



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

CENTRO DE ESTUDIOS DE POSGRADO

MAESTRÍA EN REDES Y TELECOMUNICACIONES

TEMA:

“CONTROL DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA EMPRESA MUNICIPAL DE ALCANTARILLADO Y AGUA POTABLE QUITO EN EL TRAMO DE LA CENTRAL MICA QUITO SUR HACIA CHILLOGALLO Y GUAMANÍ Y SU INCIDENCIA EN LA TOMA DE DECISIONES”

Proyecto de Investigación previo a la obtención del Grado de Magíster en Redes y Telecomunicaciones

AUTORA

Ing. Marcela Alexandra Parra Pintado

TUTOR

Ing. Julio Cuji, MSc.

Ambato – Ecuador

2011

Al Consejo de Posgrado de la UTA.

El Comité de Defensa de la Tesis de Grado. “*CONTROL DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA EMPRESA MUNICIPAL DE ALCANTARILLADO Y AGUA POTABLE QUITO EN EL TRAMO DE LA CENTRAL MICA QUITO SUR HACIA CHILLOGALLO Y GUAMANÍ Y SU INCIDENCIA EN LA TOMA DE DECISIONES*”, presentada por: *Ing. Marcela Alexandra Parra Pintado* — y conformada por: *Ing. M.Sc. Hernando Buenaño, Ing. M.Sc. Eddie Galarza, Ing. M.Sc. David Guevara*, Miembros del Tribunal de Defensa, *Ing. M.Sc. David Guevara*, Director de Tesis de Grado y presidido por: *Ing. M.Sc. Oswaldo Paredes*, Presidente del Tribunal de Defensa; *Ing. M.Sc. Luis Anda Torres*, Director del CEPOS – UTA, una vez escuchada la defensa oral y revisada la Tesis de Grado escrita en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas por el Tribunal de Defensa de la Tesis, remite la presente Tesis para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.

Ing. M.Sc. Oswaldo Paredes Ochoa
Presidente del Tribunal de Defensa

Ing. M.Sc. Luis Anda Torres
Director del CEPOS (e)

Ing. M.Sc. Julio Cuji
Director de Tesis

Ing. M.Sc. Hernando Buenaño
Miembro del Tribunal

Ing. M.Sc. Eddie Galarza
Miembro del Tribunal

Ing. M.Sc. David Guevara
Miembro del Tribunal

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La responsabilidad del contenido de la Tesis de Grado “*CONTROL DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA EMPRESA MUNICIPAL DE ALCANTARILLADO Y AGUA POTABLE QUITO EN EL TRAMO DE LA CENTRAL MICA QUITO SUR HACIA CHILLOGALLO Y GUAMANÍ Y SU INCIDENCIA EN LA TOMA DE DECISIONES*”, nos corresponde exclusivamente a *Ing. Marcela Alexandra Parra Pintado*, Autora y del *Ing. Julio Cuji*, Director de la Tesis de Grado; y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Marcela Parra Pintado

Autora

Ing. M.Sc. Julio Cuji

Director de Tesis

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de esta tesis o parte de ella un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi tesis, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de esta tesis, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ing. Marcela Alexandra Parra Pintado

c.c. N° 180310759-6

DEDICATORIA

Al Señor que es amor y el amor lo construye todo.

A mis padres por regalarme la vida y hacerme el camino más fácil con sus consejos y amor.

A mis hermanas, Mónica y Juana Catalina por siempre estar pendientes de mi; por su amor y ayuda incondicional.

Este trabajo lo dedico de manera especial a mi sobrina, María Ángeles, quien ha demostrado y enseñado a su corta edad: la valentía para vivir.

Marcela Parra

AGRADECIMIENTO

A mi familia por su apoyo incondicional en el desarrollo de esta tesis. Sobre todo a mi madre que es una motivadora innata por siempre en mi vida.

Mi agradecimiento a la EMPRESA MUNICIPAL DE ALCANTARILLADO Y AGUA POTABLE QUITO y de manera especial al Ing. Wilson Oña y al Ing. Mauricio Jiménez quienes me tendieron la mano para permitir el desarrollo de esta tesis.

Al Ing. Julio Cuji quien asesoró mi tesis con sus sabios conocimientos.

A Manuel quien gracias a sus conocimientos y sobre todo experiencia en redes; ha sido de gran ayuda para el desarrollo de este proyecto.

A todos mis compañeros de la universidad quienes me brindan siempre la facilidad de manipular los equipos en el Laboratorio de Automatismos de la carrera de Mecatrónica para hacer prácticas. A mis estudiantes de Ingeniería Mecatrónica e Industrial; de quienes aprendo tanto cada día con sus innovadoras ideas.

Marcela Parra

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|-------|
| Al Consejo de Posgrado de la UTA..... | ii |
| AUTORIA DE LA INVESTIGACIÓN..... | iii |
| DERECHOS DE AUTOR..... | iv |
| DEDICATORIA..... | v |
| AGRADECIMIENTO..... | vi |
| ÍNDICE GENERAL..... | viii |
| Índice de Gráficas..... | xiii |
| RESUMEN..... | xviii |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| CAPÍTULO I..... | 4 |
| EL PROBLEMA..... | 4 |
| Planteamiento del Problema..... | 4 |
| Contextualización..... | 4 |
| Análisis Crítico..... | 9 |
| Prognosis..... | 10 |
| Formulación del Problema..... | 10 |
| Interrogantes de la Investigación..... | 10 |
| Delimitación de la Investigación..... | 11 |
| Delimitación Espacial:..... | 11 |
| Delimitación Temporal:..... | 11 |
| Unidades de Observación:..... | 11 |
| Justificación..... | 11 |
| Objetivos..... | 14 |
| CAPITULO II..... | 15 |

| | |
|--|----|
| MARCO TEÓRICO..... | 15 |
| Fundamentaciones..... | 15 |
| Fundamentación Filosófica | 15 |
| Fundamentación Sociológica | 15 |
| Fundamentación Legal | 15 |
| CONTROL DE OPERACIÓN..... | 18 |
| Sistema de control | 18 |
| Requerimientos y aplicaciones de los sistemas automáticos de control | 18 |
| Variables del sistema..... | 18 |
| Unidad de Realimentación | 19 |
| Configuración de los Sistemas de Control | 20 |
| Objetivos del Análisis y Diseño de un Sistema de Control | 21 |
| La Respuesta total del sistema está dada por: | 21 |
| Función de Transferencia..... | 21 |
| Sensores Industriales | 23 |
| Características de los sensores industriales..... | 24 |
| Clasificación de los sensores según el tipo de señal eléctrica..... | 25 |
| Clasificación de los sensores según el rango de valores | 26 |
| Clasificación de los sensores industriales según el modo de operación | 26 |
| Clasificación de los sensores industriales según el nivel de integración | 26 |
| Clasificación de los sensores según la variable física medida | 27 |
| Interfaces de Entrada y Salida..... | 28 |
| Clasificación de las interfaces | 29 |
| Autómata programable industrial..... | 35 |
| Clasificación..... | 35 |
| Factores cualitativos..... | 35 |
| Criterios de aplicación..... | 36 |
| Velocidad de respuesta..... | 37 |
| Entorno..... | 38 |
| Selección del autómata..... | 38 |
| Tendencias..... | 39 |
| Software | 40 |

| | |
|---|----|
| Aspecto económico | 40 |
| Dominios de la utilización | 41 |
| Mantenimiento, averías y diagnósticos..... | 41 |
| Ayudas al diagnóstico y al mantenimiento integradas en los autómatas ... | 44 |
| Criterios de seguimiento para determinar la causa de una avería | 46 |
| Seguridad de la instalación en caso de defectos y averías | 47 |
| Control de funcionamiento y diagnósticos integrados dentro del programa | 49 |
| Centralización de diagnósticos, alarmas y seguimiento del proceso | 50 |
| Equipos para ayuda al diagnóstico..... | 51 |
| Redundancias | 52 |
| Principales órdenes de mando..... | 54 |
| Modos de funcionamiento de los terminales de programación..... | 54 |
| Modificación de un programa | 55 |
| Toma de Decisiones | 55 |
| Procesos Industriales | 55 |
| Sistema de Programación de Autómatas Programables STEP7 | 56 |
| Redes Industriales | 59 |
| Introducción de Redes Industriales | 59 |
| Sistemas de Control en una Red de Comunicación Industrial | 60 |
| Tipos de transmisión de datos | 62 |
| Modos de transmisión de datos | 64 |
| Buses de Campo..... | 66 |
| Ventajas de un bus de campo | 67 |
| Desventajas de un bus de campo..... | 67 |
| En la arquitectura OSI, fieldbus ocupa los niveles 1 (Físico), 2 (Enlace de Datos) y 7 (Aplicación); teniendo en cuenta que este último no solo se encarga de la interfaz de usuario sino de aplicaciones específicas, dependiendo de cada aplicación..... | 69 |
| Clasificación de las redes industriales..... | 69 |
| Componentes de las Redes Industriales | 70 |
| Topología de redes industriales..... | 71 |

| | |
|---|-----|
| Redes industriales con PLC | 71 |
| Hipótesis..... | 72 |
| Señalamiento de Variables..... | 72 |
| CAPITULO III..... | 73 |
| METODOLOGÍA | 73 |
| Enfoque | 73 |
| Técnicas e Instrumentos..... | 77 |
| Plan para Recolección de la Información..... | 77 |
| Plan para el Procesamiento de la Información..... | 77 |
| CAPITULO IV..... | 78 |
| ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS..... | 78 |
| Análisis de la situación actual..... | 78 |
| Encuestas..... | 84 |
| Entrevista..... | 95 |
| Diagnóstico y Solución | 98 |
| Verificación de la Hipótesis | 100 |
| CAPITULO V..... | 102 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 102 |
| Conclusiones | 102 |
| Recomendaciones..... | 103 |
| CAPITULO VI..... | 105 |
| Propuesta..... | 105 |
| Análisis de Factibilidad..... | 105 |
| Justificación..... | 108 |
| Objetivos | 110 |
| Fundamentación | 111 |
| Metodología | 112 |
| Plan de Acción | 112 |
| Red Instrumentación | 112 |

| | |
|--|-----|
| Software | 115 |
| Direccionamiento IP..... | 116 |
| Equipos necesarios para el diseño..... | 118 |
| Subcentral Mica Quito Sur..... | 123 |
| Central UMED | 124 |
| Conclusiones y Recomendaciones | 136 |
| Bibliografía | 137 |
| Páginas Electrónicas..... | 138 |
| ANEXOS | 139 |

ÍNDICE DE GRÁFICAS

| | |
|---|----|
| Gráfica 1. Líneas de Distribución | 5 |
| Gráfica 2. Relación Causa – Efecto | 8 |
| Gráfica 3. Inclusiones Conceptuales | 17 |
| Gráfica 4. Diagrama de bloque de un sistema en lazo abierto | 20 |
| Gráfica 5. Diagrama de bloque de un sistema en lazo cerrado | 21 |
| Gráfica 6. Función de Transferencia | 22 |
| Gráfica 7. Componentes Básicos de un sensor | 24 |
| Gráfica 8. Módulos Siemens de entrada/salida concentrada o local. | 30 |
| Gráfica 9. Unidad de entrada/salida remota. | 30 |
| Gráfica 10. Generación de una variable analógica de tensión | 31 |
| Gráfica 11. Generación de una variable analógica de Corriente..... | 31 |
| Gráfica 12. Interfaz de variables de entradas analógicas. | 31 |
| Gráfica 13. Diagrama de bloques de un módulo de salida analógicas..... | 32 |
| Gráfica 14. Módulo de variables de salida analógicas con memoria circular..... | 32 |
| Gráfica 15. Módulo de variables analógicas con procesador digital de control .. | 33 |
| Gráfica 16. Módulo de entradas analógicas SM 331 de Siemens | 33 |
| Gráfica 17. Módulo de contaje FM 350-1 (cortesía de Siemens). | 33 |
| Gráfica 18. Diagrama de bloques de una estación de entrada/salida | 34 |
| Gráfica 19. Unidad de entrada/salida remota Simatic ET 200 ECO de Siemens . | 34 |
| Gráfica 20. Sistema de control distribuido implementado con un autómeta | 34 |
| Gráfica 21. Grafcet..... | 46 |
| Gráfica 22. Enclavamientos usando Autómata Programable..... | 48 |
| Gráfica 23. Entradas para el autómeta programable | 52 |
| Gráfica 24. Sistema de Control Centralizado..... | 61 |
| Gráfica 25. Sistema de Control Distribuido..... | 61 |
| Gráfica 26. Buses industriales..... | 67 |
| Gráfica 27. Topología de red industrial | 68 |

| | |
|---|-----|
| Gráfica 28. Bitbus | 68 |
| Gráfica 29. Red industrial | 69 |
| Gráfica 30. Distancias con la central..... | 79 |
| Gráfica 31. Edad de la maquinaria..... | 85 |
| Gráfica 32. Tecnología usada..... | 86 |
| Gráfica 33. Recolección de la información..... | 87 |
| Gráfica 34. Variables críticas | 88 |
| Gráfica 35. Eficiencia Operación Manual..... | 88 |
| Gráfica 36. Tiempo real | 89 |
| Gráfica 37. Estadística de los históricos | 90 |
| Gráfica 38. Mejor control manual..... | 91 |
| Gráfica 39. Control de procesos..... | 92 |
| Gráfica 40. Comunicación con la UMED | 93 |
| Gráfica 41. Comunicación con la UMED | 93 |
| Gráfica 42. Tiempos de respuesta | 94 |
| Gráfica 43. Estación de Bombeo Guamaní..... | 122 |
| Gráfica 44. Estación de Bombeo Chillogallo..... | 123 |
| Gráfica 45. Especificaciones de red Chillogallo-Guamani-Mica Quito-Sur | 124 |
| Gráfica 46. Especificaciones de red Chillogallo-Guamaní-Mica Quito-Sur-UMED..... | 125 |
| Gráfica 47. Esquema del equipo en la estación de Bombeo. | 133 |
| Gráfica 48. Configuración automática de los sensores conectados a la ET200M | 134 |
| Gráfica 49. Configuración Profinet..... | 134 |
| Gráfica 50. Red Ethernet Industrial | 135 |

Índice de Tablas

| | |
|---|-----|
| Tabla 1. Guía para seleccionar sensores | 28 |
| Tabla 2. Control de Operación | 75 |
| Tabla 3. Toma de Decisiones | 76 |
| Tabla 4. Ficha de Instrumentación de Estación de Guamaní | 81 |
| Tabla 5. Ficha de Instrumentación del Tanque 12 | 81 |
| Tabla 6. Ficha de Instrumentación del Tanque 14 | 82 |
| Tabla 7. Ficha de Instrumentación del Tanque 14 | 82 |
| Tabla 8. Ficha de Instrumentación de Estación de Chillogallo..... | 83 |
| Tabla 9. Ficha de Instrumentación de Mirador de Chillogallo | 83 |
| Tabla 10. Edad de la maquinaria..... | 84 |
| Tabla 11. Tecnología utilizada..... | 85 |
| Tabla 12. Recolección de la información..... | 86 |
| Tabla 13. Variables Críticas | 87 |
| Tabla 14. Eficiencia Operación Manual..... | 88 |
| Tabla 15. Tiempo Real | 89 |
| Tabla 16. Estadísticas de históricos | 90 |
| Tabla 17. Mejor control manual..... | 91 |
| Tabla 18. Control de procesos..... | 91 |
| Tabla 19. Comunicación con la UMED..... | 92 |
| Tabla 20. Comunicación con la UMED..... | 93 |
| Tabla 21. Tiempos de respuesta | 94 |
| Tabla 22. Resumen del Diagnóstico de la Red | 98 |
| Tabla 23. Comprobación de Hipótesis | 100 |
| Tabla 24. Costos para la Estación de Chillogallo | 105 |
| Tabla 25. Costos para la Estación de Guamaní..... | 105 |
| Tabla 26. Costos para la Mica Quito Sur | 106 |
| Tabla 27. Costos para la UMED | 106 |
| Tabla 28. Costos Totales | 106 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 29. Tasas de Ecuador | 106 |
| Tabla 30. Tabla costo beneficio | 106 |
| Tabla 31. Características del cable..... | 119 |

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL
MAESTRIA EN REDES Y TELECOMUNICACIONES (II VERSIÓN)

“CONTROL DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA EMPRESA MUNICIPAL DE ALCANTARILLADO Y AGUA POTABLE QUITO EN EL TRAMO DE LA CENTRAL MICA QUITO SUR HACIA CHILLOGALLO Y GUAMANÍ Y SU INCIDENCIA EN LA TOMA DE DECISIONES”

Autor: Parra Pintado Marcela Alexandra

Tutor: Ing. Julio Cuji. MSc.

RESUMEN

La investigación sobre *“CONTROL DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA EMPRESA MUNICIPAL DE ALCANTARILLADO Y AGUA POTABLE QUITO EN EL TRAMO DE LA CENTRAL MICA QUITO SUR HACIA CHILLOGALLO Y GUAMANÍ Y SU INCIDENCIA EN LA TOMA DE DECISIONES”*, tiene como objetivo general reflexionar sobre la situación actual del control de operación en las estaciones de bombeo y tanques del sistema de agua potable. Los tanques que sirven a la comunidad son llenados a través de la estación de bombeo, tienen dos niveles el bajo y el alto. Cuando el nivel de los tanques sea bajo o alto, el operario de los tanques pide al otro que se encuentra en la estación de bombeo la apertura o cierre de válvulas, si el tiempo de respuesta es bajo, se generan los desperdicios de recursos ya que no existe una retroalimentación del proceso. Motivo por el cual es necesario un sistema en lazo cerrado (retroalimentación) que a través de un autómata programable, sensores y actuadores; regule el proceso y genere la optimización en la toma de decisiones durante el proceso a través de un red industrial.

DESCRIPTORES: Control de Operación, Toma de Decisiones, Control en Lazo Abierto, Control en Lazo Cerrado, Autómata Programable, Proceso Industrial, Sensores, Actuadores.

INTRODUCCIÓN

La gestión del agua es un tema de gran impacto social y medioambiental, a nivel mundial, ya que el agua es un bien escaso y fundamental para la vida, porque los costos generados por los procesos de potabilización, transporte, acumulación, distribución, canalización de aguas residuales y de lluvia, depuración y reciclaje o vertido al medio natural son procesos caros que repercuten en la economía ciudadana y limitan su acceso a una buena parte de la población mundial.

El objetivo de esta investigación se basa en crear una red de tipo industrial para posteriormente automatizar los sistemas de distribución de agua potable enfocado a un control centralizado de los sistemas, para tomar decisiones oportunas orientadas a mejorar la operación, corregir fallas, y tener un eficiente servicio prestado a los usuarios para reducir costos. La automatización da la posibilidad de intervenir en tiempo real para controlar eventos, una vez monitoreadas las variables críticas, se puede tener un control de las mismas, por ende la automatización es una herramienta muy potente para la eficiencia energética y de agua. La velocidad de transmisión de las variables críticas tiene alta importancia para tomar decisiones adecuadas en tiempo real. Por ello es necesario crear una red de tipo industrial.

Los sistemas de agua potable cuentan, cada vez más con dispositivos de medida de niveles y/o caudales y, en ciertos casos, de elementos de control automático. El uso de modelos de la dinámica, asociados a los elementos de medida y control permiten desarrollar sistemas de supervisión y predicción de averías, para alerta hidrológica y, en la medida de lo posible, control y evitar riesgos de inundación.

El *Capítulo I*, se basa en la descripción de la situación actual del tramo de la Central Mica Quito Sur hacia Guamaní y Chillogallo. Las estaciones de bombeo

de Guamaní y Chillogallo abastecen a 3 y 2 tanques respectivamente. El proceso de llenado y vaciado de tanques es manual por lo que conlleva a tiempos de espera altos para tomar decisiones en caso de encontrar una eventualidad. Al no existir una red de tipo industrial incide en decisiones inadecuadas incluso puede causar el daño de los equipos por no operar con un control que tenga retroalimentación diseñado con variables críticas del sistema (presión, flujo, caudal y otras) los mismos que deben ser conectados a una red robusta que hoy en día no existe. Toda esta información se pretende que sea controlada a través de la Central Mica Quito Sur que sería una subcentral y de ahí a la central: UMED, Unidad de Mantenimiento Electromecánico de la EMAAP – Q, que es la que controla a nivel provincial.

En el *Capítulo II*, se detalla el marco teórico donde se abarca todas las variables de control de operación que incide en la toma de decisiones; con el objetivo de controlar a través de sensores, autómatas los tiempos de respuesta en base a las redes de tipo industrial. Así también se formula la hipótesis de trabajo de investigación.

En el *Capítulo III*, se indica la metodología que se va a seguir para la recolección de la información, la misma que fue utilizada para el análisis y en la elaboración de la propuesta.

En el *Capítulo IV*, se analiza los resultados obtenidos en la investigación en base a encuestas y entrevistas, además se busca una solución efectiva al problema de investigación. También se comprueba la hipótesis en base a la velocidad de comunicación dentro de la operación manual y como se puede mejorar con una red tipo industrial.

En el *Capítulo V*, se indica las conclusiones y recomendaciones que servirán de base a la propuesta, mediante una solución factible.

Y para finalizar, en el *Capítulo VI*, se propone una solución basada en una red de tipo industrial a través de un autómata programable, que ofrezca una red robusta, seguridad, almacenamiento de altos volúmenes de datos, gran velocidad de transmisión, velocidad de respuesta y soporte aplicaciones de nivel industrial.

Al final se indicara la bibliografía utilizada en la presente investigación, así como también los anexos y se mostrará tanto las fichas de instrumentación como los planos de los tramos que forman parte de la investigación.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

Planteamiento del Problema

Contextualización

“Las cifras sobre el desperdicio de agua en el país son preocupantes, tanto en la zona rural como urbana. La media nacional de desperdicio va del 30% al 40%. Incluso hay cantones que superan el 50%”¹.

Los mismos porcentajes de desperdicio están presentes en el agua que se utiliza para el riego dado que el 30% del agua que hay en el país se usa en la agricultura, de este total se pierde el 40% y en algunos cantones la cifra supera el 50% que ocurre por el mal estado de las líneas de conducción y válvulas, canales de riego, niveles de evaporación a lo que se añaden los costos del metro cúbico y la falta de educación

“Quito consume demasiada agua, más de lo que requiere”², sostienen algunos expertos y recomiendan hacer un replanteamiento técnico y administrativo de las empresas, estableciendo, como: “en el caso de la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable (EMAAP) de Quito, unidades para el control de pérdidas”³.

Es algo evidente que en la distribución de las estaciones de bombeo: Chillogallo y Guamaní existen pérdidas de volumen por: fugas de agua en almacenamiento, mal

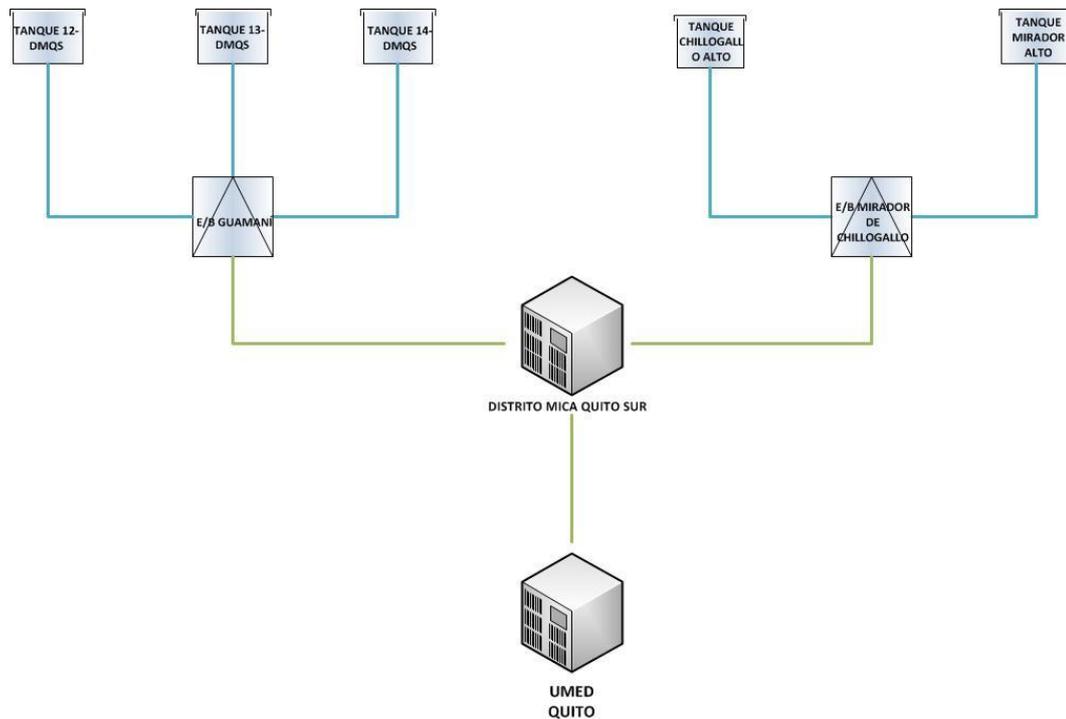
¹ Remigio Galárraga, profesor de la Escuela Politécnica Nacional. Septiembre 21 de 1009.

² Tomás Nieto, Gerente Comercial de la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable (EMAAP – Q).

³ El Comercio. Septiembre 21 de 2009

estado de las tuberías, ausencia de infraestructura en sistemas de monitoreo y control de presiones, falta de estrategias de operación automatizadas, ausencia de catastros confiables, falta de herramientas que permitan analizar y/o predecir el comportamiento de la red en tiempo real; lo cual se representa el desperdicio de agua y bajo rendimiento del sistema.

La estación de bombeo es el conjunto de estructuras civiles, equipo, tuberías y accesorios, que toman el agua directa o indirectamente de la fuente de abastecimiento y la impulsan a un reservorio de almacenamiento o directamente de la red de distribución. La operación para el llenado de tanques se lo realiza de forma manual.



Gráfica 1. Líneas de Distribución

La estación de bombeo de Chillogallo alimenta a dos tanques de distribución como se indica en la Gráfica 1.1. Mientras que, la estación de bombeo de Guamaní abastece a tres tanques. Todo el proceso de llenado de tanques se opera de forma manual. Existe un solo operario para el control de tanques y un solo operario para cada estación de bombeo. El operario de los tanques llama al

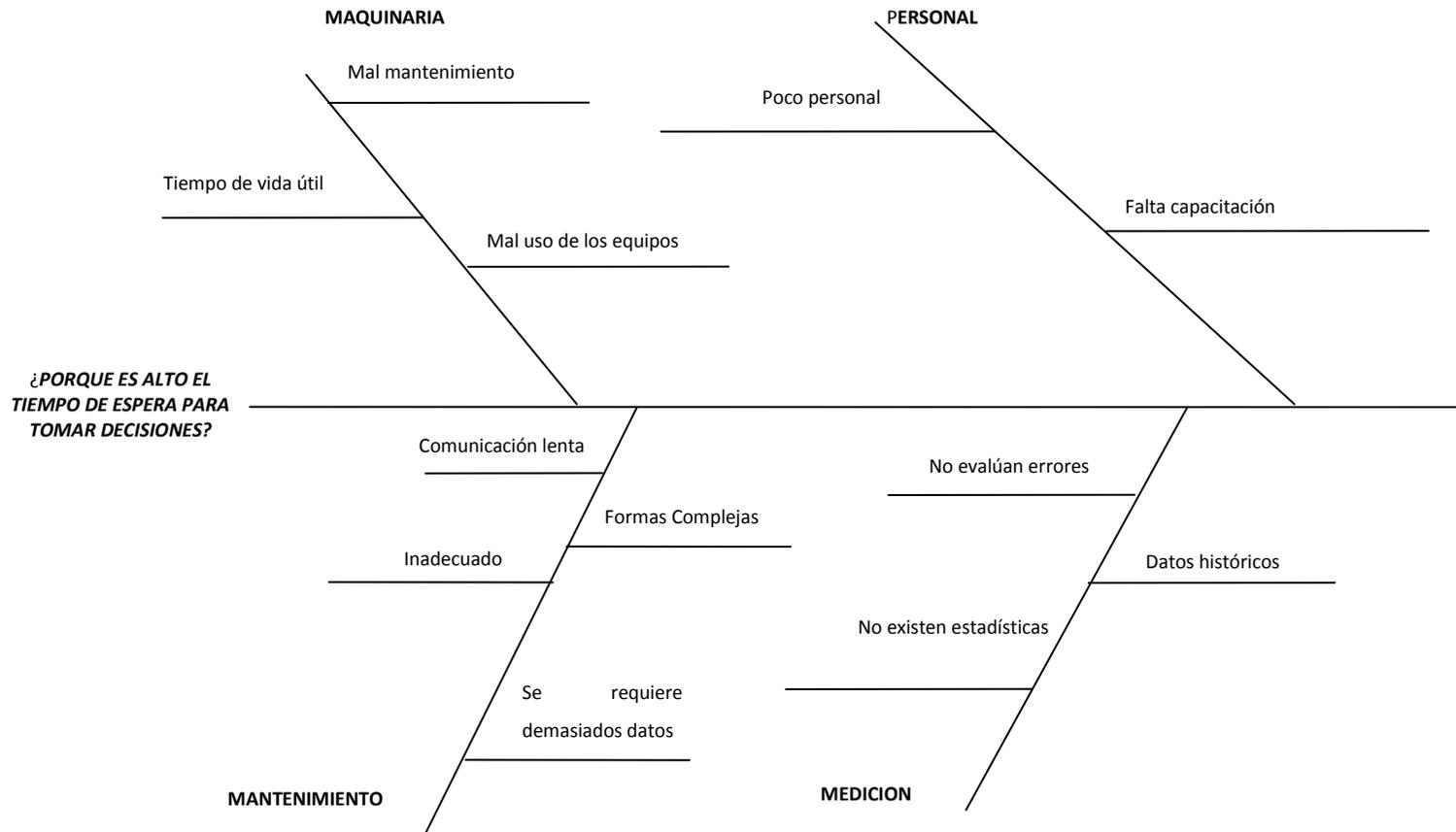
operario de la estación de bombeo para la apertura o cierre de válvulas cuando el tanque está lleno o en el límite inferior respectivamente. La mayoría de veces los operarios no se comunican y se realiza el proceso de acuerdo a su experiencia o registros históricos lo que conlleva a desperdicios de agua y a forzar equipos obteniendo tiempos de respuesta poco fiables.

Los datos son registrados en forma mensual y de manera manual incidiendo en toma de decisiones ya que los datos no son recogidos en tiempo real y deben ser llevados a la central Mica Quito - Sur. Cuando se presenta una novedad emergente (calentamiento de un motor, contraflujo) la UMED, Unidad de Mantenimiento Electromecánico de Distribución, de la EMAAP -Q, envía un grupo de mantenimiento se traslade a la unidad emergente para dar un mantenimiento correctivo. La UMED considera que el mantenimiento electromecánico solo se debe dar si se presenta un aviso en alguna unidad emergente. El personal muchas veces se encuentra con varios avisos emergentes y no puede cubrir toda el área.

No existen sensores industriales sobre las variables de control como es caudal, presión, nivel, temperatura entre otros para comunicarlo a través de una red de tipo industrial y tomar decisiones adecuadas en el tiempo real. Cuanto más nos acercamos al proceso, mayor número de dispositivos intervienen en la red de comunicación para el nivel de campo; la red de datos que interviene engloba a los sensores y actuadores requiriendo de un elevado volumen de datos y velocidad de transmisión y respuesta, lo que sólo nos puede proveer una red de tipo industrial.

Con la ausencia de una red de comunicaciones de datos industriales, entre diferentes sistemas, procesos e instalaciones no existe el pilar fundamental para que esta se encuentre en un nivel de competitividad exigida en los procesos productivos. Los mantenimientos no deben correctivos sino preventivos de acuerdo a la configuración de sensores y actuadores de tal forma que se tomen decisiones acertadas en tiempos reales.

Por ello es necesario establecer o incorporar un sistema de comunicaciones integrado para poder obtener beneficios desde costos, rendimiento, entre otros a través de un sistema de comunicación con aplicación de una red tipo industrial para proveer robustez al sistema.



Gráfica 2. Relación Causa – Efecto
 Elaborado por: Investigador

Análisis Crítico

La investigación se orientará a cuatro posibles causas: Personal, maquinaria, mantenimiento y medición como se detalla en el Gráfico 2 en la relación de causa – efecto; donde se desglosan los problemas que conllevan a los tiempos altos de espera dentro del control de operación para tomar decisiones adecuadas.

Los tiempos de respuesta dentro de cualquier sistema ya sea manual o automático en lo posible deben ser bajos y la información debe ir a una velocidad de transmisión alta dentro del control de operación para tomar decisiones acertadas. Si las decisiones se toman a destiempo se puede generar fugas, daño a equipos y personal, pérdidas económicas y otros.

Una de las posibles causas de este problema es que el *personal* que operan en la planta (estación de bombeo y tanques). Es necesario investigar donde el tiempo de respuestas genera problemas. Puede deberse a falla del operario, inadecuado método para recolectar información, errores humanos o de los instrumentos de medición.

La *maquinaria* al ya tener algunos años instalado puede que su tiempo de vida útil haya llegado al final, también influye un uso inadecuado de los equipos, o un mantenimiento débil.

Además con el crecimiento de la tecnología sobre todo en proceso de automatización donde se ven involucradas variables críticas de control en la planta de Guamaní y Chillogallo. En dichas estaciones aún no se encuentra controlada ninguna de ellas por lo que es tendiente a tener más fallas.

El *mantenimiento* que proporciona la UMED, Unidad de Mantenimiento Electromecánico de Distribución cuenta con poco personal. Además el tipo de mantenimiento generalmente es de tipo correctivo antes que preventivo que con el tiempo serán graves daños sobre el equipo y perjuicio económico.

Otra causa es la *medición*, o el proceso que se exige en el control de operación. Al ser los procesos de adquisición de información en forma manual hace que la comunicación sea lenta y el proceso sea propenso a mayores errores.

Por ello es necesario realizar un sistema robusto en base a tiempos de respuesta sumamente eficientes durante el control de operación para tomar decisiones acertadas en base a las variables críticas del sistema en tiempo real; examinando cada una de las posibles causas se enfocará la solución.

Prognosis

El ineficiente control de operación manual en el sistema de agua potable de la EMPRESA MUNICIPAL DE ALCANTARILLADO Y AGUA POTABLE QUITO en el tramo de la central Mica Quito Sur hacia Chillogallo y Guamaní afecta en la toma de decisiones provocando una mala administración de un elemento fundamental como es el agua.

Formulación del Problema

¿El control de operación en el sistema de agua potable de la EMPRESA MUNICIPAL DE ALCANTARILLADO Y AGUA POTABLE QUITO en el tramo de la central Mica Quito Sur hacia Chillogallo y Guamaní incide en la toma de decisiones?

Interrogantes de la Investigación

- ¿Cómo se realiza el control de operación el sistema de agua potable de la EMPRESA MUNICIPAL DE ALCANTARILLADO Y AGUA POTABLE QUITO en el tramo de la central Mica Quito Sur hacia Chillogallo y Guamaní?
- ¿Cuál es el proceso para la toma de decisiones en el sistema de agua potable de la EMPRESA MUNICIPAL DE ALCANTARILLADO Y AGUA POTABLE QUITO en el tramo de la central Mica Quito Sur hacia Chillogallo y Guamaní?

- ¿Existe una solución en el Control de Operación en el sistema de agua potable de la EMPRESA MUNICIPAL DE ALCANTARILLADO Y AGUA POTABLE QUITO en el tramo de la central Mica Quito Sur hacia Chillogallo y Guamaní para la toma de decisiones?

Delimitación de la Investigación

- Campo:** - Ingeniería
- Área:** - Redes
- Telecomunicaciones
- Aspecto:** - Control de Operaciones
- Toma de Decisiones

Delimitación Espacial:

Tramo de la central Mica Quito Sur hacia Chillogallo y Guamaní

Delimitación Temporal:

Se realizó en el período enero – julio del 2010

Unidades de Observación:

- Jefe de Distribución EMPRESA MUNICIPAL DE ALCANTARILLADO Y AGUA POTABLE QUITO [01]
- Personal de Estaciones Remotas [15]

Justificación

La EMMAP–Q se encuentra en la necesidad de incorporar un sistema de comunicaciones integrado para poder obtener beneficio, como puede ser:

- Reducción de costos de Producción
- Mejora de la calidad
- Mejora de productividad
- Reducción de almacenaje
- Mejora de efectividad en los sistemas
- Reducción de costos de mantenimiento

Para ello es necesario que el sistema de comunicaciones permita:

- Sistemas de comunicaciones que enlacen la planta de producción con la gestión e ingeniería de la empresa
- La integración de base de datos de la empresa (producción, pedidos, almacén, etc.)
- Compartir las aplicaciones tanto a nivel de:
 - Software:
 - *Gestión:* Textos, hojas de cálculo, base de datos
 - *Diseño:* CAD / CAE
 - *Producción:* PLC, robots, CNC, etc.
 - Hardware: Impresoras y otros dispositivos

Al integrar este sistema de comunicación se pueden conseguir ventajas como:

- Tras un orden de fabricación, todos los elementos de un sistema, proceso o planta reciben de forma simultánea la información.
- Permitir centralizar las señales de alarma de cada componente del proceso.
- Permitir el control de producción, ya que todos los equipos de la planta pueden enviar información a otro sistema que almacenará y procesará dicha información.

En la actualidad existen un sinnúmero de configuraciones de empresas, es decir, empresas con un único edificio, con varios edificios nexos o con varios edificios repartidos en diferentes poblaciones, países o continentes. Es por esta razón que podemos encontrar sistemas:

- *Simples:* Comunicación dentro de una misma planta, a través de cableado eléctrico.
- *Complejos:* Comunicación entre las diferentes plantas, a través de líneas telefónicas o satélites.

Dada la complejidad del sistema y los componentes que encontramos en el sistema del envío de la información en el tramo desde Guamaní y Chillogallo

hacia Mica Quito Sur se podría ver dos tipos de control para el envío y recepción de datos.

- *Sistema Centralizado:* Es cuando el control se realiza por un solo sistema
- *Sistema distribuido:* Cuando el control se realiza través de diferentes sistemas conectados en red.

Las principales características de estos dos sistemas son: *Centralizado* el mismo que es efectivo mientras el sistema no sea excesivamente complejo. *Distribuido* se usan para sistemas grandes y los controladores que deben comunicarse a través de una red.

La implementación de un sistema electrónico de control distribuido implica la utilización de un conjunto de redes de comunicaciones o una red universal que resuelven las transferencias de información entre los sistemas utilizados en los diferentes niveles de red.

El autómata programable, es uno de los sistemas electrónicos más utilizados en la automatización de los procesos productivos como parte integrante de una red de comunicación industrial de fabricación integrada. Es necesario integrar una red de controladores y otra de sensores/actuadores para obtener un tiempo de respuesta mayor que las redes normales por ordenadores.

Se presentara el diseño de red y especificaciones técnicas para la elección de los equipos que a utilizar, de acuerdo a los requerimientos derivados de este estudio. Con ello se cumple con la misión y visión institucional de la EMAAP – Q.

Visión

Contribuir al bienestar ciudadano del Distrito Metropolitano de Quito, a través de la prestación de servicios de agua potable y alcantarillado de calidad, con el concurso de personal permanentemente comprometido con los intereses comunitarios

Misión

Una población del Distrito Metropolitano de Quito con disponibilidad permanente de agua potable de la mejor calidad y con sistemas de alcantarillado que permitan adecuados niveles de evacuación, aún en condiciones climáticas severas. En el marco de esta visión se espera que la gestión de EMAAP-Q, responda a los intereses permanentes de la ciudadanía, en una sociedad que respete sus derechos y el medio ambiente en el que desarrolla su vida

Un proyecto de red industrial beneficiara en forma indirecta a *45 000 habitantes* del sector Sur de Quito. El proyecto pretende obtener una red robusta de tipo industrial de acuerdo a la normativa vigente nacional como internacional para comunicaciones industriales.

Objetivos

Objetivo General:

- Diseñar una solución eficaz en el control de operación del Sistema de Agua Potable de la EMPRESA MUNICIPAL DE ALCANTARILLADO Y AGUA POTABLE QUITO en el tramo de la central Mica Quito Sur hacia Chillogallo y Guamaní para mejorar la toma de decisiones en el ámbito de comunicaciones industriales.

Objetivos Específicos:

- Analizar la situación actual de las comunicaciones a nivel industrial enmarcado en el control de operación entre las estaciones de bombeo y tanques de distribución de Chillogallo y Guamaní hacia la central Mica Quito Sur.
- Sintetizar la toma de decisiones cuando existe un problema en el control de operación en la planta.
- Presentar una solución factible para mejorar el control de operación el tramo de la central Mica Quito Sur hacia Chillogallo y Guamaní para mejorar la toma de decisiones.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

Fundamentaciones

Fundamentación Filosófica

Crítico Propositivo

Este tipo de tesis se enfoca en el marco de estudiar la situación actual en cuanto a la comunicación de tipo industrial y proponer un sistema de red de alta robustez debido la necesidad de manejar elevados volúmenes de datos, velocidades de transmisión y permitir aplicaciones con tiempo de respuesta altos.

Fundamentación Sociológica

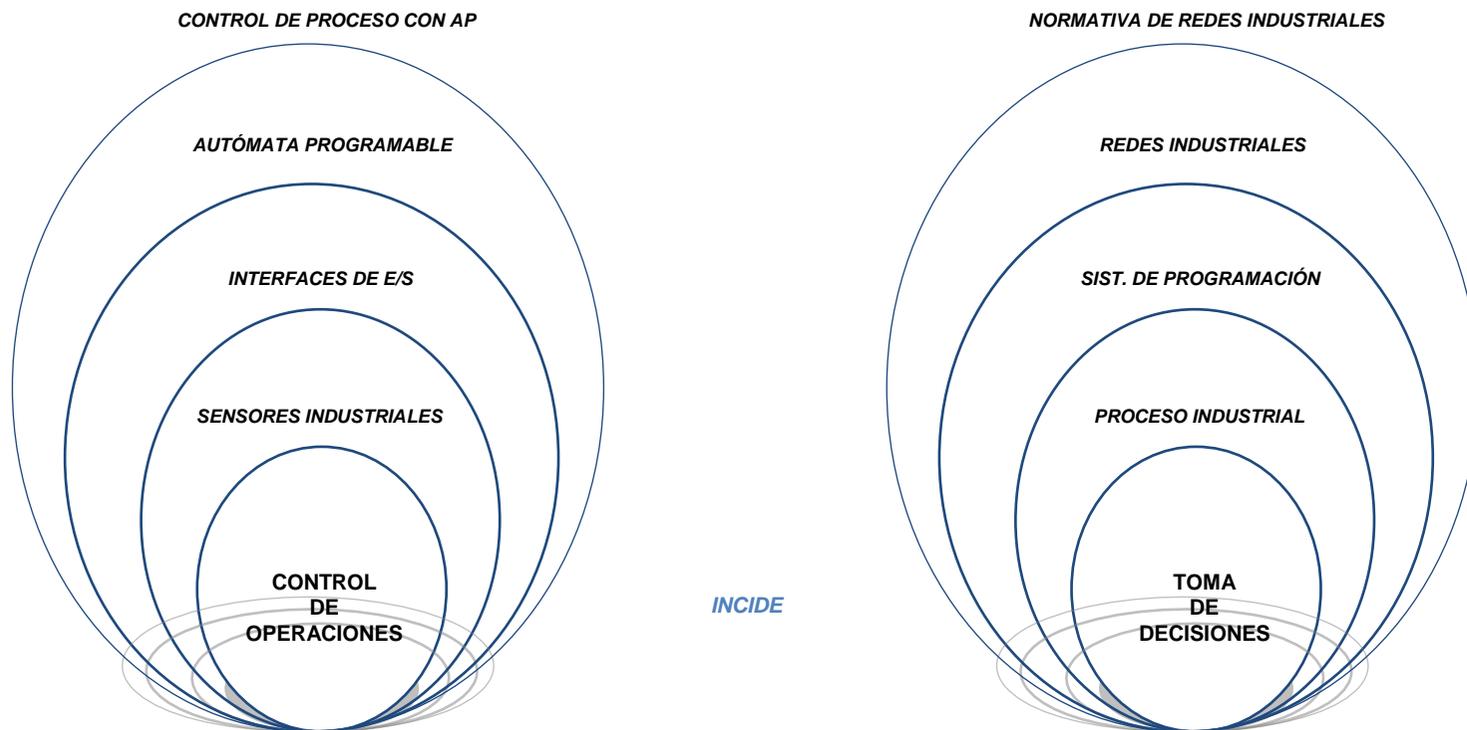
La reducción de costos de producción, la mejora de calidad, productividad, almacenaje, efectividad de sistemas y costos de mantenimiento son variables implícitas que mejoraran en el rendimiento del sistema en el tramo de la central Mica Quito Sur hacia Chillogallo y Guamaní. En forma indirecta se beneficiarán 45000 usuarios.

Fundamentación Legal

Las normas que afectan a las comunicaciones industriales son presentadas con el siguiente formato: Organismo – Norma / Recomendación, Contenido

- EIA. RS – 232. Norma Física RS – 232 de comunicación serie.
- EIA/TÍA. RS – 422. Norma Física RS – 422 de comunicación serie.
- EIA. RS – 485. Norma Física RS – 485 de comunicación serie.
- IEEE. 802. Redes de área local LAN
- IEEE. 802.3. Métodos de acceso al medio de redes Ethernet.
- IEEE. 1284. Norma sobre las comunicaciones en paralelo.

- UIT. V.92. Normas sobre los módems de 56Kbps.
- AENOR. UNE – EN 50173. Cableado de sistemas de información.
- AENOR. UNE – EN 50174. Cableado estructurado
- CENELEC. EN 50170. Buses de campo industriales de propósito general.
- CENELEC. EN 61131 – 5. Comunicaciones en los autómatas programables
- CENELEC. EN 61168 – 2. Vía de datos en los sistemas de control industriales.
- IEC. IEC 61158. Buses de campos industriales



Gráfica 3. Inclusiones Conceptuales
Elaborado por: Investigador

CONTROL DE OPERACIÓN

Sistema de control

Un sistema automático de control es un conjunto de componentes físicos conectados o relacionados entre sí, de manera que regulen o dirijan su actuación por sí mismos, es decir sin intervención de agentes exteriores (incluido el factor humano), corrigiendo además los posibles errores que se presenten en su funcionamiento. Actualmente, cualquier mecanismo, sistema o planta industrial presenta una parte actuadora, que corresponde al sistema físico que realiza la acción, y otra parte de mando o control, que genera las órdenes necesarias para que esa acción se lleve o no a cabo.

Requerimientos y aplicaciones de los sistemas automáticos de control

En la actualidad los sistemas automáticos juegan un gran papel en muchos campos, mejorando nuestra calidad de vida:

- En procesos industriales
- Incrementando las cantidades y calidad del producto, gracias a la producción en serie y a las cadenas de montaje
- Reduciendo costos de producción
- Fabricando artículos que no se pueden obtener por otros medios.
- En los hogares: Mejorando la calidad de vida. Podríamos citar desde una lavadora hasta un control inteligente de edificios (domótica).
- Para avances científicos: Como ejemplo son las misiones espaciales.
- Para avances tecnológicos: Se puede citar la automoción

Variables del sistema

Son todas las magnitudes, sometidas a vigilancia y control, que definen el comportamiento de un sistema (velocidad, temperatura, posición, etc.).

Entrada:

Es la excitación que se aplica a un sistema de control desde una fuente de energía externa, con el fin de provocar una respuesta.

Salida:

Es la respuesta que proporciona el sistema de control

- *Perturbación:*

Son las señales no deseadas que influyen en forma adversa en el funcionamiento del sistema

- *Planta:*

Sistema sobre el que pretendemos actuar

- *Sistema:*

Es un conjunto de elementos interrelacionados capaces de realizar una operación dada o de satisfacer una función deseada

- *Entrada de Mando:*

Señal externa al sistema que condiciona su funcionamiento.

- *Señal de Referencia:*

Es una señal de entrada conocida que nos sirve para calibrar al sistema

- *Señal activa:*

También denominada señal de error. Representa la diferencia entre la señal de entrada y la realimentada

- *Unidad de Control*

Gobierna la salida de una señal de activación

- *Unidad de Retroalimentación*

Está formada por uno o varios elementos que captan la variable de salida, la acondicionan y trasladan a la unidad de comparación

- *Unidad de Control*

Gobierna la salida en función de una señal de activación.

Unidad de Realimentación

- *Actuador*

Elemento que recibe una orden desde el regulador o controlador y la adapta a un nivel adecuado según la variable de salida necesaria para accionar el elemento final de control, planta o proceso

- *Transductor*

Transforma una magnitud física en otra que es capaz de interpretar el sistema.

- *Amplificador:*

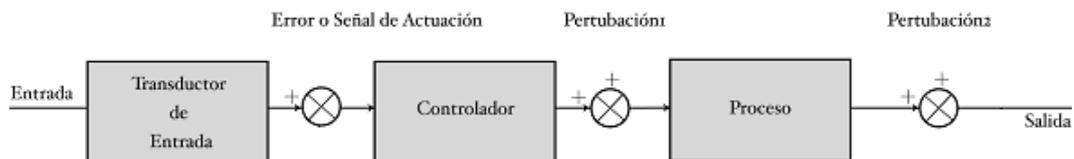
Nos proporciona un nivel de señal procedente de la realimentación, de entrada, comparador, etc, adecuada al elemento sobre el que actúa.

Configuración de los Sistemas de Control

- Configuración en Lazo Abierto
- Configuración en Lazo Cerrado

Configuración en Lazo Abierto

Un sistema de control en lazo o bucle abierto es aquél en el que la señal de salida no influye sobre la señal de entrada. La exactitud de estos sistemas depende de su calibración, de manera que al calibrar se establece una relación entre la entrada y la salida con el fin de obtener del sistema la exactitud deseada.



Gráfica 4. Diagrama de bloque de un sistema en lazo abierto

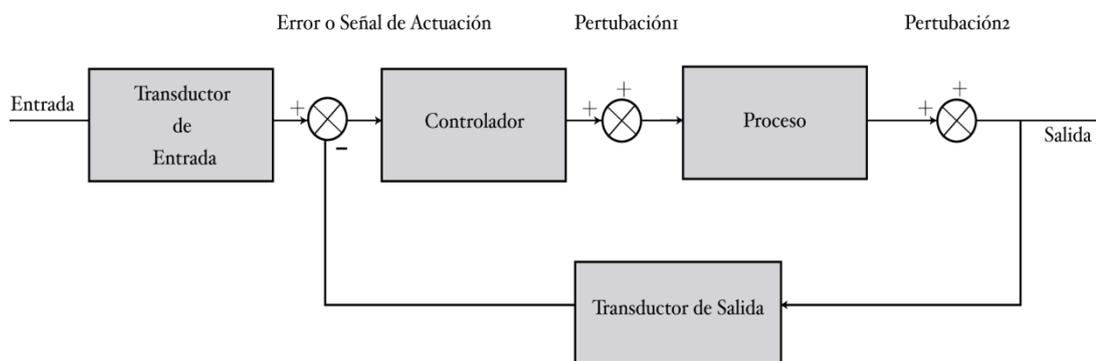
Configuración en Lazo Cerrado

Si en un sistema en lazo abierto existen perturbaciones, no se obtiene siempre la variable de salida deseada. Conviene, por tanto, utilizar un sistema en el que haya una relación entre la salida y la entrada.

Un sistema de control de lazo cerrado es aquél en el que la acción de control es, en cierto modo, dependiente de la salida. La señal de salida influye en la entrada. Para esto es necesario que la entrada sea modificada en cada instante en función de la salida. Esto se consigue por medio de lo que llamamos realimentación o retroalimentación (feedback).

La realimentación es la propiedad de un sistema en lazo cerrado por la cual la salida (o cualquier otra variable del sistema que esté controlada) se compara con la entrada del sistema (o una de sus entradas), de manera que la acción de control se establezca como una función de ambas.

A veces también se le llama a la realimentación transductor de la señal de salida, ya que mide en cada instante el valor de la señal de salida y proporciona un valor proporcional a dicha señal.



Gráfica 5. Diagrama de bloque de un sistema en lazo cerrado

Objetivos del Análisis y Diseño de un Sistema de Control

- Obtener la respuesta deseada con respecto a la respuesta transitoria.
- La respuesta en estado estable aun cuando tenga error.
- Obtener la estabilidad del sistema manteniéndose en los parámetros.

La Respuesta total del sistema está dada por:

$$RESPUESTA\ TOTAL = RESPUESTA\ LIBRE + RESPUESTA\ FORZADA$$

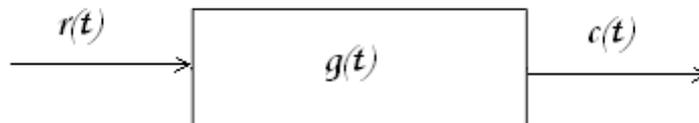
Función de Transferencia

Para determinar la respuesta de un elemento en función del tiempo, se aplican señales conocidas a la entrada del sistema o elemento y se evalúan las señales que aparecen en la salida. La respuesta obtenida así se llama respuesta transitoria. Normalmente la señal de entrada es una señal de entrada en forma de escalón.

También se puede estudiar la respuesta matemáticamente mediante la función de transferencia o respuesta en frecuencia. Por medio de la función de transferencia se puede conocer:

- La respuesta del sistema frente a una entrada determinada.
- La estabilidad del sistema (si la respuesta del sistema se va a mantener dentro de unos límites determinados).
- Indica los valores se pueden aplicar al sistema para que permanezca estable.

Se define función de transferencia $G(s)$ de un sistema como el cociente entre las transformadas de Laplace de las señales de salida y entrada



Gráfica 6. Función de Transferencia

Las características de la función de transferencia dependen únicamente de las propiedades físicas de los componentes del sistema, no de la señal de entrada aplicada.

$$a_n \frac{d^n c(t)}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} c(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_0 c(t) = b^n \frac{d^n r(t)}{dt^n} + \dots + b_{n-1}$$

Aplicando la Transformada de Laplace

$$a_n s^n C(s) + a_{n-1} s^{n-1} C(s) + \dots + a_0 C(s) + \text{condicione } s \succ \text{ iniciales} \\ = b_m s^m R(s) + b_{m-1} s^{m-1} R(s) + \dots + b_0 R(s) + \text{condicione } s \succ \text{ iniciales}$$

$$G(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_0}$$

Donde:

G(s) Función que describe el funcionamiento del sistema

B(s) Función de la Señal de salida

A(s) Función de la Señal de entrada

Sensores Industriales

Para que un sistema electrónico pueda controlar un proceso o un producto industrial es necesario que reciba información de la evolución de determinadas variables físicas del mismo, que en la mayoría no son eléctricas (por ejemplo: temperatura, presión, nivel de un líquido o sólido, la fuerza, la radiación luminosa y 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 diversos nombres que convierten las variables no eléctricas en eléctricas.

Dichos dispositivos reciben diversos nombres, como captador (*receiver*), detector (*detector*), transductor (*transducer*), transmisor (*transmitter*), sonda y sensor (*sensor*), aunque es éste último el más usado por los fabricantes de sistemas electrónicos de control en general y por los fabricantes de autómatas programables en particular.

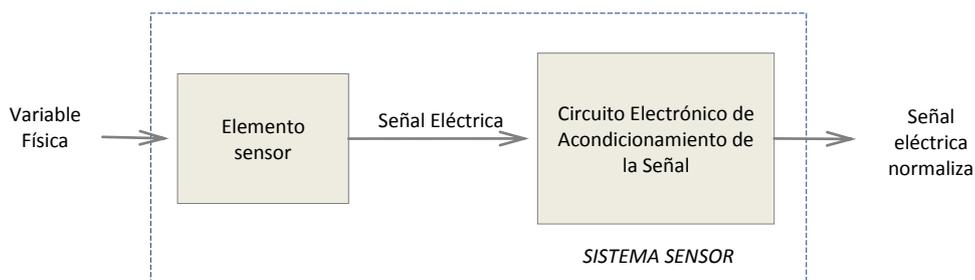
Se considera en general que, un sensor es un dispositivo que, situado en cierto medio, genera una señal (función alguna característica de dicho medio) de una determinada forma física (presión, nivel temperatura, etc.) convertible en otra señal de una forma física diferente.

El elemento que realiza dicha conversión se denomina transductor (*Transducer*). El equipo transductor y sensor vienen en conjunto. Sin embargo es necesario acoplar la salida del sensor a un circuito que, de acuerdo con las características de aquella, realice las siguientes operaciones:

- Amplificación de la señal
- Filtrado
- Corrección
- Conversión en otra diferente

Este circuito se le denomina acondicionador y su utilización en manera conjunta con el elemento sensor da lugar a un sistema como representado en la Gráfica 2.4, dicho sistema genera una señal normalizada ya sea por el fabricante o siguiendo pautas establecidas por organismos de normalización como la ICE, Comisión Electrotécnica Internacional, el IEEE, Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

A los sistemas sensores adecuadamente contruidos para trabajar en las condiciones existentes de un entorno industrial se los denomina “sensores industriales” o también llamados sensores inteligentes adecuadamente encapsulados. Los sensores inteligentes forman parte de los dispositivos conocidos como IED (acrónimo de *Intelligent Electronic Devices*).



Gráfica 7. Componentes Básicos de un sensor

Características de los sensores industriales

Son numerosas las variables o magnitudes físicas susceptibles de ser transformadas en señales eléctricas. Pero además, las señales eléctricas pueden contener la información de un número elevado de parámetros diferentes (amplitud de la tensión, frecuencia, etc.), por lo tanto se pueden clasificar de acuerdo con un conjunto de características diferentes y no excluyentes. Se clasifican según:

- Según el principio de funcionamiento: Activos y pasivos
- Según el tipo de señal eléctrica que generan: analógico, digitales y temporales
- Según el rango de valores que proporcionan: de medida, todo y nada
- Según el nivel de integración: discretos, integrados, inteligentes
- Según el tipo de variables físicas de medida.

De acuerdo al principio de funcionamiento se determina que un sensor puede ser de dos tipos:

- Sensores activos: Los sensores en que la magnitud física a medir proporciona la energía necesaria para la generación de la señal eléctrica de salida. Son un ejemplo de sensores activos basados en los efectos piezoelectrónicos y termoeléctrico. Entre los sensores activos tenemos:
 - Piezoelectrónicos
 - Foelectrónicos u optoelectrónicos
 - Termoeléctricos
 - Magnetoeléctricos
 - Otros
- Sensores pasivos: Son los sensores en los que la magnitud física a medir se limita a modificar alguno de sus parámetros eléctricos característicos como por ejemplo la resistencia, la capacidad, etc. Los sensores de este tipo se caracterizan por necesitar una tensión de alimentación externa. Y tenemos los siguientes:
 - Resistivos
 - Capacitivos
 - Pasivos

Clasificación de los sensores según el tipo de señal eléctrica

- *Sensores analógicos*

Los sensores analógicos generan señales eléctricas denominadas analógicas que pueden tomar cualquier valor dentro de unos determinados márgenes y llevan la información en su amplitud. Las señales pueden ser variables o continuas.
- Sensores Digitales

Los sensores digitales generan señales eléctricas que solo toman un número finito de niveles, o estados entre un máximo o un mínimo y por ello reciben el nombre de digitales. Los más utilizados son los binarios que pueden tener solo dos niveles de tensión

- Sensores Temporales

Los sensores temporales proporcionan a su salida señales eléctricas en las que la información asociada al parámetro del tiempo. Las señales pueden ser cuadradas o senoidales.

Clasificación de los sensores según el rango de valores

- Sensores de Medida: Los sensores de medida se caracterizan por proporcionar a la salida todos los valores posibles correspondientes a cada valor de la variable de entrada dentro de un determinado rango. Pueden ser analógicos, digitales o temporales.
- Sensores todo o nada: Detectan solamente si la magnitud de la variable de entrada está por encima o por debajo de un determinado valor. Proporcionan a la salida una señal eléctrica que solo puede tomar dos valores. Es muy utilizado.

Clasificación de los sensores industriales según el modo de operación

Pueden ser de: deflexión o de comparación. En los sensores de *deflexión*, la medida produce otra similar pero opuesta y relacionada directamente con ella. Mientras que los de *comparación*, la señal a medir se resta de la de un patrón de calidad. El detector de desequilibrio debe medir alrededor de cero y en ocasiones ha de ser muy sensible.

Clasificación de los sensores industriales según el nivel de integración

- Sensores discretos: Reciben la denominación de sensores discretos donde el circuito de acondicionamiento se realiza mediante componentes electrónicos separados e interconectados entre sí.
- Sensores integrados: Se caracterizan porque el elemento sensor y el circuito acondicionador, están contruidos en un único integrado monolítico o híbrido.
- Sensores inteligentes: No existe un consenso generalizado en relación la definición de sensor inteligente. En numerosas ocasiones, la salida del

circuito acondicionador debe ser modificada para llevar a cabo una o más de las siguientes tareas:

- Corregir no linealidades
- Verificar el correcto funcionamiento del elementos sensor y el acondicionador
- Transmitir la información a distancia

Aunque no existe un consenso general en la definición de sensor inteligente, se admite que un sensor inteligente tiene la capacidad para realizar la mayoría de las funciones siguientes:

- Cálculos numéricos.
- Comunicación en red (no una simple conexión punto a punto).
- Autocalibracion y auto diagnostico.
- Múltiples medidas con identificación del sensor.

Existen sensores industriales de los tres tipos. Inicialmente los sensores industriales eran discretos y tenían sus componentes encapsulados en un bloque único, pero el progreso de la Microelectrónica ha hecho que tanto el elemento sensor como el circuito acondicionador se realicen en un único circuito integrado monolítico o híbrido.

Por otra parte, los sensores discretos e integrados deben conectarse a un procesador digital, como por ejemplo un autómata programable, a través de conexiones independientes. Ello hace que se complique excesivamente el cableado cuando el número de equipos de automatización comercializan sensores industriales inteligentes, que poseen un procesador electrónico digital con capacidad de comunicación con otros procesadores a través de una línea única de comunicación, que suele recibir el nombre genérico de bus de campo (Field Bus).

Clasificación de los sensores según la variable física medida

Otra clasificación útil de los sensores es la realizada en función del tipo de variable física que convierten en eléctrica.

- Presión
- Temperatura
- Humedad
- Fuerza
- Aceleración
- Velocidad
- Caudal
- Presencia y posición de objetos
- Nivel de sólidos o líquidos
- Desplazamiento de objetos
- Químicos

La tabla a continuación constituye una guía general para seleccionar el sensor utilizable en diferentes aplicaciones.

| | | VARIABLE FISICA MEDIDA | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------------------|------------------------|----------------|-----------|-------------|--------|-------|---------|--------|------------|-------------|--------------------|
| | | POSICION | DESPLAZAMIENTO | VELOCIDAD | ACELERACION | TAMAÑO | NIVEL | PRESION | FUERZA | PROXIMIDAD | TEMPERATURA | RADIACION LUMINOSA |
| PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO | Microrruptores | x | | | | | | | | | | |
| | Finales Carrera | x | | | | x | | | | | | |
| | Extensiométricos | x | x | x | x | | | x | x | | | |
| | Termorresistivos | | | | | | | | | | x | |
| | Magnetorresistivos | x | x | x | | | | | | | | |
| | Capacitivos | x | x | | x | | x | x | x | x | | |
| | Inductivos | x | x | x | x | | | x | x | x | | |
| | Optoeléctricos | x | x | x | x | | | | | x | | |
| | Piezoeléctricos | | x | x | x | | | x | x | | | |
| | Fotovoltaicos | | | | | | | | | | | X |
| | Ultrasónicos | x | | | | | x | | | | | |

Tabla 1. Guía para seleccionar sensores

Interfaces de Entrada y Salida

Es el conjunto de circuitos electrónicos de acoplamiento interfaces de entrada y de salida a través de los cuales el autómata programable se relaciona con el proceso

controlado por él, autómata programable se relaciona con el proceso controlado por el se denomina interfaz de conexión con el proceso.

Pero además de relacionarse con el proceso controlado por él, el autómata programable debe comunicarse con los usuarios para comunicarse con los usuarios para que estos puedan:

- Desarrollar el programa de control en un sistema externo e introducirlo en la memoria de autómata programable.
- Modificar parámetros del programa de control.
- Recibir información del estado del proceso controlado por el autómata programable.
- Detectar fallos en el conjunto formado por el autómata programable y el proceso controlado por él.

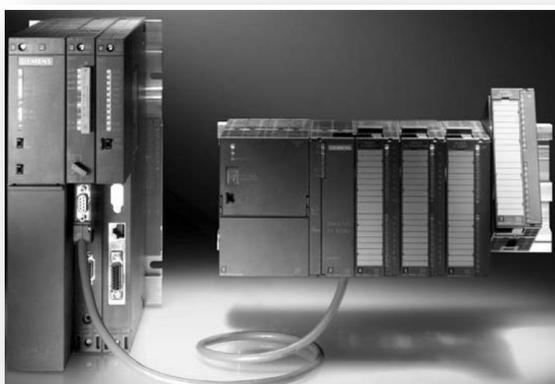
Clasificación de las interfaces

1. Interfaces de aplicación general: Tienen como misión acoplar al autómata programable las variables de entrada o de salida, tanto digitales como analógicas.
2. Interfaces de aplicación específica: Estas interfaces realizan tareas concretas para el acoplamiento de determinadas variables o para llevar a cabo el control de ciertos sistemas.
3. Interfaces de entrada-salida concentrada o local: Se dice que la interfaz de entrada-salida de un autómata programable es local cuando está situada en el interior de la unidad central o en módulos situados al lado de la misma. Este tipo de interfaz es adecuado cuando los sensores y actuadores están situados muy próximos al autómata programable.
4. Interfaces de entrada-salida remota: Se dice que es remota cuando está situada a una distancia elevada (superior a algunos metros) del mismo.

En este caso, tanto el autómata programable, como el módulo de interfaz de entrada-salida remoto, poseen un procesador de comunicaciones y se enlazan a través de una red de control que recibe el nombre de Bus de Campo.



Gráfica 8. Módulos Siemens de entrada/salida concentrada o local.



Gráfica 9. Unidad de entrada/salida remota.

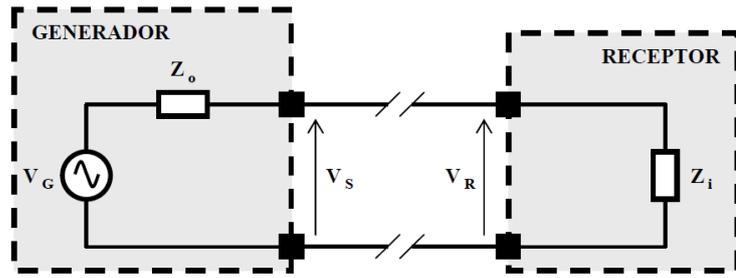
Interfaces de variables todo-nada

Las interfaces de las variables todo-nada están ligadas a tres conceptos principales.

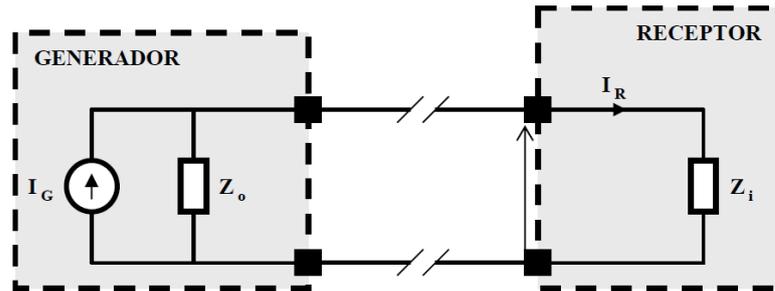
- El tipo de variable, que puede ser de entrada o de salida.
- El tipo de tensión de alimentación utilizado, que puede ser CC ó DC.
- La forma de realizar el acoplamiento, que puede ser directo (sin aislamiento galvánico) o con aislamiento o separación galvánica.

Interfaces de variables analógicas:

Este tipo conecta al autómatas programables los sensores que generan las variables analógicas, que son aquellas que pueden tener cualquier valor dentro de un determinado rango.



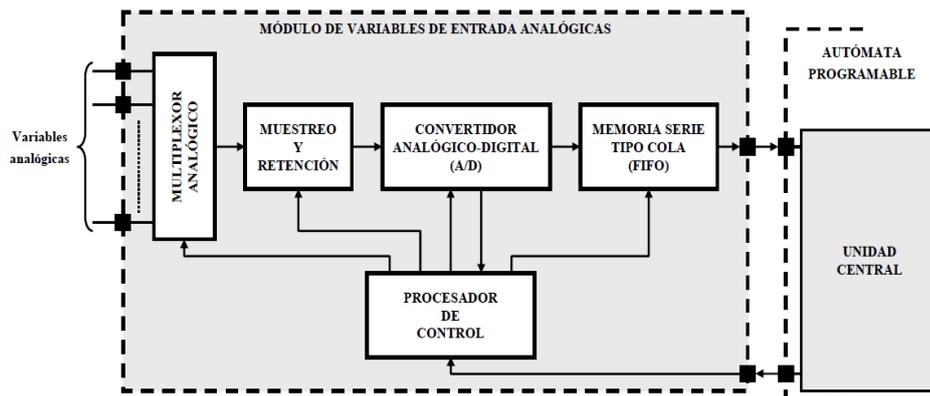
Gráfica 10. Generación de una variable analógica de tensión



Gráfica 11. Generación de una variable analógica de Corriente

Interfaces de Variables Analógicas de Entrada

Muchos sensores suministran variables analógicas de tensión o de corriente, cuyo valor puede variar dentro de un cierto rango. Los fabricantes de autómatas programables comercializan interfaces de este tipo.

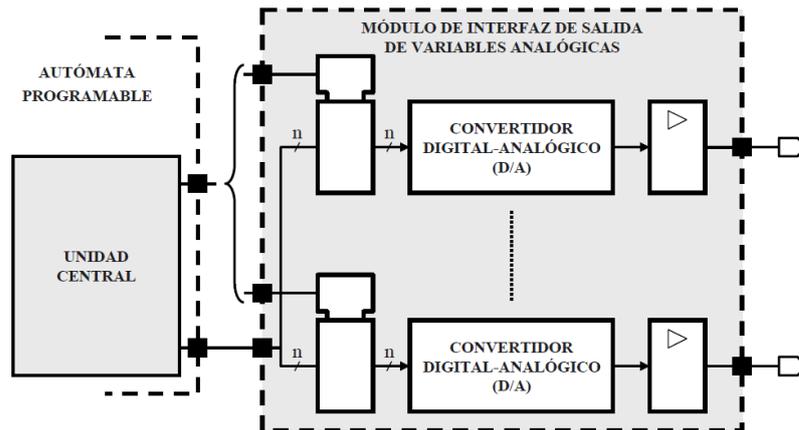


Gráfica 12. Interfaz de variables de entradas analógicas.

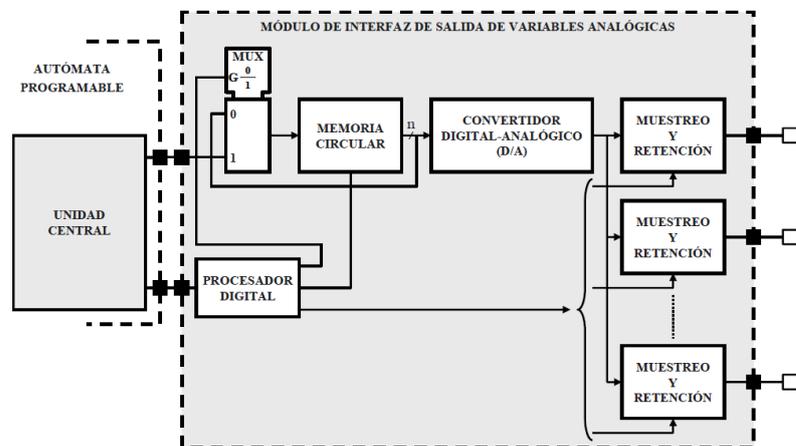
Interfaces de Variables Analógicas de Salida

Los autómatas programables son procesadores digitales que proporcionan a su salida combinaciones binarias en un determinado código, pero a la mayoría de los

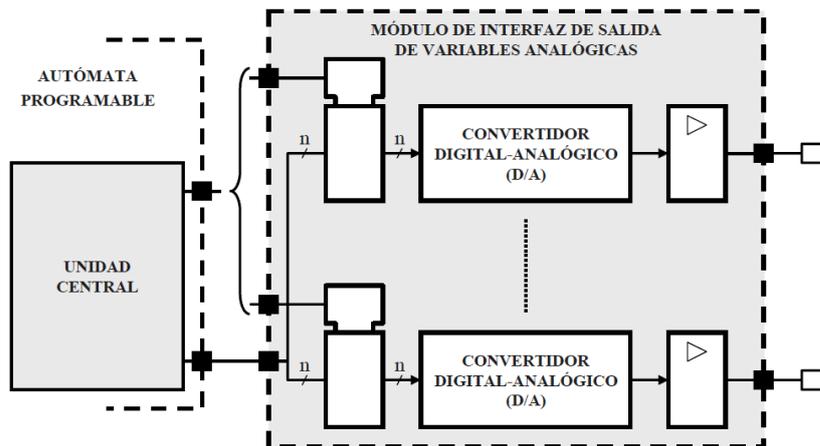
actuadores se les deben aplicar señales analógicas, lo que hace que sea necesaria una interfaz que realice la conversión de un tipo de señal al otro, para lo cual debe incorporar un convertidor digital-analógico (D/A), tal como lo detalla la siguiente gráficas:



Gráfica 13. Diagrama de bloques de un módulo de salida analógicas.



Gráfica 14. Módulo de variables de salida analógicas con memoria circular



Gráfica 15. Módulo de variables analógicas con procesador digital de control

Unidades de Entrada de Medida de Temperatura

La temperatura es, junto con el caudal, una de las variables físicas más medidas en la industria. Además, según el rango de temperatura que se quiera medir, se utilizan distintos tipos de sensores (termopares, termoresistencia, de infrarrojos, entre otros.)



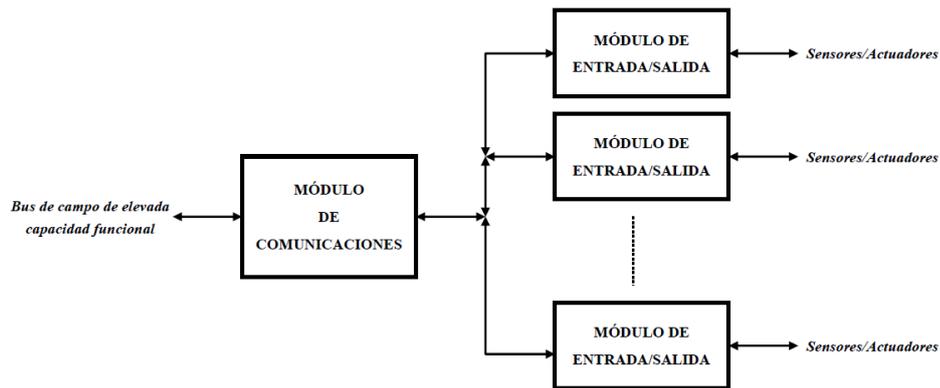
Gráfica 16. Módulo de entradas analógicas SM 331 de Siemens

Unidades de Entrada/Salida Remotas

En muchas aplicaciones, los sensores que generan las variables de entrada analógicas todo-nada y los actuadores están situados a una cierta distancia del autómata programable y su conexión al mismo, a través de los módulos de entrada/salida.



Gráfica 17. Módulo de conteo FM 350-1 (cortesía de Siemens).



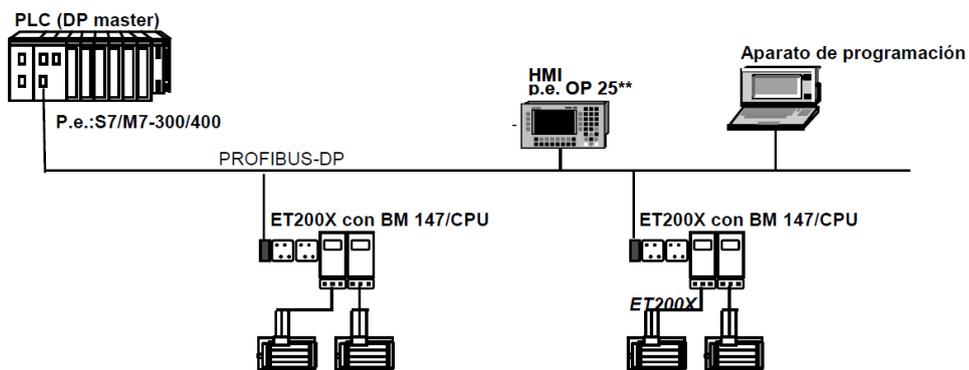
Gráfica 18. Diagrama de bloques de una estación de entrada/salida

Unidades de posicionamiento

Otro tipo de módulos de aplicación industrial son los que controlan la posición de uno o más ejes. Su combinación con un autómata programable convierte a este último en un sistema de control numérico. Existen distintos módulos de posicionamiento que se diferencian por sus prestaciones y su modo de operación.



Gráfica 19. Unidad de entrada/salida remota Simatic ET 200 ECO de Siemens



Gráfica 20. Sistema de control distribuido implementado con un autómata

Autómata programable industrial

Clasificación

Los fabricantes han desarrollado familias de productos que comprenden equipos desde 10 entradas/salidas hasta grandes controladores capaces de gobernar hasta 10000 entradas/salidas con memorias de hasta 5 MB o incluso más. El campo de aplicación cubre desde el mínimo nivel de automatización de una secuencia de enclavamientos hasta el control completo de un proceso de producción continua.

Visto este gran abanico de posibilidades se hace necesario establecer unos criterios de identificación al referirnos a los diferentes tipos de autómata. Con los equipos disponibles hasta el momento se puede hacer una clasificación atendiendo fundamentalmente a dos aspectos:

Factores cuantitativos

1. Equipos pequeños: hasta 128 E/S y memoria de 1 a 4 K
2. Equipos medianos: $128 < E/S < 500$ y memoria hasta 32 K
3. Equipos grandes: más de 500 E/S y memoria superior a 32 K

Factores cualitativos

- a) Nivel 1: Control de variables binarias, temporizadores, contadores y registros.
- b) Nivel 2: Control de variables binarias y enteras, operaciones aritméticas, y comunicaciones a nivel elemental.
- c) Nivel 3: Control de variables binarias, enteras y reales (coma flotante), operaciones aritméticas, trigonométricas, logarítmicas, etc., manipulación de gran cantidad de datos. Uso de E/S inteligentes y comunicaciones transparentes procesador-procesador o en red.

Respecto a los factores cuantitativos, es necesario decir que la distinción entre equipos pequeños y medianos depende de los criterios de los fabricantes que pueden ser diferentes de los datos de E/S que hemos dado. No obstante son datos comúnmente aceptados por los principales fabricantes del sector.

Criterios de aplicación

A la hora de automatizar una planta o proceso encontramos diversas soluciones tecnológicas que podemos resumir en la Tabla 2.1.

| Solución Tecnológica | Elementos de trabajo |
|------------------------|--|
| Electromagnética | - Relés, temporizadores y contadores |
| Electrónica Cableada | - Puertas lógicas - Biestables - Contadores eléctricos |
| Electrónica Programada | - Ordenadores industriales - Autómatas programables |
| Neumática | - Válvulas distribuidoras |

Tabla 2.2. Soluciones Tecnológicas

La solución más moderna no es siempre la que mejor se adapta al proceso que se quiere controlar; es necesario analizar cuál es la tecnología más preparada para la función requerida y que, además, presente una buena relación calidad-precio.

Antes de decidir una tecnología es necesario tener definidos:

1. Necesidad de entradas y salidas: Es necesario definir el número y el tipo (analógicas, digitales, codificadas, ...).
2. Necesidad de elementos auxiliares: Cuantos contadores, temporizadores, relés internos (o biestables), etc.
3. Necesidad de potencia de cálculo: Operaciones aritméticas y de comparación, raíces cuadradas, funciones trigonométricas, logarítmicas y exponenciales, bucles PID.
4. Necesidad de entradas y salidas: Necesidad de tarjetas inteligentes (control de ejes, control de motores paso a paso, etc).
5. Comunicación con operadores: Es necesario definir como tiene que ser la comunicación con el hombre y la información a intercambiar.
6. Comunicación con otros equipos de control y auxiliares (autómatas, ordenadores de proceso, ordenadores de gestión, impresoras, etc.) indican, si procede, la jerarquía.
7. Variabilidad: El proceso a controlar es previsto que evolucione con mejoras y refinamientos.

Conviene que en cada serie de fabricación de productos se puedan introducir modificaciones al proceso. Teniendo en cuenta:

- a) La lógica cableada (electromagnética o electrónica) es adecuada cuando sólo son necesarias funciones binarias y temporización y contado sobre un número reducido (hasta 15 ó 20) de entradas y salidas (básicamente para equipos eléctricos).
- b) La neumática es adecuada cuando sólo son necesarias funciones binarias y temporización sobre un número reducido (hasta 15 ó 20) de entradas y salidas si los equipos a controlar son neumáticos.
- c) Los microprocesadores son adecuados para sistemas que requieren operaciones aritméticas o de comparación sobre un número moderado (entre 15 y 40, por ejemplo) de entradas y salidas. Es necesario tener en cuenta la imposibilidad de variación del número de entradas y salidas cuando el equipo está acabado.
- d) El ordenador industrial es, por ahora, la mejor herramienta cuando son necesarias operaciones matemáticas complejas y/o almacenamiento de información trabajando sobre un número no muy alto (hasta unas 700) de entradas y salidas.
- e) El autómatas programable es recomendable para sistemas que requieren operaciones aritméticas o de comparación trabajando sobre un número medio o elevado (por encima de 30, por ejemplo) de entradas y salidas. Debemos tener en cuenta, no obstante, que la capacidad de cálculo y comunicación de los autómatas programables así como el número de entradas y salidas disponibles va en aumento.

Velocidad de respuesta

La velocidad de respuesta es a menudo un condicionante importante. Los sistemas más lentos son el electromagnético y el neumático ya que en ellos la respuesta depende de un movimiento en que se tienen que vencer las inercias iniciales. Los circuitos de puertas electrónicas son los más rápidos ya que todas las entradas son tratadas simultáneamente. Los equipos electrónicos programados son rápidos pero menos que las puertas ya que las decisiones se

van tomando una tras otra y no simultáneamente. Ordenar convenientemente el programa, fragmentar el programa en partes con diferentes prioridades de ejecución y usar interrupciones por tiempo son algunas de las herramientas que el programador puede usar para conseguir el tiempo de respuesta requerido.

Entorno

Respecto al entorno, no hay ninguna duda de que los autómatas programables son los equipos programables más preparados para trabajar en el agresivo ambiente industrial. Los equipos electrónicos cableados y los electromecánicos también son bastante robustos pero en ambientes con importantes perturbaciones electromagnéticas pueden ser poco fiables; en cambio los equipos electromecánicos son propensos a producir chispas que los hacen prohibitivos en atmósferas explosivas o con riesgo de incendio.

También es necesario considerar que el hecho de implantar diferentes tecnologías en una misma planta o centro de producción implicará la necesidad de cursos de aprendizaje para el personal o disponer de personal diferente para cada una de las tecnologías implicadas. No olvidemos que la automatización con ordenadores industriales requiere que el personal de mantenimiento debe tener amplios conocimientos de programación.

Selección del autómata

Es conveniente disponer de fichas de los autómatas entre los que se tiene que escoger. En cada ficha haremos constar:

1. Datos de catálogo: Marca, modelo, fabricante, fecha de comercialización.
2. Posibilidades del equipo: Número máximo de entradas, salidas, temporizadores, contadores, entradas y salidas analógicas, contadores rápidos, etc.
3. Datos de la unidad central: Tiempo de *scan* por 1K de programa, tipos de memoria, complejidad de los posibles cálculos.
4. Posibles ampliaciones y comunicaciones: Redes de comunicación,
5. entradas/salidas remotas, modularidad.

6. Programación: Lenguajes disponibles, posibilidad de programación *off line*, idioma.

Criterios económicos: Precio del equipo completo y la instalación, coste de la formación del personal, etc.

Tendencias

Podemos distinguir cuatro ámbitos de evolución en las tendencias, que son:

Tecnologías y materiales

Se puede observar que los productos han llegado a un estado de madurez en su arquitectura y en la utilización generalizada de microprocesadores. Estos elementos se han aprovechado para ofrecer posibilidades funcionales nuevas, de mono o multiprocesadores.

Esta tendencia avanza hacia la elaboración de sistemas más robustos que integren el conjunto de dispositivos "*fault-tolerant*" de detección y análisis de averías además del autómeta por sí mismo y del proceso.

Excepto los de gama muy baja, estos sistemas disponen de procesadores universales (eventualmente múltiples) y simultáneamente de procesos especializados. A este respecto, la difusión de los microprocesadores orientados hacia la comunicación (estándar ETHERNET o de otros) es un factor favorable. La memoria central disponible será siempre más importante, con tendencia a la disminución de precios.

Las entradas-salidas se mantendrán, probablemente, estables. En cambio, las comunicaciones probablemente experimentarán un progreso o desarrollo importante en variantes, facilidades, prestaciones y tecnologías, convirtiendo en un hecho cotidiano la descentralización de los autómetas y la implementación de arquitecturas multiautómata para las nuevas exigencias de fabricación (células de fabricación flexible, islas de automatización) atadas al concepto CIM en el

que los autómatas programables tienen un papel de soporte fundamental.

La consola de programación y de explotación, así como las unidades de memoria de masa e impresoras se verán afectadas. La consola de explotación, producto actualmente de la alta gama, se democratizará paralelamente a la difusión de las redes. Los minidiscos duros o microdisquetes dominarán una parte del mercado justificados por el crecimiento del volumen del código generado por las aplicaciones de control.

Software

Los trabajos de búsqueda e investigación han puesto a disposición del usuario numerosas herramientas de calidad. La reflexión sobre un lenguaje propio en los autómatas se intensifica a causa de las nuevas posibilidades funcionales y arquitecturales de las máquinas. En este contexto hay una tendencia hacia los autómatas multilinguaje pero, en una forma más conforme con la lógica del autómata, es decir, de acceso más directo al técnico de automatización.

También se aprecia un desarrollo en los paquetes de *software* de ayudas a la programación que corren sobre PC, junto con la aparición de sistemas SCADA (sistema de control y adquisición de datos en tiempo real), en autómatas de gama media y en algunos de pequeña.

Otro aspecto que está tomando importancia es el de los autómatas redundantes. Dos autómatas controlan independientemente un proceso y van comparando en cada *scan* las tablas de entradas y salidas; si detectan discrepancias, llevan el proceso a una posición estable y segura y se paran en unos casos y en otros hay todo un sistema para determinar cuál de los dos equipos es el que está fallando.

Aspecto económico

Las tendencias en este terreno van hacia la reducción de costes como en todas las tecnologías informáticas. No tan sólo los propios API sino también los equipos periféricos y las redes locales se beneficiarán de esta tendencia.

En la gama alta los precios podrán parecer importantes, pero siempre con una relación más favorable prestaciones/precios.

Dominios de la utilización

El amplio abanico de autómatas permite anticipar una utilización cada vez mayor de estos sistemas. Dado el carácter flexible, ya que es programable, robusto y muy miniaturizado en la gama baja, permite considerar su integración en los conjuntos más complejos.

Mantenimiento, averías y diagnósticos

Tipos de mantenimiento

El mantenimiento se puede clasificar en los siguientes tres tipos:

1. *Mantenimiento correctivo*. Basado en reparar o sustituir aquellos elementos que no funcionan o no lo hacen correctamente. Podemos citar como ejemplos el cambio del fusible de una tarjeta de E/S o la sustitución de un captador averiado.
2. *Mantenimiento preventivo*. Consiste en prever las averías y evitarlas.
3. *Mantenimiento mejorador*. Orientado a disminuir la tasa de fallos de un determinado componente. Podemos mencionar como ejemplo la instalación de diodos de rueda libre en paralelo con las bobinas de los relés o poner protectores de sobretensiones en la alimentación de los equipos electrónicos.

Por otra parte el mantenimiento preventivo puede descomponerse en los siguientes tres tipos:

- a) *Sistemático*. Consiste en cambiar o ajustar cada un cierto tiempo o un número concreto de utilizaciones. Por ejemplo cambiar la pila de un autómata cada año o sustituir los contactos de un interruptor cuando se ha realizado un número de maniobras preestablecido.
- b) *Condiciona*l. En este caso la sustitución o condicionamiento de un componente depende de una magnitud medida. Por ejemplo, el cambio de la rueda de goma de un tacómetro cuando el desgaste llega a un determinado valor.

c) *Predictivo*. Consiste en observar la evolución de una degradación y prever la evolución futura. Esta previsión se puede ir corrigiendo en función de las diferencias que se puedan observar entre la previsión por un instante determinado y el estado real en aquel instante.

La proporción más elevada de averías en una instalación gobernada por un autómata se da fuera del mismo. La parte aproximada que corresponde a elementos interiores a éste es de un 5% y el resto (95%) se distribuye sobre los elementos exteriores a él; como pueden ser emisores de señales, accionamientos, líneas de transmisión de datos, cableado, etc.

Esto ya nos da una idea de la alta fiabilidad del autómata, hecho que nos lleva a hablar de un mantenimiento de tipo preventivo más que de un mantenimiento en el sentido tradicional.

Refiriéndonos al total de averías que aparecen en una instalación, la parte central de un mando programable en memoria puede considerarse fiable y, por tanto, con un alto grado de disponibilidad.

Resulta lógico, por tanto, pensar que utilizando esta parte central de alta disponibilidad, se intenten "atacar" la mayoría de las averías (el 95% son externas al mando) mediante funciones de diagnóstico programadas y se aumente así la disponibilidad de toda la instalación. La realización de este intento exige, generalmente, solamente un mayor volumen de memoria y de *software*. Es por esto que los actuales programas de usuario de los mandos programables incluyen amplias funciones programadas de diagnóstico, tendencia ésta que probablemente se verá acentuada en un futuro.

El modo más eficaz de evitar las averías en los controles programables es, posiblemente, tratar de minimizar las acciones "agresivas" del medio sobre el autómata, y la mejor manera de hacerlo es instalar éste, teniendo en cuenta todas las posibles agresiones a que se verá sometido.

Ambiente mecánico

Los cuatro parámetros principales que lo caracterizan son las vibraciones, los choques, la humedad y la temperatura. Así la proximidad de altos hornos, reactores o incluso condiciones climáticas difíciles pueden dar lugar a funcionamientos limitados por lo que respecta a tolerancias admitidas en los componentes (de aquí la necesidad de sistemas de ventilación natural o forzada en los autómatas).

Una humedad relativa elevada (más del 80%) provoca condensaciones y acelera la corrosión; en cambio una humedad inferior al 35% favorece la creación de potenciales electrostáticos que comportan la aparición de situaciones aleatorias en los sistemas lógicos.

Finalmente la proximidad de aparatos generadores de vibraciones y de choques somete a aceleraciones peligrosas los contactos, soldaduras y componentes. Lo mismo sucede con los dispositivos embarcados en vehículos.

Polución Química

Estas palabras se aplican a un número importante de factores particularmente destructivos, tales como gases corrosivos (Cl_2 , H_2S , SO_2), vapores de hidrocarburos, polvo metálico (en fundiciones y altos hornos) o mineral (fábricas de cemento). Las corrosiones degradan los contactos y microcircuitos.

Los dos medios de protección más corrientes utilizados por los fabricantes son el barnizado de los circuitos impresos y la instalación de filtros que eliminen el polvo o gases contaminantes. También se usan, a veces, aparatos que presentan una estanquidad total.

Perturbaciones Eléctricas

- a) Las f.e.m. termoeléctricas (efecto Peltier) de algunos milivolts.
- b) Los potenciales voltaicos de unión, creados por el contacto entre metales

químicamente diferentes.

- c) Los parásitos de origen electrostático
- d) Las interferencias electromagnéticas resultantes de acoplamientos inductivos o capacitivos (proximidad de transformadores, estaciones de soldadura, contactos de arranque), efectos de los rayos, etc.

Las dos primeras pueden dar lugar a perturbaciones en las medidas analógicas de bajo nivel, o engendrar procesos de corrosión. Las últimas imponen una realización esmerada de las entradas/salidas usando aislamientos galvánicos eficaces (optoelectrónicos, relés, transformadores de aislamiento).

Una forma práctica de evitar las perturbaciones eléctricas producidas por cargas inductivas, que son las más frecuentes, es acoplar en paralelo una red RC y opcionalmente un varistor MOV si la carga es grande, en corriente alterna, o sencillamente un diodo para bobinas alimentadas en corriente continua (figura 38). También es aconsejable usar un buen apantallamiento en las líneas de transmisión de datos por canal serie (como RS-232 y 422) bastante sensibles a las perturbaciones electromagnéticas que se ponen en juego en una instalación industrial.

Ayudas al diagnóstico y al mantenimiento integradas en los autómatas

Los autómatas programables industriales tienen una serie de funciones internas orientadas al diagnóstico de su estado de funcionamiento. Podemos citar diversas funciones aunque no todos los autómatas dispondrán de todas ellas. La lista tampoco pretende ser exhaustiva.

- a) Supervisión de las alimentaciones internas. Dado que el autómata requiere normalmente diversos niveles de tensión para las diferentes funciones, es conveniente que haya un control de las mismas por parte del procesador para poder garantizar que las órdenes se podrán cumplir.
- b) Control de la duración del programa por *Watchdog*. Una parte del propio procesador (independiente del programa del automatismo) está comprobando permanentemente (como un perro guardián) que el ciclo de

programa no sobrepasa un tiempo fijado como límite. El hecho de sobrepasar este límite en un programa ya depurado puede tener dos causas:

- c) Hay alguna avería en la gestión de memorias o del sistema microprocesador
- d) El programa tiene un bucle interno bastante largo como para considerar intolerable el tiempo de refresco de las entradas y salidas o el tiempo de ejecución de partes críticas del programa.
- e) Duración del último ciclo de programa. El conocimiento de este dato nos permite prever la posibilidad de una interrupción por *Watchdog*.
- f) *Checksum* del programa. El procesador va sumando periódicamente los contenidos de toda la memoria de programa; si en algún momento esta suma ha cambiado de valor (sin intervención del terminal de programación) quiere decir que ha habido un fallo interno. Doble lectura de las informaciones del bus. Para asegurarse de que los datos intercambiados entre los módulos se han interpretado correctamente.
- g) Comprobación de las tarjetas de entradas y salidas. Las cartas controlan el estado de sus E/S, fusibles, etc. El procesador controla si hay defectos en las tarjetas, la correcta instalación de las mismas, etc.
- h) Comprobación de red. En el caso de instalaciones con autómatas (y otros elementos) interconectados mediante una red, el autómata que controla la red (o a menudo cualquiera de los autómatas conectados) puede seguir la presencia y estado de los otros autómatas.
- i) Estado de la batería. Esta batería sirve para mantener la memoria y el funcionamiento del reloj cuando se produce un fallo del suministro eléctrico.
- j) Diagnóstico de errores de programa. Cuando el programa se para por culpa de un error podemos saber el tipo de error y la línea del programa donde se ha producido, cosa que nos puede permitir mejorar el programa. También nos puede indicar la fecha y la hora en que esto ha sucedido.
- k) Gestión de errores. Cuando el procesador detecta un error ejecuta una parte especial del programa (subrutina) que permite detectar el error, corregirlo (si es posible) y enviar un mensaje a otro autómata.

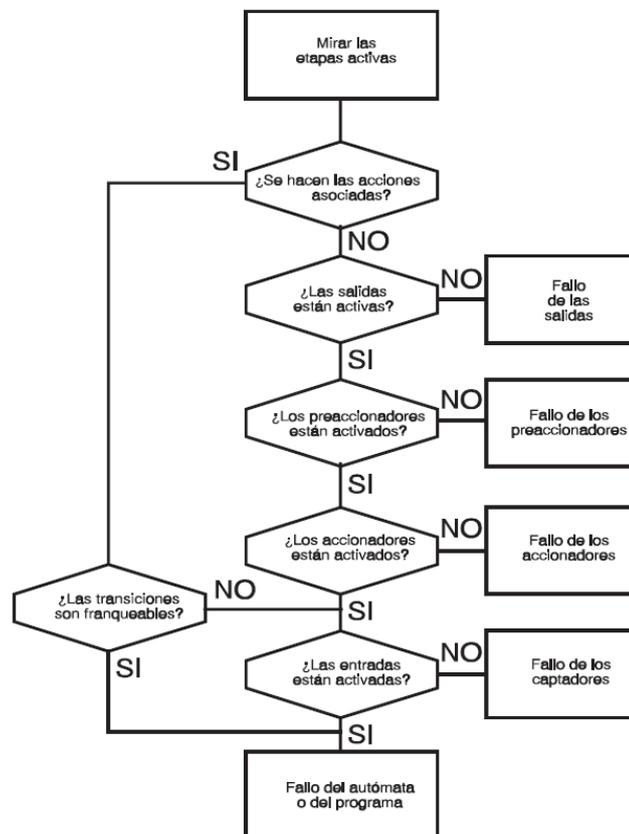
Como ayudas a la identificación y corrección de defectos algunos autómatas incorporan algunas posibilidades como pueden ser:

1. Posibilidad de sacar y poner las tarjetas en tensión
2. Posibilidad de modificar el programa en RUN
3. Autonomía de las tarjetas inteligentes

El técnico que se beneficia de estas posibilidades sobre una máquina en funcionamiento tiene que ser perfectamente consciente de los riesgos que esto supone para la máquina y las personas que la rodean.

Criterios de seguimiento para determinar la causa de una avería

En caso de una avería en el automatismo será necesario determinar qué elemento es el que no funciona correctamente. Una forma razonable de hacerlo, en caso de tener el programa escrito en GRAFCET (o de tener un programa pensado en GRAFCET y traducido a otro lenguaje de programación)



Gráfica 21. Grafcet

Seguridad de la instalación en caso de defectos y averías

En caso de defectos y averías es habitual que una o más partes de la máquina queden sin alimentar o que se pierda la información de captadores. No es necesario decir la importancia de evitar las situaciones de riesgo que pueden derivar de estos hechos. Por este motivo se recomiendan una serie de medidas (muchas de ellas normalizadas) como podrían ser las que citamos a continuación.

La pérdida de tensión de un elemento ha de llevarlo a una situación estable y segura. De la misma forma la pérdida de la tensión (o de presión de aire comprimido) de todo el sistema ha de llevarlo también a una situación estable y segura. Ejemplos de esto podrían ser usar frenos por ausencia de tensión (hay que alimentar el freno para desfrenar y no para frenar) en sistemas de elevación, usar electroválvulas de tres posiciones en el pedido de cilindros cuando sea necesario evitar el movimiento del cilindro por una fuerza exterior, etc.

La rotura o desconexión de un cable correspondiente a un actuador tiene que provocar su parada en forma segura. Por ejemplo todos los contactores cortan la corriente cuando se quedan sin tensión de alimentación; en el caso de electroválvulas es necesario seleccionar convenientemente según la aplicación.

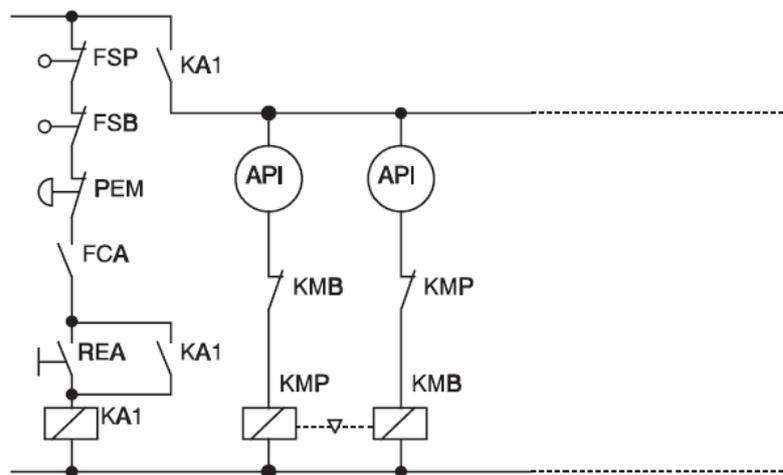
Todos los movimientos no autolimitados y todas las funciones controladas en forma analógica o numérica han de complementarse con detectores binarios para garantizar un límite de seguridad. Por ejemplo un dispositivo elevador con diversas posiciones de parada debe disponer de un detector de final de carrera al final del recorrido para prevenir el rebasamiento de la posición de parada deseada. Un sistema de control de temperatura debe disponer de un termostato de seguridad para garantizar la desconexión del sistema calefactor si se supera la temperatura máxima de seguridad.

En dispositivos que tengan diversas formas de accionamiento que no se puedan activar simultáneamente es necesario imposibilitar físicamente esta

simultaneidad a parte del hecho que probablemente el programa ya realiza esta función. Así en el pedido de un motor con dos sentidos de giro o con dos velocidades es necesario, a parte del programa de autómeta, enclavar los contactores correspondientes.

En general todos los dispositivos de emergencia deben cortar directamente la alimentación de los preaccionadores y, si interesa, informar al autómeta de su actuación.

En la siguiente gráfica KA1 es un relé auxiliar que controla la alimentación de todos los preaccionadores, FSP y FSB son los detectores de seguridad de límite de movimiento, PEM es el pulsador de emergencia de la máquina, REA el pulsador de rearmame del sistema, KMP y KMB los contactores (enclavados) de los dos sentidos de movimiento y FCA un relé controlado por el autómeta que se cierra cuando el autómeta está en RUN sin ningún defecto. En el esquema de la figura los relés KMP y KMB están enclavados eléctricamente y también mecánicamente; el enclavamiento mecánico no es imprescindible pero sí muy recomendable.



Gráfica 22. Enclavamientos usando Autómeta Programable

Podemos ver que si no hay ningún defecto ni emergencia se activa el relé KA1 permitiendo la alimentación de los preaccionadores; cuando la salida

correspondiente del autómatas se active se conectará KMP si KMB no lo está (y al revés).

Control de funcionamiento y diagnósticos integrados dentro del programa

A través del propio programa del autómatas pueden detectarse diversas averías y funcionamientos anómalos. A continuación comentaremos algunas de estas posibilidades.

Cuando un elemento tiene que moverse en dos direcciones con dos finales de recorrido fijos es conveniente no sólo tener en cuenta el detector de final en el sentido del movimiento actual sino también el del sentido contrario. Si, por ejemplo, los dos detectores de final son activos simultáneamente puede ser causado por la avería de uno de los dos o bien uno de los dos es accionado por un elemento anómalo. Por otra parte cuando se inicia el movimiento en un sentido, el detector de final del movimiento en sentido contrario tiene que desactivarse en un tiempo pequeño o está averiado.

Cuando un elemento tiene que moverse en dos direcciones con puntos de parada variables es conveniente no sólo tener en cuenta el detector del punto de parada sino tener en cuenta que cada uno de los detectores tiene que irse activando a continuación de su precedente. Si, por ejemplo, dos detectores están activos simultáneamente puede ser causado por la avería de uno de los dos o bien uno de los dos es accionado por un elemento anómalo. Otro caso puede ser que después del segundo detector se active el cuarto, lo que puede indicar que el tercer detector está averiado o que todavía no ha llegado al tercero y hay un elemento anómalo que activa el cuarto.

Para mejorar la forma de detección de defectos en accionadores y captadores se pueden usar elementos de doble contacto, uno normalmente abierto y uno normalmente cerrado, conectados a tarjetas de entradas diferentes del autómatas. Si las tablas de imágenes de entradas correspondientes a las dos tarjetas no contienen informaciones complementarias quiere decir que una de las dos

tarjetas o el captador correspondiente están averiados.

Respecto a las salidas es conveniente que el estado de cada preaccionador y/o accionador sea leído mediante una entrada del autómeta a fin de comprobar el correcto funcionamiento de las salidas y los elementos conectados a ellas. Por ejemplo, conviene que un contacto auxiliar de cada contactor informe al programa, a través de una entrada, del estado en que se encuentra.

Para cada movimiento o acción es conveniente fijar unos límites de tiempo máximos y mínimos dentro de los cuales la correspondiente operación debe finalizar. El programa tendrá que tratar aquellos casos en que los tiempos invertidos en la operación no sean los esperados. En caso de programas en GRAFCET solamente es necesario observar el tiempo de activación de cada una de las etapas significativas.

Centralización de diagnósticos, alarmas y seguimiento del proceso

En el caso de procesos controlados por diversos equipos (más de un autómeta, controles numéricos, variadores de velocidad, etc.) es interesante, de cara a la gestión del funcionamiento y de los defectos, la interacción de los equipos dentro de una red de comunicaciones. De esta forma uno de los elementos puede conocer el estado en que se encuentran los otros y obrar en consecuencia.

Habitualmente cuando dos o más autómetas están conectados en red, el sistema permite que uno de ellos (o cualquiera de ellos según el tipo de red) pueda consultar si los otros están o no activos (alimentados y correctamente conectados y configurados), controlar los bits de sistema (estados, diagnósticos, etc) de los otros, sus entradas y salidas, etc. En algunos casos un autómeta puede poner en marcha y parar otro, modificar sus bits del sistema, etc. En el caso de autómetas programados en GRAFCET pueden consultarse las etapas activas de los otros autómetas.

A esta red pueden conectarse también terminales de operador, sistemas SCADA, etc. que pueden facilitar la operación sobre el sistema y la detección de errores.

En algunos casos permiten, además, la gestión de bases de datos y la generación de históricos de alarmas. Es posible también una centralización más general de alarmas y avisos a través de red telefónica.

Equipos para ayuda al diagnóstico

Algunos fabricantes ofrecen equipos de ayuda al diagnóstico; algunos de ellos se integran con los autómatas en forma de tarjetas adicionales mientras que otros trabajan en comunicación con el autómata o con la red de autómatas.

Estos sistemas se basan en un aprendizaje del funcionamiento de la máquina y controlan sucesos como la aparición de acontecimientos inesperados, la no aparición de acontecimientos esperados, los retrasos o avances en la aparición de acontecimientos, el bloqueo del ciclo.

Tienen la ventaja respecto a los sistemas mencionados en el apartado anterior de no ocupar memoria ni tiempo de proceso del autómata dado que trabajan con su propio procesador.

Otros fabricantes ofrecen métodos de diagnóstico para los elementos de captación y detección. Ya son conocidos los sistemas de entradas analógicas 4-20 mA en los que la tarjeta correspondiente es capaz de detectar averías en los captadores o en el conexionado ya que la interrupción del circuito implica una corriente inferior a los 4 mA.

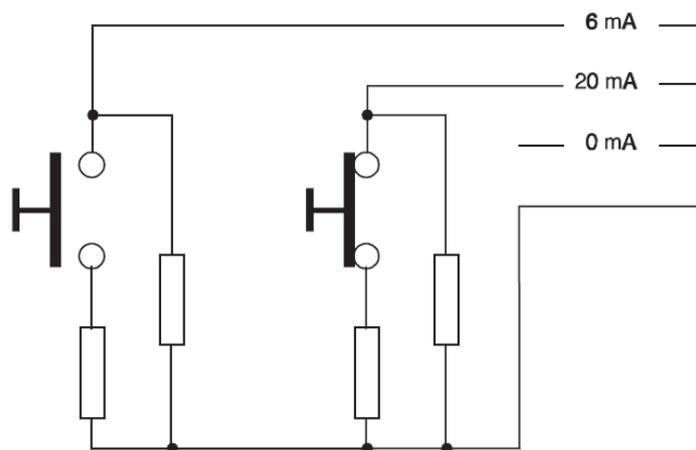
De forma similar algunos fabricantes han desarrollado tarjetas de entradas binarias capaces de detectar la desconexión del elemento de entrada. Un posible método podría ser el de la figura 41 en el que es necesaria una preparación especial de los captadores. Cuando el elemento de entrada está activado deja circular una corriente de unos 20 mA mientras que cuando está desactivado deja pasar una pequeña corriente de aproximadamente unos 6 mA; de esta forma una corriente inferior a 4 mA corresponde a una interrupción del circuito y una corriente superior a 22 mA corresponde a un cortocircuito.

Redundancias

Entendemos por redundancia la existencia de más de un medio para cumplir una función. Las redundancias se pueden clasificar en varios tipos.

Llamamos redundancia activa a aquella en que todos los medios usados para cumplir la misma función funcionan simultáneamente. La redundancia activa garantiza la seguridad de funcionamiento dado que improbablemente fallarán todos los sistemas simultáneamente.

En la redundancia pasiva, en cambio, no todos los medios funcionan simultáneamente sino que siempre hay alguno de reserva preparado para sustituir un posible equipo averiado. La redundancia pasiva garantiza la disponibilidad dado que, en caso de avería, rápidamente podremos volver a tener la máquina en funcionamiento.



Gráfica 23. Entradas para el autómata programable

La redundancia mayoritaria es una combinación de las dos anteriores donde algunos de los medios funcionan simultáneamente y los otros están de reserva. De esta forma garantizamos la seguridad de funcionamiento y la disponibilidad.

A la hora de aplicar las redundancias a un automatismo implantado con

autómatas programables se acostumbra a optar por uno de los siguientes casos:

La redundancia lógica selectiva se realiza con un solo autómata que dispone de un programa con doble función. Una parte del programa se encarga de la automatización de la máquina y la otra verifica que el funcionamiento obtenido es el que era de esperar. La supervisión consiste habitualmente en comprobar que no hay entradas contradictorias (final de carrera inicio y final activados simultáneamente, etc.), que las acciones se realizan (realimentación del estado de los contactores, ...), que dos acciones exclusivas no se realizan simultáneamente, la duración de cada acción, etc. Habitualmente la parte de supervisión ocupa aproximadamente la misma cantidad de memoria de autómata que el programa de automatización.

La redundancia material selectiva se basa en la duplicidad de las entradas y salidas. Estas E/S duplicadas pueden usarse alternativamente cuando interesa la disponibilidad o simultáneamente cuando interesa la seguridad de funcionamiento.

Respecto a la seguridad de personas y máquinas conviene destacar que dos salidas pueden trabajar en serie (por ejemplo dos contactores sobre el mismo motor o dos salidas sobre el mismo contactor) cuando se quiere garantizar que no habrá puestas en marcha no deseadas o en paralelo cuando es muy importante poder disponer del elemento en caso de necesidad (ejemplo frenos de emergencia). De la misma manera las entradas también pueden ponerse en serie o en paralelo según cuál sea la opción más segura; en este caso podemos escoger también entre elementos normalmente abiertos o normalmente cerrados.

La redundancia lógica masiva consiste en usar dos programas (preferentemente escritos en lenguajes diferentes y para personas diferentes) controlando el mismo automatismo y funcionando sobre el mismo autómata con un programa de comparación.

La redundancia material masiva consiste en usar más de un autómatas para realizar el automatismo. La redundancia material masiva pasiva consiste en que un autómatas controla el automatismo y el otro está en reserva. Cuando el primer autómatas falla (error de funcionamiento, *watchdog*, etc.) envía una señal al otro que toma el relevo y avisa al servicio de mantenimiento.

La redundancia material masiva activa 2/2 consiste en que dos autómatas controlan el mismo proceso y se comparan las entradas y las salidas entre sí o con un elemento externo. Si aparecen diferencias implica que uno de ellos falla. El sistema es incapaz de determinar cuál de los dos autómatas es el que falla y, por tanto, debe desconectar los dos; por tanto garantiza la seguridad y no la disponibilidad.

La redundancia material masiva activa 2/3 consiste en que tres autómatas controlan el mismo proceso y se comparan las entradas y las salidas entre sí o con un elemento externo. Si aparecen diferencias se escoge la opción mayoritaria y se considera el tercer equipo averiado. Garantiza la seguridad y la disponibilidad. La redundancia material masiva activa mayoritaria es la generalización de la anterior a un número (impar) cualquiera de autómatas.

Principales órdenes de mando

Las órdenes de mando son aquellas que permiten visualizar, modificar y depurar los programas y ver o forzar las entradas y salidas.

Las instrucciones de mando son accesibles en el terminal de programación que puede ser un pequeño terminal de bolsillo, un terminal de maleta o un ordenador tipo PC. El terminal de bolsillo es fácilmente transportable y, por esto, es útil para ligeras modificaciones. El uso del ordenador permite mucha más potencia de trabajo con más facilidad y comodidad.

Modos de funcionamiento de los terminales de programación

Los terminales de programación pueden trabajar en dos modos: *On line* y *Off*

line. En el modo *On line* el terminal sólo puede trabajar cuando está conectado al autómata, visualizando y modificando el programa directamente en la memoria del autómata. En el modo *Off line* se trabaja sobre el programa en la memoria del terminal y, si se desea, al acabar se copia sobre la memoria del autómata.

Es razonable pensar que tanto la programación *On line* como la transferencia de un programa preparado *Off line* se deben de hacer con el procesador en modo *PROG*. Hay algunos autómatas, pero, que permiten hacerlo en modo *RUN* caso en que la modificación entra en funcionamiento al empezar el siguiente *scan* de programa. Aunque sea posible modificar el programa en modo *RUN* es aconsejable no hacerlo ya que cualquier error en la pulsación de una tecla puede tener consecuencias graves.

Modificación de un programa

La modificación de un programa en diagrama de contactos puede ser de los siguientes tipos:

- a) Borrar un elemento
- b) Insertar un elemento en una línea (escalón)

Toma de Decisiones

Procesos Industriales

El proceso de producción industrial precisa de ciertos elementos como la materia prima, la mano de obra cualificada y una cierta tecnología más o menos compleja. El resultado del proceso de producción será el producto, eje entorno al cual gira todo el proceso de producción. Dicho producto ostentará una serie de características, de entre ellas una es fundamental desde el punto de vista de la gestión y el control de la producción:

La calidad del producto. Todo proceso de producción industrial precisará una estructura donde realizar la actividad necesaria para la producción y se dará en un

entorno que modificará la propia actividad industrial (demanda, disposición de materia prima y mano de obra cualificada, climatología, medios de comunicación).

Un proceso de fabricación, es el conjunto de operaciones necesarias para modificar las características de las materias primas. Dichas características pueden ser de naturaleza muy variada tales como la forma, la densidad, la resistencia, el tamaño o la estética. Se realizan en el ámbito de la industria.

Para la obtención de un determinado producto serán necesarias multitud de operaciones individuales de modo que, dependiendo de la escala de observación, puede denominarse *proceso* tanto al conjunto de operaciones desde la extracción de los recursos naturales necesarios hasta la venta del producto como a las realizadas en un puesto de trabajo con una determinada máquina-herramienta.

En el ámbito industrial se suelen considerar convencionalmente los procesos elementales que se indican, agrupados en dos grandes familias:

Sistema de Programación de Autómatas Programables STEP7

Introducción

La programación de un autómata Programable o PLC consiste en el establecimiento de una secuencia ordenada de instrucciones que resuelven una determinada tarea de control. Dicha secuencia establece la relación entre las distintas variables lógicas y constituye el programa del autómata programable.

Características Generales De Step7

Está formado por 2 tipos de lenguajes de programación diferentes:

Lenguajes literales: Las instrucciones de este tipo de lenguajes están formadas por letras, números, y símbolos especiales. Son lenguajes de este tipo:

- El lenguaje de lista de instrucciones que en STEP7 se denomina STL ó AWL.

- El lenguaje de texto estructurado, que en STEP7 se denomina SCL es un lenguaje de alto nivel similar al pascal que cumple la norma IEC 1131-3. Se utiliza para ;a programación de tareas complejas.

Lenguajes gráficos: Son lenguajes en los que las instrucciones se representan mediante figuras geométricas.

Unidades de organización del programa

Como ya se indico un autómata programable se utiliza para controlar una máquina o un proceso determinado. Para ello es necesario conocer las especificaciones concretas y, a partir de ellas, realizar un proyecto o aplicación que da como resultado un conjunto de tareas que, una vez programadas en el autómata programable, hacen que se comporten de la manera prevista.

En las aplicaciones sencillas, el proyecto se realiza mediante una única tarea que se encarga de la ejecución cíclica del programa. Cuando la aplicación es compleja, es preciso programar varias tareas que se encarguen de la ejecución de una o mas unidades de organización del programa, denominadas “Bloques”, que son instrucciones o conjuntos de instrucciones relacionadas entre si que proporciona una determinada funcionalidad. Se consigue así una división del programa en parte fácilmente comprensibles y una mayor facilidad para su puesta en marcha.

En STEP 7 existen tres tipos de unidades de organización del programa, que son los bloques de organización, las funciones y los bloques funcionales. A continuación se analiza cada uno de ellos.

Bloques de organización

En las aplicaciones de los autómatas programables, hay determinadas tareas que deben ser ejecutadas periódicamente o cuando se producen determinados sucesos. Para facilitar al usuario la tarea de desarrollo del programa STEP 7 pone a su disposición un conjunto de bloques que se ejecutan en las circunstancias citadas. Dichos bloques reciben el nombre de bloques de organización porque contribuyen a la estructuración del programa de control. En los bloques de organización mas

utilizados cabe citar el bloque OB1 que se ejecuta cíclicamente y el bloque OB100 que se ejecuta al pasar el autómata programable de la situación de paro (stop) a la de ejecución (run).

Funciones

Las funciones, denominadas FC (abreviatura de function), son unidades de organización del programa que tienen como objetivo:

- Agrupar las instrucciones que se tienen que ejecutar varias veces a lo largo del programa.
- Subdividir el programa en partes fácilmente comprensibles.

Su invocación se realiza en los lenguajes literales de STEP 7 mediante una operación específica de llamada. Una función es una unidad de organización del programa que puede actuar de dos formas distintas:

- Proporcionando un resultado en forma de parámetro que puede ser utilizado fuera de la propia función en el resto del programa.
- Como una entidad independiente que facilita la división del programa en partes fácilmente comprensibles.

Para que el usuario no tenga que diseñar sus propias funciones para realizar las tareas más habituales, STEP7 incorpora un amplio conjunto de operaciones, que constituyen funciones preferidas.

Bloques funcionales

Un bloque funcional, denominado FB (acrónimo de Function Block), representa un algoritmo que puede ser utilizado en numerosos sistemas de control y constituye una unidad de organización del programa que, al ser ejecutada, proporciona una o más variables de salida.

Su comportamiento se puede aproximar mediante el concepto de “caja negra” que funciona de una forma perfectamente definida.

Se caracteriza por poseer variables de estado interno que pueden almacenar resultados parciales. Por ello siempre tienen asociado un bloque de datos (DB).

Los bloques funcionales pueden realizar “clásica” como por ejemplo un biestable, o una función definida por el usuario, como por ejemplo un bucle de control de temperatura.

Redes Industriales

Definiendo una Red Industrial en términos sencillos; es un conjunto formado por varias conexiones de circuitos que tienen el objetivo de enviar datos controlando algún dispositivo por medio del denominado Internet.

Introducción de Redes Industriales

Estas redes de comunicación creadas por la fundación FieldBus (Redes de campo), desarrollando un protocolo de comunicación por llamarlo así para la medición y el control de procesos donde todos los instrumentos utilizados para crear esta red puedan comunicarse en una misma plataforma, es decir puedan tener el mismo lenguaje entre sí.

Las comunicaciones dichos instrumentos de proceso y su sistema de control se basan principalmente en señales analógicas (neumáticas de 3 a 15 psi en las válvulas de control y electrónicas de 4 a 20 mA cc). Hoy en día ya existen instrumentos digitales capaces de manejar gran cantidad de datos y guardarlos históricamente; su precisión es diez veces mayor que la de la señal típica de 4-20 mA cc. En vez de transmitir cada variable por un par de hilos, transmiten secuencialmente las variables por medio de un cable de comunicaciones llamado bus.

FieldBus (bus de campo) es un protocolo de comunicaciones digital de alta velocidad creada para remplazar la clásica señal de 4-20 mA que aún se utiliza en muchos de los sistemas DCS (Sistema de Control Distribuido) y PLC (Controladores Lógicos Programables), instrumentos de medida y transmisión y válvulas de control.

Esta tecnología conecta estos instrumentos con computadores que se usan en diferentes niveles de coordinación y dirección de la planta. Con el mejoramiento de los protocolos de comunicación es ahora posible reducir el tiempo necesario para la transferencia de datos, asegurando la misma, garantizando el tiempo de sincronización y el tiempo real de respuesta determinante en algunas aplicaciones.

Desde épocas muy remotas la comunicación ha sido un reto enorme para la humanidad, ya que desde siglos pasados el hombre ha buscado la manera de transmitir mensajes a través de varias señales como por ejemplo, señales de humo, o no muy lejano las luces emitidas por los faros en un puerto marítimo que hasta hoy en día es utilizado por varios marinos.

Se podría decir que la invención del teléfono ha sido un paso enorme a las comunicaciones, pero con ello se dio la aparición de los computadores personales entre los más relevantes y con ello se puede enumerar un sinnúmero de inventos para comunicarnos.

Sistemas de Control en una Red de Comunicación Industrial

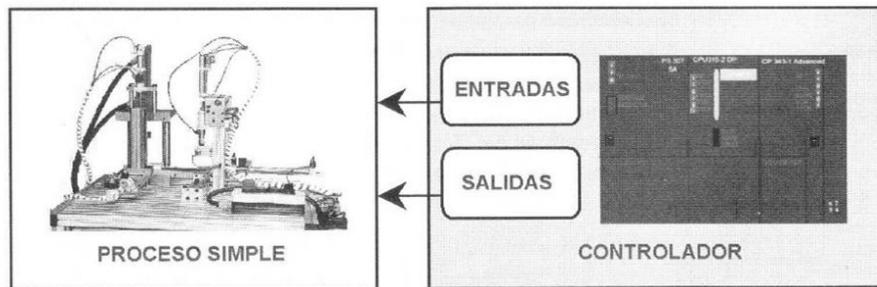
Dependiendo de la complejidad del sistema o de los componentes que intervienen en la red de comunicación, podemos clasificar el tipo de control en:

- *Sistema Centralizado*: Es cuando el control se realiza por un solo sistema.
- *Sistema Distribuido*: Cuando el control se realiza a través de diferentes sistemas conectados en red.

Las principales características de estos dos sistemas son:

Sistema Centralizado

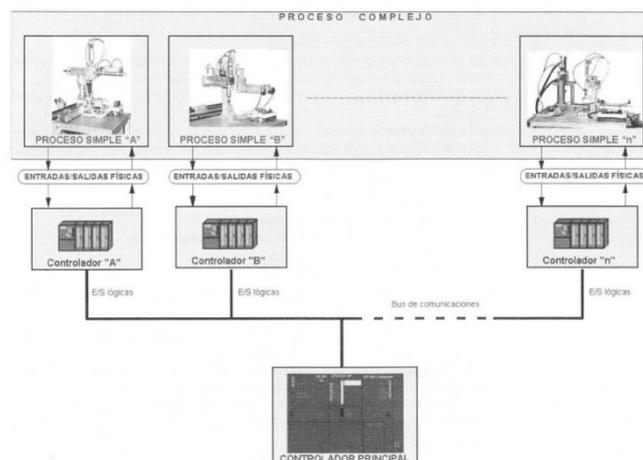
- Es efectivo mientras el sistema no sea excesivamente grande ni complejo.
- Es fácil de mantener, ya que sólo hay un único controlador.
- Al existir un único controlador, no existen problemas de compatibilidad.
- Son muy delicados a los fallos; si el controlador falla, todo se detiene.



Gráfica 24. Sistema de Control Centralizado

Sistema Distribuido

- Para sistemas grandes o complejos.
- La responsabilidad es repartida entre diferentes controladores.
- Todos los controladores deben comunicarse a través de una red.
- Su capacidad tiende a ser superior a un sistema centralizado.
- Se caracteriza por ser un sistema más flexible que el centralizado.
- Se pueden hacer ampliaciones con otros controladores. Cuando éstos están programados y con un funcionamiento correcto, entonces se integra en la red de comunicaciones de los demás controladores.
- Se puede partir de un sistema básico e ir ampliando a medida que el sistema lo exija, añadiendo módulos u otros controladores.
- Permite la integración de dispositivos de diferentes fabricantes comunicables entre sí.



Gráfica 25. Sistema de Control Distribuido

Tipos de transmisión de datos

Transmisión análoga

En un sistema analógico de transmisión tenemos a la salida de este una cantidad que varía continuamente. En la transmisión analógica, la señal que transporta la información es continua, en la señal digital es discreta.

La forma más sencilla de transmisión digital es la binaria, en la cual a cada elemento de información se le asigna uno de dos posibles estados. Para identificar una gran cantidad de información se codifica un número específico de bits, el cual se conoce como carácter. Esta codificación se usa para la información escrita. La mayor de las computadoras en servicio hoy en día utiliza u operan con el sistema binario por lo cual viene más la transmisión binaria, ya sea de terminal a computadora o de computadora a computadora.

Transmisión Digital

En la transmisión digital existen dos notables ventajas lo cual hace que tenga gran aceptación cuando se compara con la analógica. Estas son:

1. El ruido no se acumula en los repetidores.
2. El formato digital se adapta por si mismo de manera ideal a la tecnología de estado sólido, particularmente en los circuitos integrados.

La mayor parte de la información que se transmite en una red portadora es de naturaleza analógica,

Es ventajoso transmitir datos en forma binaria en vez de convertirlos a analógico. Sin embargo, la transmisión digital está restringida a canales con un ancho de banda mucho mayor que el de la banda de la voz.

Ventajas de la transmisión digital.

1. La ventaja principal de la transmisión digital es la inmunidad al ruido. Las señales analógicas son más susceptibles que los pulsos digitales a la amplitud no deseada, frecuencia y variaciones de fases.

2. Se prefieren a los pulsos digitales por su mejor procesamiento y multicanalizaciones que las señales analógicas. Los pulsos digitales pueden guardarse fácilmente, mientras que las señales analógicas no pueden.
3. Los sistemas digitales utilizan la regeneración de señales, en vez de la amplificación de señales, por lo tanto producen un sistema más resistente al ruido que su contraparte analógica.
4. Las señales digitales son más sencillas de medir y evaluar.
5. Los sistemas digitales están mejores equipados para evaluar un rendimiento de error (por ejemplo, detección y corrección de errores), que los sistemas analógicos.

Transmisión Asíncrona

Esta se desarrolló para solucionar el problema de la sincronía y la incomodidad de los equipos. En este caso la temporización empieza al comienzo de un carácter y termina al final, se añaden dos elementos de señal a cada carácter para indicar al dispositivo receptor el comienzo de este y su terminación.

Para enviar un dato se inicia la secuencia de temporización en el dispositivo receptor con el elemento de señal y al final se marca su terminación.

Transmisión Sincrónica

Este tipo de transmisión se caracteriza porque antes de la transmisión de propia de datos, se envían señales para la identificación de lo que va a venir por la línea, es mucho más eficiente que la Asíncrona pero su uso se limita a líneas especiales para la comunicación de ordenadores, porque en líneas telefónicas deficientes pueden aparecer problemas.

Transmisión de Datos en Serie

En este tipo de transmisión los bits se trasladan uno detrás del otro sobre una misma línea, también se transmite por la misma línea.

Este tipo de transmisión se utiliza a medida que la distancia entre los equipos aumenta a pesar que es más lenta que la transmisión paralelo y además menos costosa. Los transmisores y receptores de datos serie son más complejos debido a la dificultad en transmitir y recibir señales a través de cables largos.

La conversión de paralelo a serie y viceversa la llevamos a cabo con ayuda de registro de desplazamiento. La transmisión serie es síncrona si en el momento exacto de transmisión y recepción de cada bit está determinada antes de que se transmita y reciba y asíncrona cuando la temporización de los bits de un carácter no depende de la temporización de un carácter previo.

Transmisión de Datos en Paralelo

La transmisión de datos entre ordenadores y terminales mediante cambios de corriente o tensión por medio de cables o canales; la transferencia de datos es en paralelo si transmitimos un grupo de bits sobre varias líneas o cables. En la transmisión de datos en paralelo cada bit de un carácter se transmite sobre su propio cable. En la transmisión de datos en paralelo hay un cable adicional en el cual enviamos una señal llamada strobe ó reloj; esta señal le indica al receptor cuando están presentes todos los bits para que se puedan tomar muestras de los bits o datos que se transmiten y además sirve para la temporización que es decisiva para la correcta transmisión y recepción de los datos.

La transmisión de datos en paralelo se utiliza en sistemas digitales que se encuentran colocados unos cerca del otro, además es mucho más rápida que la serie, pero además es mucho más costosa.

Modos de transmisión de datos

Según el sentido de la transmisión podemos encontrarnos con tres tipos diferentes: *Simplex*: Este modo de transmisión permite que la información discorra en un solo sentido y de forma permanente, con esta fórmula es difícil la corrección de errores causados por deficiencias de línea. Como ejemplos de la vida diaria tenemos, la televisión y la radio.

Half Duplex En este modo, la transmisión fluye como en el anterior, o sea, en un único sentido de la transmisión de dato, pero no de una manera permanente, pues el sentido puede cambiar. Como ejemplo tenemos los Walkis Talkis.

Full Duplex.

Es el método de comunicación más aconsejable, puesto que en todo momento la comunicación puede ser en dos sentidos posibles y así pueden corregir los errores de manera instantánea y permanente. El ejemplo típico sería el teléfono.

Modulación de pulsos

La modulación de pulsos incluye muchos métodos diferentes para convertir información a forma de pulso para transferirlos de una fuente a un destino. Los cuatro métodos predominantes se describen a continuación:

- a) PWM. Este método a veces se llama modulación de duración del pulso (PDM) o modulación de longitud del pulso (PLM). El ancho del pulso (porción activa del ciclo de trabajo) es proporcional a la amplitud de la señal analógica.
- b) PPM. La posición de un pulso de ancho constante, dentro de una ranura de tiempo prescrita, varía de acuerdo a la amplitud de la señal analógica.
- c) PAM. La amplitud de un pulso de longitud constante y de ancho constante varía de acuerdo a la amplitud de la señal analógica.
- d) PCM. La señal analógica se muestra y se convierte a una longitud fija, número binario serial para transmisión. El número binario varía de acuerdo a la amplitud de la señal analógica.

PAM se usa como una forma intermedia de modulación, con PSK, QAM y PCM, Aunque raramente se use sola. PWM y PPM se usan en los sistemas de comunicación, de propósitos especiales (normalmente para el ejército), pero raramente se usan para los sistemas comerciales. PCM es, por mucho, el método más prevalente de modulación de pulsos y consecuentemente, será el tema de discusión, análisis e implementación en lo que respecta a nuestro proyecto de tesis y circuitos complementarios.

PCM es un sistema binario; un pulso o ausencia de pulso, dentro de una ranura de tiempo prescrita representa ya sea una condición de lógica cero.

Los sistemas PCM se están haciendo cada vez más importantes, debido a ciertas ventajas inherentes sobre otros tipos de sistemas de modulación. Algunas de estas ventajas son las siguientes:

1. En comunicación a larga distancia, las señales PCM pueden regenerarse completamente en estaciones repetidoras intermedias porque toda la información está contenida en el código. En cada repetidora se transmite una señal esencialmente libre de ruido. Los efectos del ruido no se acumulan y sólo hay que preocuparse por el ruido de la transmisión entre repetidoras adyacentes.
2. Los circuitos de modulación y demodulación son todos digitales, alcanzando por ello gran confiabilidad y estabilidad, adaptándose rápidamente al diseño lógico de circuito integrado.
3. Las señales pueden almacenarse y escalarse en el tiempo eficientemente. Por ejemplo, los datos de PCM pueden generarse en un satélite orbital una vez por minuto durante una órbita de 90 minutos y después retransmitirse a una estación terrestre en cuestión de pocos segundos. Las memorias digitales realizan el almacenaje muy eficientemente.
4. Puede usarse un código eficiente para reducir la repetición innecesaria (la redundancia) en los mensajes.
5. Una codificación adecuada puede reducir los efectos del ruido y la interferencia. Como se verá pronto, el ancho de banda puede intercambiarse por potencia de la señal; como el PCM puede escalarse en el tiempo, este también puede intercambiarse por potencia de la señal. El diseñador de sistemas de comunicación tiene, pues, mayor flexibilidad en el diseño de un sistema PCM para satisfacer determinados criterios de funcionamiento.

Buses de Campo

Se puede considerar a un bus como un conjunto de conductores que conectan varios circuitos para permitir el intercambio de datos. Para una transmisión serial es suficiente un número de cables muy limitado, generalmente dos o tres

conductores y la debida protección contra las perturbaciones externas para permitir su tendido en ambientes de ruido industrial.

Ventajas de un bus de campo

- El intercambio puede llevar a cabo por medio de un mecanismo estándar.
- Flexibilidad de extensión.
- Conexión de módulos diferentes en una misma línea.
- Posibilidad de conexión de dispositivos de diferentes procedencias.
- Distancias operativas superiores al cableado tradicional.
- Reducción masiva de cables y costo asociado.
- Simplificación de la puesta en servicio.

Desventajas de un bus de campo

- Necesidad de conocimientos superiores.
- Inversión de instrumentación y accesorios de diagnóstico.
- Costos globales inicialmente superiores.

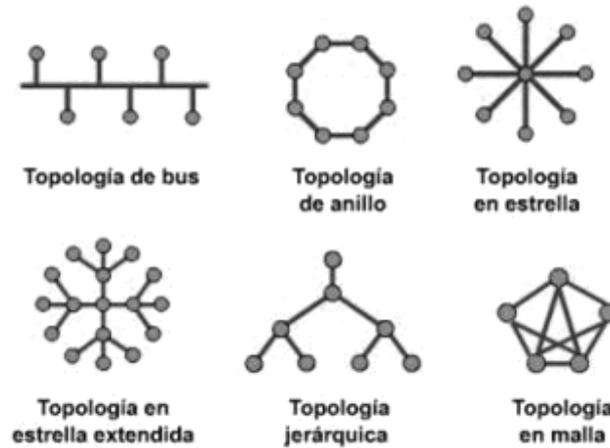
Tipos de Buses



Gráfica 26. Buses industriales

La mayoría de los buses trabajan en el nivel 1 con interfaz RS 485. ASI (Actuator Sensor Interface). Es el bus más inmediato en el nivel de campo y más sencillo de controlar. Consiste en un bus cliente/servidor con un máximo de 31 participantes que transmite por paquetes de solo 4 bits de datos. Es muy veloz, con un ciclo de 5 ms aproximadamente. Alcanza distancias de 100 m o hasta 300 m con ayuda de repetidores.

Topologías de red del bus de comunicación ASI.



Gráfica 27. Topología de red industrial

La red AS-Interface se puede montar como una instalación eléctrica estándar. Gracias al robusto principio de funcionamiento sobre el que se asienta, no hay limitaciones en cuanto a la estructura (topología de red). La red AS-Interface se puede montar en árbol, línea o estrella, como se puede observar en la Gráfica 2.24



Gráfica 28. Bitbus

Bitbus

Es el más difundido en todo el mundo; es del tipo cliente/servidor y admite como máximo 56 clientes; el paquete puede transmitir hasta 43 bytes de datos.

Profibus (PROcess FIeld BUS)

Es el estándar europeo en tecnología de buses; se encuentra jerárquicamente por encima de ASI y BITBUS, trabaja según procedimiento híbrido token passing, y

dispone de 31 participantes hasta un máximo de 127. Su paquete puede transmitir un máximo de 246 bytes, y el ciclo para 31 participantes es de aproximadamente 90 ms. Alcanza una distancia de hasta 22300 m.

FieldBus en OSI

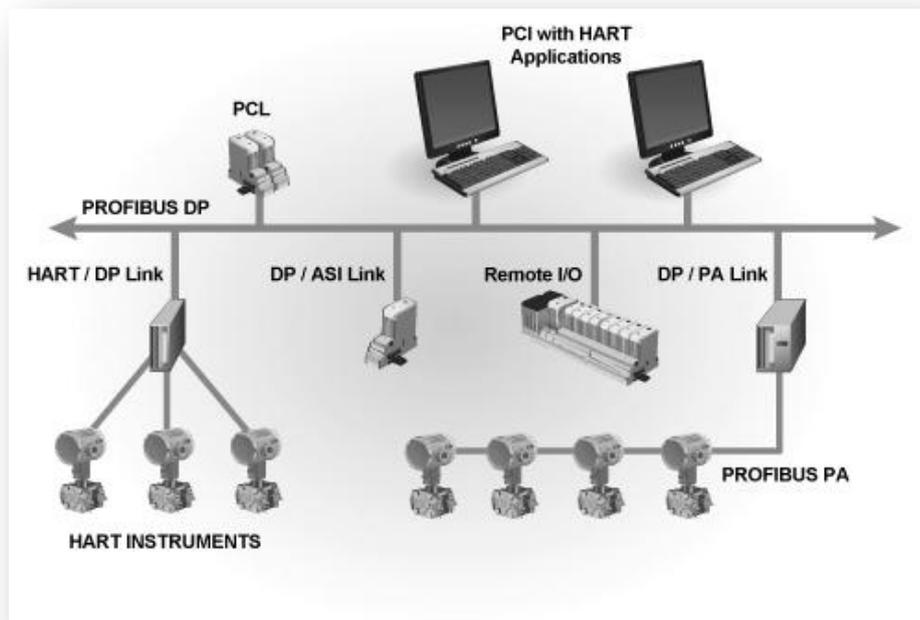
En la arquitectura OSI, fieldbus ocupa los niveles 1 (Físico), 2 (Enlace de Datos) y 7 (Aplicación); teniendo en cuenta que este último no solo se encarga de la interfaz de usuario sino de aplicaciones específicas, dependiendo de cada aplicación

Clasificación de las redes industriales

Si se clasifican las redes industriales en diferentes categorías basándose en la funcionalidad, se hará en:

Buses actuadores y sensores

Inicialmente se usan un sensor y un bus actuador en conexión simple, dispositivos discretos con inteligencia limitada, como un fotosensor, un switch limitador o una válvula solenoide, controladores y consolas terminales.



Gráfica 29. Red industrial

Buses de campo y dispositivos calientes

Estas redes se distinguen por la forma como manejan el tamaño del mensaje y el tiempo de respuesta. En general, estas redes conectan dispositivos inteligentes en una sola red distribuida.

Estas redes ofrecen altos niveles de diagnóstico y capacidad de configuración, generalmente al nivel del poder de procesamiento de los dispositivos más inteligentes. Son las redes más sofisticadas que trabajan con control distribuido real entre dispositivos inteligentes.

Componentes de las Redes Industriales

En grandes redes industriales, un simple cable no es suficiente para conectar el conjunto de todos los nodos de la red.

Deben definirse topologías y diseños de redes para proveer un aislamiento y conocer los requerimientos de funcionamiento.

Bridge

Con un puente la conexión entre dos diferentes secciones de red, puede tener diferentes características eléctricas y protocolos; además puede enlazar dos redes diferentes.

Repetidor

El repetidor o amplificador es un dispositivo que intensifica las señales eléctricas para que puedan viajar grandes distancias entre nodos. Con este dispositivo se pueden conectar un gran número de nodos a la red; además, se pueden adaptar a diferentes medios físicos como cable coaxial o fibra óptica.

Gateway

Un gateway es similar a un puente, ya que suministra interoperabilidad entre buses y diferentes tipos de protocolos; además, las aplicaciones pueden comunicarse a través de él.

Enrutadores

Es un switch "enrutador" de paquetes de comunicación entre diferentes segmentos de red que definen la ruta hacia donde se transmite la información.

Topología de redes industriales

Los sistemas industriales usualmente consisten en dos o más dispositivos. Como un sistema industrial puede ser bastante grande, debe considerarse la topología de la red. Las topologías más comunes son: red bus, red estrella y red híbrida.

Beneficios de una red industrial

- Reducción de cableado (físicamente)
- Dispositivos inteligentes (funcionalidad y ejecución)
- Control distribuido (flexibilidad)
- Simplificación de cableado de las nuevas instalaciones
- Reducción de costo en cableado y cajas de conexión
- Aplicable a todo tipo de sistema de manufactura
- Incremento de la confiabilidad de los sistemas de producción
- Optimización de los procesos existentes

Redes industriales con PLC

Muchos sistemas están conformados por equipos de diferentes fabricantes y funcionan en diferentes niveles de automatización; además, a menudo se encuentran distanciados entre sí; sin embargo, se desea que trabajen en forma coordinada para un resultado satisfactorio del proceso.

El objetivo principal es la comunicación totalmente integrada en el sistema. Al usuario esto le reporta la máxima flexibilidad, ya que también puede integrar sin

problemas productos de otros fabricantes a través de las interfaces de software estandarizadas.

En los últimos años, las aplicaciones industriales basadas en comunicación digital se han incrementado, haciendo posible la conexión de sensores, actuadores y equipos de control en una planta de procesamiento.

De esta manera, la comunicación entre la sala de control y los instrumentos de campo se ha convertido en realidad. La comunicación digital debe integrar la información provista por los elementos de campo en el sistema de control de procesos.

Hipótesis

- El control de Operación del Sistema de Agua Potable de la EMAAPQ en el tramo de la Central Mica Quito Sur hacia Chillogallo y Guamaní mejorará la toma de decisiones.

Señalamiento de Variables

Variable Independiente: Control de Operación

Variable Dependiente: Toma de Decisiones

CAPITULO III

METODOLOGÍA

Enfoque

Modalidad de Investigación

Para esta investigación se empleó una modalidad de investigación de tipo cualitativo, que tiene en la actualidad basada en el desperdicio de agua que se genera actualmente.

Bibliográfica.

Se recopiló información disponible en textos especializados e Internet, para el análisis y utilización en función de los requerimientos de la investigación.

De campo

Empleando técnicas de investigación se recolecto la información, en las estaciones de bombeo y tanques de Chillogallo y Guamaní que posteriormente se analizaron para obtener datos de variables que deben ser controladas.

Niveles o Tipos

Exploratorio

Inicia la investigación desde la red de Guamaní y Chillogallo de la EMAAP – Q, y posteriormente se recogen los comentarios de los operarios y jefes de dichas estaciones y se ven posibles soluciones.

Descriptivo

Se analizan diferentes técnicas para posteriormente evaluar y seleccionar la mejor alternativa en cuando a hardware, software, sensores para mejorar el rendimiento de la red.

Población y Muestra

Para este proyecto toda la información requerida y necesaria se la encontró en las estaciones remotas de Chillogallo y Guamaní para realizar el estudio de la situación actual en cuanto al equipo de instrumentación y proceso de las estaciones. Motivo por el cual se considera a una población total de 15 personas.

| CONCEPTUALIZACIÓN | DIMENSIONES | INDICADORES | ÍTEMES BÁSICOS | TÉCNICAS E INSTRUMENTOS |
|--|---|---|---|---|
| Monitoreo del proceso de operación que consiste en el diseño, operación y control del proceso de transformación que convierte recursos en artículos y servicios terminados | - Sensores Industriales | - Fiabilidad - Exactitud | - ¿Existen controles sobre las variables críticas (sensores y actuadores) del sistema de la estación de bombeo y de los tanques? | - Entrevistas ⁴ - Encuestas ⁵ - Ficha de Observación ⁶ |
| | - Interfaces de entrada y Salida | - Correcta conexión - Conexión segura - Adquisición de datos seguros. | - ¿Existen dispositivos que controlen las entradas y salidas a través de un módulo industrial? - ¿Se puede interpretar el funcionamiento en tiempo real de cada dispositivo que funciona dentro de la red (bombas, válvulas, entre otros)? | - Entrevistas - Encuestas |
| | - Autómatas Programables | - Velocidad - Estabilidad - Robustez | - ¿Es necesario aplicar control automático sobre la red para comunicarnos con Chillogallo y Guamaní? - ¿Cuán efectivo son las comunicaciones con las centrales? | - Entrevistas - Encuestas |
| | - Control de Proceso con Autómata Programable | - Control en lazo abierto - Control en lazo cerrado | - ¿Conoce de sistemas de comunicaciones industriales para automatizar el proceso de comunicaciones? - ¿Existen fallas de comunicación durante el proceso que afecta la toma de decisiones? | - Entrevistas - Encuestas |

Tabla 2. Control de Operación

⁴ La entrevista será realizada al Jefe de Distribución – Ing. Wilson Oña

⁵ La encuesta será aplicada al personal que trabaja en las estaciones del tramo antes indicado

⁶ Verificará el mantenimiento y equipos que se tienen actualmente

| CONCEPTUALIZACIÓN | DIMENSIONES | INDICADORES | ÍTEMES BÁSICOS | TÉCNICAS E INSTRUMENTOS |
|---|--|---|--|--|
| La toma de decisiones es el proceso mediante el cual se realiza una elección entre las alternativas o formas para resolver diferentes situaciones. La toma de decisiones consiste, básicamente, en elegir una alternativa entre las disponibles, a los efectos de resolver un problema actual o potencial | <i>Proceso Industrial</i> | - Velocidad del proceso - Función de transferencia - Variables de control | - ¿Conoce de algún software que trabaje a nivel industrial? - ¿Cree que mejoraría adaptar tecnología al proceso de bombeo y al sistema de comunicaciones? | - Entrevistas ⁷ - Encuestas ⁸ |
| | <i>Sistema de Programación</i> | - Robusto - Fiable | - ¿Es posible establecer una secuencia del proceso de comunicaciones? - ¿Se puede traducir dicho proceso en un algoritmo para formar una red? | - Entrevistas - Encuestas |
| | <i>Redes Industriales</i> | - Rapidez - Tiempo de espera | - ¿Es posible crear una red industrial? ¿Qué equipo son necesarios? | - Entrevistas |
| | <i>Normativa Comunicaciones Industriales</i> | - Adecuada | - ¿Cuáles son las normativas de redes industriales para el tramo de la Central Mica Quito Sur hacia Chillogallo y Guamaní.? | - Entrevistas - Encuestas |

Tabla 3. Toma de Decisiones

⁷ La entrevista será realizada al Jefe de Distribución – Ing. Wilson Oña.

⁸ La encuesta será aplicada al personal que trabaja en las estaciones del tramo antes indicado

Técnicas e Instrumentos

- Encuesta – Cuestionario.
- Entrevista – Guía de la entrevista.
- Observación – Ficha de la observación.

Plan para Recolección de la Información

La información sobre la situación actual de la red desde la central Mica Quito Sur hacia Chillogallo y Guamaní se la obtuvo a través de encuestas, entrevistas y observación. Para la solución se realiza a través de sugerencias de los proveedores de autómatas programables, nuevos estudios, revistas de tipo tecnológicos.

Plan para el Procesamiento de la Información

La información obtenida a través de los diferentes instrumentos de recolección de información, fueron utilizados en el análisis de la situación actual de la red en el tramo de la central Mica Quito Sur hacia Chillogallo y Guamaní para mejorar las decisiones de acuerdo al proceso. También se procede a estimar el presupuesto que se necesita para implementar las nuevas aplicaciones.

CAPITULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Las estaciones de bombeo de Guamaní y Chillogallo abastecen a 3 y 2 tanques respectivamente. El proceso de llenado y vaciado de tanques es manual por lo que conlleva a tiempos de espera altos para tomar decisiones en caso de encontrar una eventualidad.

Al no existir una red de tipo industrial provocan decisiones inadecuadas incluso puede causar el daño de los equipos por no operar con un control que tenga retroalimentación diseñado con variables críticas del sistema (presión, flujo, caudal y otras) los mismos que deben ser conectados a una red robusta que hoy en día no existe.

Análisis de la situación actual

El proceso de extracción, ya sea de pozos u obras de toma, con equipo de bombeo y algún tipo de línea de conducción hasta tanques de regulación. En el caso de pozos urbanos, comúnmente se conectan directamente a la red de distribución contando con tanques reguladores almacenando las excedencias de la red.

Actualmente, la EMAAP-Q ha sectorizado la ciudad en tres distritos. Norte, Centro y Sur. La línea de distribución Chillogallo – Guamaní pertenece al distrito Sur cada una de ellas es alimentada por una estación de bombeo, y trabajan en conjunto con la Sub Central Mica – Quito Sur a través de una tubería de 28 pulgadas.

El análisis se enfocará a dos líneas de distribución: Guamaní y Chillogallo; las mismas que están formados por tubería de 18 pulgadas. Es necesario establecer comunicación con la subcentral sur Mica Quito Sur y con la central que es la *UMED* para lo cual en la siguiente gráfica se muestran las distancias.

Gráfica 30. Distancias con la central.

Como se puede ver la estación de bombeo de Guamaní alimenta a 3 tanques de distribución que son:

- Tanque 12
- Tanque 13
- Tanque 14

Mientras que la estación de bombeo de Chillogallo alimenta a 2 tanques que son:

- Tanque de Chillogallo Alto
- Tanque de Mirador Alto

Todos los datos de la planta deben ser dirigidos hacia la subcentral sur, Quito Mica Quito Sur, y de ahí a la central principal que viene a ser la *UMED*. Las

plantas que vienen a ser las estaciones de bombeo y los tanques de Guamaní y Chillogallo

En el sector del agua, los distintos componentes suelen estar distribuidos a gran distancia unos de otros, como es el caso de los pozos, depósitos elevados, estaciones de bombeo y estanques de tormenta. Ahí radica la importancia del telecontrol, porque la comunicación debe realizarse de forma efectiva a distancias a veces muy grandes como se indica en la Gráfica 6.1.

Encontraremos dos tanques que son abastecidos de la estación de bombeo de Chillogallo y tres tanques abastecidos por la estación de bombeo de Guamaní. Son empleados generalmente como reservorio de agua potable para abastecer a la red domiciliaria. El tanque es surtido directamente por las líneas de transmisión que vienen desde las plantas de tratamiento

Un operador está bajo la responsabilidad de dos o tres estaciones remotas, y es el encargado de tomar las lecturas de nivel del tanque, de caudal y las registra en un formulario dos veces por día. Si se observa que no existe suficiente caudal, se comunica al operador de la estación de bombeo para que abra las válvulas y se realiza el proceso inverso cuando es necesario.

En la celda o celdas del tanque existen ductos de desagüe con válvulas de operación manual para casos de emergencia cuando hay desborde o para evacuar el agua para realizar mantenimiento y aseo. El tanque también tiene una válvula de control de altitud a la entrada de agua, que controla el nivel del tanque para evitar desbordes. En la tubería de salida está instalado un medidor de flujo o caudal.

Se han identificado los equipos existentes para la medición de caudal, nivel, presión, bombas y motores, tableros de control y arranque. Para todo esto se han definido la marca, el estado y capacidades. También se ha identificado las instalaciones eléctricas y la disponibilidad de servicio eléctrico, el tipo de

servicio, el voltaje, el número de fases. Por último se han identificado las obras hidráulicas por medio de los diámetros de tuberías, de válvulas y tipo de actuación.

Estado de la Estación de Guamaní

Estación de bombeo de Guamaní

| <i>MEDIDOR DE FLUJO</i> | | <i>MOTORES</i> | | <i>BOMBAS</i> | |
|-------------------------------|------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------|
| Tipo: | Electromagnético | Cantidad: | Electromagnético | Tipo: | Electromagnético |
| Marca: | HAUSER | Marca: | World Motor | Marca: | Aurora Pumps |
| Modelo: | 33FH7F | Potencia: | 200 HP | Modelo: | 421BF |
| N° Serie: | 10 465200 | Voltaje: | 460 V | N° Serie: | 99-04289-1 |
| Diámetro: | 16 | Corriente: | 240 A | Caudal: | 61 lt/s |
| <i>CONTROLADOR DE PRESIÓN</i> | | <i>SENSOR DE NIVEL</i> | | <i>INDICADOR DE NIVEL</i> | |
| Marca: | BROOKS | Tipo: | Flotador | Tipo: | Visor Plástico |
| Modelo: | M13-I023 | | | Escala: | en (m) |
| | | | | Valor máx: | 4m |
| <i>ARRANCADOR DE MOTOR</i> | | | <i>SERVICIO ELÉCTRICO</i> | | |
| Cantidad: | 3 | # Fases: | 3 | | |
| Tipo: | Soft Start | Voltaje: | 110/220 V | | |
| Voltaje: | 460 V | Medidor: | | | |
| Corriente: | 240 A | Protección: | 4 x 50 A | | |
| <i>ARRANCADOR DE MOTOR</i> | | <i>TUBERÍAS</i> | | | |
| Marca: | ROSS | | Posición | | Diámetro (") |
| Modelo: | 40AWRBP | | Entrada | | 10 |
| N° Serie: | 98782 | | Salida | | 12 |
| Diámetro: | 10 | | Desagüe | | 10 |

Tabla 4. Ficha de Instrumentación de Estación de Guamaní

Observaciones

- Se recomienda el reemplazo de la válvula de altitud a la entrada del tanque.
- Se recomienda instalar un transformador para regular energía.
- Se recomienda la instalación de sensores con salida de salida 4-20 mA

Estado del Tanque 12

| <i>MEDIDOR DE FLUJO</i> | | <i>MOTORES</i> | | <i>BOMBAS</i> | |
|-------------------------------|------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------|
| Tipo: | Electromagnético | Tipo: | Electromagnético | Tipo: | Electromagnético |
| Marca: | HAUSER | Marca: | World Motor | Marca: | Aurora Pumps |
| Modelo: | 50W3F | Potencia: | 125 HP | Modelo: | 421BF |
| N° Serie: | 1446216 | Voltaje: | 460 V | N° Serie: | 99-04290-1 |
| Diámetro: | 14 | Corriente: | 116 A | Caudal: | 28 lt/s |
| <i>CONTROLADOR DE PRESIÓN</i> | | <i>SENSOR DE NIVEL</i> | | <i>INDICADOR DE NIVEL</i> | |
| Cantidad: | 1 | Cantidad: | 1 | Cantidad: | 1 |
| Marca: | BROOKS | Tipo: | Flotador | Tipo: | Visor Plástico |
| Modelo: | M13-I023 | | | Escala: | en (m) |
| <i>ARRANCADOR DE MOTOR</i> | | | <i>SERVICIO ELÉCTRICO</i> | | |
| Cantidad: | 3 | # Fases: | 3 | | |
| Tipo: | Soft Start | Voltaje: | 110/220 V | | |
| Voltaje: | 460 V | Medidor: | | | |
| Corriente: | 240 A | Protección: | 4 x 50 A | | |
| <i>VÁLVULA DE ALTITUD</i> | | <i>TUBERÍAS</i> | | | |
| Marca: | ROSS | | Entrada | | 10 |
| Modelo: | 40AWRBP | | Salida | | 12 |
| N° Serie: | L00101 | | Desagüe | | 10 |
| Diámetro: | 6 | | | | |

Tabla 5. Ficha de Instrumentación del Tanque 12

Estado del Tanque 13

| <i>MEDIDOR DE FLUJO</i> | | <i>MOTORES</i> | | <i>BOMBAS</i> | |
|-------------------------------|------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------|
| Tipo: | Electromagnético | Cantidad: | Electromagnético | Tipo: | Electromagnético |
| Marca: | HAUSER | Marca: | World Motor | Marca: | Aurora Pumps |
| Modelo: | 33FH3H | Potencia: | 125 HP | Modelo: | 421BF |
| N° Serie: | 10 466990 | Voltaje: | 460 V | N° Serie: | 99-04290-3 |
| Diámetro: | 14 | Corriente: | 125 A | Caudal: | 28 lt/s |
| <i>CONTROLADOR DE PRESIÓN</i> | | <i>SENSOR DE NIVEL</i> | | <i>INDICADOR DE NIVEL</i> | |
| Cantidad: | 1 | Cantidad: | 1 | Cantidad: | 1 |
| Marca: | BROOKS | Tipo: | Flotador | Tipo: | Visor Plástico |
| Modelo: | M13-I023 | | | Escala: | en (m) |
| <i>ARRANCADOR DE MOTOR</i> | | | <i>SERVICIO ELÉCTRICO</i> | | |
| Cantidad: | 3 | # Fases: | 3 | | |
| Tipo: | Soft Start | Voltaje: | 110/220 V | | |
| Voltaje: | 460 V | Medidor: | | | |
| Corriente: | 240 A | Protección: | 4 x 50 A | | |
| <i>VÁLVULA DE ALTITUD</i> | | | <i>TUBERÍAS</i> | | |
| Marca: | ROSS | Entrada: | 10 | | |
| Modelo: | 40AWRBP | Salida: | 12 | | |
| N° Serie: | L00101 | Desagüe: | 10 | | |
| Diámetro: | 6 | | | | |

Tabla 6. Ficha de Instrumentación del Tanque 14

Estado del Tanque 14

| <i>MEDIDOR DE FLUJO</i> | | <i>MOTORES</i> | | <i>BOMBAS</i> | |
|-------------------------------|------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------|
| Tipo: | Electromagnético | Cantidad: | Electromagnético | Tipo: | Electromagnético |
| Marca: | HAUSER | Marca: | World Motor | Marca: | Aurora Pumps |
| Modelo: | 33FH3H | Potencia: | 125 HP | Modelo: | 421BF |
| N° Serie: | 10 466990 | Voltaje: | 460 V | N° Serie: | 99-04290-3 |
| Diámetro: | 14 | Corriente: | 125 A | Caudal: | 28 lt/s |
| <i>CONTROLADOR DE PRESIÓN</i> | | <i>SENSOR DE NIVEL</i> | | <i>INDICADOR DE NIVEL</i> | |
| Cantidad: | 1 | Cantidad: | 1 | Cantidad: | 1 |
| Marca: | BROOKS | Tipo: | Flotador | Tipo: | Visor Plástico |
| Modelo: | M13-I023 | | | Escala: | en (m) |
| <i>ARRANCADOR DE MOTOR</i> | | | <i>SERVICIO ELÉCTRICO</i> | | |
| Cantidad: | 3 | # Fases: | 3 | | |
| Tipo: | Soft Start | Voltaje: | 110/220 V | | |
| Voltaje: | 460 V | Medidor: | | | |
| Corriente: | 240 A | Protección: | 4 x 50 A | | |
| <i>VÁLVULA DE ALTITUD</i> | | | <i>TUBERÍAS</i> | | |
| Marca: | ROSS | Entrada: | 10 | | |
| Modelo: | 40AWRBP | Salida: | 12 | | |
| N° Serie: | L00101 | Desagüe: | 10 | | |
| Diámetro: | 6 | | | | |

Tabla 7. Ficha de Instrumentación del Tanque 14

Observaciones de los Tanques:

- Instalar válvula de altitud de 12'' modulante a la entrada del tanque.
- Instalar sensores de 4 – 20 mA
- Mantenimiento de las redes de control

Como se pudo observar tanto la estación de bombeo como los tanques requieren de adquirir sensores que soporten de 4 a 20 mA par conectarlo a interfaces de un autómatas. Y por otro lado no existe un buen mantenimiento en las redes de control.

Estado de la Estación de Chillogallo

Estación de bombeo de Chillogallo

| <i>MEDIDOR DE FLUJO</i> | | <i>MOTORES</i> | | <i>BOMBAS</i> | |
|-------------------------------|------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------|
| Tipo: | Electromagnético | Cantidad: | Electromagnético | Tipo: | Electromagnético |
| Marca: | HAUSER | Marca: | World Motor | Marca: | Aurora Pumps |
| Modelo: | 33FH7F | Potencia: | 200 HP | Modelo: | 421BF |
| N° Serie: | 10 465200 | Voltaje: | 460 V | N° Serie: | 99-04289-1 |
| Diámetro: | 16 | Corriente: | 240 A | Caudal: | 61 lt/s |
| <i>CONTROLADOR DE PRESIÓN</i> | | <i>SENSOR DE NIVEL</i> | | <i>INDICADOR DE NIVEL</i> | |
| Marca: | BROOKS | Tipo: | Flotador | Tipo: | Visor Plástico |
| Modelo: | M13-I023 | | | Escala: | en (m) |
| | | | | Valor máx: | 4m |
| <i>ARRANCADOR DE MOTOR</i> | | | <i>SERVICIO ELÉCTRICO</i> | | |
| Cantidad: | 3 | # Fases: | 3 | | |
| Tipo: | Soft Start | Voltaje: | 110/220 V | | |
| Voltaje: | 460 V | Medidor: | | | |
| Corriente: | 240 A | Protección: | 4 x 50 A | | |
| <i>ARRANCADOR DE MOTOR</i> | | | <i>TUBERÍAS</i> | | |
| Marca: | ROSS | Posición | | Diámetro (") | |
| Modelo: | 40AWRBP | Entrada | | 10 | |
| N° Serie: | 98782 | Salida | | 12 | |
| Diámetro: | 10 | Desagüe | | 10 | |

Tabla 8. Ficha de Instrumentación de Estación de Chillogallo

Observaciones

- Se recomienda el reemplazo de la válvula de altitud a la entrada del tanque.
- Se recomienda la instalación de sensores con salida de salida 4-20 mA

Estado del Tanque Mirador de Chillogallo

| <i>MEDIDOR DE FLUJO</i> | | <i>MOTORES</i> | | <i>BOMBAS</i> | |
|-------------------------------|------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------|
| Tipo: | Electromagnético | Tipo: | Electromagnético | Tipo: | Electromagnético |
| Marca: | HAUSER | Marca: | World Motor | Marca: | Aurora Pumps |
| Modelo: | 50W3F | Potencia: | 125 HP | Modelo: | 421BF |
| N° Serie: | 1446216 | Voltaje: | 460 V | N° Serie: | 99-04290-1 |
| Diámetro: | 14 | Corriente: | 116 A | Caudal: | 28 lt/s |
| <i>CONTROLADOR DE PRESIÓN</i> | | <i>SENSOR DE NIVEL</i> | | <i>INDICADOR DE NIVEL</i> | |
| Cantidad: | 1 | Cantidad: | 1 | Cantidad: | 1 |
| Marca: | BROOKS | Tipo: | Flotador | Tipo: | Visor Plástico |
| Modelo: | M13-I023 | | | Escala: | en (m) |
| <i>ARRANCADOR DE MOTOR</i> | | | <i>SERVICIO ELÉCTRICO</i> | | |
| Cantidad: | 3 | # Fases: | 3 | | |
| Tipo: | Soft Start | Voltaje: | 110/220 V | | |
| Voltaje: | 460 V | Medidor: | | | |
| Corriente: | 240 A | Protección: | 4 x 50 A | | |
| <i>VÁLVULA DE ALTITUD</i> | | | <i>TUBERÍAS</i> | | |
| Marca: | ROSS | Entrada | | 10 | |
| Modelo: | 40AWRBP | Salida | | 12 | |
| N° Serie: | L00101 | Desagüe | | 10 | |
| Diámetro: | 6 | | | | |

Tabla 9. Ficha de Instrumentación de Mirador de Chillogallo

El otro tanque está en proceso de construcción con la misma instrumentación que se muestra en la ficha anterior

Las Líneas de Distribución de Chillogallo y Guamaní, carecen de un sistema de automatización. Los tanque no disponen de un servicio eléctrico, y sus

instalaciones físicas tienen deficiente mantenimiento.

Existe un alto índice de delincuencia en la zona, lo cual ha provocado pérdida de equipos por robo, la seguridad de las instalaciones es insuficiente. Existe queja de los operarios por los sistemas de control de las válvulas de altitud, el sistema funciona con un control de piloto hidráulico, sin embargo existen muchas pérdidas por desborde de líquido en los tanques.

En las tablas de resumen de diagnóstico se puede observar que en la mayoría de las estaciones, existen los medidores de flujo instalados. La exanimación del nivel del tanque se la realiza de manera visual a través de unos indicadores adaptados con mangueras plásticas. Los reportes de nivel los realiza en el sitio de manera escrita.

Encuestas

Encuesta dirigida a:

Operarios y Personal de Mantenimiento

Control de Operación

Pregunta 4.1.

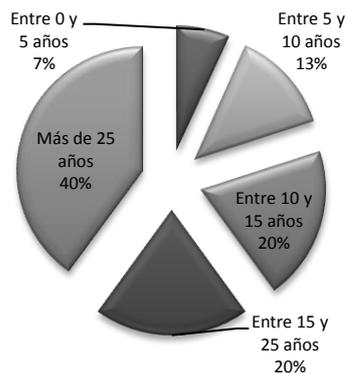
Indique en porcentaje, la edad de la maquinaria o de los equipos productivos

- Entre 0 y 5 años.
- Entre 5 y 10 años
- Entre 15 y 25 años
- Más de 25 años

| Opciones | Frecuencia | Porcentaje |
|--------------------|------------|-------------|
| Entre 0 y 5 años | 1 | 7% |
| Entre 5 y 10 años | 2 | 13% |
| Entre 10 y 15 años | 3 | 20% |
| Entre 15 y 25 años | 3 | 20% |
| Más de 25 años | 6 | 40% |
| TOTAL | 15 | 100% |

Tabla 10. Edad de la maquinaria

Elaborado por: Investigador



Gráfica 31. Edad de la maquinaria

Análisis e Interpretación de la Edad de la Maquinaria

La maquinaria propuesta tiene un promedio de 10 a 25 años en un 20%; lo que indica que su vida útil sigue disminuyendo y no de acorde a la tecnología. La operación y el mantenimiento con el pasar de los años la vida útil de la maquinaria disminuye lo que provoca fallas tardías. El hecho de los cambios periódicos de repuestos y al no contar con el respaldo económico provoca fallas de adultas también.

Pregunta 4.2:

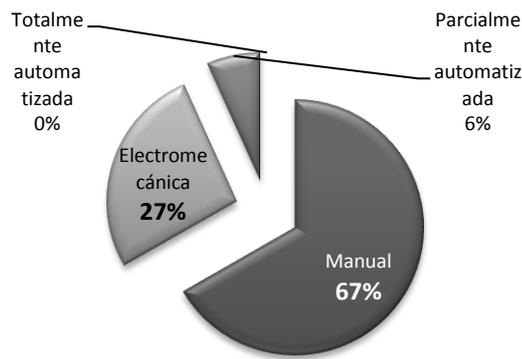
¿En sus procesos productivos, qué tipo de tecnología es la que más utiliza?

- Manual
- Electromecánica
- Parcialmente automatizada
- Totalmente automatizada

| Opciones | Frecuencia | Porcentaje |
|---------------------------|------------|-------------|
| Manual | 10 | 67% |
| Electromecánica | 4 | 27% |
| Parcialmente automatizada | 1 | 7% |
| Totalmente automatizada | 0 | 0% |
| TOTAL | 15 | 100% |

Tabla 11. Tecnología utilizada

Elaborado por: Investigador



Gráfica 32. Tecnología usada

Análisis e Interpretación de la Tecnología utilizada

El control de operación de la maquinaria es manual en un 67% y electromecánica en un 27% de tal forma que no se encuentra automatizado las operaciones. Las fallas humanas son altas dado el tiempo de respuesta del sistema con la acción a tomar lo que no garantiza una producción con calidad, seguridad y rentabilidad.

Pregunta 4.3.

¿La información en la gestión de recolección de datos y comunicaciones es manejada principalmente por medio de?

- Un sistema informático
- Un sistema de información manual
- Contratación o consultas con terceros

| Opciones | Frecuencia | Porcentaje |
|---------------------------------------|------------|-------------|
| Un sistema informático | 1 | 7% |
| Un sistema de información manual | 13 | 87% |
| Contratación o consultas con terceros | 1 | 7% |
| TOTAL | 15 | 100% |

Tabla 12. Recolección de la información

Elaborado por: Investigador



Gráfica 33. Recolección de la información

Análisis e Interpretación de la Recolección de la Información

El sistema de información manual abarca un 87% lo que nos indica que los tiempos de la información procesada por la gestión de mantenimiento es débil ya que sigue un proceso manual; lo que conlleva a errores y tiempo de espera alto en caso de alguna avería que solo se la notará con el tiempo

Pregunta 4.4.

¿Existen controles sobre las variables críticas (sensores y actuadores) del sistema de la estación de bombeo y de los tanques?

- En la mayoría de equipos
- En pocos equipos
- En ninguno

| Opciones | Frecuencia | Porcentaje |
|--------------------------|------------|-------------|
| En la mayoría de equipos | 3 | 20% |
| En pocos equipos | 12 | 80% |
| En ninguno | 0 | 0% |
| TOTAL | 15 | 100% |

Tabla 13. Variables Críticas

Elaborado por: Investigador



Gráfica 34. Variables críticas

Análisis e Interpretación de resultados de Variables críticas

No están las variables de control con sensores como se verifica en un 93%. No existen instrumentos que muestren el funcionamiento en tiempo real de cada uno de los equipos para ver su funcionamiento. La comunicación de los equipos dentro de una red es de vital importancia. Si una bomba no funciona correctamente y no existe un indicador; el riesgo viene para toda la red.

Pregunta 4.5.

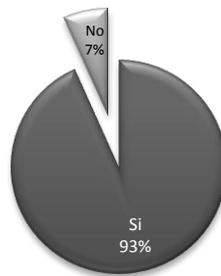
¿Es fiable la red operando en modo manual? Indique el porcentaje

- 25% 50% 75% 100%

| Opciones | Frecuencia | Porcentaje |
|--------------|------------|-------------|
| 25% | 8 | 53% |
| 50% | 5 | 33% |
| 75% | 2 | 13% |
| 100% | 0 | 0% |
| TOTAL | 15 | 100% |

Tabla 14. Eficiencia Operación Manual

Elaborado por: Investigador



Gráfica 35. Eficiencia Operación Manual

Análisis e Interpretación de la Eficiencia de la Operación Manual

Se considera la eficiencia de la operación manual en un 25%, lo que indica que no existe una comunicación efectiva dentro del modo manual ya que el proceso de comunicaciones funciona a la mitad, cuando se espera una comunicación efectiva para tomar decisiones en tiempo real protegiendo la maquinaria y accidentes industriales.

Pregunta 4.6

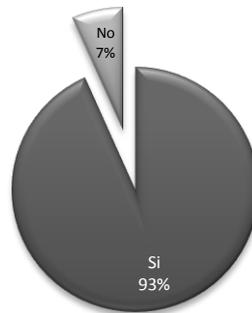
¿Se puede interpretar el funcionamiento en tiempo real de cada dispositivo que funciona dentro de la red (bombas, válvulas, entre otros)?

- Si
- No

| Opciones | Frecuencia | Porcentaje |
|--------------|------------|-------------|
| Si | 2 | 13% |
| No | 13 | 87% |
| TOTAL | 15 | 100% |

Tabla 15. Tiempo Real

Elaborado por: Investigador



Gráfica 36. Tiempo real

Análisis e Interpretación en cuanto al tiempo real

El rendimiento de los equipos no puede ser leído en un tiempo real lo cual se confirma en un 93%. Es necesario que los equipos deban ser leídos constantemente. No existen lecturas adecuadas del funcionamiento de los equipos dado que no existe un equipo que denote el funcionamiento del equipo lo que provoca un tiempo de espera alto para comunicar las fallas tempranamente en el

equipo. Es alto el porcentaje de los equipos que no tienen sensores que detecten las fallas de los equipos a tiempo.

Pregunta 4.7

¿Se realizan estadísticas sobre los reportes históricos de los tiempos para la apertura y cierre de válvulas?

Si

No

| Opciones | Frecuencia | Porcentaje |
|--------------|------------|-------------|
| Si | 14 | 93% |
| No | 1 | 7% |
| TOTAL | 15 | 100% |

Tabla 16. Estadísticas de históricos

Elaborado por: Investigador



Gráfica 37. Estadística de los históricos

Análisis e Interpretación de las Estadísticas de los Históricos

No se lleva un reporte estadístico lo que nos confirma en un 93% de los tiempos de respuesta para verificar donde está el problema de comunicación. Los reportes son históricos y manuales y muchas veces los operarios se basan en su experiencia sin verificar que el sistema funciones correctamente lo que provoca el desbordamiento de los tanques.

Pregunta 4.8

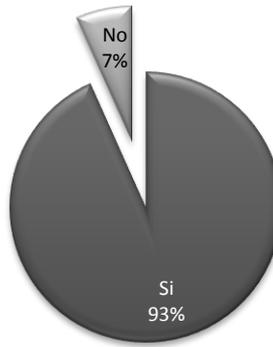
¿Es necesario utilizar un sistema automático para mejorar la red?

Si No

| Opciones | Frecuencia | Porcentaje |
|--------------|------------|-------------|
| Si | 14 | 93% |
| No | 1 | 7% |
| TOTAL | 15 | 100% |

Tabla 17. Mejor control manual

Elaborado por: Investigador



Gráfica 38. Mejor control manual

Análisis e Interpretación para mejorar el control manual

La mayoría de operarios está de acuerdo con mejorar el sistema de comunicaciones y lo solicita en un 93%. Los operarios sugieren automatizar el proceso para que la comunicación sea efectiva y se evite el proceso de mantenimiento correctivo y esperar que el sistema caiga para buscar una solución adecuada o fiable.

Pregunta 4.9

¿Considera que el control de procesos en cuanto a comunicaciones es?

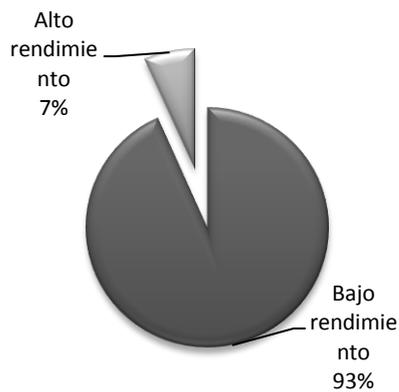
Alto rendimiento

Bajo rendimiento

| Opciones | Frecuencia | Porcentaje |
|------------------|------------|-------------|
| Alto rendimiento | 1 | 7% |
| Bajo rendimiento | 14 | 93% |
| TOTAL | 15 | 100% |

Tabla 18. Control de procesos

Elaborado por: Investigador



Gráfica 39. Control de procesos

Análisis e Interpretación del Control de Procesos

El sistema de comunicaciones tiene un bajo rendimiento en un 93%; debido a que cuando se presenta alguna eventualidad de daño de equipos en la planta, el personal de la UMED muchas veces no alcanza a cubrir toda el área. Al no existir sensorica no es posible ver el rendimiento total del equipo y verificar fallas.

Pregunta 4.10

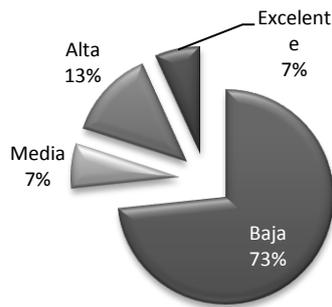
La comunicación con la UMED (mantenimiento) es efectiva ¿En qué porcentaje?

- Baja
- Media
- Alta
- Excelente

| Opciones | Frecuencia | Porcentaje |
|--------------|------------|-------------|
| Baja | 11 | 73% |
| Media | 1 | 7% |
| Alta | 2 | 13% |
| Excelente | 1 | 7% |
| TOTAL | 15 | 100% |

Tabla 19. Comunicación con la UMED

Elaborado por: Investigador



Gráfica 40. Comunicación con la UMED

Análisis e Interpretación de la Comunicación con la UMED

Las comunicaciones son lentas lo que confirma en un 73%. Cuando es necesario la ayuda oportuna con el personal de mantenimiento de la UMED, ya que cubrir toda una zona como es Quito no abastece a cumplir dicho mantenimiento. El mantenimiento es de tipo correctivo

Pregunta 4.11

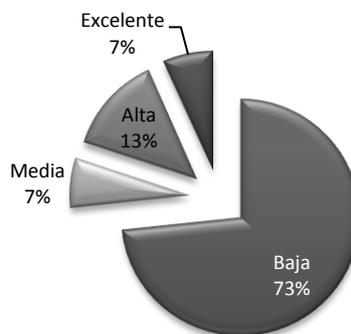
La comunicación con la UMED (mantenimiento) es efectiva ¿En qué porcentaje?

Baja Media Alta Excelente

| Opciones | Frecuencia | Porcentaje |
|--------------|------------|-------------|
| Baja | 11 | 73% |
| Media | 1 | 7% |
| Alta | 2 | 13% |
| Excelente | 1 | 7% |
| TOTAL | 15 | 100% |

Tabla 20. Comunicación con la UMED

Elaborado por: Investigador



Gráfica 41. Comunicación con la UMED

Análisis e Interpretación con la Comunicación con la UMED

La comunicación se considera baja dado el un porcentaje del 73% que es completamente mayoritario. Las comunicaciones son lentas cuando es necesario la ayuda oportuna con el personal de mantenimiento de la UMED, ya que cubrir toda una zona como es Quito no abastece a cumplir dicho mantenimiento. Aparte que la UMED solo se la llama cuando el mantenimiento es correctivo.

Pregunta 4.12

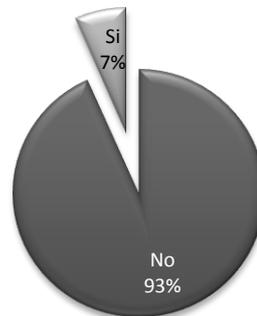
Los tiempos de respuesta son rápido en cuanto al envío y recepción de información y decisiones? ¿Están en tiempos oportunos?

Si No

| Opciones | Frecuencia | Porcentaje |
|--------------|------------|-------------|
| Si | 1 | 7% |
| No | 14 | 93% |
| TOTAL | 15 | 100% |

Tabla 21. Tiempos de respuesta

Elaborado por: Investigador



Gráfica 42. Tiempos de respuesta

Análisis e Interpretación de los Tiempos de Respuesta

Los tiempos de respuesta en cuanto al envío y recepción no son rápidos nos detalla la estadística en un 93%; lo cual dificulta el tomar las decisiones. La comunicación es importante sobre un sistema.

Entrevista

Entrevista Dirigida a:

Ing. Wilson Oña

Pregunta 1:

¿Existe retroalimentación de la información en las estaciones remotas del tramo Mica Quito Sur hacia Chillogallo y Guamaní?

Transcripción de la respuesta

No. Existe un modo de control es manual y en lazo abierto.

Interpretación:

No existe un control en lazo cerrado en las estaciones remotas del tramo Mica Quito Sur hacia Chillogallo y Guamaní.

Pregunta 2:

¿Los procesos coordinados contienen variables para la lectura de datos en forma correcta?

Transcripción de la respuesta

No. Los procesos de lecturas de datos no contienen variables dentro del proceso de bombeo de agua. Solamente es una información a posibles horas que el operario ya conoce por experiencia

Interpretación:

El proceso de lectura de datos no es una variable dentro del proceso de bombeo de agua.

Pregunta 3:

¿Se tiene una coordinación adecuada en el proceso de bombeo en las estaciones remotas? ¿Cuál es el proceso?

Transcripción de la respuesta

La coordinación va desde los tanques hacia la estación de bombeo mediante llamadas. El operario más o menos calcula los tiempos del depósito de los tanques hasta avisar al otro operario en la estación de bombeo para la apertura o cierre de válvulas.

Interpretación:

El control de operación es manual sin ninguna regulación generando desperdicios.

Pregunta 4:

¿El nivel de desperdicio de agua en este tramo es alto o bajo en el momento de ejecutar el proceso de bombeo?

Transcripción de la respuesta

En este tramo debido a la falta de recursos existe un 30% de desperdicio de agua.

Interpretación:

Se genera desperdicios de agua debido a un control de operación manual y en lazo abierto.

Pregunta 5:

¿Se realiza un mantenimiento preventivo que garantice la calidad, seguridad y rentabilidad? ¿Qué tipo de mantenimiento? ¿Con qué frecuencia?

Transcripción de la respuesta

Más que un mantenimiento preventivo se realiza un mantenimiento correctivo, dada la falta de recursos.

Interpretación:

El mantenimiento es correctivo; es decir cuando existen fallas maduras; ya que el mantenimiento preventivo es muy costoso.

Pregunta 6:

¿Los recursos e insumos están sincronizados para contribuir a un funcionamiento adecuado? ¿La maquinaria es adecuada para un uso efectivo en la estación de bombeo?

Transcripción de la respuesta

La palabra efectivo hace referencia a una retroalimentación, para este tramo los recursos e insumos no están sincronizados.

Interpretación:

No existe un sistema automático en lazo cerrado en la estación de bombeo.

Pregunta 7:

¿Para tomar una decisión cuando existe fallas en cualquier estación remotas se la toma en forma objetiva o subjetiva? ¿Por qué?

Transcripción de la respuesta

Todo depende de las circunstancias. Es mejor trabajar en forma objetiva contando con todo el personal.

Interpretación:

Todo el personal trabaja en equipo y de forma objetiva

Pregunta 8:

¿Con datos reales y en tiempo real se toman decisiones para seleccionar la mejor alternativa?

Transcripción de la respuesta

No, los tramos que aún no han alcanzado datos en tiempo real; es difícil tomar un mejor alternativa, ya que muchas veces los errores humanos tienden a desestabilizar el sistema.

Interpretación:

Los datos reales tienden a seleccionar la mejor alternativa.

Pregunta 9:

¿Se analiza y evalúa las alternativas de acuerdo a la meta deseada (setpoint = niveles de los tanques sin desbordes)?

Transcripción de la respuesta

Si; se trata de llegar al set point con el menor error posible pero siempre existen fallas como el desperdicio de agua.

Interpretación:

Si existen desbordes y desperdicios de agua ya que el margen de error de los setpoints son altos.

Pregunta 10:

¿El margen de error es alto o bajo tomando en cuenta los desperdicios semanales?

Transcripción de la respuesta

Si; por el momento son altos y también debido a que mucho de los equipos ya tienen su vida útil por finalizar.

Interpretación:

Si existen errores semanales.

Diagnóstico y Solución

De acuerdo al análisis crítico se muestra la siguiente tabla con los resultados que detallan los resultados de las observaciones, encuestas y entrevistas:

| Variable Investigada | Problema | Solución |
|-----------------------------|--|---|
| Medición | <ul style="list-style-type: none"> - Los equipos de medición son obsoletos - Los errores en la transcripción de los datos de reportes - Históricos dados en reportes no digitales | <ul style="list-style-type: none"> - Realizar un reporte digital de los históricos - Realizar estadísticas para verificación de fallas - Retroalimentar la información para mejorar el proceso |
| Personas | <ul style="list-style-type: none"> - Existe poco personal en la UMED para cubrir el mantenimiento total de la zona - El personal no esta capacitado para un proceso industrial automático - Existen pocos evaluadores para realizar un estudio detallado de toda la zona | <ul style="list-style-type: none"> - Capacitar el personal en cuanto a un proceso automático. - Validar los procesos y daños de forma automática |
| Maquinaria | <ul style="list-style-type: none"> - Los equipos están por terminar su vida útil - No existen indicadores sobre la maquinaria - No existe una comunicación eficiente de la planta con las centrales y subcentrales - Existen torres de alta tensión en la central de Chillogallo y Guamaní | <ul style="list-style-type: none"> - Deben cambiarse los equipos obsoletos - Debe existir una red sensorica - Debe existir un control automático y manual - Debe existir un control en lazo cerrado - La radiofrecuencia para transmitir datos son bajas y con la torre de alta tensión no es posible transmitir es mejor ver otro medio de transmisión. |
| Mantenimiento | <ul style="list-style-type: none"> - Poco personal - Mantenimiento correctivo | <ul style="list-style-type: none"> - Se debe realizar un mantenimiento preventivo - Se debe implementar un sistema que integre la planta con las centrales para avisar fallas tempranas y dar un mantenimiento adecuado. - La comunicación debe ser rápida donde los tiempos de espera sean bajos y de respuesta rápidos. |

Tabla 22. Resumen del Diagnóstico de la Red

De acuerdo a la Tabla 4.19 es necesario crear un sistema de comunicaciones industriales para mejorar el control de operación y de esta manera tomar acertadamente las decisiones. Como se puede observar todos los parámetros requieren de tecnología; por lo que sería bueno implementar un sistema integral tanto en software como en hardware para comunicar toda la red tanto de plantas como centrales y también obtener registros históricos de las mismas de una manera automática. Con sensores sobre las variables de control, detallarán el funcionamiento de los equipos y se puede evitar los daños correctivos sobre la maquinaria.

Un sistema integral abarca todos los problemas que se han encontrado en este tramo. La solución es ofrecer una red de tipo industrial. Donde todas las variables de control sean leídas a través de un controlador lógico de alto nivel como hoy en día son los autómatas programables.

Es necesario realizar un sistema distribuido por la conexión a centrales y subcentrales. La responsabilidad debe de ser repartida entre diferentes controladores. Dado que el funcionamiento de Guamaní y Chillogallo son diferentes se debe de realizar con dos diferente autómatas.

Dado que el incremento de la población también puede incrementar el número de equipos los mismos que deben de estar programados y con un funcionamiento correcto, integrando la red de comunicaciones de los demás controladores.

Se puede partir de un sistema básico e ir ampliando a medida que el sistema lo exija, añadiendo módulos u otros controladores. Es necesario adquirir un sistema modular que permita la integración de dispositivos de diferentes fabricantes comunicables entres sí.

De esta manera las comunicaciones dentro del control de operación es la solución factible para mejorar la toma de decisiones en tiempo real y de esta manera detallar el rendimiento de cada equipo y en sí de la red.

Verificación de la Hipótesis

Ho Hipótesis Nula

Ha Hipótesis Alternativa

Hipótesis Nula

El control de Operación del Sistema de Agua Potable de la EMAAPQ en el tramo de la Central Mica Quito Sur hacia Chillogallo y Guamaní no mejorará la toma de decisiones (en cuanto a tiempos de comunicación)

Hipótesis Alternativa

El control de Operación del Sistema de Agua Potable de la EMAAPQ en el tramo de la Central Mica Quito Sur hacia Chillogallo y Guamaní no mejorará la toma de decisiones (en cuanto a tiempos de comunicación)

De los datos recolectados se obtiene de observaciones que se tomaron para mostrar tomando como medida el tiempo de comunicación en segundo como se detalla en la tabla. Luego los datos se recolectaron después de configurar bajo S7-300.

| <i>Observaciones</i> | <i>Comunicaciones</i> | <i>Tradicional</i> | <i>Automático</i> | <i>Diferencia, d</i> | <i>d-d'</i> | <i>(d-d')²</i> |
|----------------------|---------------------------------|--------------------|-------------------|----------------------|----------------|---------------------------|
| 1 | Tanque 1 - Estación Guamaní | 30 | 0,005 | 29,995 | -10,900 | 118,810 |
| 2 | Tanque 2 - Estación Guamaní | 50 | 0,004 | 49,996 | 9,101 | 82,828 |
| 3 | Tanque 3 - Estación Guamaní | 45 | 0,004 | 44,996 | 4,101 | 16,818 |
| 4 | Tanque 1 - Estación Chillogallo | 30 | 0,004 | 29,996 | -10,899 | 118,788 |
| 5 | Tanque 2 - Estación Chillogallo | 30 | 0,005 | 29,995 | -10,900 | 118,810 |
| 6 | Chillogallo - MiCA | 45 | 0,003 | 44,997 | 4,102 | 16,826 |
| 7 | Guamaní - Mica | 44 | 0,005 | 43,995 | 3,100 | 9,610 |
| 8 | Chillogallo - UMED | 50 | 0,007 | 49,993 | 9,098 | 82,774 |
| 9 | Guamaní - UMEd | 55 | 0,008 | 54,992 | 14,097 | 198,725 |
| 10 | MICA - UMED | 30 | 0,005 | 29,995 | -10,900 | 118,810 |
| Sumatorias | | | | 408,95 | 368,055 | 135464,483 |

Tabla 23. Comprobación de Hipótesis

d' 40,90

Sd 122,69

T 1,05

Dado que se quiere estudiar bajo un 95% de confianza y al trabajar con 10 combinaciones lo que indica 9 grados de libertad y dada la distribución t se obtiene que será rechazada la hipótesis nula si el valor que resulte en t se halla en los límites entre los intervalos -2,262 y 2,262.

Por lo tanto dado que t resulta en 1,05 se denota que se rechaza la hipótesis nula y se aprueba la alternativa.

“El control de Operación del Sistema de Agua Potable de la EMAAPQ en el tramo de la Central Mica Quito Sur hacia Chillogallo y Guamaní no mejorará la toma de decisiones (en cuanto a tiempos de comunicación)”

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- De acuerdo a las visitas de campo realizadas y evaluando la situación actual de las líneas de distribución y comunicación con la central y subcentral; se observó que el control de operación se realiza de forma manual en la mayoría de los casos, por lo que se concluye que un sistema de comunicaciones y de automatización, es necesario con el fin de optimizar el control de operaciones para tomar decisiones en tiempo real.
- La situación actual denota que para la toma de decisiones sólo se cuenta con la experiencia del personal que ha operado la red durante años. Además existen pérdidas de volumen por: fugas de agua en almacenamiento, mal estado de las tuberías, ausencia de infraestructura en sistemas de monitoreo y control de presiones, falta de estrategias de operación automatizadas, ausencia de catastros confiables, falta de herramientas que permitan analizar y/o predecir el comportamiento de la red en tiempo real.
- El control de operación manual produce la necesidad de inspecciones de campo continuas, cambiar parámetros en las estaciones remotas de forma manual, siendo los procesos lentos y complicados y no agiliza la toma de decisiones.
- El atraso tecnológico y deficiente manejo operativo es debido entre otras razones, a la baja disposición de pago de los usuarios, a un endeudamiento excesivo de algunos organismos, a una rigidez en los esquemas de

autorización de tarifas y a un bajo nivel tarifario. Se han hecho esfuerzos por evitar pérdidas excesivas y aumentar el tiempo de vida media de los elementos de la red sin mucho éxito.

Recomendaciones

- Una solución eficaz vendría a ser un sistema de comunicación industrial permiten contribuir en el uso sostenible de los mismos, la mejora en el abastecimiento de agua potable a los consumidores con niveles de calidad y presión adecuados, detectando y minimizando las fugas de las redes de distribución de agua potable. El creciente uso de la tecnología para gestionar eficientemente estos sistemas contribuye, en gran medida, a poder alcanzar objetivos de tipo medioambiental, económico y social.
- El desarrollo de un sistema de comunicaciones solo se enfoca al sector de Guamaní y Chillogallo hacia la Mica Quito Sur, que viene a ser la subcentral de monitoreo hacia el sur. Para el sistema de red, control, instrumentación, su requerimiento debe ir de acorde con la tecnología y crecimiento futura. Es necesario establecer una central de comunicaciones hacia donde se enfoquen todos los datos y manipular desde la central o subcentral los datos. Debe existir una conexión entre el bloque de planta y el de los administrativos. De esta manera se supervisa la red y las operaciones a nivel de planta y administrativo para tomar decisiones en tiempo real.
- La arquitectura de una red de comunicaciones industriales se debe de elegir de acuerdo al estudio de alternativas de medios de transmisión, con una arquitectura de bus en la planta y estrella con las centrales y subcentrales. El medio de conexión física a nivel debe ser de tipo bus para evitar el cableado de los sistemas de sensórica a través de una red industrial. El proceso de cada estación de bombeo es independiente dado que no manejan el mismo número de tanques, ni procesos; por lo que es necesario utilizar un autómata programable para cada una de las estaciones de bombeo y que los datos sean enviados a la subcentral de la Mica Quito Sur, y desde allí a la UMED. Las

velocidades de transmisión deben de ser altas para transportar la información de las variables críticas en tiempo real al bloque administrativo para que las decisiones sean inmediatas.

- Para la elaboración del análisis de costos se debe considerar las proformas de proveedores que incluyen técnicas de los equipos que se acoplen a los requerimientos del proyecto. Se debe analizar los resultados de la evaluación financiera, en base a los índices económicos, para que el proyecto planteado sea factible y rentable.

CAPITULO VI

Propuesta

“Diseño de una red industrial en el tramo de la central Mica Quito Sur hacia Chillogallo y Guamaní para el monitoreo de Estaciones de Bombeo de Agua“

Es necesario diseñar una red en planta donde todas las variables críticas sean leídas con rapidez a través de sensores que deben ser conectados en una red industrial de planta para luego interconectarla con la administrativa. Para ello la utilización de los protocolos y seguridades son las que se detallan en el estudio que se muestra a continuación.

Análisis de Factibilidad

| CANTIDAD | DESCRIPCION | P. UNITARIO | TOTAL |
|----------|--|--------------|-----------------|
| 4 | Sensor de nivel Usonic US-XX | 1092 | 4368 |
| 4 | Sensor de flujo AXFA11G | 997,95 | 3.991,80 |
| 4 | Sensor de presion EJX510A | 175 | 700 |
| 1 | Switch scalance X 324-12m | 900 | 900 |
| 1 | IM 153-2FO | 150 | 150 |
| 1 | PC | 1000 | 1000 |
| 1 | router Siemens se5940 5940 T1 Business Gateway | 583,62 | 583,62 |
| 1 | Siemens Se5954 (120-5954-003) Firewall | 884,99 | 884,99 |
| | | TOTAL | 12578,41 |

Tabla 24. Costos de equipos para la Estación de Chillogallo

| CANTIDAD | DESCRIPCION | P. UNITARIO | TOTAL |
|----------|--|--------------|-----------------|
| 6 | Sensor de nivel Usonic US-XX | 1092 | 6552 |
| 6 | Sensor de flujo AXFA11G | 997,95 | 5987,7 |
| 6 | Sensor de presion EJX510A | 175 | 1050 |
| 1 | IM 153-2FO | 150 | 150 |
| 1 | PC | 1000 | 1000 |
| 1 | router Siemens se5940 5940 T1 Business Gateway | 583,62 | 583,62 |
| 1 | Siemens Se5954 (120-5954-003) Firewall | 884,99 | 884,99 |
| | | TOTAL | 16208,31 |

Tabla 25. Costos de equipos para la Estación de Guamaní

| CANTIDAD | DESCRIPCION | P. UNITARIO | TOTAL |
|----------|---|-------------|-----------------|
| 1 | Servidores Hewlett-Packard Rackeable DL585.- 4U | 13930 | 13930 |
| 1 | PC | 1000 | 1000 |
| 1 | router Siemens se5940 5940 T1 Business Gateway | 583,62 | 583,62 |
| 1 | Siemens Se5954 (120-5954-003) Firewall | 884,99 | 884,99 |
| | TOTAL | | 16398,61 |

Tabla 26. Costos de equipos para la Mica Quito Sur

| CANTIDAD | DESCRIPCION | P. UNITARIO | TOTAL |
|----------|---|-------------|-----------------|
| 1 | Servidores Hewlett-Packard Rackeable DL585.- 4U | 13930 | 13930 |
| 1 | PC | 1000 | 1000 |
| 1 | router Siemens se5940 5940 T1 Business Gateway | 583,62 | 583,62 |
| 1 | Siemens Se5954 (120-5954-003) Firewall | 884,99 | 884,99 |
| | TOTAL | | 16398,61 |

Tabla 27. Costos de equipos para la UMED

| | |
|-----------------------------------|-----------------|
| Estación de bombeo "Chillo Gallo" | 12578,41 |
| Estación de bombeo "Guamaní" | 16208,31 |
| Subcentral Quito Mica sur | 16398,61 |
| UMED | 16398,61 |
| TOTAL | 61583,94 |

Tabla 28. Costos Totales de los Equipos para la red

Tomando en cuenta los siguientes datos del país tenemos:

| | |
|---------------------------------------|-------------|
| Riesgo País | 10,50% |
| Tasa Renta Fija | 4,00% |
| Tasa de Recuperación de una Inversión | 14,50% |
| Tasa Mensual | 1,21% |
| Factor de Valor actual (mensual) | 0,749565252 |
| Valor Actual de Flujo | 40308,5 |
| Flujo de Caja Acumulados | 69653,96 |

Tabla 29. Porcentajes de Tasas de Ecuador al 2011

| | |
|----------------------------------|--------------|
| COSTO DE LA INVERSION | 61583,94 |
| VALOR ACTUAL NETO | \$ 30.848,21 |
| TIR (tasa mensual) | 2% |
| Tasa de Descuento (mensual) | 1,21% |
| Es RENTABLE? | SI |
| RELACION BENEFICIO / COSTO (B/C) | 1,131040982 |

Tabla 30. Tabla costo beneficio de la Red Industrial

Al final de este tiempo se obtiene un valor actualizado de los costos totales. Al comparar con los costos totales de inversión se obtiene el Valor Actual Neto. Se obtiene también en el recuadro inferior, el valor de índices o indicadores económicos como son: el TIR, Relación Costo Beneficio, cuyo significado y resultados se explican a continuación.

El VAN (Valor Actual Neto) representa la diferencia aritmética entre el valor actual de flujo y los costos de la inversión. Dentro de período analizado si la diferencia es positiva significa que el proyecto es atractivo, mientras más alto sea su valor, más rentable se vuelve un proyecto. Para este caso en el período de dos años se tiene un valor positivo de USD 30.848,21

El TIR (Tasa Interna de Retorno) es un indicador de la rentabilidad o no que tiene el proyecto, está expresado en porcentaje y equivale la tasa de interés, a la cual se permite que el Valor Actual de Flujo sea igual al valor del Costo de la Inversión.

Es decir la tasa de interés a la cual el VAN es igual a cero. El proyecto será rentable si el TIR es mayor que la tasa de descuento utilizada en la inversión.

La tasa utilizada en la inversión, es la tasa de interés mínima para la cual el inversionista necesita recuperar su inversión, y es igual a la suma del Riesgo País más la Tasa de Renta Fija, en este caso por ser períodos mensuales, el total se divide para 12.

La Relación Beneficio/Costo (B/C) se obtiene de la división entre el Valor Actual de Flujo y los Costos Totales de la Inversión. El resultado obtenido puede ser mayor que uno, igual a uno o menor a uno.

Un resultado mayor a uno implica que el proyecto es atractivo, ya que demuestra que los beneficios son mayores que los costos. Un resultado menor a uno implica lo contrario, por tanto el proyecto no resulta rentable y no es conveniente su ejecución. Por último un resultado igual a uno, significa que los beneficios son iguales a los costos, sugiriendo que el proyecto no es bueno ni malo.

De todo lo señalado anteriormente se puede concluir que el proyecto planteado es factible y rentable, pues se obtiene un VAN positivo, el TIR es mayor que la tasa de descuento empleada y el B/C es mayor que uno.

Justificación

En vista de que las comunicaciones son de bajo desarrollo tecnológico mostrado dentro del Distrito Sur, en las plantas de Chillogallo y Guamaní, puesto que la mayoría de procesos realizados son de forma manual, no muestran evolución lo que trae como consecuencia pérdidas de tiempo, agua y factores económicos.

Razón por la cual, se procederá a diseñar un plan capaz de automatizar estos procesos gracias al uso eficaz de una red de tipo industrial a través de Industrial Ethernet la cuál abarca sensores, módulos, autómatas entre otros; de tal forma que constituirá un ahorro de tiempo, y principalmente de agua brindando un mejor servicio para la población del Sur de Quito y mayor tranquilidad para los operarios de la empresa.

Un sistema de comunicaciones industriales y el proceso de automatización en cuanto a nivel de planta y de estaciones de bombeo presenta muchas ventajas como las que se detallan a continuación.

Optimización de la calidad del proceso

La condición imprescindible para trabajar con éxito en el sector del agua potable es contar con un proceso de primera calidad. Las condiciones perfectas para ello las ofrece un autómata programable con SIMATIC S/300. Este innovador sistema de control distribuido supervisa todos los procesos de la planta y permite una gestión eficiente de la explotación de la misma. Los procesos diseminados o en plantas remotas, como estaciones de bombeo, se pueden controlar con máxima eficiencia mediante estaciones de trabajo a nivel industrial que son conectados a

los sensores y que integran todos los procesos de la planta, de forma que permite gestionar los recursos de una forma uniforme.

Reducción de los costes de ciclo de vida

Con una red de comunicación industrial presenta un sinnúmero de ventajas desde la fase de ingeniería de detalle y la implementación de las primeras etapas. Así por ejemplo, la integración única y el software basado en estándares internacionales reduce los requerimientos de interfaz al mínimo.

Además, las soluciones se adaptan a las necesidades y requisitos específicos de cada aplicación. Con ello se elimina el riesgo de sobredimensionar o infra dimensionar una instalación. Como los componentes de hardware y software en uso están sujetos a ciclos de innovación diferentes, se puede migrar total o parcialmente lo que protegen la inversión realizada.

Sostenibilidad

Con la red de tipo industrial se contribuyen activamente a proteger el medio ambiente, con una reducción significativa de las emisiones de CO₂, tanto al propietario de la planta, al integrador, a la ingeniería como al fabricante de maquinaria, y mejorando a lo largo de toda la vida útil de una planta.

Diseño e ingeniería

Una serie de herramientas inteligentes ayudan a seleccionar los componentes idóneos y el óptimo diseño de las instalaciones, aportando así el máximo de seguridad posible al proyecto. Una ingeniería homogénea orientada al sistema reduce al mínimo el esfuerzo de implementación y puesta en marcha. Las soluciones de comunicaciones industriales se pueden realizar así de una manera considerablemente más rápidas, seguras y económicas.

El uso consecuente de estándares establecidos, como PROFINET, para las comunicaciones en toda la planta reducen al mínimo el número de interfaces,

simplificando la instalación y la puesta en servicio. Ello permite implementar hasta las plantas más complejas con un esfuerzo muy pequeño.

Operación

Las comunicaciones integradas confieren transparencia al funcionamiento de toda la planta. En consecuencia, los operadores tienen la oportunidad de responder de un modo mucho más rápido y flexible a las fluctuaciones de la demanda y llevar a la práctica esquemas de diagnóstico sumamente efectivos. De esta manera se minimizan las paradas imprevistas. La integración implica: operación uniforme para todas las plantas, independientemente de que sea a través de un sistema de control o bien desde un panel de mando.

Mantenimiento

El mantenimiento preventivo permite identificar, analizar y suprimir más rápido las fuentes latentes de fallo, incluso usando mantenimiento remoto. Muchos de nuestros sistemas permiten sustituir módulos sin interrumpir el servicio.

Modernización y ampliación

Las instalaciones existentes son fáciles de adaptar a nuevos requerimientos, a menudo sin necesidad de interrumpir su funcionamiento. El continuo desarrollo de productos y sistemas garantiza sin falta una gran seguridad a la inversión, evitando discontinuidades innecesarias en el sistema.

Objetivos

Objetivo General:

- Realizar el estudio de una red para el control de operación en la planta (Estaciones de Bombeo de Chillogallo y Guamaní y sus tanques) capaz de integrar a través de autómatas programables con las centrales y subcentrales (Mica Quito Sur y UMED) distribuidas a gran distancia para mejorar toma de decisiones

Objetivo Específico

- Analizar las estaciones remotas de Guamaní y Chillogallo con la red sensórica a utilizar.

- Diseñar la conexión y equipos de red industrial desde central y subcentral hacia las centrales y subcentrales.
- Configurar redes para la conexión de la red de comunicaciones de acuerdo un orden jerárquico y protocolo de Ethernet Industrial-

Fundamentación

Para este tipo de red industrial se utilizara el tipo de PROFINET y en especial PROFINET IO, puesto que este define un modelo abierto de comunicación, automatización e ingeniería.

Con PROFINET IO se aplica una tecnología de conmutación que permite a cualquier estación acceder a la red en todo momento. Así, la red permite a cualquier estación acceder a la red en todo momento, así la red permite un uso mucho más efectivo gracias a la transmisión de datos simultanea de varias estaciones. El modo duplex del sistema Switched Ethernet permite transmitir y recibir simultaneamente.

PROFINET IO se basa en Switched Ethernet con modo dúplex y un ancho de banda de 100 Mbits/s. La herramienta de ingeniería STEP 7 nos ayudara a configurar y parametrizar las soluciones de automatización que necesitamos. Por tanto, en STEP 7 disponemos de la misma vista de la aplicación, independientemente de si configuramos los dispositivos PROFINET o aparatos Profibus. La creación de programa de usuario es igual en ETHERNET INDUSTRIAL y en Profibus DP, puesto que para ETHERNET INDUSTRIAL se utilizan bloques ampliados y lista de estado del sistema.

Por otra parte, también es posible utilizar dispositivos IO que soportan una frecuencia de envío de 1ms en un controlador IO que funcione con una frecuencia de envío de 250µs. El tiempo mínimo de actualización de los dispositivos IO en cuestión será entonces de, como mínimo, 1ms.

Metodología

Enfoque

Bibliográfica

Se recopiló información disponible en textos especializados e Internet, para el análisis y utilización en función de los requerimientos de la investigación para realizar la red de comunicaciones industriales y con el software S7 que sirve de simulador de red.

Niveles o Tipos

Exploratorio

Inicia la investigación desde la red de Guamaní y Chillogallo de la EMAAP – Q, y posteriormente se realiza la red tomando en cuenta todo el tramo hacia las centrales y subcentrales.

Descriptivo

Se analizan diferentes protocolos y marcas para tomar la solución más efectiva. En este caso el equipo y software Siemens presentan equipos de comunicaciones a nivel de planta y administrativos a niveles altos por ello se describe como van interconectados todos los equipos.

Plan de Acción

Dada las deficiencias en las en proceso manual de las líneas de distribución y una comunicación lenta con la central para comunicar fallas, se utilizará tecnología basada en electrónica y redes, de tal forma que a través del uso de sistemas sensores, cables de fibra óptica, módulos, firewall y diversos elementos se pueda evitar el desperdicio de agua obteniendo un alto rendimiento del sistema.

Red Instrumentación

Se han identificado los equipos existentes para la medición de caudal, nivel, presión, bombas y motores, tableros de control y arranque. Para todo esto se han

definido la marca, el estado y capacidades. También se ha identificado las instalaciones eléctricas y la disponibilidad de servicio eléctrico, el tipo de servicio, el voltaje, el número de fases. Por último se han identificado las obras hidráulicas por medio de los diámetros de tuberías, de válvulas y tipo de actuadores.

Es necesario adquirir toda la información del sistema de la red de distribución en tiempo real y posteriormente tener una base de datos histórica que permita visualizar en conjunto el desempeño del sistema de distribución de agua potable, intentando con esto minimizar pérdidas y tener las variables de control a registrar, como son: Flujo, Nivel, Presión actualizadas, así como establecer el control de válvulas, motores, inyectores, alarmas y sensores, a las cuales se necesite apagarlas o prenderlas remotamente.

Actualmente los procesos se continúan realizando de manera manual, a través de sistemas de radiocomunicación o a través de reportes escritos, donde se toman los datos y semanalmente o mensualmente se los reporta.

Felizmente la tecnología le da una mano a este tipo de procesos, mediante una plataforma que es capaz de recolectar toda la información que se necesita, empezando por el desarrollo de sensores de alta calidad que son capaces de entregar informaciones sencillas como por ejemplo un voltaje determinado o un amperaje específico, para de esta manera a través de dispositivos que procesan esta información de manera análoga o digital la trasladen a una a la central y subcentral Quito Mica Sur y la UMED.

Para realizar el diseño del sistema de adquisición de datos, se van a tomar en cuenta dos aspectos fundamentales: el principio de funcionamiento de cada una de las estaciones del sistema, en lo que respecta a las variables que se van a controlar y como éstas van a estar relacionadas. En segundo lugar se darán las consideraciones de diseño y las especificaciones técnicas para la elección de los

equipos que se van a utilizar, de acuerdo a la aplicación de control para sistemas de agua potable, tomando en cuenta las necesidades de la EMAAP – Q.

Para poder satisfacer con seguridad y fiabilidad unos requisitos cada vez más exigentes respecto a la seguridad y la calidad del abastecimiento de agua y el tratamiento de aguas potable, es imprescindible recoger de manera precisa y fiable toda la información que atañe al proceso, por duras que sean las condiciones del entorno. Por ello es necesario colocar un sensor en cada uno de los equipos para controlarlos.

Entre las principales funciones tenemos que realizarán los sensores son:

1. Medición de Flujo Instantáneo y Totalización de Flujo
2. Medición de Nivel Dinámico con Detección de Nivel máximo y mínimo
3. Apertura y cierre de válvulas.
4. Medición de la presión de entrada.
5. Medición de la presión de salida de la estación de bombeo.

A continuación se detalla las funciones de manera más específica del uso de los sensores dentro del proceso de líneas de distribución.

1. Medición de Flujo Instantáneo y Totalización de Flujo

La función principal es la medición de flujo instantáneo y totalizador de volumen de entrada al tanque, las funciones adicionales serán:

- Protección ante flujo inverso
- Protección ante flujo cercano a 0 litros por segundo
- Protección caudal máximo y caudal mínimo.

El flujo instantáneo tiene unidades de volumen por unidad de tiempo (m^3/s), y es el volumen de agua que pasa por las tuberías de entrada por cada segundo de tiempo. Esta señal es adquirida desde los medidores de flujo y va a ser totalizada para mantener un registro del volumen total que ingresa al tanque.

2. Medición de nivel dinámico con detección de nivel Máximo y mínimo

Esta señal proporciona la medición continua del nivel de agua en el tanque, e informa la cantidad de agua que posee el tanque. Es la variable a ser controlada mediante una válvula modulante de entrada, tratando de mantenerla en un nivel de referencia o set point y evitando a la vez posibles desbordes.

En lo que se refiere a los niveles máximo y mínimo, son señales de tipo digital ON/OFF, se emplean como alarmas para prevenir desbordes de los tanques, ya que trabajan en conjunto con la válvula de altitud la misma que abre o cierra el paso del líquido de manera modulante. Las señales de máximo y mínimo de los niveles de los tanques por lo general son detectados con un sistema de flotadores, con topes de fin de carrera, o también pueden ser determinadas mediante software a través de la señal del nivel del tanque.

3. Medición de Presión de entrada y de Bombeo

Es una señal de tipo analógica y dará una estimación del estado de bombeo de las estaciones que surten el agua para su distribución, también sirve para analizar el estado físico de las tuberías locales o de las líneas de distribución, se dará un indicativo del estado de apertura de las válvulas en los distintos puntos de la red cercana en la distribución de agua y sobretodo dará a conocer si hay que realizar o no un control de apertura o cierre de válvulas, reparaciones de tuberías o líneas de distribución y monitoreo del bombeo en las estaciones.

Presión alta y presión baja; si por un tiempo no mayor a 5 minutos la presión de la línea de bombeo experimenta una variación de $\pm 20\%$ del valor nominal, el sistema deberá suspender la operación del equipo de bombeo, debiéndose suspender la operación en forma programada y registrar la falla en el panel operador.

Software

El software de comunicaciones industriales es necesario utilizar un software adecuado al autómatas.

SIMATIC NET: comunicaciones industriales para la automatización en toda la planta. La base de la optimización de procesos en todas las industrias es la vinculación eficiente de la tecnología de la información con la automatización. La clave para lograrlo es la comunicación industrial. Nuestra oferta al respecto se denomina SIMATIC NET y comprende todo lo necesario para implementar una infraestructura de comunicaciones para la transferencia de datos en toda la planta. Innovadora y con proyecto de futuro

SIMATIC NET es la innovadora tecnología de Siemens basada en acreditados estándares, desde la conexión con AS-Interface, PROFIBUS y HART hasta Industrial Ethernet con tecnologías de la información incorporadas.

La gama SIMATIC NET de Siemens supone una tecnología innovadora de la que damos algunos ejemplos: comunicaciones integradas, incluso en zonas clasificadas (Ex) con PROFIBUS PA, comunicaciones TCP/IP sin limitaciones y aplicaciones en tiempo real sin precedentes con PROFINET, el estándar abierto Industrial Ethernet.

SIMATIC NET marca el paso en la innovación de redes. Por ejemplo, con la generación SCALANCE: componentes para redes con alto rendimiento, gestión ultramoderna, Industrial Wireless LAN y Seguridad Industrial adaptada a todo lo enumerado anteriormente. Es así como SIMATIC NET asegura desde ahora el futuro de sus redes de datos en toda la planta.

Direccionamiento IP

Se ha configurado a nivel de red los siguientes direccionamientos entre: autómatas y ordenadores de acuerdo a las siguientes direcciones.

| <i>Red</i> | <i>Ipv4</i> |
|----------------|--------------|
| Mica Quito Sur | 192.168.11.0 |
| UMED | 192.168.10.0 |
| Chillogallo | 192.168.12.0 |
| Guamaní | 192.168.13.0 |

El router se emplea como puerta de enlace utilizan de las siguientes direcciones

| <i>Red</i> | <i>Ipv4</i> |
|----------------|--------------|
| Mica Quito Sur | 192.168.11.1 |
| UMED | 192.168.10.1 |
| Chillogallo | 192.168.12.1 |
| Guamaní | 192.168.13.1 |

Para la propuesta de diseño se emplea una red clase C, en vista que se necesita menos de 255 estaciones o equipos conectados a la misma, a los diferentes dispositivos que se encuentran en cada una de las estaciones remotas se les asignara las siguientes direcciones:

Chillogallo

| <i>Red</i> | <i>Ipv4</i> |
|------------|---------------|
| ET200M1 | 192.168.13.11 |
| ET200M2 | 192.168.13.12 |
| ET200M2 | 192.168.13.13 |
| ET200M2 | 192.168.13.14 |
| IM | 192.168.12.21 |
| PLC | 192.168.12.31 |

Guamaní

| <i>Red</i> | <i>Ipv4</i> |
|------------|---------------|
| ET200M1 | 192.168.12.11 |
| ET200M2 | 192.168.12.12 |
| ET200M2 | 192.168.12.13 |
| IM | 192.168.12.21 |
| PLC | 192.168.12.31 |

Para cada una de estas redes es necesario adaptar a un switch SCALANCE X 324 – 12M los mismos que se conectarán a un router Siemens SE – 5940 T1 que

través de un enlace de datos vía internet se conectará con la central y subcentral. Para evitar intrusos en la red también se adaptará un firewall en cada estación. El enlace de datos se lo realizará a través de un proveedor de servicios.

Equipos necesarios para el diseño

De acuerdo al estudio realizado se ha determinado que los equipos a utilizar son los siguientes.

Estación de Bombeo Guamaní

Esta estación estará compuesta de los siguientes componentes.

- 4 Módulos ET200M
- 6 Sensores de nivel Usonic US-XX
- 6 Sensor de flujo AXFA11G
- 6 Sensor de presión EJX510A
- 1 IM 153-2FO (PLC)
- Switch Scalance X 324-12m
- 1 PC
- Router Siemens se5940 T1 Business Gateway
- Siemens Se5954 (120-5954-003) Firewall.
- Cable de fibra óptica BFOC (Bayonet Fiber Optic Connector) ISO/IEC 60874-10

Constituido por tres tanques, y una estación de bombeo; la cual se encargara de enviar mediante tuberías el caudal de agua.

Sensor de nivel US-XX: En esta estación se requiere de dos sensores de nivel, para cada uno de los tanques, uno se ubicara en la parte superior del tanque y otro en la parte inferior del mismo, esto nos permite indicar el nivel de agua en cada uno de ellos, es decir se podrá reconocer un máximo y mínimo de agua dentro del tanque.

Sensor de Flujo AXFA11G: Se encontrara un sensor de flujo antes de llegar a cada tanque esto permitirá verificar el flujo de agua que entre al mismo, de tal forma

que podremos detectar si la cantidad de liquido esta dentro de los parámetros establecidos; al salir de la estación de bombeo se encontrara otro sensor de flujo de las mismas características de tal forma que podamos detectar la cantidad de agua que saldrá del tanque. Gracias a esto podemos ver si existirán pérdidas de caudal dentro de la tubería. Vale recalcar que al ser tuberías independientes las que salen de la estación hacia los tres tanques existentes habrá un sensor de flujo en cada tubería de salida de la estación y uno en la llegada a cada tanque.

Sensor de presión EJX510A: Es primordial conocer la presión con la que trabajará el sistema, razón por la cual se ubicaran un sensor de nivel por cada uno de los tanques (en la tubería de entrada de los mismos); al igual que con los sensores de flujo se utilizarán sensores de presión en la salida de las tuberías de la estación de bombeo. Obtenemos como resultado el poder verificar la variación de presión desde la salida de la estación de bombeo hasta el arribo del mismo en los tanques.

Una vez calibrados los sensores, su señal llegará hacia un módulo ET200M, el mismo que consta de tres conectores, lugar donde irán conectados los diferentes sensores a utilizarse; para realizar la conexión de los sensores hacia el módulo se empleara cable de fibra óptica ya que gracias a la utilización del mismo se podrá obtener una velocidad de transmisión mucho mas alta de lo que se emplea con cable de cobre.

Las características del cable a emplearse son:

| Propiedad Física | Técnica de conexión | Tipo de cable Medio de conexión | Velocidad | Long. Máximo Segmento | Ventajas |
|------------------|---|---|--------------------|-----------------------|---|
| Óptica | BFOC (Bayonet Fiber Optic Connector) ISO/IEC 60874-10 | Cable de fibra óptica multimodal. 60/125µm del núcleo/sección externa | 100 Mbit/s. Duplex | 3000m | Uso con grandes diferencias de potencial. Insensible contra radiación electromagnética. Baja amortiguación del cable. Mayor seguridad de escucha. |

Tabla 31. Características del cable

Dentro de la estación de bombeo Guamaní se podrá observar que existen tres módulos de tipo ET200M, en el primero de ellos se encontraran conectados los sensores de nivel, sensor de Flujo, Sensor de presión (ubicados en la entrada del tanque).

En el segundo tanque se realizaran las mismas conexiones explicadas anteriormente; y el último ET200M se encontrara conectado cerca de la estación de bombeo con conexión hacia los sensores de flujo y presión que se encuentran a la salida de la estación de bombeo.

Se necesita un punto específico que sea capaz de recibir la información que llega de los módulos ET; el elemento a utilizarse será un Switch de tipo SCALANCE XR324-4M PoE (4 slots de módulos de medio), las características de este son disponer de cuatro slots para módulos de medio y una fuente de alimentación 1 x 24 V DC (24 V - 48 V) opcional.

La información será enviada mediante PROFINET (cable de fibra óptica) hacia un PLC que tiene las cualidades de maestro, en este caso el PLC seleccionado por sus capacidades y beneficios con la fibra óptica es el IM153-2 F0 el mismo que trabaja así:

IM153-2 FO (6ES7 153-2AB01-0XB0) con versión 5, posee las salidas de una ET 200M en un sistema S7-400H podrían posiblemente permanecer activadas, a pesar de que el sistema S7-400H estuviese en el modo STOP.

La información es procesada y llega hasta un computador de control donde se pueden visualizar los diversos datos dependiendo de las cualidades y privilegios que brinde la empresa. Existirá un monitor de datos. Para lograr visualizar los datos se empleara un programa llamado Simatic o S7; este se encarga de dar la programación que deseamos para la red estudiada:

Para ello podemos decir que: Los proyectos sirven para almacenar de forma ordenada los datos y programas necesarios para crear una tarea de automatización.

Los datos que conforman un proyecto comprenden principalmente:

- Los datos para configurar el hardware y parametrizar los módulos
- Los datos para configurar la comunicación por redes y los programas para los módulos programables.

Gracias al router ubicado en cada una de las estaciones de bombeo se podrá enviar cualquier tipo de dato hacia la Sub-Central MICA QUITO SUR, que a su vez poseerán un ruteador para transmitir la señal hacia la Central denominada UMED.

A continuación procederemos a detallar el funcionamiento de un ruteador, sin olvidar que existirá un Firewall (Corta Fuegos) por cada uno de los routers; este es un dispositivo de hardware para interconexión de red de ordenadores que opera en la capa tres (nivel de red) del modelo OSI. Un enrutador es un dispositivo para la interconexión de redes informáticas que permite asegurar el enrutamiento de paquetes entre redes o determinar la mejor ruta que debe tomar el paquete de datos.

El Router que se utilizara será un SIEMENS ROUTER WIFI 300 SE366; se encuentran grandes ventajas en este pues posee las siguientes características:

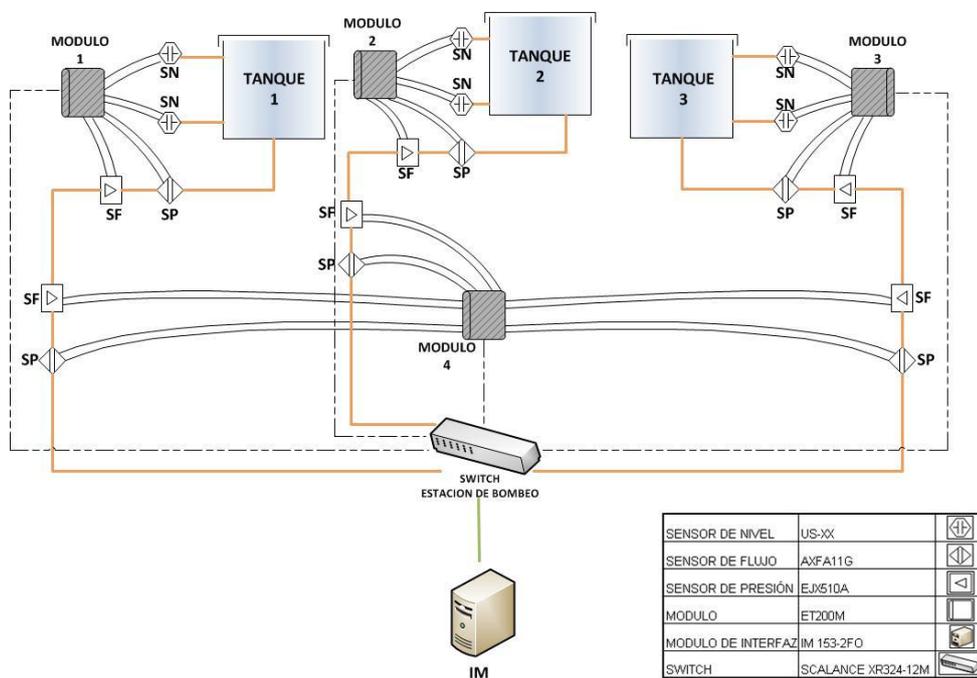
- Conexión wireless ultra rápida con transferencia de datos hasta de 300Mbps (compatible con IEEE 802.11b/g, IEEE 802.11n Draft Standard)
- Permite transferencia de vídeo IP en alta definición (HD)
- Mayor capacidad de procesamiento.
- Acceso simultáneo a Internet para varios usuarios.

Características

- 4 puertos Ethernet para conectar PCs adicionales o LANs
- incorpora un firewall avanzado y amplias funciones de seguridad: (e. g. WPA2, WPA, encriptación WEP)

- Software multilingüe, documentación y ayuda online
- Dispositivo complementario para ADSL, VDSL, o cable módem
- Fácil de configurar con el agente para configuración básica y de seguridad
- Potencia de transmisión WLAN configurable

Finalmente la señal será enviada hacia un router ubicado dentro de la estación de bombeo, el cual enviara la señal hasta el siguiente paso dentro de la automatización que será la SubCentral Mica Quito-Sur.



Gráfica 43. Estación de Bombeo Guamaní

Estación de Bombeo Chillogallo

Esta estación estará compuesta de los siguientes componentes.

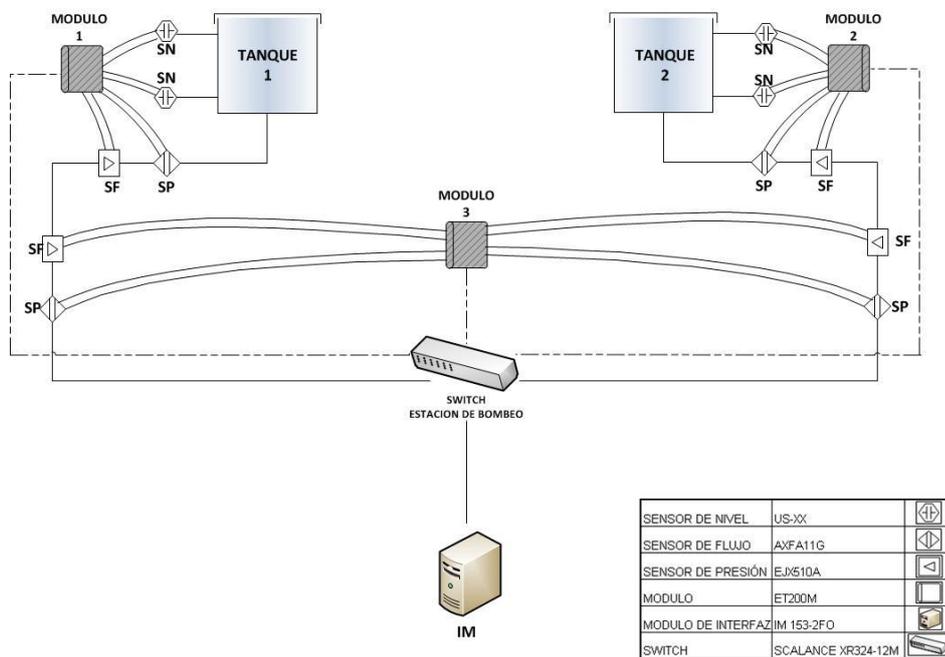
- 3 Módulos ET200M
- 4 Sensor de nivel Usonic US-XX
- 4 Sensor de flujo AXFA11G
- 4 Sensor de presión EJX510A
- 1 Switch Scalance X 324-12m
- 1 IM 153-2FO PC
- Router Siemens se5940 T1 Business Gateway
- Siemens Se5954 (120-5954-003) Firewall.

- Cable de fibra óptica BFOC (Bayonet Fiber Optic Connector) ISO/IEC 60874-10

El funcionamiento de la estación de Chillogallo es semejante a la Estación de Guamaní; se utilizarán los mismos elementos es decir sensores de nivel, presión, flujo, switch, router.

La variación existente se dará en la cantidad de tanques que posee esta estación ya que tiene dos tanques, esto tiene como resultado que se emplearán menos sensores y un módulo ET 200M menos, pero debemos recatar que la presión existente y el flujo que se halle será el mismo que en la estación de Guamaní pues los tanques cumplen con las mismas medidas y especificaciones.

La planta cumplirá con el fin del proceso en el momento en que la señal llegue hasta la Sub Central Mica-Quito Sur.



Gráfica 44. Estación de Bombeo Chillogallo

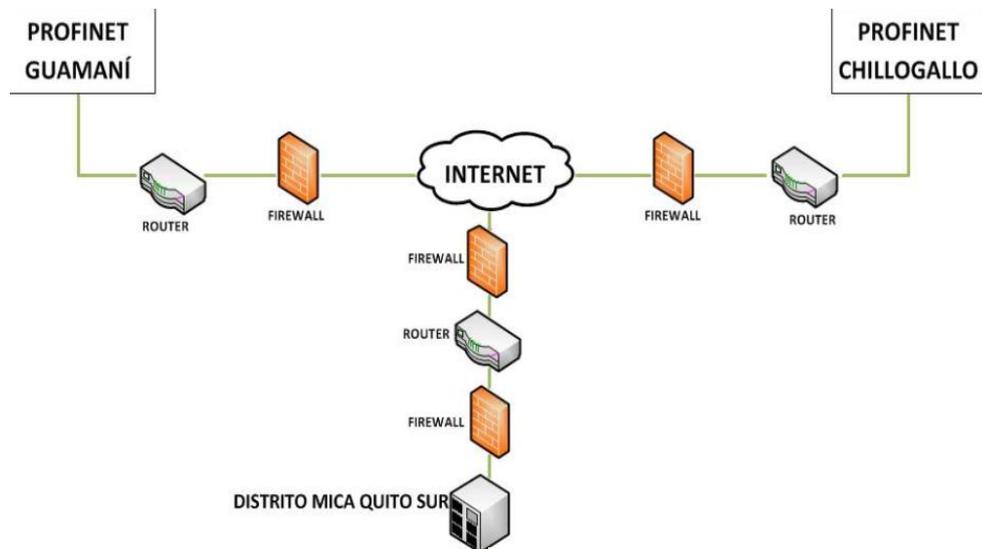
Subcentral Mica Quito Sur

Los elementos a utilizarse serán:

- 1 Servidores Hewlett-Packard Rackeable 585.- 4U
- 1 PC
- 1 Router Siemens se5940 5940 T1 Business Gateway
- 1 Siemens Se5954 (120-5954-003) Firewall

Una vez que se ha cumplido el proceso en cada una de las estaciones (Chillogallo-Guamani) gracias al Router utilizado en cada una de ellas se transmitirán los diversos datos hacia la sub Central que gracias a otro router utilizado allá se receptorá toda la información de las estaciones de bombeo y se podrá conocer el funcionamiento de ellas.

Uno de los pasos Fundamentales que se dará al llegar hasta la Sub Central es que la información que llega hasta aquí puede ser modificada dependiendo de las necesidades que posea la Central. Además podemos decir que gracias a la utilización de un Firewall seguido de un Router evitamos la intromisión de terceros. Finalmente el Router ubicado en la Sub Central brindara información hacia la UMED.



Gráfica 45. Especificaciones de red Chillogallo-Guamani-Mica Quito-Sur

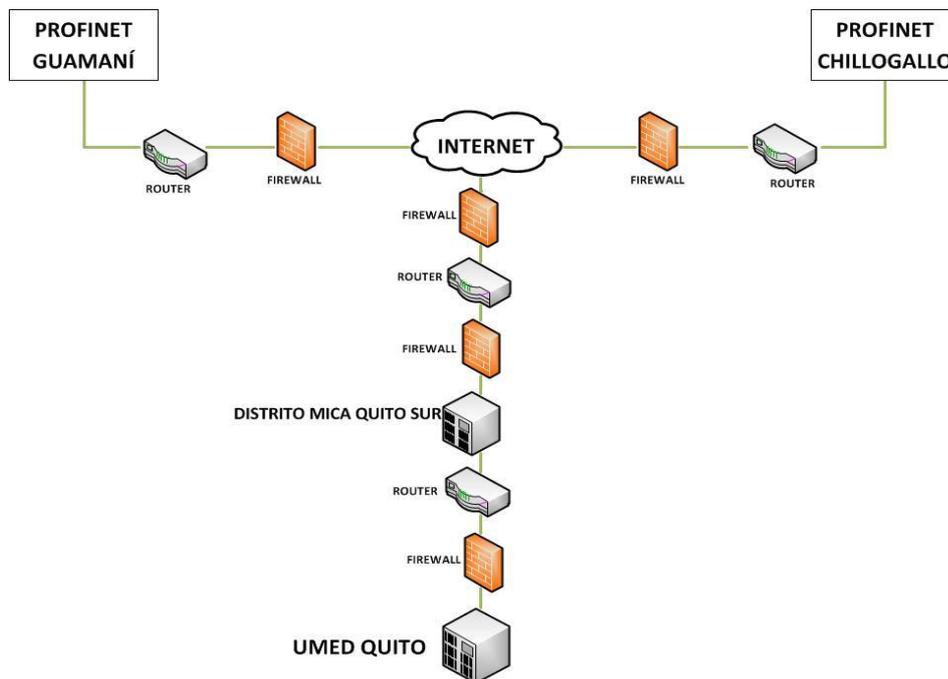
Central UMED

Los elementos a utilizarse serán:

- 1 Servidores Hewlett-Packard Rackeable DL585.- 4U
- 1 PC
- 1 router Siemens se5940 5940 T1 Business Gateway
- 1 Siemens Se5954 (120-5954-003) Firewall

El lugar destinado para que la información llegue será la Central UMED ubicada al norte de Quito, este será un lugar de trascendental importancia pues se constituye como la cumbre de la red empleada ya que la información que llegue desde las estaciones (Chillogallo-Guamaní) puede ser verificada y controlada por los operarios de la UMED; además desde aquí se pueden dar beneficios y restricciones tanto a la Sub Central Mica Quito-Sur, como las estaciones de trabajo.

Esto se logra gracias a la implementación de un router ubicada en la Central, el cual recibirá toda la información la cual podrá ser visualizada.

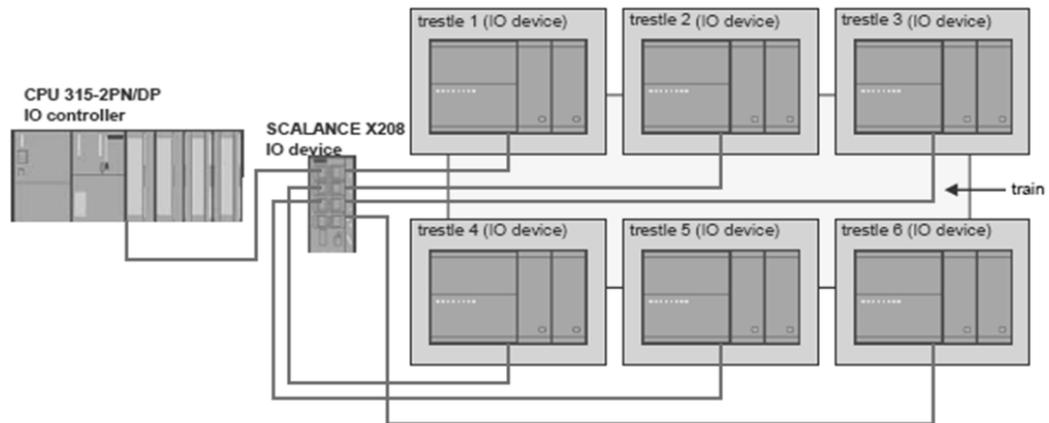


Gráfica 46. Especificaciones de red Chillogallo-Guamaní-Mica Quito-Sur-UMED.

Introducción

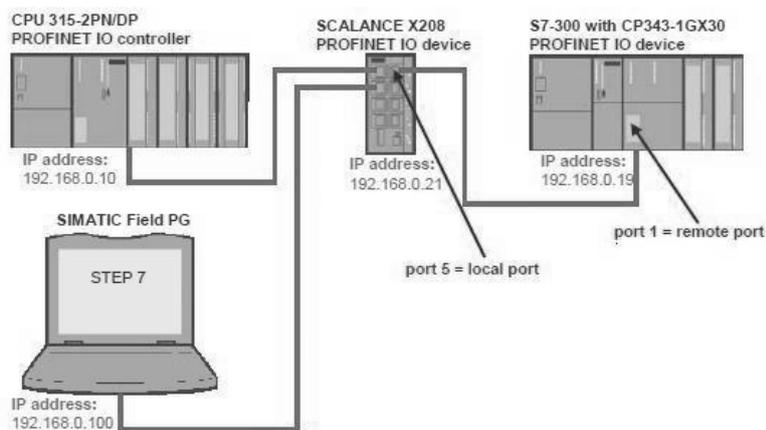
El sistema de topología de Profinet IO conectada en el programa del usuario del S7-300 con interfaz PN integrada.

Es requerida en plantas donde las herramientas son usadas en diferentes puntos de la planta como es el caso de Guamaní y Chillogallo, y la interconexión de Profinet IO da estos cambios.



Un bus se funciona con 6 soportes. Sin embargo, los soportes están siempre en otro lugar. Por lo tanto la topología se puede ver que los soportes están uno al frente del otro y se los pueden controlar.

Estructura del sistema Profinet IO



A Profinet se lo utilizará como controlador. En el sistema Profinet IO de la CPU 315-2PN/DP, los módulos de los dispositivos Profinet IO son:

- Scalance X208 (6GK5 208 -0ba 10 -2AA3)
- CP343-1 Avanzado (6GK7 – 343-1GX30-0XE0)

El campo de Simatic PG con Step7 se requiere para configurar Profinet IO. El controlador Profinet IO y los dispositivos PROFINET IO deben tener la misma IP. Para ello se ha fijado las siguientes direcciones IP:

| Dispositivo | Dirección IP | Máscara |
|------------------|---------------|---------------|
| Simatic Field PG | 192.168.0.100 | 255.255.255.0 |
| CPU 315 – 2PN/DP | 192.168.0.10 | 255.255.255.0 |
| SCALANCE X208 | 192.168.0.21 | 255.255.255.0 |
| CP343-1 Advanced | 192.168.0.19 | 255.255.255.0 |

El puerto 1 de l CP343-1 Advanced se conecta al puerto 5 del SCALANCE X208. En el programa del usuario de la CPU 315-2PN/DP, la información del vecino se lee desde el puerto 5 del SCALANCE X208 con el sistema de funcionalidad del bloque SFB52 “RDREC” usando el número de registro de datos 802 A. La información del vecino incluye datos locales del puerto 5 del SCALANCE X208 y desde el puerto 1 remoto de la CP343-1 Advanced.

La información del vecino se requiere para evaluar el proceso en el programa del usuario que vendría a ser la CPU 315-2PN/DP.

| Datos de Topología | Descripción | Valor |
|---------------------------------------|--|------------|
| Longitud del nombre del puerto local | Longitud del nombre del puerto 5 de la SCALANCEX208 | 8 |
| Nombre del puerto local | Nombre del puerto 5 del SCALANCEX208 | Port – 005 |
| Número de las estaciones remotas | - Dispositivo Profinet IO - Cp343 -1 Advanced - Puerto 5 del SCALANCE X208 | 1 |
| Longitud del nombre del puerto remoto | - Longitud del nombre del puerto 1 de la CP343-1 | 8 |

| | | | |
|--|---|--|-----------------------------|
| | | ADVANCED | |
| Nombre del puerto remoto | - | Nombre del puerto 1 de la CP343-1 | Port-001 |
| | | ADVANCED | |
| Longitud del nombres de los dispositivos remotos | - | Longitud del dispositivo de la CP343-1 Advanced | 5 |
| Nombre del dispositivo remoto | - | Nombre del dispositivo de la CP343-1 Advanced | CP343 |
| Dirección MAC remota | - | MAC de la CP 343 -1 Advanced conectada al puerto 5 del Scalance X208 | 00 – 0E – 8C – A4 – AA – 9A |

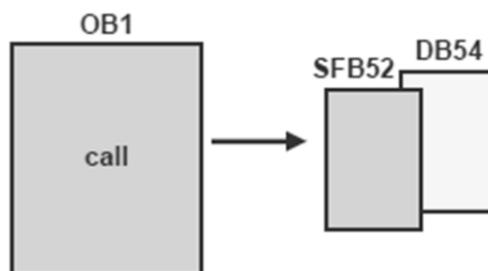
Configuración

Programa S7

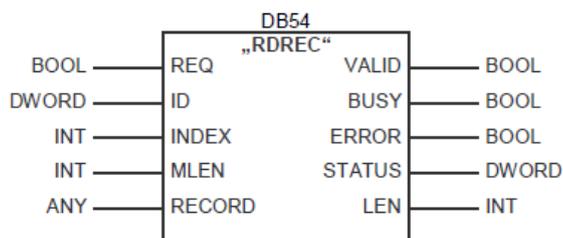
Para leer la información desde el Puerto 5 del SCALANCE X208 con el bloque de función SFB52 “RDREC” usando el numero 802A.

La función de este bloque se encuentra dentro de las librerías de las Funciones de Bloques. Se llama la función de bloque a través del CPU 315-2PN/DP que actúa a través del controlador Profinet IO.

La siguiente figura muestra la estructura del programa. El programa del S7 en el CPU 315-2PN/DP, y el sistema del bloque de función SFB52 “RDREC” incluyendo la instancia del bloque de datos del DB54 llamado cíclicamente al OB1.



Parametrizar SFB52 “RDREC”



Usando el SFB52 “RDREC”, los datos son los registros de datos con los números de INDEX de los componentes direccionados por ID. Esto puede ser por módulos centralizados o distribuidos (Profinet DP o Profinet IO).

Los componentes distribuidos en el SCALANCE X208 que es configurada como un dispositivo Profinet IO dispositivo.

Parámetros de entrada

La siguiente tabla muestra un resumen de los parámetros de entrada del SFB52 “RDREC”

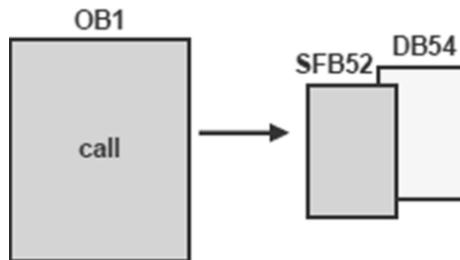
| Parámetros | Tipo de dato | Descripción |
|------------|--------------|---|
| REQ | BOOL | REQ=1 Realiza la transferencia de datos del registro REQ=0 Termina la transferencia de datos |
| ID | DWORD | Diagnostica la dirección |
| INDEX | INT | Número del registro de datos |
| MLEN | INT | Máxima longitud en byte del registro de datos |
| RECORD | ANY | Área para leer el registro de datos |

La siguiente tabla muestra un resumen de las salidas de los parámetros del SFB52 “RDREC”

| Parámetros | Tipo de dato | Descripción |
|------------|--------------|--|
| VALID | BOOL | Nuevo registro de datos son recibidos y válidos |
| BUSY | BOOL | BUSY =1 El proceso de lectura no ha terminado |
| ERROR | BOOL | ERROR =1 : Un error ha ocurrido in el proceso de lectura |
| STATUS | DWORD | Bloque de estado e información de error |
| LEN | INT | Longitud del registro de datos leídos |

Parametrizando

Programa en el S7 – 300

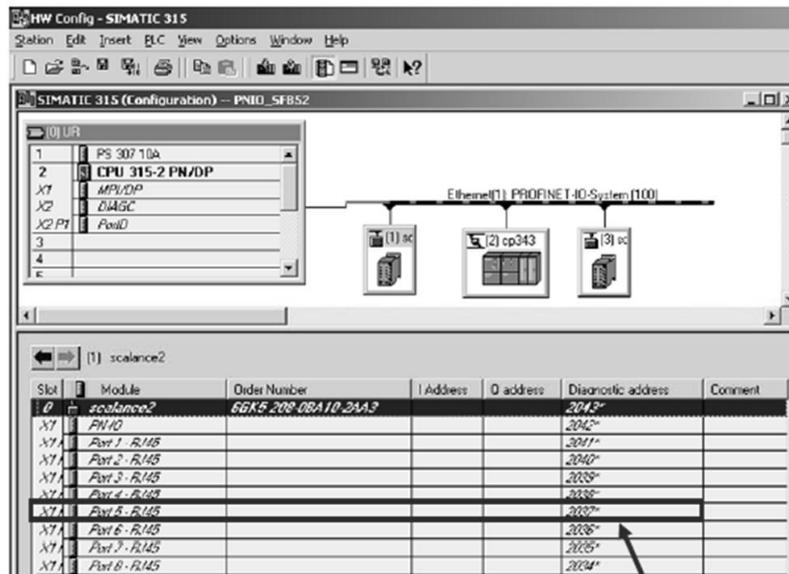


Se debe de usar el SFB52 “RDREC”, para leer el número de componente direccionados por su identificación. Podemos usarlo como un módulo central o distribuido.

Para este ejemplo, se debe de leer el número del registro de datos del componente distribuido. El componente que distribuye es el SCALANCE X208 que se configura como un dispositivo Profinet IO.

SFB52 “RDREC” se debe de configurar de la siguiente manera. En este ejemplo, la entrada del parámetro REQ se controla por el marcado bit M0.5. Cuando M0.5 = 1 empieza a leer el registro de datos 802^a (hex); caso contrario termina de leer.

El parámetro de identificación especifica la dirección del puerto desde la información del vecino para leer. En este caso la información del vecino se lee desde el puerto 5 del SCALANCE X208. Debido, a que la entrada del parámetro de identificación diagnostica la dirección 0x7F2 del puerto 5 del SCALANCE X208. El direccionamiento debe ir en la CPU 315 – 2PN/DP como se indica en la siguiente figura.



Ahora se señalará el parámetro INDEX para especificar el registro de datos en que posición de memoria se encuentra para este caso se escogió MW100.

Para el parámetro MLEN se define el máximo número de bits que se requiere para leer. Por ejemplo puede ser 300 bytes.

Para el pin RECORD representa el número máximo de bytes ha ser leídos los mismos que pueden ser limitados por MLEN.

Parametrizando

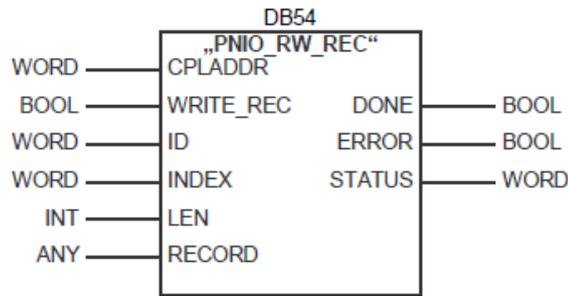
```

L      W#16#802A
T      MW  100

CALL  "RDREC" , DB54
REQ   :=MO.5
ID    :=DW#16#7F5
INDEX :=MW100
MLEN  :=300
VALID :=M110.0
BUSY  :=M110.1
ERROR :=M110.2
STATUS:=MD112
LEN   :=MW116
RECORD:=P#DB10.DBX0.0 BYTE 300

```

La solución alternativa vendrá a ser cuando la CP343 – 1 se utilice como controlador Profinet IO, usando el FB52 llamdo PNIO_RW_REC de la librería SIMATIC_NET_CP para leer y escribir los registros de datos.



Los siguiente tabla muestra un resumen en los parámetros del FB52 “PNIO_RW_REC”.

| Parámetros | Tipos de Dato | Descripción |
|------------|---------------|--|
| CPLADDR | WORD | El módulo empieza a direccionar |
| WRITE_REC | BOOL | WRITE_REC=1 escribir el registro de datos WRITE_REC=0 leer el registro de datos |
| ID | WORD | Dirección diagnóstico |
| INDEX | WORD | Número de registro de datos |
| LEN | INT | Longitud del dato de registro leído en bytes |
| RECORD | ANY | Área de orientación para la lectura del registro de datos |

Parámetros de salida

Los siguientes parámetros son de salida

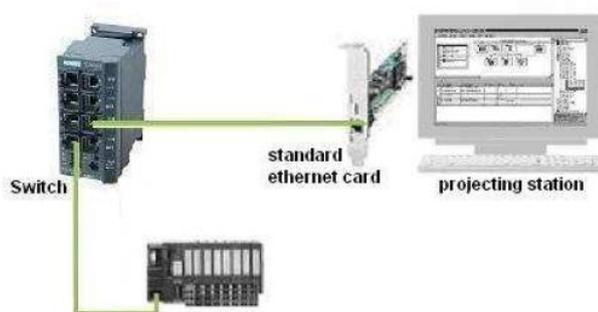
| Parámetros | Tipos de Dato | Descripción |
|------------|---------------|--|
| DONE | BOOL | DONE =1 el registro de datos se transfiere satisfactoriamente |
| ERROR | BOOL | ERROR = 1 un error ocurre en la lectura del proceso de escritura |
| STATUS | WORD | Bloque de estado e información de errores |

Ahora cual es la diferencia entre SFB52 “RDREC” Y FB52 “PNIO_RW_REC” La diferencia se encuentra en que el número del registro de daos es un valor hexadecimal. Si no se quiere especificar el parámetro del INDEX, se debe de convertir primero el número del registro de datos.

Con FB52 "PNIO_RW_REC el parámetro de entrada es WORD. Así se puede especificar el número del registro de datos directamente como hexadecimal en la entrada del index

Para concluir con el análisis se podrá observar las distancias que cubren cada uno de los puntos antes mencionados, esto aclarará las ventajas de utilizar fibra óptica por su rapidez, y los Routers en el caso de distancias bastante largas.

Para unir una red de tipo industrial es necesario configurar Profinet.



Gráfica 47. Esquema del equipo en la estación de Bombeo.

Como se visualiza en la figura todos los elementos se conectan a través del switch Scalance ahora debemos configurar para que los equipos queden en red. Todos los equipos serán conectados a través de Ethernet siguiendo la siguiente configuración.

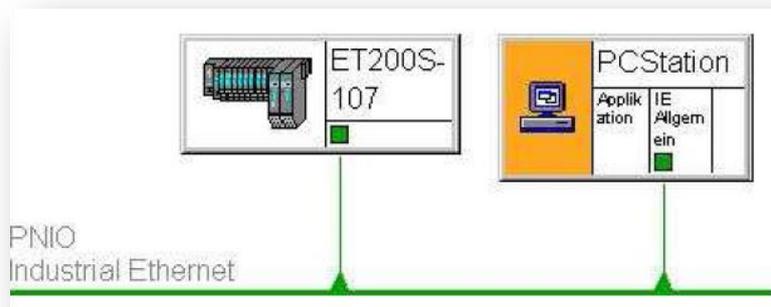
Se tiene que configurar a través de la aplicación HW config los equipos a utilizar los mismos que serán conectados a través de Profinet.

Con S7 se asigna automáticamente una dirección IP para cada dispositivo de entrada y salida (sensores), el mismo que se puede cambiar desde la consola como el nombre de cada dispositivos.

| Slot | Module | Order Number | I Address | Q address |
|------|-------------------|---------------------|-----------|-----------|
| 0 | ET200S-107 | 6ES7 131-3AA00-0AB0 | | |
| 1 | PM-E DC24V | 6ES7 138-4CA00-0AA0 | | |
| 2 | 2DI DC24V HF | 6ES7 131-4BB00-0AB0 | 10700 | |
| 3 | 2DO DC24V/0,5A HF | 6ES7 132-4BB00-0AB0 | | 10700 |
| 4 | 4DI DC24V ST | 6ES7 131-4BC00-0AA0 | 10701 | |
| 5 | 4DO DC24V/0,5A ST | 6ES7 132-4BC00-0AA0 | | 10701 |

Gráfica 48. Configuración automática de los sensores conectados a la ET200M

Luego de haber configurado la dirección de cada uno de los dispositivos dentro de la red se puede visualizar a través de NETPRO la siguiente configuración Profinet.

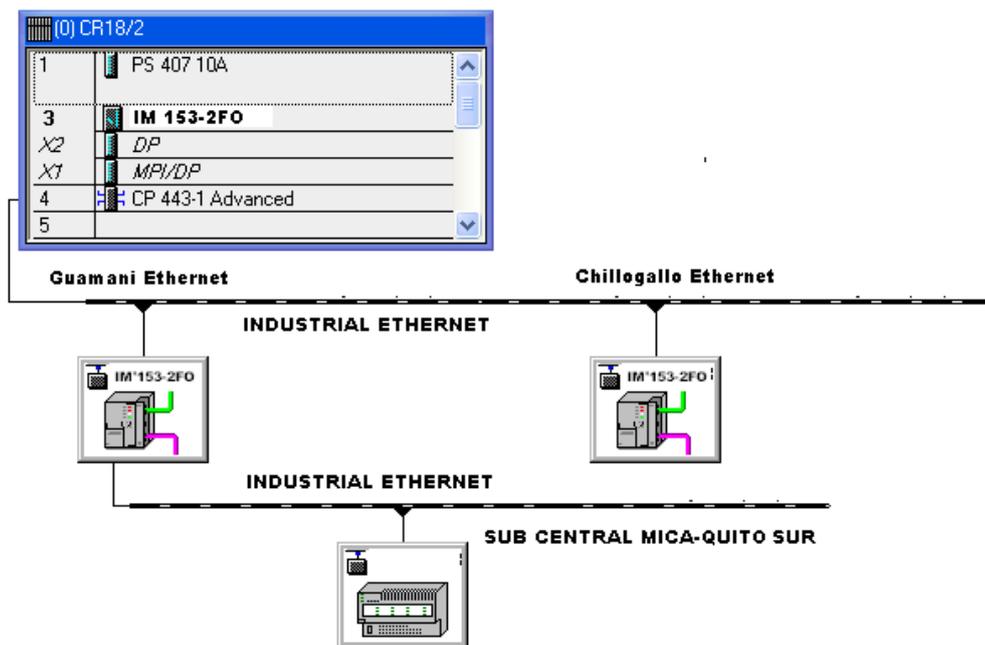


Gráfica 49. Configuración Profinet.

Como se puede ver la configuración de los equipos es sencilla; pero es necesario detallar bajo el software bajo HWconfig para que se encuentre en red los equipos. Esta configuración se repite para Guamaní pero solo con tres módulos ET200M.

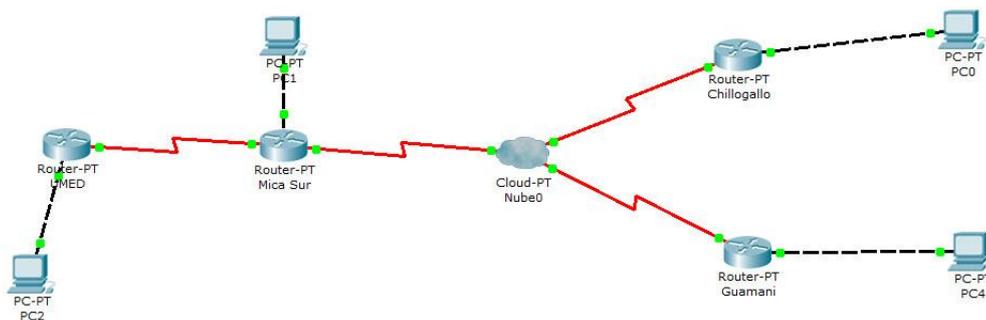
Dada la configuración de los switches a nivel industrial ahora es necesario configurar la parte de los routers, los mismos que se configuran con los protocolos comunes para los ordenadores de la siguiente manera realizado a través de EIGRP mostrando la conexión a la red de los routers, estableciendo la comunicación total del sistema.

Con el equipo adecuado hemos podido configurar la red profinet de tal forma que en el S7 queda programado de la siguiente manera:



Gráfica 50. Red Ethernet Industrial

Y los routers quedaría configurados vía EIGRP a través de un sistema de enlace de datos de esta forma



De acuerdo a las pruebas de tiempos la comunicación de la red es rápida y se puede concluir que los tiempos de espera son bajos y se toman decisiones acertadas en tiempo real dada la rapidez en la conexión. Así se obtiene una red

robusta, y se puede conectar la planta con los administrativos de una forma segura y confiable.

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- El diseño de una red industrial mejora los tiempos de respuesta uniendo la planta con las centrales.
- El esquema que emplean los sensores para manejar la información es Maestro – Esclavo, por tal razón se decidió usar una topología en red tipo bus para conectar los dispositivos, decisión que, se pudo comprobar; fue correcta.
- Cuando se trabaja con direccionamiento IP es importante conocer la red en la cual se está trabajando y el tipo de direccionamiento que posee. Por esto, se decidió estudiar la red administrativa de la planta para conocer su distribución interna.

Recomendaciones

- Cuando se trabaja en un ambiente industrial es necesario conocer las actividades que se realizan en las distintas áreas debido a los riesgos que se puedan presentar, por tal razón se recomienda tener un conocimiento previo de seguridad industrial para tomar las debidas precauciones
- La comunicación inalámbrica es una muy buena opción cuando las condiciones del área donde se quiere implementar una red no permiten o dificultan el paso de cable, pero se recomienda así mismo emplear equipo industrial, por ejemplo, los APs que puedan tolerar un ambiente propenso a generar mucha interferencia caso contrario se utilizarán routers y un ISDN
- Si se trabaja o se está en un ambiente industrial hay que tener precaución y tomar todas las medidas de seguridad industrial necesarias, para no tener complicaciones en las actividades que ahí se realicen.

Bibliografía

- Comunicaciones en el entorno industrial, J. Domingo Peña et al. Biblioteca Multimedia Industria. Editorial UOC, 2008. Página 212 – 380.
- Diseño y aplicaciones con autómatas programables, Joan Domingo Peña et. al. Biblioteca Multimedia Industria. Editorial UOC, 2010.
- Introducción a los autómatas programables, Joan Domingo Peña et. al. Biblioteca Multimedia Industria. Editorial. 2009
- Desarrollo de sistemas secuenciales, Antonio Rodríguez Mata, Julián Cócera Rueda. Paraninfo, 2007.
- Autómatas Programables, J. Balcells, J. L. Romeral. Marcombo, 1997
- Programación de Autómatas Industriales OMRON, V. Lladonosa, F. Ibáñez. Marcombo, 2010.
- Redes para proceso distribuido J. Garcia Tomas.. Ed. RA-MA, 2008.
- Alta velocidad y calidad de servicio en redes IP. J. García Tomas. Ed. Ra-Ma, 2010
- Practical UNIX and Internet security, S. Garfinkel y G. Spafford Ed. O'Reilly, 2008.

Páginas Electrónicas

- Tratado sobre el impacto de la tecnología.
<http://www.fing.uach.mx/MatDidactico/Legislacion/cap5.htm>
- Evolución de los sistemas de manufactura.
<http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/economicas/2008551/lecciones/cap3-1-4.htm>
- Evolución de la Manufactura. Número de máquinas según Sistemas de Manufactura. Número de máquinas según Sistemas de Manufactura.
www.fi.uba.ar/materias/7565/U1-Automatizacion-de-la-Manufactura.pdf
- Automatización en el proceso de manufactura
http://www2.webng.com/automatizacion/Automatizacion/cim_apm.pdf
- Automatización Industrial. <http://omnicontrol.galeon.com>
- Wonderware. <http://global.wonderware.com/EN/>
- Siemens. <http://www.siemens/EN>

ANEXOS

ANEXO 1
FICHAS DE EQUIPOS

| | | |
|----------------------------------|--|---|
| DESCRIPCIÓN FÍSICA | Sensor de Nivel | FOTO  |
| MODELO | US-XX | |
| MARCA | USonic | |
| PRECIO | \$1,092.00 | |
| ESPECIFICACIONES TECNICAS | | |
| Power: | 19 a 30 Vdc | |
| Salida: | 2 cables, 4-20 mA, HART | |
| Sensor: | 6,5'' (-40°F a 160°F) | |
| Display: | 2 lineas, 7 dígitos LCD | |
| DESCRIPCIÓN: | El USonic provee de una medida ultrasónica sin contacto en una señal de dos hilos de 4-20 mA, de salida del ciervo las caracterizaciones internas para el flujo abierto del canal, nivel, distancia y volumen. Una gama de la medida de 30 pies con 0.15% exactitudes. | |

DESCRIPCIÓN Sensor de Flujo

FÍSICA

MODELO AXFA11G

MARCA Yokogawa

PRECIO \$997.95

ESPECIFICACIONES TECNICAS

FOTO

Señal de Entrada:

200 Ω (on) ; 100k Ω (off)

Señal de Salida:

4 a 20mA, max 1k Ω

Transistor 30V(off), 200mA (on)

Señales de comunicación:

Brain or hart

(superpuesta a la señal de 4 a 20mA CC)

Distancia línea eléctrica:

15cm o mas

(cableado en paralelo debe ser evitado)



DESCRIPCIÓN:

El flujómetro magnético AXF es un producto sofisticado con una confianza sobresaliente y de fácil operación, desarrollado en base a décadas de experiencias de pruebas en terreno. El flujómetro magnético AXF es significativamente más fácil de mantener gracias a su combinación reemplazable de electrodos y una función de diagnóstico que detecta el nivel de adhesión en los electrodos. El AXF también emplea un método de excitación por frecuencia dual (disponible para tamaños de hasta 400 mm / 16") que eliminan el ruido del fluido. Un nuevo método de excitación por frecuencia dual está también disponible como una opción para aplicaciones más difíciles para asegurar mayor estabilidad y una respuesta más rápida.

DESCRIPCIÓN Sensor de Presión

FÍSICA

MODELO EJX510A

MARCA Yokogawa

PRECIO \$175.00

ESPECIFICACIONES

FOTO

TECNICAS

Salida:

2 cables

4 a 20 mA

Presión:

8 a 200kPa

Temperatura ambiente:

-40 a 85°C sin indicador integral

-30 a 80°C con indicador
integral

Humedad relativa:

0% a 100% R.H

Preferencia de temperatura y
humedad:

Aprox. 25°C y 65% R.H



DESCRIPCIÓN:

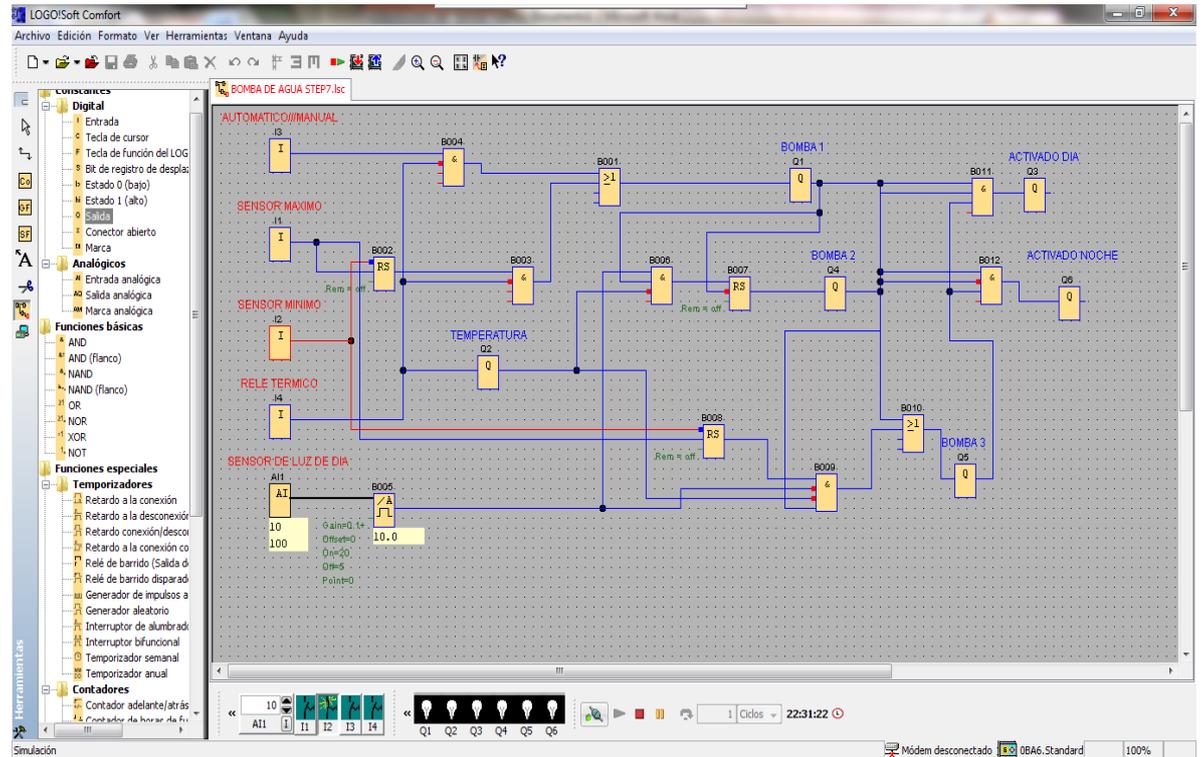
El transmisor de presión manométrica de alto rendimiento modelo EJX510A y EJX530A se caracteriza por su único cristal sensor resonante de silicón y es apropiado para medir líquido, gas o flujo de vapor como también nivel de líquido, densidad y presión. La tecnología de multi-sensado provee de una función avanzadas de diagnóstico para detectar anomalías como un bloqueo de línea de pulso o rotura de rastreo de calor. La Serie EJX está disponible con protocolos de comunicación BRAIN, HART y FOUNDATION™ fieldbus.

| | |
|---|---|
| DESCRIPCIÓN FÍSICA | Modulo |
| MODELO | ET 200M |
| MARCA | Siemens |
| PRECIO | \$279.00 |
| ESPECIFICACIONES TECNICAS | FOTO |
| <p>Grado de proteccion: IP20</p> <p>Presión atmosférica: 795 ... 1080 hPa</p> <p>Conexiones y cables: Conexión por tornillo, conexión por resorte y FastConnect con cableado permanente</p> |  |
| <p>DESCRIPCIÓN:</p> <p>Los diversos módulos S7-300 en la periferia del sistema ET 200M están conectados al sistema de bus a través del módulo de interfaz - ya sea para el bus de campo PROFIBUS bien probado o PROFINET, el estándar abierto de Industrial Ethernet. Módulos de interfaz están disponibles en estándar, así como versiones a prueba de fallos. Para necesidades mayores con respecto a mensajes instantáneos planta alta disponibilidad característica puede ser empleada de forma redundante. Todos los diagnósticos IM función de canal específico.</p> | |

| | |
|---|--|
| DESCRIPCIÓN FÍSICA | Módulos de interfaz |
| MODELO | IM 153-2FO |
| MARCA | Siemens |
| PRECIO | \$15.00 |
| ESPECIFICACIONES TECNICAS | FOTO |
| <p>Número de entradas: 16</p> <p>Número de salidas (alimentación transductor): 4 (2 x 8.2V y 2 x 18V)</p> <p>Disipación de potencia: típico 11W</p> <p>Tensión de carga nominal: 24V DC</p> |  |
| DESCRIPCIÓN: | |
| <p>El módulo de entradas digitales universal de 16 canales, SM321-7TH00, se puede emplear con todas las fuentes de señales digitales comunes, como pueden ser los contactos sencillos (con / sin circuito de filtrado), encoders NAMUR o encoders de acuerdo con DIN 19234, los BEROs de 3 y 4 hilos. Puede detectar las fluctuaciones en encoders defectuosos (mensaje de texto "Chatter Error" en el PCS 7 OS) y puede alargar pulsos cortos de forma que los bloques de driver puedan detectar con seguridad la señal. Si se utilizan contactos con circuitos de filtrado o encoders NAMUR, se puede realizar una detección de circuito abierto (para un "1" lógico y para señales "0"). Además de los diagnósticos ampliados de módulo y canal, tiene un particular interés la función de control de proceso "Time Tag" para el registro de alta precisión de señales binarias con una resolución de hasta 10 ms.</p> | |

| | |
|---|--|
| DESCRIPCIÓN FÍSICA | Switch |
| MODELO | Scalance X 324-12M |
| MARCA | Siemens |
| PRECIO | \$900.00 |
| ESPECIFICACIONES TECNICAS | FOTO |
| <p>Todos los puertos del SCALANCE XR-300 pueden trabajar con Gigabit Ethernet. Para el SCALANCE XR300, sin embargo, no se ha seleccionado la arquitectura de bus posterior "full wire speed" (todos los puertos se interconectan de forma simultánea a través de Gigabit Ethernet) con el objetivo de ahorrar costes. Para el XR300, se ha escogido una "arquitectura de bloqueo". En cada caso se interconectan 3 bloques con 8 puertos cada uno.</p> |  |
| DESCRIPCIÓN: | |
| <p>Es un switch para bastidor de 19" capa 2 para Industrial Ethernet potente, estándar industrial, que ofrece también funciones IT además de sus propiedades para la industria. Estos switches están pensados para aplicaciones en redes grandes con medios de conexión diferentes y alta densidad de puertos de los componentes de red, incluyendo la conexión a la red de la empresa. Las funciones de redundancia ampliadas (STP/RSTP/MRP, agregación de enlace), la utilización como gestor de la redundancia, así como las opciones de gestión / diagnóstico múltiples (VLAN, Quality of Service, IGMP, RMON) permiten una alta disponibilidad de planta y una configuración amigable para el usuario.</p> | |

SIMULACION DE BOMBAS DE AGUA EN LOGO COMFORT

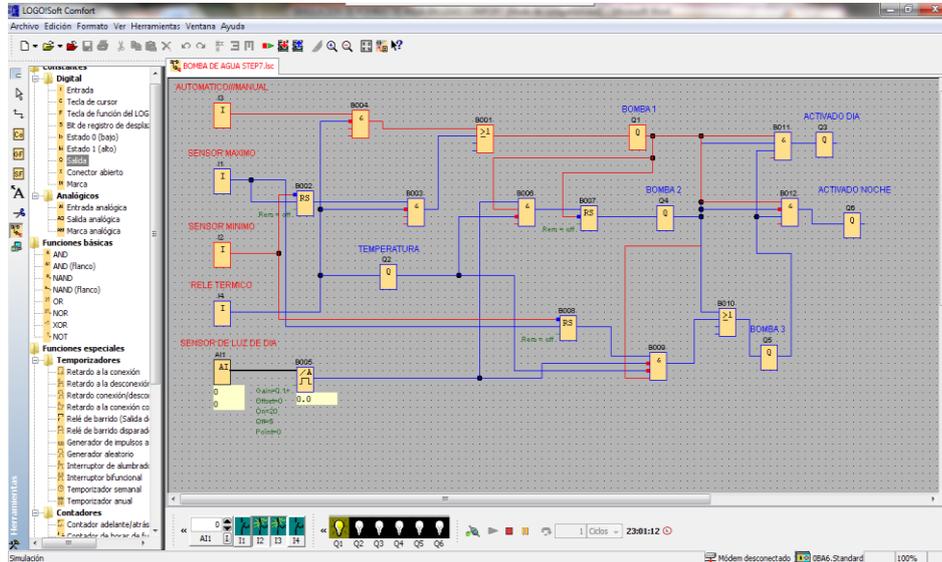


Aquí se ilustra que el programa comienza con una señal en la que el agua está más arriba del nivel mínimo y que el sensor de luz está recibiendo un poco de luz, pero también se puede comenzar con el sensor mínimo desactivado y con el sensor de luz apagado.

El programa funciona tanto en modo automático, como en manual, en el modo manual la bomba 1 se activara si el switch (AUTOMATICO///MANUAL) está en (1) y se desactivara si está en (0), el funcionamiento de las otras 2 bombas dependerá del rango de luz q reciba el sensor de (LUZ DE DIA), además contamos con un rele térmico que si se activa las bombas no podrán funcionar en ningún momento, también contamos con indicadores que nos avisan que bombas están activas.

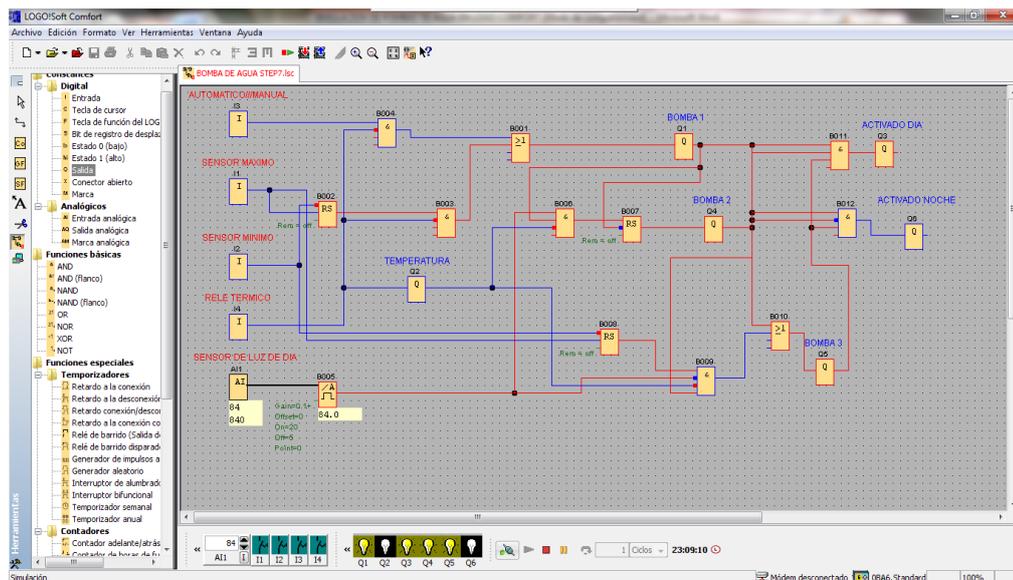
Las 3 bombas se activaran en el día y las bombas (1y3) se activaran para la noche obteniendo un menor caudal en la noche, también tenemos 4 entradas digitales, 1 analógica y 6 salidas.

MODO MANUAL

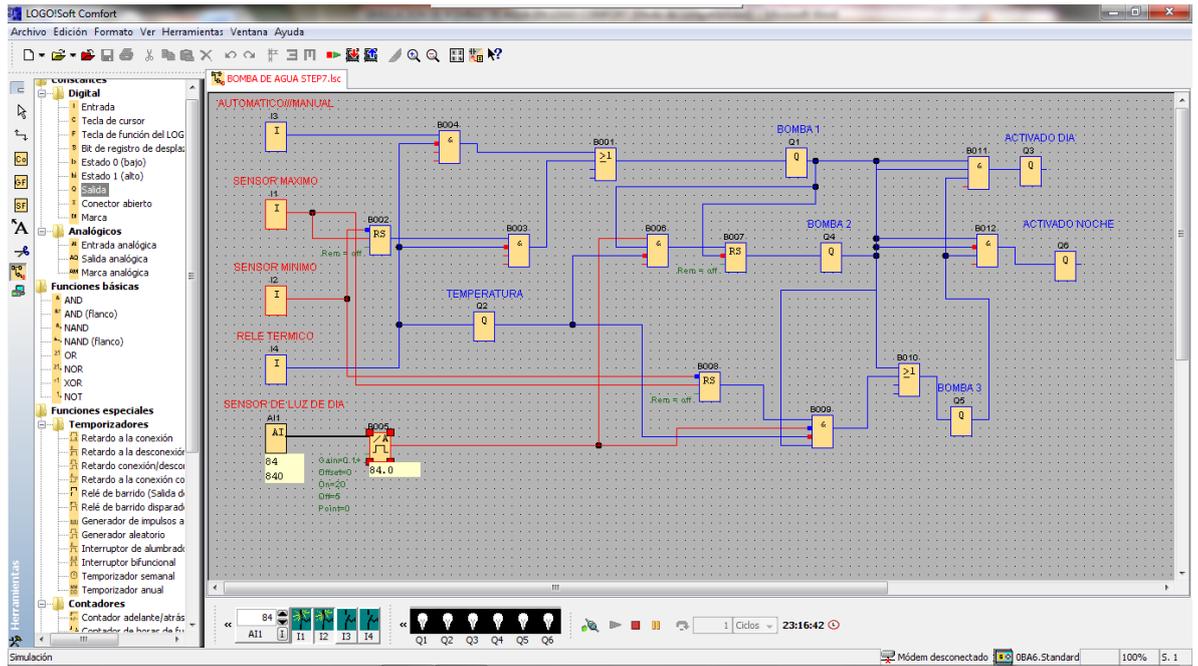


Como se puede observar el modo manual activa solo la bomba 1 la bomba 1 por que el sensor de mínimo está activo, si estaría desactivado dicho sensor se activarían cualquiera de las 2 bombas pero dependerían del nivel de luz q este presente.

MODO AUTOMATICO DE DIA

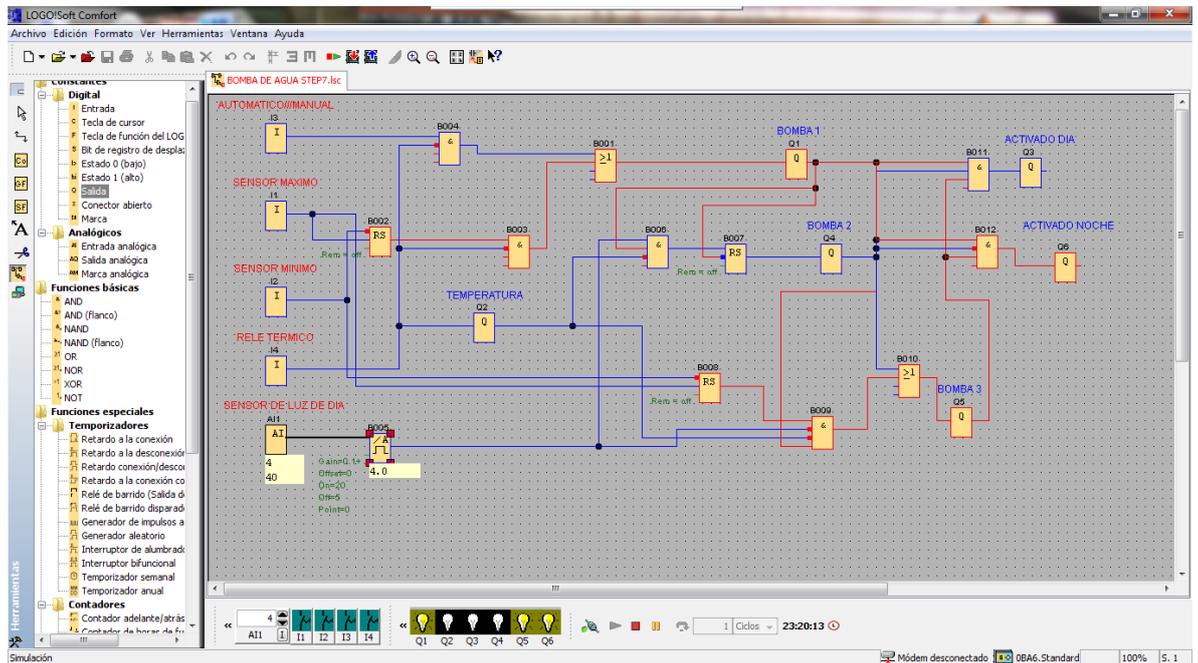


En esta ilustracion se puede ver q se activa la bomba(1y3) por lo que el rango del sensor de luz esta en 84.



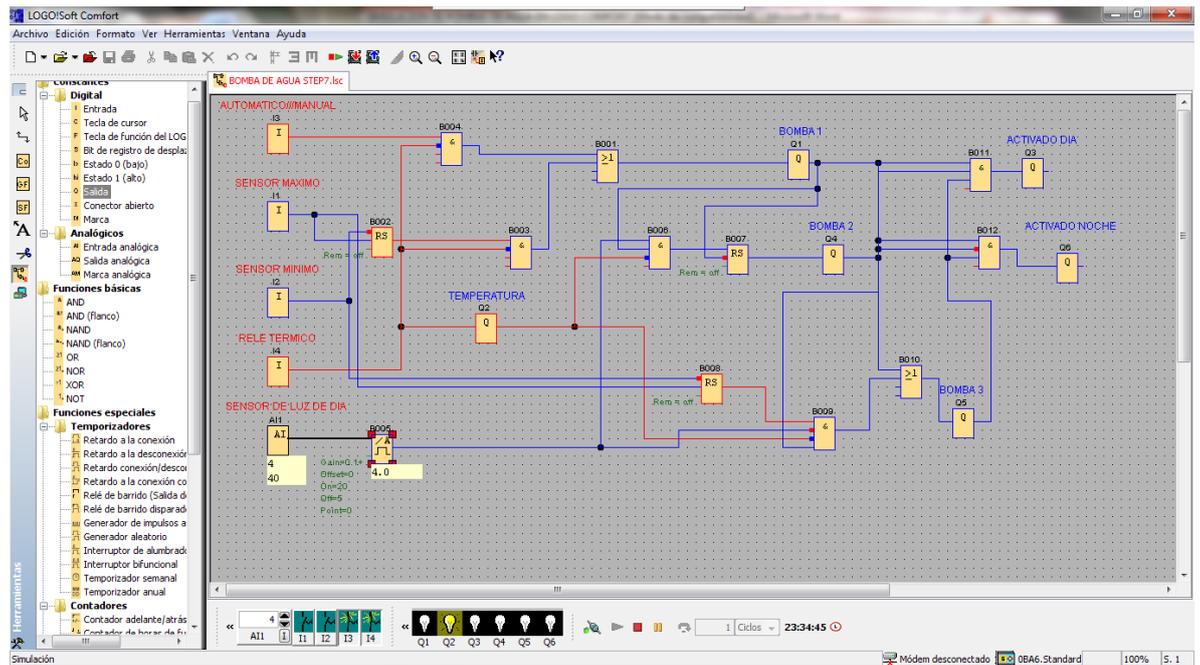
Aquí ya se desactivo la bomba por que el sensor maximo ya se activo y se comienza a evacuar el agua.

MODO AUTOMATICO DE NOCHE



En la noche el rango del sensor esta en (4) por lo que se activo la bomba (1Y3) Y se desactivara cuando el sensor maximo sienta la llegada del agua.

FUNCIONAMIENTO DEL RELE TERMICO



Como se puede observar cuando esta activado el rele termico las bombas no funcionan ni en modo manual o en automatico.