruebas de aceptación para y puesta en marcha.

Ventajas

- ✓ Se unificó todo el sistema en un único puesto de control.
- ✓ Se controló el acceso a sectores.
- ✓ Se logró un ahorro de energía.

Desventajas

- ✓ Pruebas de aceptación fueron percibidas por los usuarios.
- ✓ Concesión de descuentos a usuarios molestos por pruebas.

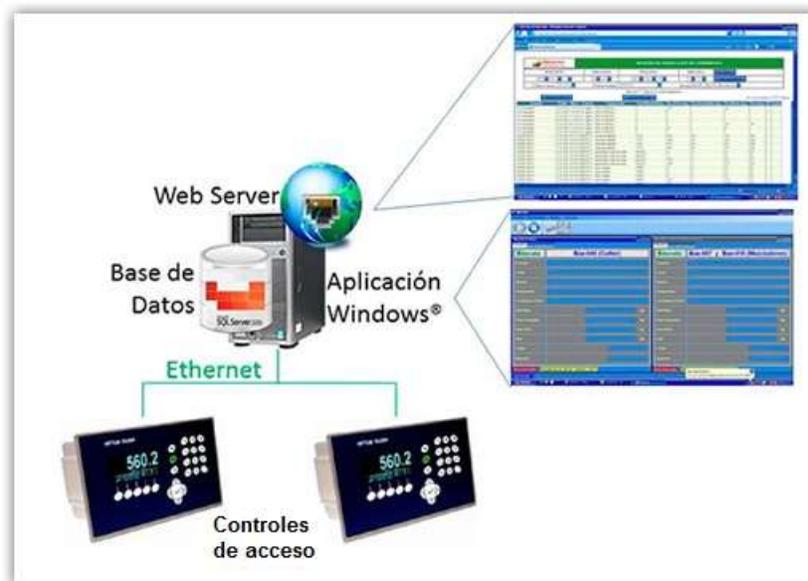


Imagen 32. Integración de sistemas de control para la automatización del control de acceso

5.2 Otros ejemplos:

5.2.1 Estacionamientos automatizados:⁴⁷

Estos son estacionamientos que reducen espacios y capacidad de almacenamiento de vehículos. Son altamente seguros y su control y automatización se realiza mediante PLC. En este caso, las redes computacionales permiten centralizar los procesos mediante conexiones Ethernet que administren a los PLC como un solo dispositivo.



Imagen 33. Estacionamiento robótico

5.2.2 Sistema de control regulatorio⁴⁸

Este sistema centraliza 7 estaciones de operación y 3 estaciones para desarrollo, aplicaciones e ingeniería. Las áreas remotas cuentan con un PLC y redundancia por fibra óptica, comunicándose Ethernet. Este sistema de control permite regular, administrar y controlar los diferentes procesos de manufactura, su relevancia está en que la empresa gestiona sus procesos de manera centralizada.

⁴⁷ http://www.alsemexicana.com/Estacionamientos_Inteligentes/Estacionamientos%20Automatizados.pdf

⁴⁸ <http://www.dcimex.com/casosexito.html>

5.3 CONCLUSIONES

En la actualidad, la calidad, la productividad y los sistemas de información, son conceptos que van muy de la mano.

Desde que el ser humano empezó a producir sus propios enceres, artefactos y herramientas para su sobrevivencia, el cumplir con los requerimientos del cliente, eran de vital importancia, ya que en estos inicios, el brindar calidad representaba mucho más que prevalecer en un mercado demandante, era también asegurar que nadie saliera lastimado por el uso de estos.

Si bien, en nuestros días este concepto ha prevalecido y se ha acoplado a los diferentes escenarios en los cuales se despliega la sociedad, ahora se agregan otros conceptos que ayudan al cumplimiento de la calidad. Entre los cuales pudiéramos mencionar a la productividad y la automatización.

La importancia de la productividad en el cumplimiento de la calidad, es que cuando un proceso necesita ser más productivo, los estándares de calidad no pueden bajar, siguiendo esta afirmación la productividad aporta a la calidad conceptos como eficiencia y eficacia que se traducen en mejores resultados y cumplimiento de objetivos basados en lo que se dispone, tanto en tiempos como en materiales.

Con la aparición de las tecnologías y el inicio de una sociedad basada en los nuevos paradigmas tecnológicos, el concepto de automatización tiene un gran auge en los procesos de manufactura. En este sentido, la automatización viene a contribuir con los procesos, haciéndolos más ágiles, estandarizados y de fácil aplicación.

Para aprovechar todos los beneficios que se pueden obtener con la implementación de las tecnologías dentro de los procesos productivos, encontramos a las redes computacionales, las cuales son en la actualidad el mayor punto de referencia para definir “comunicación” en nuestra sociedad; es mediante las redes computacionales que es posible establecer comunicación entre

puntos lejanos u obtener información acerca de procesos o actividades que se llevan a cabo dentro y fuera de una empresa.

Es aquí donde entran a discusión los Controladores Lógicos Programables (PLC) los cuales son dispositivos de Hardware que facilitan la comunicación y programación entre las máquinas de manufactura y el equipo de cómputo que los administra o dicho de otro modo, con el operador.

Unificando conceptos, encontramos que la importancia de las redes industriales en los procesos de manufactura, radica en que estas aportan información de primera mano referente a los procesos que se llevan a cabo, de este modo la toma de decisiones está basada en acontecimientos de tiempo real; así los objetivos de la empresa, como el mejoramiento de la calidad y la aplicación de Manufactura Esbelta pueden ser logrados, por un lado se evitan los paros de producción ya que en caso de presentarse algún inconveniente con los equipos, los operarios pueden ejecutar los diferentes procedimientos establecidos para resolver la falla y por otro los desperdicios de materia prima, de tiempo y de mano de obra son reducidos al contar con procesos automatizados que son ejecutados por un PLC, de este modo la producción es más Esbelta y estandarizada.

Por otro lado, la automatización, permite a los procesos de manufactura establecer de manera ordenada y sistémica los pasos mediante los cuales se ejecutaran, la ventaja de introducir este concepto en la producción, es que permite reducir los tiempos, las tareas ejecutadas por los operarios, los defectos y/o fallas por errores humanos y una serie de ajustes orientados a la reducción de mermas, en esta parte de la producción los procesos se dirigen a ser más Esbeltos.

En los casos de éxito pudimos constatar como las redes computacionales, la automatización y los conceptos de calidad son vistos como una sola entidad que procura y promueve ofrecer un mejor servicio/producto que se entregue dentro de tiempos específicos y con la menor cantidad de desperdicios posibles.

En sí, la automatización de un proceso tiene como principal actor a los PLC y utiliza a las redes computacionales para el lograrlo, de esta forma obtener un

mejoramiento de la calidad sin perder de vista los aspectos productivos. Continuando con lo anterior, podríamos decir que la calidad es el producto de la conjunción de elementos como la productividad, las redes computacionales y la automatización.

Al automatizar se simplifican los procesos, siendo posible diseñar y construir máquinas capaces de reproducir los movimientos del trabajador (mecanización), aumentando así su eficiencia.

El objetivo de esta automatización es cubrir áreas de trabajo que para los operarios resultan ser muy peligrosas, en este sentido se programan varias máquinas que pueden ejecutar el tareas que realizaba un trabajador y es mediante los PLC que se integran y controlan los diferentes procesos que se ejecutan.

Es aquí donde se integran las computadoras y redes industriales. Las primeras permiten la programación de los PLC, la comunicación entre operario y proceso; y las segundas unifican la comunicación con el resto de operaciones y áreas que integran la empresa.

La implementación de las computadoras y las redes industriales se emplea para supervisar y dirigir el funcionamiento de la fábrica, desde la programación de las fases de producción, hasta el seguimiento de los niveles de inventario y de utilización de materiales.

Para finalizar, podemos decir que la automatización surgió de la íntima relación entre las fuerzas económicas e innovaciones técnicas como formas de trabajo, así como la transferencia de energía y la mecanización de las fábricas. La reducción de un proceso de fabricación a su fase independiente (automatización), permite incrementar la productividad y reducir el nivel de especialización de los operarios.

Las recomendaciones estarían orientadas a evaluar la situación de cada empresa que desee automatizar, tomando en consideración los aspectos económicos de la inversión y las proyecciones a futuro que tenga la empresa, es decir, si se requiere de invertir en PLC, equipos automatizados y redes industriales, es necesario

considerar como esto puede contribuir a evoluciones futuras, la versatilidad de los equipos y procesos implementados, dará pauta a las siguientes modificaciones que implemente la empresa en pro del mejoramiento de la calidad y la productividad.

INDICE DE IMAGENES

Imagen 1: Red de comunicaciones dentro de una planta de producción	7
Imagen 2: Proceso automatizado. Sistema de automatización	8
Imagen 3: Niveles en la pirámide de automatización	15
Imagen 4: La producción vista como un sistema. La calidad abarca toda la línea de producción, desde los materiales en recepción, hasta el consumidor	23
Imagen 5. Red de Área Local (LAN)	35
Imagen 6. LAN	37
Imagen 7. WAN	37
Imagen 8. VLAN	38
Imagen 9. WLAN.....	38
Imagen 10. Broadcast.....	39
Imagen 11. Redes Point to Point.....	39
Imagen 12. Tipos de redes según su topología	40
Imagen 13. Ejemplo gráfico de VLAN	49
Imagen 14. Robot de ensamble	51
Imagen 15. Industrias de investigación.....	52
Imagen 16. Clasificación de las Redes Industriales	54
Imagen 17. Equipo automatizado para la purificación del agua.....	57
Imagen 18. Proceso automatizado para la producción de automóviles.....	57
Imagen 19. Proceso para la producción de fármacos	58
Imagen 20. Pirámide CIM	59
Imagen 21. Partes de un PLC.....	63
Imagen 22. . Conexión de un producto o proceso industrial a un controlador lógico.....	67
Imagen 23. Conexión de un controlador lógico a un producto o un proceso industrial	67
Imagen 24. Controlador lógico en bucle abierto	68
Imagen 25. Controlador lógico en bucle cerrado.....	68
Imagen 27. Protocolo HART. Análisis de señal analógica a digital.....	75
Imagen 28. Aplicación de los diferentes protocolos para los buses de campo	84
Imagen 29. Esquema de conexión PC-PLC	86
Imagen 30. Sistema mono-maestro PROFIBUS DP	91
Imagen 31. Sistema multi-maestro PROFIBUS DP	92
Imagen 32. Integración de Software a procesos de automatización.....	102
Imagen 33. Integración de sistemas de control para la automatización del control de acceso	104
Imagen 34. Estacionamiento robótico	105

BIBLIOGRAFIA

- ✓ Calidad de los Sistemas de Información. 2da. Edición Actualizada. Alfaomega. México, DF
- ✓ Calidad total y productividad. 3ra. Edición. Humberto Gutiérrez Pulido. McGraw-Hill, 2010
- ✓ Autómatas Programables. Entorno y aplicaciones. 1da Edición. Enrique Mandado Pérez, Jorge Acevedo, Celso Fernández, José Armesto, Serafín Pérez. Siemens, 2006.
- ✓ Calidad, productividad y competitividad: la salida de la crisis Escrito por W. Edwards Deming. Ediciones Díaz de Santos. consultado: 24/03/2014. <http://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=d9WL4BMVHi8C&oi=fnd&pg=PR9&dq=calidad+y+productividad&ots=ZDx9cCglqO&sig=xqIUiqX9QBnqjsU2u1MVDXeVpXw#v=onepage&q&f=false>
- ✓ Control de calidad: teoría y aplicaciones Escrito por Bertrand L. Hansen, Prabhakar M. Ghare. Ediciones Díaz de Santos. Pag. 371. Consultado 25/03/2014. http://books.google.es/books?id=eGdLTd3UiN8C&pg=PA371&dq=importancia+de+la+calidad+y+la+productividad&hl=es&sa=X&ei=PM0xU5nTAoaN2gX_loBo&ved=0CEEQ6AEwAQ#v=onepage&q=importancia%20de%20la%20calidad%20y%20la%20productividad&f=false
- ✓ Capitulo IV. Productividad y valor en la empresa. consultado el 25/03/2014 http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lcp/zamacona_s_r/capitulo4.pdf
- ✓ Desempeño Humano: Manual de Consultoría. Escrito por Mariano L. Bernárdez. AuthorHouse. Consultado el 25/03/2014 <http://books.google.es/books?id=K-56yNFefdUC&pg=PA348&dq=manufactura+esbelta&hl=es&sa=X&ei=RAEyU-6PFYWw2gWb4IG4Ag&sqi=2&ved=0CD8Q6AEwAA#v=onepage&q=manufactura%20esbelta&f=false>

- ✓ BPM: Business Process Management Fundamentos y Conceptos de Implementación. Bernhard Hitpass. BPM. Consultado el: 25/03/2014
<http://books.google.es/books?id=Dm4-MGAY5vMC&printsec=frontcover&dq=BPM&hl=es&sa=X&ei=LB0yU5f7C4TW2gWcqYCYCg&ved=0CEkQ6AEwAA#v=onepage&q=BPM&f=false>
- ✓ COMUNICACIONES INDUSTRIALES. Vicente Guerrero, Ramón Yuste, Luis Martínez. Alfaomega. México, 2010. Consultado: 27/03/2014
- ✓ Redes de computadoras. Aplicaciones de negocios. Andrew S. Tanenbaum. Pearson Educación. Consultado el 26/03/2014.
<http://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=WWD-4oF9hjEC&oi=fnd&pg=PR18&dq=redes+lan+en+las+empresas+&ots=XxlabvaC6&sig=Z1CWVrvpbwyILriT2XusNIhjeuc#v=onepage&q=redes%20lan%20en%20las%20empresas&f=false>
- ✓ ECON.UBA.AR - Razones para instalar redes – Consultado el 17/04/2014 – En línea.
http://www.econ.uba.ar/www/departamentos/sistemas/plan97/tecn_informac/briano/seoane/tp/yquiroyredes.htm
- ✓ ean.edu.co - GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO Y TECNOLOGÍA DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIONES – consultado el 05/05/2014 en línea: LVD Rodríguez - Revista EAN, 2013 - bdonline.ean.edu.co
- ✓ EPSEVG. IPC.EDU - Consultado el 06/05/2014
<http://www.epsevg.upc.edu/hcd/material/lecturas/interfaz.pdf>
- ✓ RAE.ES – AUTOMATIZACIÓN – Consultado 19/05/2014 – En línea:
<http://lema.rae.es/drae/srv/search?id=Qfs84blhhDXX2UfhS8IB>
- ✓ EPSEVG.UPC.EDU – Consultado el 19/05/2014 – En Línea:
<http://www.epsevg.upc.edu/hcd/material/lecturas/interfaz.pdf>
- ✓ EDUDEVICES.COM.AR – PLC - consultado el 19/05/2014 – En línea -
http://www.edudevices.com.ar/download/articulos/PLC/CURSO_PLC_01.pdf

- ✓ AIE.CL - PROTOCOLOS DE COMUNICACIONES INDUSTRIALES – Consultado el 20/05/2014 – En línea - <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/articulos/agosto-06.pdf>
- ✓ ETITUDELA.COM – PROFIBUS – Consultado el 21/05/2014 – En Línea - <http://www.etitudela.com/entrenadorcomunicaciones/downloads/profibusteor ia.pdf>
- ✓ AIE.CL – BUSES DE CAMPO – Consultado el: 25/05/2014 – En línea - http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/Buses_Campo.pdf
- ✓ ITESM.MX – PROFIBUS – Consultado el: 28/05/2014 – En Línea - <http://homepage.cem.itesm.mx/vlopez/profibus.htm>
- ✓ SMAR.COM – PROFIBUS – Consultado el 30/05/2014 – En Línea - <http://www.smar.com/espanol/profibus.asp>
- ✓ UTFSM.CL – PLC – Consultado el: 18/06/2014 – En línea - <http://profesores.elo.utfsm.cl/~agv/elo322/1s12/project/reports/KlennerSalazarSalazar.pdf>
- ✓ EAN.EDU.COM – PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN – Consultado el: 20/06/2014 – En línea - <http://repository.ean.edu.co/bitstream/10882/328/1/RianoDiana2010.pdf>
- ✓ MARCOMBO.COM – PLC – Consultado el: 16/07/2014 – En línea - <http://www.marcombo.com/Descargas/9788426715753/EXTRACTO%20DE L%20LIBRO.pdf>
- ✓ ICIM.COM - Manufactura lean – Consultado el: 17/07/2014 – En línea - <http://www.icim.com/CursosEmpresaLean.html>