



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE EDUCACIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA

TEMA:

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO CON ÓPTIMO CONSUMO ELÉCTRICO E HÍDRICO PARA HILSEA INVESTMENTS, FINCA FLORYCAMPO”

Trabajo de grado previo a la obtención del Título de Ingeniero en la especialidad de Mantenimiento Eléctrico

AUTORES:

LÓPEZ GUEVARA FAUSTO MARCELO
TREJO CUÁSQUER JHON CÉSAR

DIRECTOR:

ING. MAURICIO VÁSQUEZ

Ibarra, 2014

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

Luego de haber sido designado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Educación, Ciencia y Tecnología de la Universidad Técnica del Norte de la ciudad de Ibarra, he aceptado con satisfacción participar como director de la Tesis titulada **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO CON ÓPTIMO CONSUMO ELÉCTRICO E HÍDRICO PARA HILSEA INVESTMENTS, FINCA FLORYCAMPO”**; de los señores egresados: LÓPEZ GUEVARA FAUSTO MARCELO Y TREJO CUÁSQUER JHON CÉSAR, previo a la obtención del Título de Ingeniero en la especialidad de Mantenimiento Eléctrico

Al ser testigo presencial, y corresponsable directo del desarrollo del presente trabajo de investigación, afirmo que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sustentado públicamente ante el tribunal que sea designado oportunamente.

Es cuanto puedo certificar por ser justo y legal.

Ing. Mauricio Vásquez
DIRECTOR DE TESIS

DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso, Él único, Él más grande por darme la vida; a mis padres, que con su amor, ternura, dedicación me han guiado siempre por el camino del bien, a mi cuñado Ingeniero civil Francisco Morales, y, a mis hermanas: Ingeniera civil Enmita, Karla, Michele, que me han apoyado incondicionalmente para llegar a la culminación de mis estudios; razón de mi existir.

Marcelo López Guevara.

A Dios, a mi padre José Humberto Trejo, a mi madre Blanca Fabiola Cuásquer por ser incansables luchadores, ejemplos de amigos, confidentes y cómplices de nuestras derrotas pero sobre todo de nuestros triunfos, a mis hermanos y hermanas que me acompañaron en este caminar.

Jhon Trejo C.

AGRADECIMIENTO

Gratitud que siempre quedará y permanecerá en la memoria y en nuestros corazones y a lo largo de nuestras vidas.

A la Universidad Técnica del Norte que abrió sus puertas de grandeza para ayudarnos a forjar como profesionales.

A los Directivos, Técnicos y Funcionarios de la finca Florycampo, por facilitarnos el ingreso a sus instalaciones y proveernos la información necesaria para esta investigación.

A la empresa EINCONS, Echeverría Ingenieros Constructores Cía. Ltda., por su guía técnica y colaboración para la realización del estudio y construcción del proyecto.

A nuestro Director de tesis Ingeniero eléctrico Mauricio Vásquez Brito, a nuestros profesores de carrera los Ingenieros eléctricos y electrónicos: Ramiro Flores, Hernán Pérez, Pablo Danilo Méndez, Wilmer Taboada, quienes compartieron los conocimientos, por lo que jamás borraremos de nuestras mentes el beneficio recibido.

Los Autores

ÍNDICE GENERAL

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE GENERAL.....	V
ÍNDICE DE CUADROS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
RESUMEN.....	XIII
SUMMARY.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	XV
CAPÍTULO I.....	1
1 EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Planteamiento del problema.	2
1.3 Formulación del problema.....	3
1.4 Delimitación	3
1.4.1 Delimitación temporal.....	3
1.4.2 Delimitación espacial.	4
1.4.3 Delimitación tecnológica.	4
1.4.4 Delimitación teórica.....	4
1.5 Objetivos	5
1.5.1 Objetivo General	5
1.5.2 Objetivos Específicos.....	5
1.6 Preguntas de investigación.....	6
1.7 Justificación	6
CAPÍTULO II.....	9
2 MARCO TEÓRICO	9
2.1 Fundamentación Tecnológica del Problema.....	9
2.1.1 Leyes de afinidad en bombas.	9
2.1.2 Sistemas para bombeo de agua.	13
2.1.2.1 Bomba de agua horizontal.	13

2.1.2.2 Bombas centrífugas acopladas a un motor electro sumergible (Bomba de pozo).	15
2.1.2.3 Características y funcionamiento de motores sumergibles.	16
2.2 Método para determinar los motores y bombas del sistema de bombeo.	18
2.2.1 Métodos de arranque y protección de motores.	18
2.2.2 Arranque directo.	20
2.2.3 Arranque estrella - delta.	20
2.2.4 Arrancadores Suaves.	22
2.2.4.1 Aplicaciones de los arrancadores suaves.	26
2.3.4.2 Método de cálculo para determinar la protección de un arrancador suave en motores trifásicos.	27
2.3 Guardamotores.	28
2.3.1 Características técnicas principales de los guardamotores.	30
2.3.1.1 Autoprotección del guardamotor.	31
2.3.1.2 Poder de limitación del guardamotor.	31
2.3.1.3 Selectividad del guardamotor.	31
2.3.2 Método de cálculo para determinar la protección de un guardamotor en motores trifásicos.	33
2.4 SubMonitor sistema de protección para motor - bomba electro sumergible trifásico.	34
2.4.1 Programación Simple.	36
2.5 Variador de frecuencia VFD.	37
2.5.1 Definición y sus aplicaciones.	37
2.5.1.1 Motivos por lo que se emplea un variador de velocidad.	39
2.5.1.2 Aplicaciones de los variadores en bombas y ventiladores.	39
2.5.1.3 Fomentar el ahorro de energía mediante el uso de variadores de velocidad.	39
2.5.2 Tipos de variadores de velocidad.	40
2.5.2.1 Variadores mecánicos.	40
2.5.2.2 Variadores hidráulicos.	41
2.5.2.3 Variadores eléctricos y electrónicos.	42
2.5.2.4 Control mejorado.	42

2.5.3 Compensación de $\cos \varnothing$ en el variador de frecuencia.....	42
2.5.4 Funciones dedicadas a Bombas	43
2.6 PLC's	44
2.6.1 Definición.	44
2.6.2 Componentes del plc.	45
2.6.2.1 Rack principal.....	45
2.6.2.2 Fuente de alimentación.....	45
2.6.2.3 CPU.....	45
2.6.2.4 Tarjetas entradas/salidas digitales.....	46
2.6.2.5 Tarjetas entradas/salidas analógicas.....	47
2.6.2.6 Tarjetas especiales.....	48
2.6.3 Lenguajes de programación de los PLC's.....	48
2.6.4 Tipos de lenguaje de programación.....	49
2.6.4.1 Lenguajes de bajo nivel	50
2.6.4.2 Lenguajes de alto nivel.	50
2.7 Analizador de redes eléctricas.....	50
2.8 Instrumentación electrónica.	52
2.9 Tipos de enclosure.....	54
2.9.1 Gabinetes eléctricos	54
2.9.2 Tipos de tableros eléctricos.	56
2.9.3 Aplicaciones de los tableros eléctricos según el uso de la energía eléctrica.	56
2.10 Sensores y Actuadores.....	57
2.11 Sistema de puesta a tierra.	58
2.12 Factor de potencia.	62
2.12.1 Capacitores.....	63
2.12.2 Compensación de la energía reactiva.....	63
2.12.2.1 Definición y fórmulas.....	64
2.12.2.2 Potencia activa P.....	64
2.12.2.3 Potencia reactiva Q.....	65
2.12.2.4 Potencia aparente S.....	65
2.12.3 Métodos de cálculo del factor de potencia.....	68
2.13 Glosario de términos.....	69

2.14 Condiciones ambientales	72
CAPÍTULO III.....	73
3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	73
3.1 Tipo de investigación.	73
3.2 Métodos.	73
3.2.1 Método Analítico – Sintético.....	74
3.2.2 Método Inductivo – Deductivo.....	74
3.2.3 Diseño Tecnológico	74
3.2.4 Método Científico	74
3.3 Técnicas e instrumentos.	75
CAPÍTULO IV.....	76
4 PROPUESTA: PROCESO Y RESULTADOS.....	76
4.1 Diagnóstico	76
4.2 Determinación de los motores y bombas de agua horizontales del sistema óptimo de bombeo.....	81
4.2.1 Potencia de consumo.....	81
4.2.1.1 Cálculo de la potencia del motor-bomba de agua horizontal a instalarse.....	82
4.2.2 Motor eléctrico de inducción tipo sumergible.	84
4.2.2.1 Cálculo de la potencia de la bomba electro sumergible a instalarse.....	86
4.3 Determinación del arranque, protección de los motores trifásicos, sistema de puesta a tierra, corrección del bajo factor de potencia y diseño del sistema óptimo de bombeo para la finca Florycampo.	87
4.3.1 Elección y características del arrancador suave para bombas centrífuga u horizontal y electro sumergible.	87
4.3.1.1 Elección de arrancador suave para bomba centrífuga de 40 HP..	88
4.3.1.2 Elección de arrancador suave para bomba electro sumergible de 25 HP.....	89
4.3.2 Elección y características del guardamotor.....	89
4.3.2.1 Elección de guardamotor para bomba centrífuga de 40 HP.....	90
4.3.2.2 Elección de guardamotor para bomba sumergible de 25 hp.....	91

4.3.3 Sistema de puesta a tierra del sistema óptimo de bombeo de la finca Florycampo.	91
4.3.4 Diseño y cálculo del banco de capacitores automático para corregir el bajo factor de potencia producido por los motores implementados. ...	97
4.3.4.1 Cálculo del banco de capacitores.....	100
4.3.4.1.1 Paso uno.	100
4.3.4.1.2 Paso dos.....	101
4.3.4.1.3 Paso tres.	101
4.3.4.1.4 Paso cuatro.....	102
4.3.5 Diseño del sistema de bombeo óptimo.	105
4.3.5.1 Manual de operación del sistema	111
4.3.5.1.1 Personal calificado	112
4.3.5.1.2 Presión del sistema	113
4.3.5.1.3 Limitaciones de Operación.....	113
4.3.5.1.4 Modo de operación manual.....	114
4.3.5.1.5 Modo de operación automático.....	115
4.3.5.1.6 Modo de operación manual – extra caudal.	118
CAPÍTULO V.....	121
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	121
5.1 Conclusiones	121
5.1.1 La Teoría.....	121
5.1.2 Proceso de Investigación	121
5.1.3 Producto tecnológico	121
5.1.4 Métodos de fabricación.....	122
5.1.5 Las pruebas, equipos, o algún otro aspecto.	122
5.2 Recomendaciones	123
BIBLIOGRAFÍA.....	125

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1. ELECCIÓN DEL ARRANCADOR SUAVE 3RW30.	25
CUADRO 2. UNIDADES DE INGENIERÍA.	71
CUADRO 3. CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES	72
CUADRO 4. CONSUMO DE AGUA CRUDA FLORYCAMPO AÑO 2012, SISTEMA DE BOMBEO CONVENCIONAL (DATOS FLORYCAMPO).	76
CUADRO 5. CONSUMO DE AGUA CRUDA FLORYCAMPO AÑO 2012, SISTEMA ÓPTIMO DE BOMBEO (DATOS FLORYCAMPO).	77
CUADRO 6. CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA FLORYCAMPO AÑO 2012, SISTEMA CONVENCIONAL DE BOMBEO (DATOS FLORYCAMPO).	79
CUADRO 7. CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA FLORYCAMPO AÑO 2013, SISTEMA ÓPTIMO DE BOMBEO (DATOS FLORYCAMPO).	80
CUADRO 8. CONSUMO DE AGUA CRUDA SISTEMA CONVENCIONAL.	84
CUADRO 9. CONSUMO DE AGUA CRUDA REQUERIDA CON INCREMENTO DE NAVES.	85
CUADRO 10. DATOS PARA CALCULAR EL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.	92
CUADRO 11. DATOS PARA CALCULAR EL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA, EN SUELO MEJORADO.	93
CUADRO 12. PARÁMETROS DE CÁLCULO EMPLEANDO VARILLAS EN CUADRO HUECO.	96
CUADRO 13. DESCRIPCIÓN DE LOS MOTORES TRIFÁSICOS.	99
CUADRO 14. SOLUCIÓN DE PROBLEMAS.	119
CUADRO 15. MÓDULOS DE EXPANSIÓN.	123

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LAS LEYES DE AFINIDAD EN BOMBAS.	12
FIGURA 2. CURVA CARACTERÍSTICA DE LAS LEYES DE AFINIDAD EN MOTORES.	13
FIGURA 3. BOMBAS ELÉCTRICAS 40 HP EN ISLA FLOTANTE.	15
FIGURA 4. PARTES DE UNA BOMBA ELÉCTRICA SUMERGIBLE.	16
FIGURA 5. BOMBA ELÉCTRICA SUMERGIBLE FRANKLIN ELECTRIC	17
FIGURA 6. CONEXIÓN ARRANQUE DIRECTO DE UN MOTOR TRIFÁSICO	19
FIGURA 7. CONEXIÓN ESTRELLA – DELTA MOTOR TRIFÁSICO.	22
FIGURA 8. COMPARACIÓN DE DIFERENTES TIPOS DE ARRANCADORES: ARRANQUE DIRECTO, Y- TRIANGULO Y ARRANQUE SUAVE (3RW30).	23
FIGURA 9. SISTEMA DE CONTACTO DE BYPASS INTEGRADO.	26
FIGURA 10. ARRANCADORES SUAVES SIRIUS 3RW30.	28
FIGURA 11. DIAGRAMA DE CONTROL Y FUERZA DE UN GUARDAMOTOR.	29
FIGURA 12. GUARDAMOTOR SIRIUS 3RV.	33
FIGURA 13. CONEXIÓN SUBMONITOR FRANKLIN ELECTRIC.	34
FIGURA 14. SUBMONITOR FRANKLIN.	37
FIGURA 15. INSTALACIÓN TÍPICA VFD.	38
FIGURA 16. VARIADOR DE FRECUENCIA MICROMASTER	43
FIGURA 17. PLC ZELIO MODELO SR3 B261FU.	44
FIGURA 18. TIPOS DE LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN COMÚNMENTE UTILIZADOS	48
FIGURA 19. TIPOS DE LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN.	49
FIGURA 20. ANALIZADOR DE REDES ELÉCTRICAS SACI.	51

FIGURA 21. DETECTOR DE PRESIÓN ELECTRÓNICO NAUTILUS.	54
FIGURA 22. TABLEROS O GABINETES ELÉCTRICOS.	57
FIGURA 23. SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.	62
FIGURA 24. TRIÁNGULO DE POTENCIAS.	66
FIGURA 25. ENERGÍA REACTIVA.	67
FIGURA 26. POTENCIA REACTIVA A INSTALARSE.	67
FIGURA 27. PLACA DE MOTOR 40 HP SIEMENS.	82
FIGURA 28. TABLERO BANCO DE CONDENSADORES	104
FIGURA 29. VARLOGIC NR6.	105
FIGURA 30. CURVA CARACTERÍSTICA DEL CAUDAL EN FUNCIÓN DEL TIEMPO SISTEMA CONVENCIONAL.	107
FIGURA 31. CURVA CARACTERÍSTICA DEL CAUDAL EN FUNCIÓN DEL TIEMPO SISTEMA ÓPTIMO DE BOMBEO.	109
FIGURA 32. RIESGO ELÉCTRICO.	111
FIGURA 33. LESIONES GRAVES.	112

RESUMEN

Es obligación de las nuevas generaciones de técnicos formados por nuestras universidades ecuatorianas, el implementar en sus diseños y propuestas de montaje, tecnologías enfocadas a optimizar los recursos naturales y energéticos en búsqueda de un desarrollo sustentable de nuestra sociedad. En la actualidad, existe un problema a nivel del sector industrial florícola, el cual está atravesando una grave insuficiencia del recurso hídrico utilizado para sus labores principales de siembra y cultivo; sumándose a esto, las planillas por consumo eléctrico constituyen uno de los principales costos de producción, generándose de esta manera una necesidad de optimización de ambos recursos en cualquier sistema de bombeo que se solicite implementar. En el presente proyecto de tesis se describe el problema, y la solución planteada mediante el diseño e implementación de un sistema de bombeo con óptimo manejo del recurso eléctrico e hídrico para la finca Florycampo del Grupo Hilsea Investments Ltd., que será construido para dotar de agua de riego y fertilización en los nuevos bloques de producción de flores de invierno en la zona occidental de la finca. Utilizando conceptos básicos y conocimientos especializados de ingeniería eléctrica sustentados en normas internacionales (IEC y/o NEC), se proyectan las extensiones en las redes en media tensión, se dimensiona adecuadamente el transformador de distribución con su malla de puesta a tierra, se diseñan tableros principales de fuerza y control con sus respectivos accionamientos eléctricos para las bombas de superficie y bomba electro sumergible y se calcula la compensación reactiva del sistema; todo esto se ejecuta poniendo especial énfasis en el sistema de control de presión y caudal, el cual se basa en un Variador de Frecuencia que acciona con velocidad variable una de las tres bombas de superficie y un PLC que adquiere datos y administra la conexión o desconexión mediante arrancadores suaves de las otras dos bombas de superficie disponibles en velocidad fija. Al final del proyecto e implementación del sistema, se elabora una proyección de ahorro anual, con el cual se obtendrá la relación costo – beneficio para el cliente y el tiempo de recuperación del capital invertido.

SUMMARY

It is the obligation of the new generations of technicians trained by our Ecuadorian's universities, to implement in their designs and proposals assembly technologies focused on optimizing energy and natural resources in pursuit of sustainable development of our society. Currently, there is a problem at the floriculture industry, which is facing a serious shortage of water resources used for its main work planting and cultivation, adding to this, electricity consumption bills are one of the main production costs, thereby generating a need for optimization of both resources at any pumping system is required to implement. In this thesis describes the problem and the proposed solution through the design and implementation of a pumping system with optimal management of electric and water resources, for the farm Florycampo of Hilsea Investments Ltd. Ecuador, which will be built to provide irrigation water and fertilization in the new blocks of winter flower production in the west of the farm. Using basic concepts and expertise knowledge of electrical engineering, sustained in international standards (IEC and / or NEC), are planned the extensions in the networks at medium voltage, is dimensioned properly the distribution transformer with it sear thing grid, are designed electrical boards of power and control with their respective electric drives for surface pumps and water submersible pump, also is calculated reactive compensation of the system; all of this is executed placing special emphasis on the control system overpressure and flow variables. This control scheme is based on Variable Frequency Drive, which actuates with variable speed one of the three surface pumps and a PLC that acquires data and governs the connection or disconnection of the other two surface pumps available on fixed speed with soft starters. At the end of the project and implementation of the system, is calculated a projection of annual savings, to get the cost - benefit relation and the payback time.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto se lo visualizó como el prototipo óptimo de lo que debe a futuro constituir el diseño de un sistema de riego, que parte desde un reservorio hacia puntos lejanos de consumo, tal y como se lo utiliza en granjas florícolas o cualquier tipo de agroindustria con requerimientos de los recursos eléctricos e hídricos.

Este proyecto está dirigido hacia los consultores de ingeniería, proyectistas y constructores de accionamientos eléctricos, que presten sus servicios a empresas agroindustriales y que estén conscientes de la necesidad de implementar sistemas óptimo – sustentables, que permitan ofrecerle a su cliente una solución a sus necesidades de manera eficiente y amigable con el medio ambiente; garantizando además que la inversión, en estas nuevas propuestas, sea recuperada en un mediano tiempo, mejorando de esta manera a las formas convencionales de implementar este tipo de sistemas.

El alcance del presente proyecto contempla la etapa de recopilación de la información, diseño en sitio de extensión de las redes eléctricas en media tensión, dimensionamiento del transformador de distribución, malla de puesta a tierra, diseño de tableros principales de fuerza y control, con sus respectivos accionamientos eléctricos, para las bombas de superficie, accionamiento de la bomba electro sumergible, cálculo de la compensación reactiva y la automatización de todo el sistema para que cumpla con los objetivos propuestos. La metodología propuesta se basa en la teoría, la observación, la técnica y la ciencia disponible al respecto del tema del presente trabajo de investigación.

CAPÍTULO I

1 El Problema de Investigación

1.1 Antecedentes

El presente proyecto de investigación se lo realizó en la provincia de Pichincha, en el cantón Cayambe, en la finca Florycampo, propiedad del grupo Hilsea Investments Ltd.

Florycampo siempre ha recibido el suministro de agua a través del canal de riego de la localidad, pero las nuevas leyes impuestas por el gobierno central y la Senagua, muy pronto van a restringir su suministro, obligando a Florycampo a buscar un nuevo mecanismo para poder mantenerse en producción.

Para solventar esta necesidad se planificó la construcción de un reservorio de 10.000 m³, el que se alimentará desde un pozo artesiano potenciado por una bomba electro sumergible, desde el cual partirá un sistema de bombeo de presión constante, que llevará el líquido vital al sitio de consumo.

En la actualidad el 95% de las granjas florícolas del país, tienen su sistema de suministro de agua a partir de un reservorio y su respectivo sistema de presión constante. En resumidos términos, el trabajo de estos sistemas convencionales consiste en comprimir el agua a velocidad nominal de la bomba e inyectarla al manifold, si existe consumo entonces

el agua llega al punto requerido y si el consumo baja se utiliza una válvula de alivio de presión ubicada en el mismo manifold, a través de la cual retorna el agua presurizada, no consumida nuevamente al reservorio.

Esta forma convencional de trabajar es claramente ineficiente, pues durante el ciclo de trabajo del sistema de presión constante, aproximadamente el 40% del agua presurizada por las bombas de superficie es retornada al reservorio causando un perjuicio económico al desperdiciar la energía utilizada en el proceso.

1.2 Planteamiento del problema.

Hilsea Investments Ltd. y su finca Florycampo necesitan reemplazar el habitual sistema de alimentación de agua por gravedad a través del canal de riego de la localidad, para en su lugar implementar un sistema de presión constante basado en un reservorio de agua que se ha proyectado construir en la parte más baja de su zona de cultivo.

La demanda de agua a satisfacer en un pico determinado de consumo es de 115 litros por segundo a una presión de 65 psi al pie del manifold. De no lograrse este objetivo la finca seguirá teniendo un desabastecimiento, desperdicio de agua y pérdida económica.

Así mismo, de continuar con el tipo convencional de diseño e implementación de estos sistemas de presión constante, se estima que se perdería entre 15 HP y 45 HP de potencia de bombeo, durante todo el ciclo de trabajo del sistema, por motivo del retorno del agua presurizada no consumida al reservorio. Este desperdicio de agua, que implica desperdicio de energía, es demasiado grande, como para pasarlo por

alto, por lo que, fue necesario buscar alternativas que permitan optimizar recursos para evitar el consumo y pago innecesarios por energía consumida, aportando también de ésta manera a la preservación del medio ambiente, mediante el consumo adecuado de energía.

1.3 Formulación del problema

¿Cómo lograr que la Finca Florycampo del grupo Hilsea Investments Ltd. consiga optimizar los recursos energéticos e hídricos?

1.4 Delimitación

El tema motivo de investigación es concreto y específico, ya que a través de él, están claramente determinados su delimitación temporal, espacial, tecnológica y teórica así como cada una de sus unidades de observación. El tema de investigación desarrollado permitió ejecutar el diseño y construcción del sistema óptimo de bombeo, en este se determinan los procesos, técnicas, equipos de proveedores nacionales e instrumentos que se utilizan para mejorar el consumo eficiente de los recursos energéticos e hídricos.

1.4.1 Delimitación temporal.

Este proyecto se llevará a cabo en la ciudad de Cayambe, desde el mes de enero de 2013 hasta el mes de julio de 2013.

1.4.2 Delimitación espacial.

Este proyecto se llevó a cabo en la finca Florycampo del grupo Hilsea Investments Ltd., ubicada ciudad de Cayambe, provincia de Pichincha

1.4.3 Delimitación tecnológica.

1. Levantamiento de información del sistema mecánico e hidráulico.
2. Trabajo de campo para determinar el comportamiento deseado del sistema implementado.
3. Conceptualizar la solución desde el punto de vista técnico, diseño del sistema de accionamiento y control de los equipos propuestos.
4. Elaborar los planos e ingeniería en detalle; en base a normas y estándares internacionales.
5. Adquisición de materiales y armado de tableros según la ingeniería propuesta.
6. Pruebas y puesta en marcha del proyecto.

1.4.4 Delimitación teórica.

1. Conceptualizar la solución desde el punto de vista teórico
 - a. Principio de funcionamiento de motores eléctricos
 - b. Principio de funcionamiento de bombas
 - c. Leyes de afinidad (caudal, presión, potencia eléctrica) en función de la velocidad de giro de la bomba.
2. Investigar sobre las opciones de control que ofrecen los diferentes equipos electrónicos de accionamiento que se implementaron para la solución.

3. Revisar los manuales de usuario, de los equipos adquiridos.
4. Programar el PLC y simular el sistema propuesto.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Diseñar y construir un sistema de bombeo con óptimo consumo eléctrico e hídrico para Hilsea Investments, finca Florycampo, mediante la implementación de una técnica de control automático.

1.5.2 Objetivos Específicos.

- a) Establecer y describir el estado general de un sistema de bombeo existente, de presión constante tipo, con la medición y análisis del consumo eléctrico del mismo, para su posterior comparación, mediante la investigación bibliográfica y alternativas de equipamiento para sistemas de control en el país.
- b) Diseñar el sistema eléctrico, control de los tableros, sistema de puesta a tierra y el requerimiento reactivo a implementarse en el sistema óptimo de bombeo.
- c) Construir un prototipo del sistema óptimo de bombeo, demostrando en forma instructiva el ahorro energético e hídrico para el laboratorio de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico de la Facultad de Educación Ciencia y Tecnología de la Universidad Técnica del Norte.

1.6 Preguntas de investigación.

- a) ¿Es óptimo eléctrica e hidráulicamente el sistema convencional de bombeo a presión constante que se acostumbra instalar en las agroindustrias o granjas florícolas?

- d) ¿Existe la posibilidad de diseñar el sistema eléctrico, control de los tableros, sistema de puesta a tierra y el requerimiento reactivo a implementarse en el sistema óptimo de bombeo?

- e) ¿Es posible Construir un prototipo de un sistema óptimo de bombeo demostrando en forma instructiva el ahorro energético e hídrico para el laboratorio de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico de la Facultad de Educación Ciencia y Tecnología de la Universidad Técnica del Norte?

1.7 Justificación

El desarrollo de la industria florícola en Ecuador ha obligado a incrementar el tamaño de sus áreas de cultivo y paralelamente a esta expansión se incrementa la necesidad de agua para todos sus procesos productivos.

En este caso en particular, la finca Florycampo del grupo Hilsea Investments Ltd., ha trabajado y se ha extendido por más de 10 años abasteciéndose sin problema del agua proveniente del canal de riego de la zona; para esto posee un reservorio remoto en un lugar elevado cercano al canal, del cual baja una tubería de presión en 12 pulgadas, con una longitud aproximadamente de 5 km, desplazando el agua por gravedad hacia la finca. Con la nueva ley de aguas y la proliferación de ciudadelas sobre el recorrido de la tubería, la misma que en varias

ocasiones se ha roto de manera accidental, es imperativo buscar nuevas fuentes de agua para poder cumplir con sus ciclos de riego y demás procesos que requieren del líquido vital.

Por estas razones, se justifica la necesidad de diseñar y construir un sistema de bombeo con óptimo consumo energético e hídrico, basado en controlar variables de presión y caudal en tiempo real, el cual permita disponer todo el tiempo de un suministro continuo de agua de calidad, esto es, con condiciones de presión constante y caudal suficiente.

El beneficiario directo de esta investigación es la finca Florycampo del grupo Hilsea Investments Ltd., quienes han permitido realizar el presente proyecto piloto, brindando la confianza y financiamiento requerido en las fases de desarrollo e implementación, siendo también beneficiados los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico, ya que, además de este trabajo, dispondrán de un prototipo para la realización de prácticas.

Beneficio económico: Se estima que la diferencia de costos entre un sistema convencional de bombeo y el sistema óptimo propuesto e implementado, será devengado en un tiempo o período de 1,6 años.

Durabilidad: Adicionalmente con el sistema óptimo se logra reducir y casi eliminar los golpes de ariete y sobrepresiones en el sistema, aumentando el tiempo de vida útil de la instalación hidráulica. Los estudiantes de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico, podrán tener conocimiento del funcionamiento de un sistema de presión constante, el cual optimiza los recursos energético e hídrico mediante un control PID.

Tecnológicamente hablando, se sabe a ciencia cierta que ninguna finca del sector tiene un sistema de bombeo con las características del sistema que estamos proponiendo; ya que éste ostenta un proceso de automatización; asegura una mejora en la calidad del trabajo del operador y en el desarrollo del proceso; se obtiene una reducción de costos, puesto que sistematiza el trabajo, reduce el tiempo y dinero dedicado al mantenimiento; ofrece flexibilidad para adaptarse a nuevos productos, disminución de la contaminación y daño ambiental; racionalización del uso eficiente de la energía, la materia prima, aumento en la seguridad de las instalaciones y protección mas segura para los trabajadores.

CAPÍTULO II

2 Marco Teórico

2.1 Fundamentación Tecnológica del Problema

2.1.1 Leyes de afinidad en bombas.

Las leyes de afinidad tienen relación matemáticamente o básicamente con el caudal, la presión o altura, el torque del motor, la velocidad de la bomba y la energía consumida por el motor o bomba centrífuga.

Leyes de afinidad. (15 de agosto de 2012).<http://cbs.grundfos.com>. Recuperado 11 de febrero de 2013, de http://cbs.grundfos.com/BGE_Spain/lexica/SG_Laws_of_affinity.html#-, dice que: “Las leyes manifiestan que cuando se reduce una pequeña porción del caudal, este se convertirá en reductor importante de potencia y, por ende, los consumos energéticos. Las leyes son la base fundamental de los ahorros energéticos”.

Cuando se modifica una de las variables que están inmersas en el rendimiento de la bomba, las otras variables se calculan utilizando la ley de afinidad.

Un cambio en el tamaño del diámetro del impulsor o de la velocidad del eje afecta al flujo volumétrico o a la velocidad al primer orden; la presión

estática al segundo orden; y la potencia eléctrica del motor de la bomba al tercer orden.

Ley 1. Diámetro del impulsor (D) constante:

Ley 1a. El flujo es proporcional a la velocidad del eje:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)$$

Ley 1b. La presión estática es proporcional al cuadrado de la velocidad del eje:

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2$$

Ley 1c. La potencia eléctrica absorbida por el motor de la bomba es proporcional al cubo de la velocidad del eje:

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^3$$

Ley 2 2. Velocidad de eje (N) constante:

Ley 2a. El flujo es proporcional al diámetro del impulsor:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{D_1}{D_2} \right)$$

Ley 2b. La presión estática es proporcional al cuadrado del diámetro del impulsor:

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2$$

Ley 2c. La potencia eléctrica absorbida por el motor de la bomba es proporcional al cubo del diámetro del impulsor:

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3$$

Dónde:

- Q es el flujo volumétrico (e.g. CFM, GPM or L/s),
- D es el diámetro del impulsor (e.g. in or mm),
- N es la velocidad del eje (e.g. rpm),
- H es la presión estática de la bomba (e.g. ft or m), y
- P es la potencia absorbida por el motor de la bomba (e.g. W).

Esta ley presupone que la eficiencia de la bomba o ventilador permanece constante, es decir, $\eta_1 = \eta_2$. Tratándose de bombas, las leyes funcionan bien en los casos en que el diámetro del impulsor sea constante y la velocidad sea variable (Ley 1), pero se ajustan menos a la realidad cuando se trata de los casos en que la velocidad sea constante y el diámetro del impulsor sea variable (Ley 2).

Relación para el cálculo de la potencia bomba horizontal.

$$P \text{ (HP)} = \frac{100\% \times Q_b \text{ l/s} \times \text{HDT m}}{76 \times n_b \%}$$

Dónde:

HDT: Altura dinámica total (m).

Qb: Caudal de Bombeo (l/s).

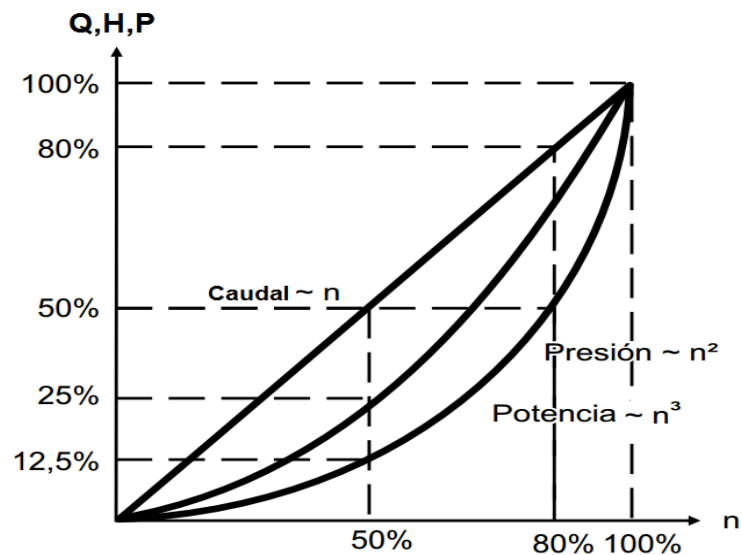
nb: Eficiencia de la bomba (%).

P: Potencia (HP)

Si la velocidad de la bomba disminuye en un 50%, el caudal igualmente se reducirá en un 50%, la altura se reducirá al 25% y el consumo de energía se reducirá al 12,5%, como se observa en la figura 1.

Figura 1.

Curvas características de las leyes de afinidad en bombas.



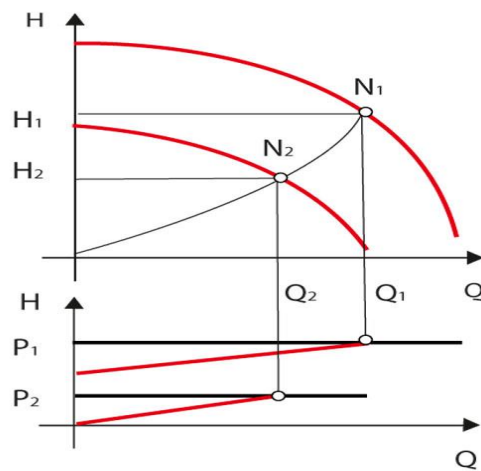
Fuente: Finca Florycampo.

Elaborado por: Los Autores

En los motores eléctricos, la afinidad, como se muestra en la figura 2, se relaciona con: el caudal (Q =caudal [m³/h]), la presión (H = altura [bar]) y la potencia (P = potencia [kW]), las cuales son proporcionales a la velocidad de giro de la bomba (n =rpm).

Figura 2.

Curva característica de las leyes de afinidad en motores.



Fuente: Finca Florycampo.

Elaborado por: Los Autores

2.1.2 Sistemas para bombeo de agua.

2.1.2.1 Bomba de agua horizontal.

La bomba es una máquina que recibe energía mecánica que puede ser de un motor eléctrico; y, éste la transforma en energía hidráulica, la cual permite que el fluido pueda ser llevado de un lugar a otro, a un mismo o diferentes niveles y a diferentes velocidades.

Bombas centrífugas. (10 de enero de 2012). <http://www.infojardin.net>. Recuperado 18 de abril de 2013, de <http://www.infojardin.net/glosario/basal/bombas-centrifugas.htm>,

declara:

“Las bombas centrífugas, también denominadas rotativas, tienen un rotor de paletas giratorio sumergido en el líquido. El líquido entra en la bomba cerca del eje del rotor, y las paletas lo arrastran hacia sus extremos a alta presión. El rotor también proporciona al líquido una velocidad relativamente alta que puede transformarse en presión en una parte estacionaria de la bomba, conocida como difusor”.

En toda bomba, el rotor debe ser cebado antes de iniciar su funcionamiento, aún si están en una isla flotante como se muestra en la figura 3; es decir, cuando se arranca la bomba, este debe de estar rodeado de líquido. Esto se logra cuando se coloca una válvula de retención en el canal de succión. Esta válvula conserva el líquido en la bomba cuando no gira el rotor; las bombas centrífugas tienen una válvula en el canal de salida para controlar la presión y el flujo.

Cuando es el caso de altas presiones y flujos bajos, el trabajo del rotor es en gran medida radial. En presiones menores y en flujos más elevados, la trayectoria del flujo en la bomba, en el interior, es mucho más paralela al eje del rotor (flujo axial). Para este caso opera como una hélice el rotor.

Como ya se indicó, para determinar la potencia de la bomba horizontal, se utilizó la siguiente relación:

$$P (HP) = \frac{100\% \times Q_b \text{ l/s} \times HDT \text{ m}}{76 \times \eta_b \%}$$

Figura 3.
Bombas eléctricas 40 HP en isla flotante.



Fuente: Sistema óptimo de bombeo FYC
Elaborado por: Los Autores

2.1.2.2 Bombas centrífugas acopladas a un motor electro sumergible (Bomba de pozo).

Un motor o bomba sumergible es una bomba, la cual se sumerge como su propio nombre lo indica. Las bombas sumergibles contienen un propulsor sellado a su carcasa, el cual permite que el líquido sea bombeado y expulsado hacia el exterior. La superioridad de las bombas sumergibles, es que pueden suministrar una fuerza de bombeo no dependiendo de la presión externa del aire, para que el líquido ascienda. Las bombas sumergibles principalmente se las utilizan para la extracción de aguas de reservorios, de aguas de pozos profundos, de aguas residuales; y, su función básica es transportar un fluido.

En la figura 4 se muestra las partes de la bomba eléctrica sumergible dentro del pozo artesiano.

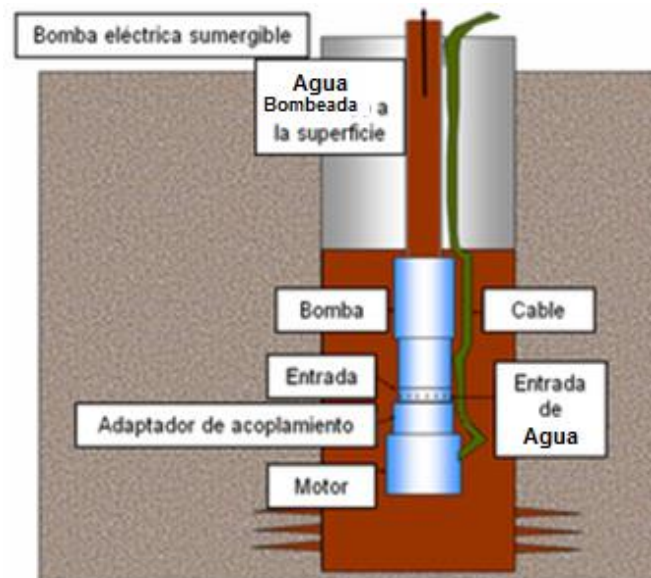
2.1.2.1 Características y funcionamiento de motores sumergibles.

Catálogo técnico Franklin Electric (2005), pág. 3, declara:

“Los motores sumergibles están diseñados principalmente para operar con el eje en posición vertical. Durante la aceleración del motor, el empuje de la bomba aumenta, mientras aumenta la carga de salida. En casos donde la carga de la bomba permanece por debajo de su rango de operación normal durante el arranque y durante la condición de velocidad a plena marcha, la bomba puede realizar un empuje hacia arriba. Esto a su vez crea un empuje hacia arriba en el cojinete de empuje axial del motor, lo cual es una operación aceptable para períodos cortos en cada arranque, pero el funcionamiento continuo con empuje ascendente puede provocar un desgaste excesivo en el cojinete de empuje axial”.

Figura 4.

Partes de una bomba eléctrica sumergible.



Fuente: Finca Florycampo.

Elaborado por: Los Autores

Para determinar la potencia de la bomba electro sumergible, se utilizó la siguiente relación:

$$P (HP) = \frac{100\% \times Q_b \text{ l/s} \times HDT \text{ m}}{76 \times nb \%}$$

HDT: Altura dinámica total (m).

Q_b: Caudal de Bombeo (l/s).

nb: Eficiencia de la bomba (%).

P: Potencia (HP).

La elección de la bomba eléctrica sumergible Franklin Electric se realizó por su alta eficiencia, la durabilidad dentro de aguas con altos contenidos de minerales y su construcción. En la figura 5 tenemos la instalación de la bomba eléctrica sumergible utilizada en el proyecto de la finca Florycampo.

Figura 5.

Bomba eléctrica sumergible Franklin Electric.



Fuente: Sistema óptimo de bombeo FYC

Elaborado por: Los Autores.

2.2 Método para determinar los motores y bombas del sistema de bombeo.

2.2.1 Métodos de arranque y protección de motores.

Catálogo técnico Weg Accionamientos ISA CONTROL (2006), pág. 5-12, declara:

“Los motores de corriente alterna que tienen un rotor en jaula de ardilla consiguen ponerse en marcha a través de un arranque de tensión reducida o arranque directo. Generalmente la corriente de arranque en ambos casos resulta mayor que la corriente nominal, originando en las redes de distribución perturbaciones. En motores pequeños no son tan importantes estas perturbaciones, ya que estos son capaces de arrancar a tensión nominal. Durante el arranque de los motores mencionados la caída máxima de tensión no debe sobrepasar el 15%. Para cortar las fases simultáneamente en cada circuito con motores debe contar con interruptores, y, cuando la corriente adquiera valores sumamente peligrosos, la protección debe ser automática”.

2.2.2 Arranque directo.

Automatización industrial. (25 de marzo de 2013).

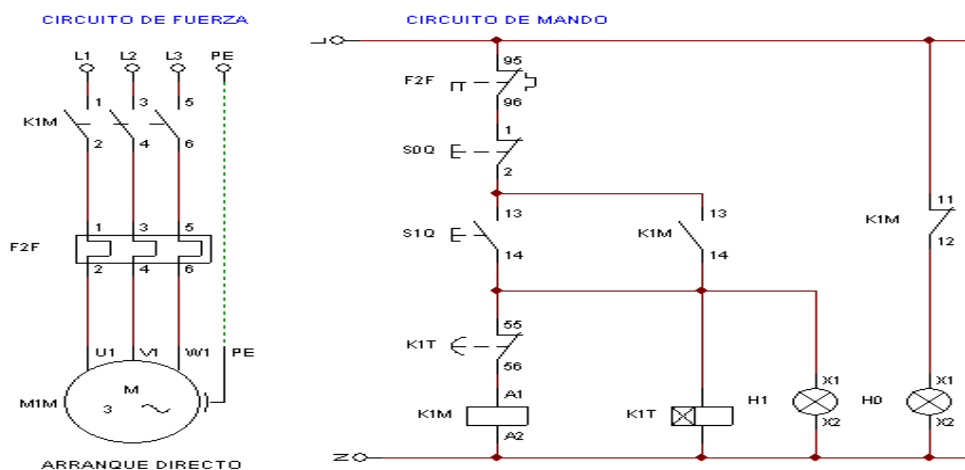
<http://www.jorgeleon.terradeleon.com>. Recuperado 12 de mayo de 2013, de <http://www.jorgeleon.terradeleon.com/automatizacion/>, declara:

“Este método se lo emplea básicamente en motores de potencia de menos de 5kW. En forma directa un motor arranca cuando se aplica directamente una tensión nominal con la que trabaja, en sus bornes. El bobinado de un motor tiende a absorber más cantidad de corriente, de la corriente nominal, cuando el motor arranca a plena carga, lo que ocasiona que las líneas de alimentación aumenten la carga considerablemente y causa de forma directa la caída de voltaje. La

corriente o intensidad de corriente durante el periodo de arranque, su corriente nominal puede incrementarse de 6 a 8 veces más que la corriente nominal del motor”.

En la figura 6 se muestra la conexión de arranque directo de un motor trifásico.

Figura 6.
Conexión arranque directo de un motor trifásico.



Fuente: Control eléctrico industrial.

Elaborado por: Ing. Jorge León.

Al tener varios motores de media y gran potencia, los cuales están arrancando y parando constantemente, hace que se ocasione perturbaciones en la red eléctrica y se convierte en un gran problema. Esto se puede solucionar con algunos de los métodos de arranque, como por ejemplo: el arranque de tensión reducida.

Este método se lo puede emplear en motores de potencia mayor a los 5 kW. El arranque es un mecanismo que se parece al arranque estrella – triángulo esto se logra con un autotransformador. El arranque de tensión reducida se alcanza a través de bobinas auxiliares, las cuales consisten en aumentar la tensión en forma intercalada para lograr un arranque suave del motor.

2.2.3 Arranque estrella - delta.

Automatización industrial. (25 de marzo de 2013).

<http://www.jorgeleon.terradeleon.com>. Recuperado 16 de mayo de 2013, de <http://www.jorgeleon.terradeleon.com/automatizacion/>, declara:

“Se puede emplear este método en motores de rotor devanado como también a motores de rotor jaula de ardilla; al emplear este método deben cumplir una condición el motor: este debe tener acceso a los devanados del estator (6 bornes de conexión)”.

Los motores que estén preparados para funcionar en delta con la tensión de la red, deben implementarse a este método; de otra manera no se puede realizar la conexión. El motor se lo conecta en estrella en el momento del arranque.

El método se puede emplear tanto en motores de rotor devanado, y a su vez, en motores de rotor jaula de ardilla; la condicionante que debe cumplir el motor para poder aplicar este método de arranque es que tenga el acceso completo (6 bornes de conexión) a los devanados del estator.

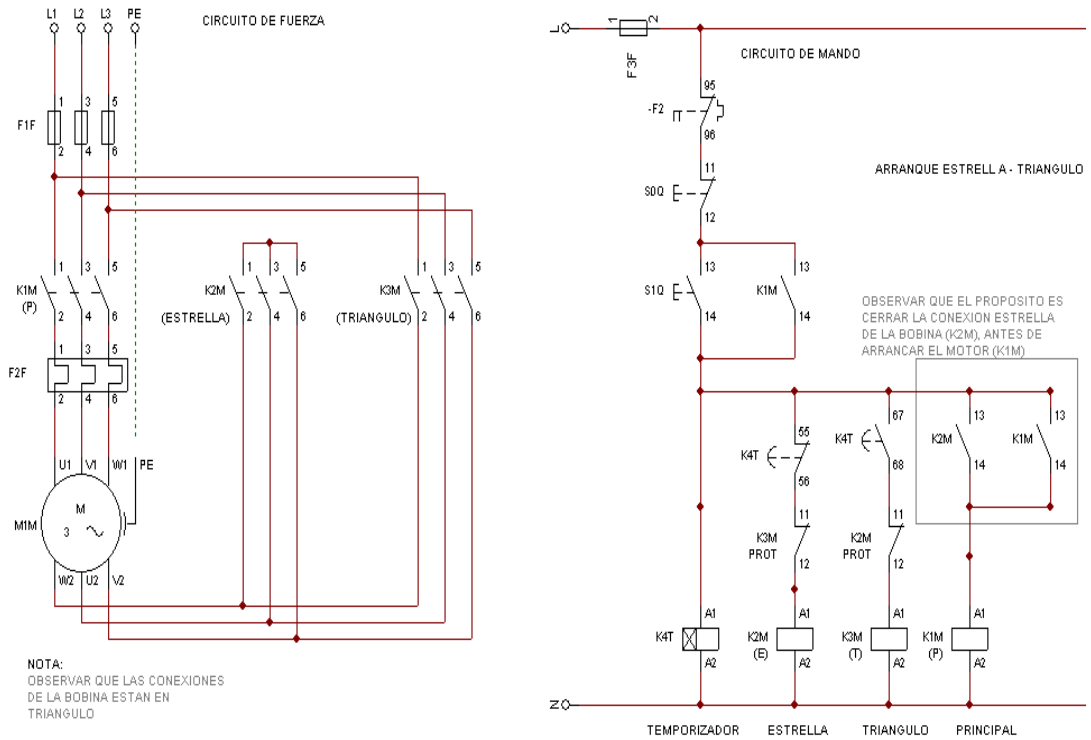
Este método simplemente se puede utilizar para aquellos motores que sean preparados para funcionar en conexión delta con voltaje de la red; si no es así, no se le puede conectar. Se conecta el motor en estrella al momento de iniciar el arranque y se pasa después a delta cuando está en funcionamiento.

El intercambio de la conexión estrella-delta habitualmente se realiza de manera automática luego de transcurrido un lapso de tiempo regulable en cuanto el motor logra determinada velocidad.

La conexión del arranque estrella-delta, es el más empleado para el arranque a voltaje reducido, debido a su simple construcción, posee una buena confiabilidad y el costo de este motor es reducido.

Tres contactos realizan la tarea de maniobrar el motor, como se muestra en la figura 7, pues éste es el caso más simple con adecuados enclavamientos. Para la protección del motor se utiliza un relé térmico. El relé térmico debe estar colocado en las fases del motor.

Figura 7.
Conexión estrella – delta motor trifásico.



Fuente: Control eléctrico industrial.

Elaborado por: Ing. Jorge León.

2.2.4 Arranadores Suaves.

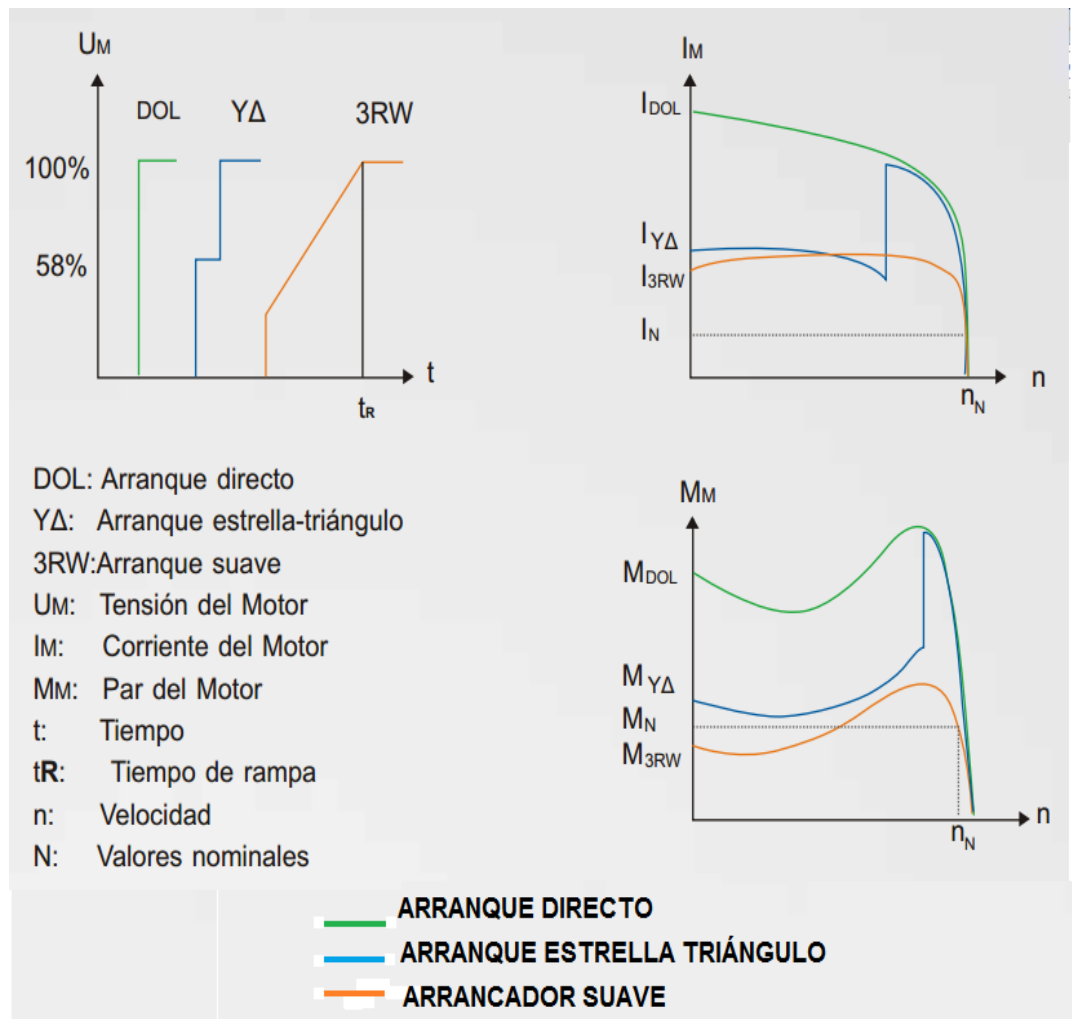
Catálogo técnico SIRIUS arranadores suaves SIEMENS (2010), pág. 8-12, declara:

“Los arranadores suaves mejoran las secuencias de arranque y de parada (aceleran y desaceleran); extienden la productividad; permiten ahorro de energía / mantenimiento; y, protegen los motores de inducción trifásicos. El motor trifásico, es el significado de accionamiento más manejado. Por lo tanto, en muchos casos, el arranque directo o el arranque Y-triángulo, quizás no sea el mejor recurso, los fastidiosos efectos secundarios como el impacto mecánico de la máquina o las caídas de voltaje en la línea de opción suave adecuada, para casi toda aplicación, ya sea en arranques tipo o de alto

torque. Los conocimientos de máquina del futuro se logran desarrollar de forma cómoda, superando las formas convencionales de arranques, grandes ventajas al momento del arranque; y, eficaz a través del arranque suave de los motores trifásicos”. Como se muestra en la figura 8

Figura 8.

Comparación de diferentes tipos de arrancadores: arranque directo, Y-triángulo y arranque suave (3RW30).



Fuente: Catálogo técnico SIEMES.

Elaborado por: SIEMES.

Los arrancadores suaves limitan la corriente y el par de arranque de modo que el esfuerzo mecánico y las bajas de tensión en la línea son mínimos. La tensión del motor se reduce con el control de fase, y aumenta desde una tensión de arranque ajustable hasta la tensión de la línea dentro del tiempo de arranque, gracias al control de la tensión de mando sin pasos, el motor se ajusta a la conducta de accionamiento de la máquina, el equipo de operaciones mecánicas se acelera de forma especialmente suave, lo que influye positivamente su conducta operativa y prolonga su vida de servicio.

Los problemas más frecuentes que sufren las empresas de servicios públicos son las variaciones de tensión y corriente durante la puesta en marcha; los equipos se sobrecargan debido a la abrupta demanda de corriente. Considere los costos de mantenimiento y de consumo de electricidad con la función de control de par de nuestros arrancadores suaves para altos torques.

La elección del arrancador suave sirius 3RW30 mostrado en la figura 10, se hizo por las siguientes características de acuerdo al cuadro 1 del cuaderno técnico de fabricación en este caso SIEMENS.

Cuadro 1. Elección del arrancador suave 3RW30.

40° C Temperatura ambiente					50° C Temperatura ambiente					Número de pedido
Tensión nominal operativa U_e	Corriente nominal operativa I_e	Potencia nominal de motores trifásicos en tensión nominal operativa U_e			Corriente nominal operativa I_e	Potencia nominal de motores trifásicos en tensión nominal operativa U_e				
V	A ²⁾	230 V kW	400 V kW	500 V kW	A ²⁾	200 V hp	230 V hp	460 V hp	575 V hp	
200... 480	12.5	3	5.5	–	11	3	3	7.5	–	3RW30 17-□BB□4
	17.6	4	7.5	–	17	3	3	10	–	3RW30 18-□BB□4
	25	5.5	11	–	23	5	5	15	–	3RW30 26-□BB□4
	32	7.5	15	–	29	7.5	7.5	20	–	3RW30 27-□BB□4
	38	11	18.5	–	34	10	10	25	–	3RW30 28-□BB□4
	45	11	22	–	42	10	15	30	–	3RW30 36-□BB□4
	63	18.5	30	–	58	15	20	40	–	3RW30 37-□BB□4
	72	22	37	–	62	20	20	40	–	3RW30 38-□BB□4
	80	22	45	–	73	20	25	50	–	3RW30 46-□BB□4
	106	30	55	–	98	30	30	75	–	3RW30 47-□BB□5

BOMBA ELECTRO SUMERGIBLE

 BOMBA HORIZONTAL O DE SUPERFICIE

Bornes de tornillos ↑ 1

Bornes de resortes ↑ 2

Fuente: Catálogo técnico SIEMENS arrancador suave.

Elaborado por: SIEMENS.

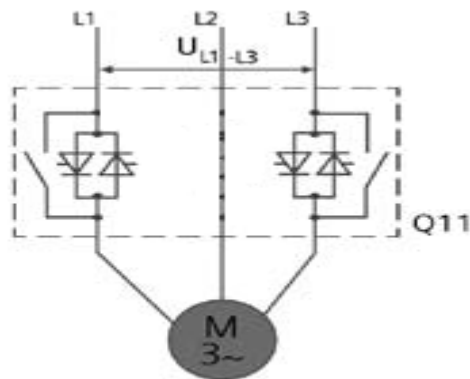
Cuaderno técnico SIEMENS Sirius arrancadores suaves (2005-05-08), pág. 93 declara:

“El siruis 3RW30 minimiza la sobrecarga en el motor al reducir el par de arranque y protege la línea de alimentación contra los peligrosos picos de tensión ya que demanda menos corriente. De este modo, se evitan bajas de tensión en la línea, es especialmente compacto gracias a su consistente optimización de sus módulos eléctricos con tecnología híbrida, permite el montaje de lado-a-lado de hasta 60 °C, Además, es de rápida configuración y fácil instalación ya que sólo tiene tres cables de alimentación al motor, los alimentadores de carga sin fusibles se montan con un sólo módulo, con el interruptor sirius 3RV. El sirius 3RW30 es un dispositivo confiable que asegura operaciones seguras y estables. Además, el sistema de contacto de bypass integrado como se muestra en la figura 9, reduce la pérdida de calor del arrancador suave durante las operaciones, la configuración de tiempo y la tensión de arranque se ajustan fácilmente por medio de 2 potenciómetros que aseguran una conducta de arranque óptima, además el arrancador eléctrico ahorra

hasta un 70%, comparado con los arrancadores estrella - delta para aplicaciones estándar”.

Figura 9.

Sistema de contacto de bypass integrado.



Fuente: Catálogo técnico SIEMES.

Elaborado por: SIEMES.

2.2.4.1 Aplicaciones de los arrancadores suaves.

Bombas de vacío.

Bombas centrífugas.

Trituradoras (sin carga Inicial).

Compresores de Tornillo.

Ventiladores axiales (de baja inercia y baja carga).

2.3.4.1 Método de cálculo para determinar la protección de un arrancador suave en motores trifásicos.

$$P = \frac{I_n \sqrt{3} V_x n_x FP}{FS}$$

Despejando I (Intensidad de corriente) se obtiene:

$$I_n = \frac{P_x FS}{\sqrt{3} V_x n_x FP}$$

Dónde:

I_n = Intensidad nominal de corriente.

P = Potencia del motor (W 1HP=746W)

V = Tensión de la red (Línea trifásica).

FP =Factor de potencia.

FS =Factor de servicio.

n = Eficiencia del motor

Figura 10.
Arrancadores suaves sirius 3RW30



Fuente: Sistema óptimo de bombeo FYC.

Elaborado por: Los Autores

2.3 Guardamotores.

Guardamotores. (26 de abril de 2010). <http://mci-automation.blogspot.com>. Recuperado 28 de mayo de 2013, de <http://mci-automation.blogspot.com/2012/11/guardamotor-magneto-termico.html> declara:

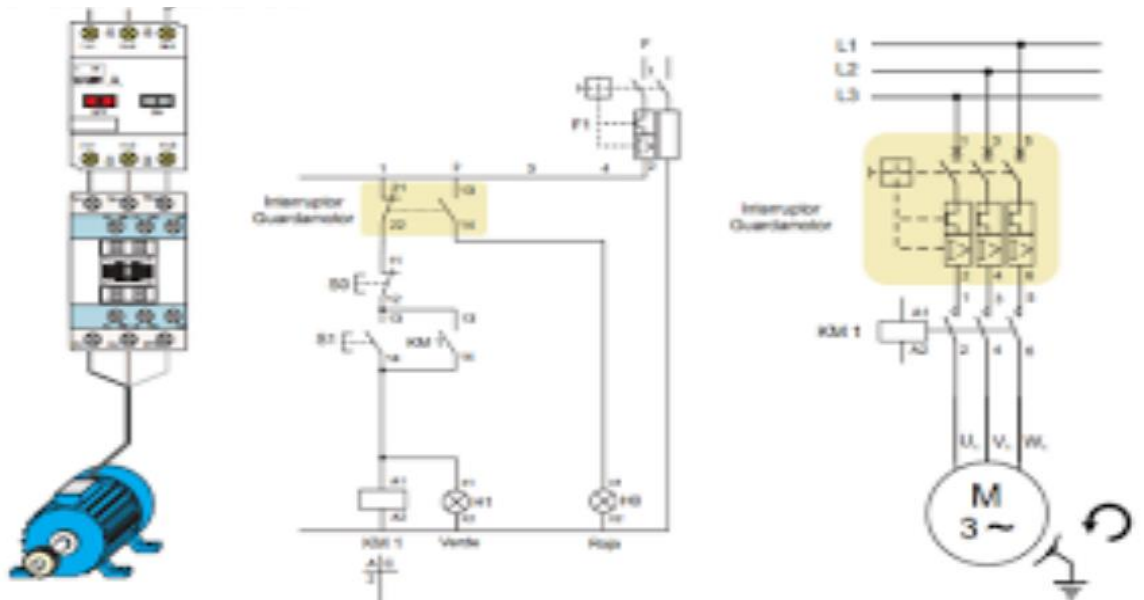
“Un guardamotor es un disyuntor magneto-térmico, diseñado especialmente para la protección de motores eléctricos. Este diseño específico suministra al dispositivo una curva de disparo que lo hace más resistente frente a las sobre intensidades transitorias de corrientes típicas de los arranques de los motores. La curva de disparo magnético es semejante al de otras protecciones automáticas, pero el disparo térmico se produce con un tiempo e intensidad mayores”.

Las principales características de los guardamotores, al igual que de otras protecciones termo-magnéticas automáticas son: intensidad nominal o calibre; la capacidad de ruptura; y, la curva de disparo. Proporciona protección frente a sobrecargas del motor y cortocircuitos, así como, en algunos casos, frente a falla de fase.

El guardamotor (también llamado disyuntor magneto térmico o protector de motor), es un dispositivo de protección contra los cortocircuitos, dentro de los límites de su poder de corte a través de disparadores magnéticos (un disparador por fase). También protegen contra los contactos indirectos como se muestra en la los diagramas de la figura 11.

Figura 11.

Diagrama de control y fuerza de un guardamotor.



Fuente: Catálogo técnico SIEMES.

Elaborado por: SIEMES.

Dependiendo del tipo de circuito que se desee proteger (motor, distribución) el umbral de disparo magnético se situará entre 3 y 15 veces la corriente térmica I_{th} . Dependiendo del guardamotor, dicho umbral de disparo puede ser fijo o ajustable por el usuario. Todos los guardamotors pueden realizar cortes omnipolares, ya que la puesta en funcionamiento de un sólo disparador magnético basta para abrir simultáneamente todos los polos. Por ello, se garantiza la capacidad de seccionamiento. Cuando la corriente de cortocircuito (I_{cc}) no es muy elevada, los guardamotors funcionan a mayor velocidad que los fusibles.

2.3.1 Características técnicas principales de los guardamotors.

Guardamotors. (26 de abril de 2010). <http://es.scribd.com>. Recuperado 29 de mayo de 2013, de <http://es.scribd.com/doc/128437215/Guardamotors> declara:

“Poder de corte es el valor máximo estimado de corriente de cortocircuito que puede interrumpir un guardamotor con una tensión y en unas condiciones determinadas. Se expresa en kA eficaces simétrico. La norma IEC 947-2 define dos valores para el poder de corte de los guardamotors: Poder asignado de corte último (I_{cu}). Es el valor eficaz máximo de corriente que permite realizar un corte correctamente y a continuación una operación de cierre-apertura. Es prácticamente igual al poder de corte I_{cn} ciclo P1 de la norma IEC 157-1”

Poder asignado de corte de servicio (I_{cs}). Es el valor eficaz máximo de corriente que permite realizar un corte correctamente y a continuación dos operaciones de cierre-apertura. Es prácticamente igual al poder de corte I_{cn} ciclo P2 de la norma IEC 157

Poder de cierre es el valor máximo de corriente que puede establecer un guardamotor con su tensión nominal en condiciones determinadas. En corriente alterna, se expresa con el valor de cresta de la corriente. El poder de cierre es igual a k veces el poder de corte, según se indica en la norma, IEC947.2.

2.3.1.1 Autoprotección del guardamotor.

Este nombre se da a la aptitud que posee un aparato para limitar la corriente de cortocircuito con un valor inferior a su propio poder de corte, gracias a su impedancia interna.

2.3.1.2 Poder de limitación del guardamotor.

Un guardamotor es además limitador cuando el valor de la corriente que realmente se interrumpe en caso de fallo es muy inferior al de la corriente de cortocircuito estimado. La limitación de la corriente de cortocircuito depende de la velocidad de apertura del aparato y de su capacidad para generar una tensión de arco superior a la tensión de la red. Permite atenuar los efectos térmicos y electrodinámicos, proporcionando así una mejor protección a los cables y al aparellaje.

2.3.1.3 Selectividad del guardamotor.

La selectividad consiste en coordinar las características de funcionamiento de los dispositivos de protección conectados en serie (por ejemplo, dispositivos de protección de arrancadores y guardamotor de protección general). Existe selectividad de las protecciones cuando se produce un fallo en cualquier punto de la instalación y se soluciona

únicamente con el dispositivo de protección más cercano a dicho punto, aguas arriba.

De esta forma, la selectividad permite que las consecuencias de un fallo sólo afecten a la parte de la instalación donde se ha producido.

La selectividad puede ser total o parcial. Es total cuando, sea cual sea el valor de la corriente de fallo, desde la sobrecarga hasta el cortocircuito franco, el aparato situado aguas abajo se abre, mientras que el aparato situado aguas arriba permanece cerrado.

La selectividad es parcial cuando las condiciones sólo se respetan en un rango limitado de la corriente de fallo, como se muestra en la figura 12.

Determinación del guardamotor situado aguas arriba.

Para elegir el calibre I_0 del guardamotor situado aguas arriba en función del calibre de los aparatos que conforman los arrancadores I_1 , I_2 , I_3 , ..., I_n , se deben cumplir dos condiciones:

I_0 debe ser mayor o igual a la suma de I_1 , I_2 , I_3 , ..., I_n .

I_0 debe ser superior o igual a 3 veces el calibre del aparato que conforma el arrancador más potente.

2.3.2 Método de cálculo para determinar la protección de un guardamotor en motores trifásicos.

$$P = \frac{In\sqrt{3}Vxn\alpha FP}{FS}$$

Despejando I (Intensidad de corriente) se obtiene:

$$In = \frac{P\alpha FS}{\sqrt{3}Vxn\alpha FP}$$

Figura 12.
Guardamotor Sirius 3RV.



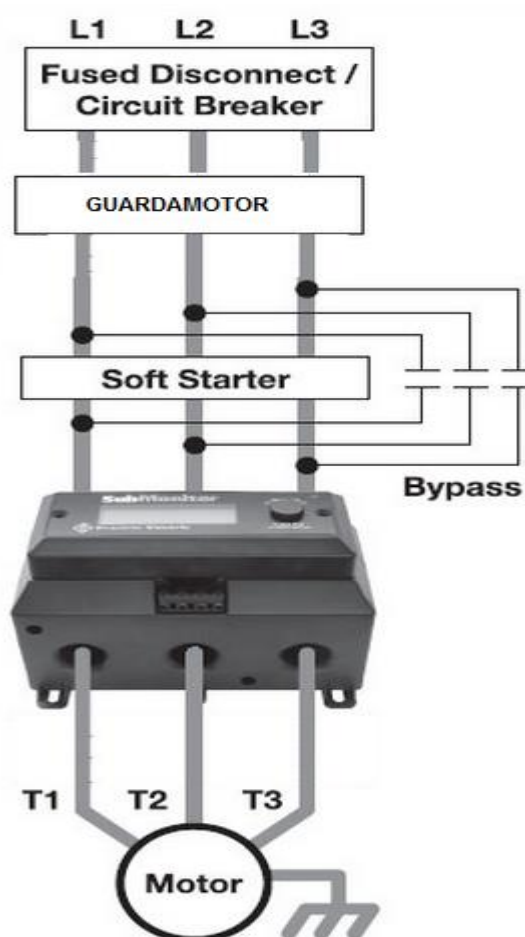
Fuente: Sistema óptimo de bombeo FYC

Elaborado por: Los Autores

2.4 SubMonitor sistema de protección para motor - bomba sumergibles.

Manual de instalación y operación SubMonitor (2005-05-08), pág. 23, dice que “El SubMonitor de Franklin Electric es un dispositivo de protección programable, fácil conexión como se muestra en la figura 13 y de fácil uso para motores sumergibles trifásicos de Franklin Electric”.

Figura 13.
Conexión SubMonitor Franklin Electric.



Fuente: Catálogo técnico de SubMonitor.

Elaborado por: Franklin Electric.

Las características del SubMonitor le proporcionan las siguientes protecciones avanzadas para motores sumergibles:

Cuaderno técnico SubMonitor Franklin Electric (2011-08-10), pág. 5-10 declara:

“El SubMonitor opera en todo el rango de voltajes en motores trifásicos: 200 a 575 Voltios, 50/60 Hz. Opera en motores con una corriente de factor de servicio desde 3 hasta 359 amperios. No requiere transformadores de corriente externos ni adicionales. Protege los motores y bombas de: sobrecargas de corriente; cargas bajas de corriente; alto voltaje; bajo voltaje; corrientes desbalanceadas; arranques falsos; e, inversión de fases. Opera con un motor sumergible equipado con sensor-subcontrol para proporcionar al motor protección contra el sobrecalentamiento. Monitorea y muestra los voltajes y corrientes de las tres fases y el estado de la bomba. Cuando ocurre una falla, muestra las condiciones y el tipo de la falla. Registra y muestra el historial de hasta 502 eventos de disparo de protección por falla, además de registrar los cambios a los parámetros programables. Registra el tiempo total de operación de la bomba. Cuenta con una unidad de pantalla separable que puede montarse en el frente de un panel para poder ver el estado de operación del motor. Incluye la opción de bloqueo por contraseña para evitar manipulaciones de personal no autorizado en el equipo. Montaje fácil en riel din u opción empotrable. Unidad totalmente integrada, los transformadores de corriente están incorporados”.

2.4.1 Programación Simple.

Manual de instalación y operación SubMonitor (2005-05-08), pág. 24-37, dice que: “El SubMonitor ha sido pre programado en fábrica con ajustes predeterminados para motores y bombas sumergibles. El ajuste es tan simple como establecer los siguientes valores del motor: voltaje, frecuencia y amperaje máximo FS (Factor de Servicio)”.

Pueden seleccionarse opciones adicionales de programación si se desea personalizar las características y niveles de protección.

Todo el ajuste de programación puede hacerse antes de instalar la unidad en el campo, esto se logra conectando una fuente monofásica de 230 voltios entre las entradas de voltaje L1 y L3 del SubMonitor e introduciendo los datos del motor y otras opciones, que se pueden observar en el panel frontal del SubMonitor como se indica en la figura 14.

La condición de pérdida de fase es un caso severo de desbalance de corriente. Fallas de desbalance de corriente reportadas por el SubMonitor son debidas a una pérdida de fase cuando la corriente en una línea de alimentación del motor es muy pequeña, o cuando la función de desbalance de corriente ha sido desactivada.

Figura 14.
SubMonitor Franklin.



Fuente: Sistema óptimo de bombeo FYC
Elaborado por: Los Autores

2.5 Variador de frecuencia VFD.

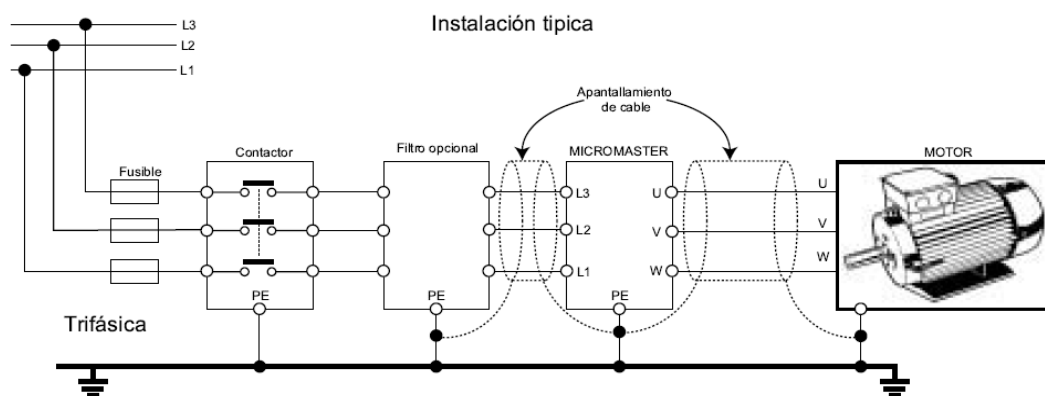
2.5.1 Definición y sus aplicaciones.

Cuaderno técnico Siemens DA 51.2 (2007-2008), pág. 1-6 declara:
“El variador de velocidad (VSD, por sus siglas en inglés Variable Speed Drive) es en un sentido amplio un dispositivo o conjunto de dispositivos mecánicos, hidráulicos, eléctricos o electrónicos empleados para controlar la velocidad giratoria de maquinaria, especialmente de motores. También es conocido como Accionamiento de Velocidad Variable (ASD, también por sus siglas en inglés Adjustable-Speed Drive). De igual manera, en ocasiones es denominado mediante el anglicismo Drive, costumbre que se considera inadecuada. La maquinaria industrial generalmente es accionada a través de motores eléctricos, a velocidades constantes o variables, pero con valores

precisos. No obstante, los motores eléctricos generalmente operan a velocidad constante o cuasi-constante, y con valores que dependen de la alimentación y de las características propias del motor, los cuales no se pueden modificar fácilmente. Para lograr regular la velocidad de los motores se emplea un controlador especial que recibe el nombre de variador de velocidad. Los variadores de velocidad se emplean en una amplia gama de aplicaciones industriales, como: en ventiladores y equipo de aire acondicionado, equipo de bombeo, bandas y transportadores industriales, elevadores, llenadoras, tornos y fresadoras, etc. Un variador de velocidad puede consistir en la combinación de un motor eléctrico y el controlador que se emplea para regular la velocidad del mismo”.

La combinación de un motor de velocidad constante y de un dispositivo mecánico que permita cambiar la velocidad de forma continua (sin ser un motor paso a paso) también puede ser designado como variador de velocidad, además su conexión es simple como se muestra en la figura15.

Figura 15.
Instalación típica VFD.



Fuente: Catálogo técnico variador Micromaster SIEMENS

Elaborado por: SIEMENS

2.5.1.1 Motivos por lo que se emplea un variador de velocidad.

El control de procesos y el ahorro de la energía son dos de las principales razones para el empleo de variadores de velocidad.

Históricamente, los variadores de velocidad fueron desarrollados originalmente para el control de procesos, pero el ahorro energético ha surgido como un objetivo tan importante como el primero.

2.5.1.2 Aplicaciones de los variadores en bombas y ventiladores.

Entre las diversas ventajas en el control del proceso proporcionadas por el empleo de variadores de velocidad destacan:

Operaciones más suaves.

Control de la aceleración.

Distintas velocidades de operación para cada fase del proceso.

Compensación de variables en procesos variables.

Permitir operaciones lentas para fines de ajuste o prueba.

Ajuste de la tasa de producción.

Permitir el posicionamiento de alta precisión.

Control del par motor (torque).

2.5.1.3 Fomentar el ahorro de energía mediante el uso de variadores de velocidad.

Un equipo accionado mediante un variador de velocidad emplea generalmente menor energía como si dicho equipo fuese activado a una velocidad fija constante. Los ventiladores y bombas representan las

aplicaciones más llamativas. Por ejemplo, cuando una bomba es impulsada por un motor que opera a velocidad fija, el flujo producido puede ser mayor al necesario.

Para ello, el flujo podría regularse mediante una válvula de control dejando estable la velocidad de la bomba, pero resulta mucho más eficiente regular dicho flujo controlando la velocidad del motor, en lugar de restringirlo, por medio de la válvula, ya que el motor no tendrá que consumir una energía no aprovechada.

2.5.2 Tipos de variadores de velocidad.

Cuaderno técnico Siemens DA 51.2 (2007-2008), pág. 23-40 declara: “En términos generales, puede decirse que existen tres tipos básicos de variadores de velocidad: mecánicos, hidráulicos y eléctrico-electrónicos. Dentro de cada tipo pueden encontrarse más subtipos, que se detallarán a continuación. Cabe aclarar que los variadores más antiguos fueron los mecánicos, que se emplearon originalmente para controlar la velocidad de las ruedas hidráulicas de molinos, así como la velocidad de las máquinas de vapores. Los variadores de velocidad mecánicos e hidráulicos generalmente son conocidos como transmisiones cuando se emplean en vehículos, equipo agroindustrial o algunos otros tipos de maquinaria”.

2.5.2.1 Variadores mecánicos.

Variador de paso ajustable: este dispositivo emplea poleas y bandas en las cuales el diámetro de una o más poleas puede ser modificado.

Variador de tracción: transmite potencia a través de rodillos metálicos. La relación de velocidades de entrada/salida se ajusta moviendo los rodillos para cambiar las áreas de contacto entre ellos y así la relación de transmisión.

2.5.2.2 Variadores hidráulicos.

Variador hidrostático: consta de una bomba hidráulica y un motor hidráulico (ambos de desplazamiento positivo). Una revolución de la bomba o el motor corresponde a una cantidad bien definida de volumen del fluido manejado. De esta forma la velocidad puede ser controlada mediante la regulación de una válvula de control, o bien, cambiando el desplazamiento de la bomba o el motor.

Variador hidrodinámico: emplea aceite hidráulico para transmitir par mecánico entre un impulsor de entrada (sobre un eje de velocidad constante) y un rotor de salida (sobre un eje de velocidad ajustable). También llamado acoplador hidráulico de llenado variable.

Variador hidrovicoso: consta de uno o más discos conectados con un eje de entrada, los cuales estarán en contacto físico (pero no conectados mecánicamente) con uno o más discos conectados al eje de salida.

El par mecánico (torque) se transmite desde el eje de entrada al de salida a través de la película de aceite entre los discos. De esta forma, el par transmitido es proporcional a la presión ejercida por el cilindro hidráulico que presiona los discos.

2.5.2.3 Variadores eléctricos y electrónicos.

Existen cuatro categorías de variadores de velocidad eléctrico-electrónicos:

Variadores para motores de CC.

Variadores de velocidad por corrientes de Eddy.

Variadores de deslizamiento.

Variadores para motores de CA (también conocidos como variadores de frecuencia).

2.5.2.4 Control mejorado.

Variador de frecuencia para controlar el caudal o la presión de un sistema, se obtiene un control mejorado. Un convertidor de frecuencia puede variar la velocidad de un ventilador o una bomba, lo que permite obtener un control variable de caudal y presión. Además, adapta rápidamente la velocidad de un ventilador o de una bomba a las nuevas condiciones de caudal o presión del sistema. Control simple del proceso (caudal, nivel o presión) utilizando el controlador PID integrado en el variador de frecuencia (Danfoss puede incluir hasta 4 lazos PID independientes).

2.5.3 Compensación de $\cos \varnothing$ en el variador de frecuencia.

En general, un variador de frecuencia con un $\cos \varnothing$ igual a 1 proporciona una corrección del factor de potencia para el $\cos \varnothing$ del motor, lo que significa que no hay necesidad de considerar el $\cos \varnothing$ del motor, cuando se dimensiona la unidad de corrección del factor de potencia. Cuando se necesita arrancar motores relativamente grandes es necesario usar equipos que limitan la tensión de puesta en marcha. En los sistemas tradicionales, se utiliza con frecuencia un arrancador en estrella/triángulo

o arrancador suave. Estos arrancadores de motor no se necesitan, si se usa un variador de frecuencia, ya que nunca consume más corriente que la nominal.

2.5.4 Funciones dedicadas a Bombas

Detecta fin de la curva de la bomba para evitar fallas.

Detecta funcionamiento en seco y sobrecalentamiento.

Hasta 4 controladores PID independientes incorporados, PI con auto sintonía.

Algoritmo para control de bombas en cascada.

Algoritmo para alternancia de bombas.

Compensación de flujo.

Modo “Sleep”, reduce aún más el consumo de energía.

A continuación en la figura 16 se observa la instalación del VFD en la finca Florycampo.

Figura 16.

Variador de frecuencia Micromaster.



Fuente: Sistema óptimo de bombeo FYC

Elaborado por: Los Autores

2.6 PLC's

2.6.1 Definición.

ROGGER José, MACAS Rodrigo, (Enero 2010), Diseño y construcción de un modelo didáctico para medir y controlar el caudal y nivel, declara: “Los controladores lógicos programables o PLC (*Programmable Logic Controller* en sus siglas en inglés) son dispositivos electrónicos de control de estado sólido, usando circuitos integrados en vez de dispositivos electromecánicos, que monitorea en tiempo real y en medios industriales, procesos secuenciales para implementar funciones de control en dichos procesos y máquinas industriales. Basado en un programa de control escrito por el usuario y almacenado en memoria, monitorea los equipos conectados a las entradas como se observa en la figura 17, y controla el estado de los equipos que están conectados como salidas”.

Figura 17.

PLC Zelio modelo SR3 B261FU



Fuente: Sistema óptimo de bombeo FYC

Elaborado por: Los Autores

2.6.2 Componentes del PLC.

2.6.2.1 Rack principal.

Este elemento es sobre el que se "enchufan" o conectan el resto de los elementos. Va atornillado a la placa de montaje del armario de control. Puede alojar a un número finito de elementos dependiendo del fabricante y conectarse a otros racks similares mediante un cable al efecto, llamándose en este caso rack de expansión.

2.6.2.2 Fuente de alimentación.

Es la encargada de suministrar la tensión y corriente necesarias tanto a la CPU como a las tarjetas (según fabricante). La tensión de entrada es normalmente de 110/220VAC de entrada y 24 DCV de salida que es con la que se alimenta a la CPU.

2.6.2.3 CPU.

Escuela industrial. (10 de noviembre de 2010). <http://instrumentacionycontrol.net>. Recuperado 05 de abril de 2013, de http://instrumentacionycontrol.net/Descargas/Documentacion/Automatas_PLC/IyCnet_Que_es_un_PLC_y_SCADA.pdf declara:

“Es el cerebro del PLC. Consta de uno o varios microprocesadores (según fabricante) que se programan mediante un software propio. La mayoría de ellos ofrecen varias formas de programación (lenguaje contactos, lenguaje mnemónico o instrucciones, lenguaje de funciones, graficet, etc.). Trabajan según la lógica de 0 y 1, esto es, dos estados para un mismo bit. Normalmente trabajan con bases de 16 bits, del 0 al 15, aunque algunos modernos trabajan con bases de 32 bits. Según los modelos de CPU ofrecen en principio más o menos capacidad de

memoria pero también esto va ligada a un aumento de la velocidad del reloj del procesador y prestaciones de cálculo o funciones matemáticas especiales. Hoy en día la potencia de cálculo de estos PLCs es grandísima, sobre todo si se trabaja con números reales o coma flotante, dando unas resoluciones más que deseables. Trabajando con programas digitales puede alcanzarse un ciclo de scan de 10 ms. Con analógicas y un programa normal puede llegarse a los 40 ms, mucho más rápido que cualquier sistema de lectura analógico o válvula de control. El programa alojado en la CPU va escrito en un lenguaje propio de la misma, se ejecuta en una secuencia programable y, tiene un principio y un final. El tiempo que transcurre entre los dos se llama ciclo de scan y hay un temporizador interno que vigila que este programa se ejecute de principio a fin, llamado "perro guardián" o "watchdog". Si este temporizador finaliza y el programa no ha ejecutado la instrucción END, el PLC pasará a estado de STOP".

2.6.2.4 Tarjetas entradas/salidas digitales.

Se enchufan o conectan al rack y se comunican con la CPU a través de la citada conexión. En el caso de las entradas digitales transmiten los estados 0 o 1 del proceso (presostatos, finales carrera, detectores, conmutadores, etc.) a la CPU. En el caso de las salidas, la CPU determina el estado de las mismas tras la ejecución del programa y en consecuencia las activa o desactiva. Normalmente se utilizan tarjetas de entradas de 24 DCV y salidas de 24 DCV, aunque también las hay de 110 y 220 VAC, depende de las preferencias y normativas locales. Las hay de 8, 16 y 32 entradas o salidas o mezclas de ambas.

2.6.2.5 Tarjetas entradas/salidas analógicas.

Se enchufan o conectan al rack de igual manera que las anteriores, pero teniendo en cuenta que en algunos modelos de PLC's han de estar situadas lo más cerca posible de la CPU. Estas tarjetas leen un valor analógico e internamente lo convierten en un valor digital para su procesamiento en la CPU. Esta conversión la realizan los convertidores analógico-digitales internos de las tarjetas que en algunos casos es uno para todos los canales de entrada o salida, aunque actualmente se tiene uno por cada canal de entrada o salida. En este último caso el procesamiento de las señales analógicas es mucho más rápido que en el otro.

Estas tarjetas son normalmente de 2, 4, 8 o 16 entradas/salidas analógicas, llamándose a cada una de ellas canal y empezando por el 0, esto es, una tarjeta de 4 canales analógicos comenzaría por el 0 y terminaría en el 3. Los rangos de entrada están normalizados siendo lo más frecuente el rango de 4-20 mA (miliamperios) y 0-10 DCV, aunque también existen de 0-20 mA, 1-5V, 0-5V, etc.

Lo más importante a la hora de elegir una tarjeta analógica es que esta disponga de separación galvánica para cada canal, es decir, que los canales sean totalmente independientes electrónicamente unos de otros dentro de la propia tarjeta, para que no se afecten mutuamente por efecto de una mala tierra o derivación a la misma de uno de ellos.

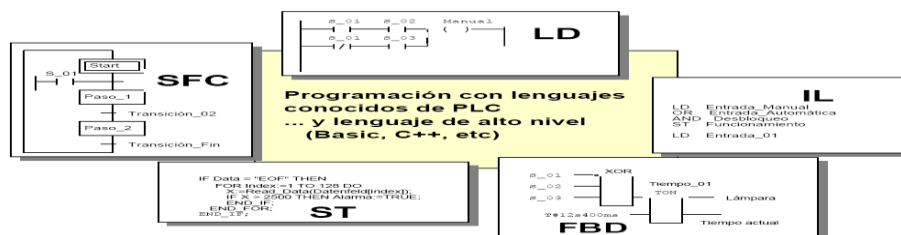
2.6.2.6 Tarjetas especiales.

Se enchufan o conectan al rack y se comunican con la CPU a través de la citada conexión. Se utilizan normalmente para control o monitorización de variables o movimientos críticos en el tiempo, ya que usualmente realizan esta labor independientemente de la CPU. Son algunas muestras las siguientes: Tarjetas de contaje rápido; posicionamiento de motores; y, regulación.

2.6.3 Lenguajes de Programación de los PLC's

Los lenguajes de programación como se muestran en la figura 18, son necesarios para la comunicación entre el usuario, sea programador u operario de la máquina o proceso donde se encuentre el PLC. La interacción que tiene el usuario con el PLC se la puede realizar por medio de la utilización de un cargador de programa, también reconocida como consola de programación o por medio de un PC. En procesos grandes o en ambientes industriales el PLC utiliza como interface para el usuario pantallas de plasma, pantallas de contacto (touchscreen) o sistemas PAC (sistemas para la adquisición de datos, supervisión, monitoreo y control de los procesos).

Figura 18.
Lenguajes de programación comúnmente utilizados



Fuente: Finca Florycampo.

Elaborado por: Los Autores

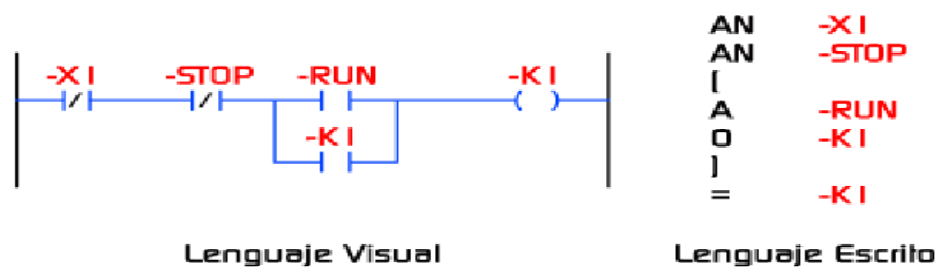
2.6.4 Tipos de Lenguaje de Programación.

Los lenguajes de programación para PLC son de dos tipos, visuales o gráficos y escritos o literales.

Los visuales permiten estructurar el programa por medio de símbolos gráficos como se muestra en la figura 19, similares a los utilizados para describir los sistemas de automatización, planos esquemáticos y diagramas de bloques. Los escritos son listados de sentencias que describen las funciones a ejecutar.

Figura 19.

Tipos de lenguaje de programación



Fuente: Finca Florycampo.

Elaborado por: Los Autores

Los lenguajes de programación de sistemas basados en microprocesadores, como es el caso de los PLC, se clasifican en niveles; al microprocesador le corresponde el nivel más bajo, y al usuario el más alto. Pueden ser de bajo y alto nivel.

2.6.4.1 Lenguajes de bajo nivel

Lenguaje de Máquina: Código binario encargado de la ejecución del programa directamente en el microprocesador.

Lenguaje Ensamblador: Lenguaje sintético de sentencias que representan cada una de las instrucciones que puede ejecutar el microprocesador. Una vez diseñado un programa en lenguaje ensamblador es necesario, para cargarlo en el sistema, convertirlo o compilarlo a lenguaje de máquina. Los programadores de lenguajes de bajo nivel deben estar especializados en microprocesadores y demás circuitos que conforman el sistema.

2.6.4.2 Lenguajes de alto nivel.

Se basan en la construcción de sentencias orientadas a la estructura lógica de lo deseado; una sentencia de lenguaje de alto nivel representa varias órdenes de bajo nivel. Cabe la posibilidad, que las sentencias de un lenguaje de alto nivel no cubran todas las instrucciones del lenguaje de bajo nivel, lo que limita el control sobre la máquina. Para que un lenguaje de alto nivel sea legible por el sistema, debe traducirse a lenguaje ensamblador y posteriormente a lenguaje de máquina.

2.7 Analizador de redes eléctricas.

SACI INSTRUMENT, (2010), En su Manual de Construcciones Industriales, pág. 7, declara:

“El analizador de red eléctrica, es un instrumento de medida programable; ofrece una serie de posibilidades de empleo, las cuales

pueden seleccionarse mediante menús de configuración en el propio instrumento. El analizador mide, calcula y visualiza los principales parámetros eléctricos de redes industriales monofásicas/trifásicas equilibradas o desequilibradas”.

La medida se realiza en verdadero valor eficaz, mediante tres entradas de tensión alterna y tres entradas de corriente, para la medición procedente de los transformadores de medida exteriores. Mediante su procesador, el equipo permite analizar simultáneamente todos los parámetros. Mostrado en la figura 20.

Figura 20.
Analizador de redes eléctricas SACI.



Fuente: Sistema óptimo de bombeo FYC

Elaborado por: Los Autores

2.8 Instrumentación electrónica.

Escuela industrial. (19 de octubre de 2011). <http://www.flexilatina.com>. Recuperado 26 de abril de 2013, de <http://www.flexilatina.com/transmisores-de-presion.html> declara:

“Todos los transductores y transmisores de presión, convierten una presión aplicada en una señal eléctrica. Esta señal se envía a las computadoras, grabadoras de cuadros, medidores digitales de panel u otros dispositivos del PLC (controladores programables lógicos) que interpretan esta señal eléctrica y la utilizan para mostrar, registrar y/o cambiar la presión en el sistema que se está monitoreando”.

La señal más común utilizada en aplicaciones industriales es un circuito de corriente de 2 alambres y 4-20 miliamperios (mA). Otras señales utilizadas incluyen 1-5 voltios, 0.5 voltios, 0-10 voltios (sistema de 3 alambres) y 0-100 mili voltios (sistema de 4 alambres). En muchos casos, el dispositivo de visualización, que está en el transmisor, puede aceptar más de un tipo de salida; por ejemplo, 4-20 mA o 0-5 voltios. Debido a su popularidad, WIKA fabrica una gran variedad de transmisores de presión de 4-20 mA de salida; inclusive, ha desarrollado transmisores de presión especiales para la industria alimenticia, petroquímica, química y tratamiento de aguas. Otra característica de los transmisores de presión wika es que pueden ser suministrados para ser utilizados en áreas peligrosas, es decir, con aprobación FM ó CSA.

Por convención, un transmisor de presión provee una salida en mA mientras que un transductor de presión provee una salida de voltaje. Muchos usuarios se refieren a los transmisores y transductores intercambiamente; esto puede crear alguna confusión, por lo que es conveniente observar que los sensores de presión para uso general se denominan más frecuentemente como transductores de presión. Lo que

hace que estos transmisores de presión sean muy utilizados, es que la salida siempre es lineal. La salida es directamente proporcional a la presión aplicada, los transmisores de presión wika son dispositivos de rango fijo y se describen en parte por el rango de presión y el tipo de salida; por ejemplo, un transmisor con un rango de 0-100 PSI y 4-20 mA de salida, debe producir una salida de 4 mA a presión 0 y 20 mA a 100 PSI. Como la salida del transmisor es lineal, directamente se relaciona con la presión aplicada. En 25 PSI la salida será 8 mA, en 50 PSI, 12 mA, y en 75 PSI, 16 mA. Si el dispositivo que lee esta señal mA es un medidor de tablero programable, puede convertir la señal de 4-20 mA a 0-100 PSI y mostrar la presión en la lectura digital. Como 4-20 mA es consistente, el medidor puede programarse para que muestre cualquiera de las unidades deseadas. Si se requiere una lectura BAR, el medidor se programa para mostrar 0 bar a 4 mA y 6.89 bar a 20 mA. El circuito de medidor completa todos los otros cálculos automáticamente. Los transductores y transmisores de presión wika, están diseñados para funcionamiento confiable y por largo tiempo en medios industriales difíciles o agresivos.

La mayoría de los modelos están contruidos en acero inoxidable como es el caso del Nautilus detector de presión electrónico mostrado en la figura 21 y un circuito, que siempre está protegido contra la humedad y la vibración, todos son calibrados y ensayados antes de su entrega. Existe variedad de opciones en la mayoría de los modelos para cumplir necesidades específicas.

Figura 21.

Detector de presión electrónico Nautilus.



Fuente: Sistema óptimo de bombeo FYC

Elaborado por: Los Autores

2.9 Tipos de enclosure.

2.9.1 Gabinetes eléctricos

Tableros eléctricos. (07 de octubre de 2011). <http://www.quiminet.com>. Recuperado 05 de mayo de 2013, de <http://www.quiminet.com/articulos/los-tableros-electricos-sus-tipos-y-aplicaciones-segun-el-uso-de-la-energia-electrica-2586331.htm> declara:

“En una instalación eléctrica, los tableros eléctricos son la parte principal. En los tableros eléctricos se encuentran los dispositivos de seguridad y los mecanismos de maniobra de dicha instalación. En términos generales, los tableros eléctricos son gabinetes en los que se concentran los dispositivos de conexión, control, maniobra, protección, medida, señalización y distribución, todos estos dispositivos permiten que una instalación eléctrica funcione adecuadamente”.

Dos de los constituyentes de los tableros eléctricos son: el medidor de consumo (mismo que no se puede alterar) e interruptor, que es un dispositivo que corta la corriente eléctrica una vez que se supera el consumo contratado. Es importante mencionar que el interruptor no tiene funciones de seguridad, solamente se encarga de limitar el nivel del consumo.

En una instalación eléctrica, los tableros eléctricos son la parte principal. En los tableros eléctricos se encuentran los dispositivos de seguridad y los mecanismos de maniobra de dicha instalación.

En términos generales, los tableros eléctricos son gabinetes en los que se concentran los dispositivos de conexión, control, maniobra, protección, medida, señalización y distribución, todos estos dispositivos permiten que una instalación eléctrica funcione adecuadamente.

Para fabricar los tableros eléctricos se debe de cumplir con una serie de normas que permitan su funcionamiento de forma adecuada, cuando ya se le ha suministrado la energía eléctrica. El cumplimiento de estas, normas garantiza la seguridad tanto de las instalaciones en las que haya presencia de tableros eléctricos como de los operarios. Una importante medida de seguridad para los tableros eléctricos es la instalación de interruptores de seguridad; estos deben ser distintos del interruptor explicado más arriba. Dichos interruptores de seguridad suelen ser de dos tipos: termo magnético, que se encarga de proteger tanto el tablero eléctrico como la instalación de variaciones en la corriente, y, diferencial, el que está dirigido a la protección de los usuarios.

2.9.2 Tipos de tableros eléctricos.

Según su ubicación en la instalación eléctrica, los tableros eléctricos se clasifican en:

Tablero principal de distribución, mostrado en la figura 22. Este tablero está conectado a la línea eléctrica principal y de él se derivan los circuitos secundarios. Este tablero contiene el interruptor principal.

Tableros secundarios de distribución: Son alimentados directamente por el tablero principal. Son auxiliares en la protección y operación de subalimentadores.

Tableros de paso: Tienen la finalidad de proteger derivaciones que por su capacidad no pueden ser directamente conectadas alimentadores o subalimentadores. Para llevar a cabo esta protección cuentan con fusibles.

Gabinete individual del medidor: Este recibe directamente el circuito de alimentación y en él está el medidor de energía, desde el cual se desprende el circuito principal. Tableros de comando: Contienen dispositivos de seguridad y maniobra.

2.9.3 Aplicaciones de los tableros eléctricos según el uso de la energía eléctrica.

Como sabemos, la energía eléctrica tiene múltiples usos. Puede tener uso industrial, doméstico, también es posible utilizarla en grandes

cantidades para alumbrado público, entre otros. Por otro lado, los tableros eléctricos tienen, según el uso de la energía eléctrica, las siguientes aplicaciones:

Centro de Control de Motores.

Subestaciones.

Alumbrado.

Centros de carga o de uso residencial.

Tableros de distribución.

Celdas de seccionamiento.

Centro de distribución de potencia.

Centro de fuerza.

Figura 22.

Tableros o gabinetes eléctricos.



Fuente: Sistema óptimo de bombeo FYC

Elaborado por: Los Autores

2.10 Sensores y Actuadores.

Los Sensores y Actuadores tanto en sus características y funcionalidad están limitados a las salidas y entradas que permiten al PLC realizar

alguna tarea en un proceso. Una corta lista de los sensores y actuadores más usados se detalla a continuación.

Válvulas Solenoides: Salidas lógicas que pueden conmutar.

Luces de indicación: Salidas lógicas pueden ser conectadas directamente desde el PLC hacia los tableros de señalización.

Arranque de motores: Los motores a menudo consumen grandes cantidades de corriente al arranque, por eso requieren actuadores para grandes potencias; estos son llamados contactores.

Servomotores: Una salida continua del PLC puede comandar la velocidad o la posición.

2.11 Sistema de puesta a tierra.

QUISHPE Santiago, ANDRADE Richard, (Diciembre 2012), Diseño de puesta a tierra para una cámara de transformación, declara:

“En un sistema eléctrico en general, existe la denominada “tierra” que identifica un electrodo enterrado con un potencial o voltaje que servirá como el nivel referencial básico, y respecto al cual, normalmente, se medirán o considerarán los correspondientes a los otros niveles, equipos, puntos, etc., del sistema eléctrico. Esta tierra debe ser básicamente un electrodo de referencia y puede tener un potencial variable en el tiempo. Una “tierra” es parte de un sistema denominado Sistema de Puesta a Tierra. La tierra es un electrodo metálico enterrado en el suelo cuyas características debemos conocer para poder utilizarlo según nuestros propósitos”.

El tamaño del electrodo de puesta a tierra depende, entre otros factores, de las dimensiones de instalación del sistema eléctrico al que se va a servir.

DIAZ Pablo, (2001), dice que: “En cualquier caso, a medida que se separa del electrodo la diferencia de potencial disminuye. La zona en la que el voltaje entre dos puntos se hace prácticamente igual a cero sobre la superficie, se le llama tierra de referencia” (p. 63).

Para realizar una buena puesta a tierra, se requiere un buen análisis del terreno desde el punto de vista eléctrico; esto se realiza, midiendo la resistividad del terreno en ohmios-metro.

MOYOYAMA H, (1996), declara:

“La tierra representa generalmente un mal conductor (gran contenido de óxido de silicio y óxido de aluminio que son altamente resistivos) pero gracias al amplio volumen disponible, se puede lograr a través de ella los niveles conductivos necesarios para su utilización auxiliar”.

En suelos de alta resistividad, como la encontrada, nos vemos obligados a mejorarlos en lo que a características de conductividad se refiere; como se muestra en la figura 23, siendo el procedimiento para ello el de excavar las dimensiones de la puesta a tierra con una profundidad de 0.6 m.; colocándose después dentro de la zanja los elementos eléctricos para un correcto aterramiento y rellenándolo con tierra húmifera o chocoto.

DE LA VEGA ORTEGA Miguel, (2002) dice que: “Existen distintos métodos para lograr la reducción de la resistencia eléctrica, aunque todos ellos presentan un punto de saturación que es conveniente conocer para evitar diseños antieconómicos” (p. 165).

Los métodos para la reducción son los siguientes:

- a) El aumento del número de electrodos en paralelo.
- b) El aumento de la distancia entre ejes de los electrodos.
- c) El aumento de la longitud de los electrodos.
- d) El aumento del diámetro de los electrodos.
- e) El cambio del terreno existente por otro de menor resistividad.
- f) El tratamiento químico electrolítico del terreno.

La resistencia que debe tener la malla de tierra, se la calcula en función de:

Corriente de cresta presunta en condiciones de cortocircuito;
Voltaje de impulso máximo que soportan los circuitos eléctricos; y,
Un margen de seguridad del 20%.

Ecuación 1:

$$R_{IV} = \frac{\rho}{2 * \pi * l} \ln \frac{4l}{d} \text{ Ec. (1)}$$

Dónde:

ρ = Resistividad del suelo

l = longitud de la varilla

d = diámetro de la varilla

Ecuación 2:

$$R_{SEMIESFERA} = \frac{\rho}{2 * \pi * r} \text{ Ec. (2)}$$

Dónde:

ρ = Resistividad del suelo

r = radio de la semiesfera

Igualamos la Ec. (1) con la Ec. (2) y despejamos r .

Entonces se tiene, que:

$$r = \frac{l}{\ln(4l/d)}$$

Ecuación 3:

$$\alpha = r/D$$

Dónde:

α = Relación radio de la semiesfera con la distancia de varilla a varilla.

D = Distancia de varilla a varilla.

Ecuación 4:

$$R_N = R_{IV} \frac{(1 + k * \alpha)}{N}$$

Dónde:

K = Depende del número de Varillas

N = Número total de varillas

Figura 23.

Sistema de puesta a tierra.



Fuente: Sistema óptimo de bombeo FYC

Elaborado por: Los Autores.

2.12 Factor de potencia.

Energía reactiva. (05 de junio de 2010). <http://www.epec.com>. Recuperado 10 de junio de 2013, de <http://www.epec.com.ar/docs/servicios/cosenofi.pdf> declara:

“La relación entre energía activa y aparente se la denomina “factor de potencia” o “Coseno Fi”, siendo su valor indicativo de la eficiencia con que se utiliza la energía; puede variar entre 1 (valor máximo, eficiencia óptima, toda la energía absorbida de la red se transforma en trabajo útil) y 0 (valor mínimo, no se obtiene ningún trabajo útil de la energía absorbida de la red)”.

En la Regulación CONELEC – 004/01 al hablar de factor de potencia, dice que: “para efectos de evaluación de la calidad, en cuanto al factor de potencia, si en el 5% o más del periodo evaluado el valor del factor de

potencia es inferior a los límites, el Consumidor está incumpliendo con el índice de calidad.” (pág. 9)

2.12.1 Capacitores.

Existe un dispositivo eléctrico llamado “capacitor” o “condensador” que al ser conectado a la red eléctrica compensa la energía reactiva que demandan los artefactos con factor de potencia menor que 1. Eligiendo correctamente el valor del capacitor se puede modificar el factor de potencia llevándolo hasta valores cercanos a 1 logrando de esta forma un uso eficiente de la energía y aprovechando al máximo la capacidad del sistema de distribución, ya que sólo se transporta energía eléctrica activa.

2.12.2 Compensación de la energía reactiva.

La componente “reactiva”, que se mide en kVArh (kilovoltamper reactivo hora), representa la energía eléctrica que utiliza el artefacto para posibilitar su funcionamiento y sólo está presente en aquellos que tiene como componentes motores y/o bobinas (acondicionadores de aire, heladeras, lavarropas, licuadoras, balastos para iluminación fluorescente, etc.).

Esta energía reactiva debe ser transportada y distribuida a lo largo de todo el sistema eléctrico implicando un costo para la empresa distribuidora, por lo que se limita su uso y se penaliza su exceso, ya que, puede ser disminuida mediante equipamiento adecuado.

Como ya se dijo, para la compensación del Factor de Potencia se utilizan capacitores, cuyo valor debe determinarse en función de la

cantidad de energía reactiva en juego. Existen diversos métodos de cálculo, ya sean gráficos o en base a fórmulas matemáticas, para lo cual son necesarios ciertos datos que se pueden obtener en su mayoría de la propia factura de energía, relevarlos del medidor de energía que cada usuario tiene instalado en su suministro o, en base a mediciones realizadas por un electricista.

2.12.2.1 Definición y fórmulas.

Sin profundizar en el tema, diremos que todo usuario de energía eléctrica es servido con una cierta tensión de alimentación V (Volt) que aplicada a los artefactos eléctricos hará circular una cierta corriente I (Amper). El producto de estas magnitudes dará como resultado la potencia eléctrica que integrada a lo largo del tiempo será la energía eléctrica. Según el tipo de carga que se alimenta aparecerá una componente de potencia activa P (Watt) y una reactiva Q (Volt Amper reactivo) que producirá un cierto ángulo o desfase, que dependerá del tipo de carga considerada y que para nombrarlo se usa la letra griega Phi (Φ).

2.12.2.2 Potencia Activa P.

Según el Manual Teórico-Práctico de Schneider, (2008), dice que: “la potencia activa se la define como la potencia que se transforma íntegramente en trabajo o en calor (pérdidas). Se mide en kWh.” (pag.16).

La que efectivamente se aprovecha como potencia útil en el eje de un motor, siendo la que se transforma en calor en la resistencia de una plancha, estufa eléctrica, etc.

La potencia activa trifásica se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi$$

Unidad de medida: watts. (W)

2.12.2.3 Potencia Reactiva Q.

Para la revista CIRCUTOR S.A, (2007) la potencia reactiva, dice que: “la potencia que utilizan ciertos receptores para la creación de campos eléctricos y magnéticos (como motores, transformadores, reactancias, etc.)”. (pág.27)

Es la que los campos magnéticos de los motores, de los reactores o balastos de iluminación etc. intercambian con la red sin significar un consumo de potencia activa de forma directa.

La fórmula de cálculo para la potencia reactiva es:

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sen\phi$$

Unidad de medida: Volt-Amper Reactivo. (VAr)

2.12.2.4 Potencia Aparente S.

VELASCO Gerardo, (2006) potencia aparente, dice que: “Es la potencia que determina la prestación en corriente y resulta de considerar la tensión aplicada al consumo por la corriente que ésta demanda” (pág.29).

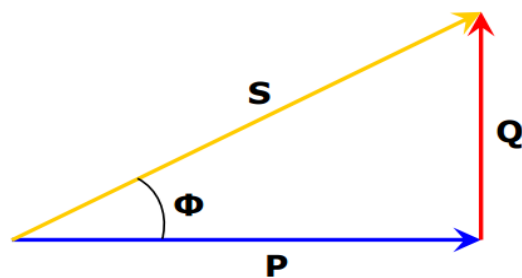
En la práctica la potencia aparente trifásica se obtiene mediante la siguiente fórmula de cálculo.

$$S = \sqrt{3} \times V \times I$$

Unidad de medida: Volt-Amper. (VA)

Para representar gráficamente las magnitudes indicadas como se muestran en la figura 24, se utilizan vectores o, más propiamente fasores.

Figura 24.
Triángulo de potencias.

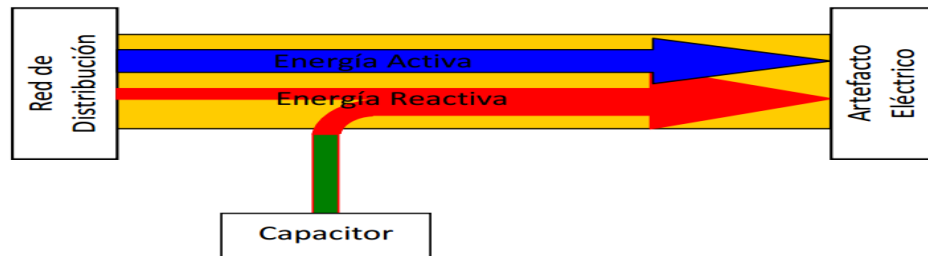


Fuente: Sistema óptimo de bombeo FYC
Elaborado por: Los Autores

El proceso de compensación implica la disminución de energía reactiva tomada de la red, esto se logra mediante el agregado de capacitores que funcionan como generadores de energía reactiva, obteniendo como resultado que el conjunto “artefacto eléctrico + capacitor” represente para la red un nuevo dispositivo, con un Factor de Potencia mejor (más cercano a 1), mostrado en la figura 25.

Esto se podría representar conforme sigue:

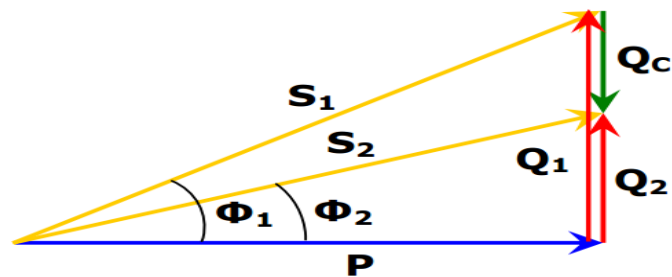
Figura 25.
Energía reactiva



Fuente: Sistema óptimo de bombeo FYC
Elaborado por: Los Autores

Según el triángulo de potencias mostrado en la figura 26, se tiene que:

Figura 26.
Potencia reactiva a instalarse.



Fuente: Sistema óptimo de bombeo FYC
Elaborado por: Los Autores

S₁= Potencia aparente sin compensar.

S₂= Potencia aparente compensada.

Q₁= Potencia reactiva sin compensar.

Q₂= Potencia reactiva compensada.

Q_c= Potencia reactiva del capacitor.

Φ_1 = Ángulo sin compensar.

Φ_2 = Ángulo compensado.

P = Potencia Activa.

2.12.3 Métodos de cálculo del factor de potencia

Potencia aparente S con la siguiente expresión:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Dónde:

S= Potencia aparente.

P= Potencia activa.

Q= Potencia reactiva.

Mediante el triángulo de potencias, se obtiene el $\cos \phi$, utilizando la siguiente expresión:

$$FP = \frac{P}{S} = \cos \phi$$

Dónde:

FP = Factor de potencia = $\cos \phi$.

2.13 Glosario de términos.

AC.- Corriente alterna.

Aparellaje.- Equipo de control electrónico.

Arrancador suave o Soft Starter.- Equipo electrónico capaz de variar el valor rms de la onda de voltaje alterno de frecuencia constante, para generar la rampa de voltaje, necesaria para el arranque a voltaje reducido.

AWG. - American Wire Gauge, es una referencia de clasificación de conductores eléctricos de acuerdo a sus diámetros.

Calidad.- Propiedad o conjunto de propiedades inherentes a algo, que permiten juzgar su valor.

Condensador.- Sistema de dos conductores, separados por una lámina dieléctrica, que sirve para almacenar cargas eléctricas.

Grafcet.- Es un diagrama funcional, cuyo objetivo es describir en forma gráfica el comportamiento de un automatismo secuencial.

Manifold.- Parte del sistema de tuberías de cargue, descargue o manejo de productos, en el cual confluyen varios tubos y válvulas.

Mnemónico.- Es un dato simbólico que identifica a un comando, generalmente numérico.

Omnipolar.- Interrupción de la corriente en todos los conductores activos.

PLC.- Controlador Lógico Programable, Autómata capaz de controlar procesos industriales a través de una programación realizada en su

microprocesador, el cual recibe señales de entrada análoga o digital y entrega señales de salida discreta o analógica.

Sensor transmisor de presión.- Elemento piezoeléctrico cuya señal acondicionada se entrega a la salida del mismo en un rango lineal, a través de un valor de voltaje o corriente.

SubMonitor.- Elemento de la Casa Franklin Electric, encargado de supervisar la correcta operación de sus bombas electro sumergible.

Sobretensión.- Exceso circunstancial sobre la tensión normal.

Touchscreen.- Es una pantalla de visualización electrónica.

Variador de frecuencia.- Equipo electrónico capaz de generar a partir de una entrada de corriente alterna de frecuencia y voltaje fijos, una onda de salida con frecuencia y voltaje variable; incluye control interno microprocesador programable.

Variaciones.- Acción y efecto de variar. Cada uno de los subconjuntos del mismo número de elementos de un conjunto dado, que difieren entre sí, por algún elemento o por el orden de estos.

Watchdog.- Temporizador electrónico que se utiliza para detectar y recuperar fallas en el ordenador durante el funcionamiento normal.

En el cuadro 2 se determina las unidades de ingeniería utilizadas en este proyecto.

Cuadro 2. Unidades de Ingeniería.

MAGNITUD/PARÁMETRO	SÍMBOLO	UNIDAD (SI)	NOMBRE
Área Superficie	A	m ²	metro cuadrado
Capacitancia	C	F	Faradio
Corriente Eléctrica	I	A	Amperio
Frecuencia	F	Hz	Hertzio
Impedancia	Z	Ω	Ohmio
Resistencia	R	Ω	Ohmio
Resistividad Eléctrica	Φ	Ω.m	Ohmio.metro
Sección de Cables	Sc	AWG/MCM	american wire gauge /mil circular mil
Temperatura	T	°C	grado Celsius
Tiempo	T	s	Segundo
Voltaje	V	V	Voltio

Fuente: Florycampo.

Elaborado por: Departamento de ingeniería.

Todos los diseños se sujetarán a lo estipulado en las leyes vigentes de Ecuador. En los aspectos no cubiertos por estas leyes se recurrirá a normas y estándares internacionales (última versión), detalladas a continuación:

NEC 2009

National Electrical Code

IEEE Std 142-91

“IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems”

En caso de conflicto entre las normas mencionadas y esta especificación, prevalecerá lo dispuesto por la norma más exigente.

2.14 Condiciones ambientales

Las instalaciones están ubicadas en una zona que presenta las siguientes condiciones ambientales, mostradas en el cuadro 3:

Cuadro 3. Características Ambientales

Elevación sobre el nivel del mar	9180 ft	2800 m
Presión barométrica	10,29 psi	70kpa
Temperatura (min./máx.)	70 / 108°F	21 / 42°C
Velocidad del viento Max	87 ft/s	26,5 m/s
Nivel hidrométrico	122 in/año	3.099 mm/año
Humedad relativa	56% - 85 %	
Coordenadas		
Zona sísmica	2 A – 1.997 (UBC)	1 (Ecuador)

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador INAMHI

Elaborado por: Los Autores

CAPÍTULO III

3 Metodología de la Investigación

3.1 Tipo de investigación.

La investigación realizada fue de tipo documental, científica y tecnológica; ya que para obtener la información suficiente para el desarrollo del tema a investigar se consultó en diferentes fuentes, como: libros, revistas, folletos, manuales, internet y bibliografía en general.

Además se adoptó una tecnología ya existente en el país a los requerimientos de nuestro tema de investigación, esto facilitó la adquisición de los dispositivos de control a usarse en el diseño y construcción del sistema. La investigación también fue de tipo bibliográfico ya que se exploró lo que ha escrito la comunidad científica de acuerdo a nuestro tema, porque desde un punto de vista cognitivo universal, la mente realiza fundamentalmente tareas de ingreso de información para poder analizar, definir, relacionar, comprender, comentar, criticar, entender y concluir lo leído.

3.2 Métodos.

Los métodos utilizados en la investigación y ejecución del proyecto fueron los métodos: Teóricos, Técnicos, y, Científicos.

3.2.1. Método Analítico – Sintético.

Este método se utilizó para realizar una sintetización, recaudación y ordenamiento de la información adquirida de las diversas fuentes bibliográficas y para una mejor conceptualización de los temas y subtemas, para la redacción del marco teórico, se revisó y analizó varios documentos.

3.2.2. Método Inductivo – Deductivo

Se utilizó para la deducción de los contenidos generales o teorías ya demostradas y formular una teoría interpretativa para la explicación del tema que se está exponiendo.

3.2.3. Diseño Tecnológico

Se utilizó la investigación de algunos sistemas similares al proyecto que se va a realizar, observando en las diferentes florícolas de la ciudad de Cayambe, para la realización del sistema de control con PID para la finca Florycampo.

3.2.4. Método Científico

Este método se lo manejó para poder asimilar los conocimientos tecnológicos mediante la lectura, observación y experimentación, para redactar toda la información obtenida de los diferentes equipos que se los adquirió mediante la construcción del proyecto.

3.3 Técnicas e instrumentos.

Como técnicas e instrumentos se utilizó material magnético y copias para recolectar información de las diferentes fuentes de consulta; luego se ordenó de una manera mucha más clasificada y entendible esta información para realizar así el sustento teórico de forma global del proyecto.

CAPÍTULO IV

4 Propuesta: Proceso y Resultados

4.1 Diagnóstico

En el cuadro 4, se muestra la cantidad de agua consumida en los diferentes bloques de producción de flores de invernadero con el sistema convencional; los datos son suministrados por la finca Florycampo, en los períodos indicados en cada una de las tablas.

Cuadro 4.

Consumo de agua cruda Florycampo año 2012, sistema de bombeo convencional (Datos Florycampo)

CONSUMO DE AGUA CRUDA FLORYCAMPO AÑO 2012								
MES	PRODUCCIÓN BLOQUE 3	POSCOSE CHA	TÉCNICO DE RIEGO B. 4	INVER NADE RO 2	INVER NADE RO 1	SHOW ROOM	PLANTA DE TRATA MIENTO	TOTAL EN m3
ENERO	19000	2900	4100	6800	6400	500	2100	41800
FEBRERO	17000	2900	4100	6800	6400	500	2100	39800
MARZO	17000	2900	4100	6600	6300	400	2100	39400
ABRIL	17000	3000	4100	6600	6300	400	2000	39400
MAYO	17000	3000	4200	6600	6300	400	2000	39500
JUNIO	17000	3000	4200	6600	6300	500	2100	39700
JULIO	20000	3500	4400	6900	6900	600	2210	44510
AGOSTO	20000	3575	4400	6900	6900	600	2210	44585
SEPTIEMBRE	20000	3000	4300	6900	6900	600	2200	43900
OCTUBRE	19000	3000	4200	6800	6900	600	2200	42700
NOVIEMBRE	18000	2900	4200	6600	6300	500	2100	40600
DICIEMBRE								
TOTAL	201000	33675	46300	74100	71900	5600	23320	455895

Fuente: Florycampo.

Elaborado por: Departamento de ingeniería.

El consumo de agua cruda de la finca Florycampo asciende a los 455.895,00 m³ en el año 2012, trabajando con el sistema de bombeo convencional.

En el cuadro 5, se muestra la cantidad de agua consumida en los diferentes bloques de producción de flores de invernadero con el sistema óptimo de bombeo; los datos son suministrados por la finca Florycampo, en los períodos indicados en cada una de las tablas.

Cuadro 5.
Consumo de agua cruda Florycampo año 2012, sistema óptimo de bombeo (Datos Florycampo)

CONSUMO DE AGUA CRUDA FLORICAMPO AÑO 2013								
MES	PRODUCCIÓN BLOQUE 3	POSCO SECHA	TÉCNICO DE RIEGO B. 4	INVERNADERO 2	INVERNADERO 1	SHOW ROOM	PLANTA DE TRATAMIENTO	TOTAL EN m ³
ENERO	18000	2500	4100	6750	6300	350	1900	39900
FEBRERO	15500	2500	4100	6700	6300	350	1900	37350
MARZO	15500	2500	4100	6700	6250	350	2000	37400
ABRIL	15000	2600	4100	6480	6250	350	1900	36680
MAYO	15000	2600	4200	6520	6250	350	2000	36920
JUNIO	15000	2600	4200	6520	6250	350	1900	36820
JULIO	17500	3100	4400	6480	6780	350	2000	40610
AGOSTO	17200	3200	4400	6780	6780	350	1900	40610
SEPTIEMBRE	17300	2500	4300	6780	6780	400	1800	39860
OCTUBRE	16500	2600	4200	6750	6780	400	1800	39030
NOVIEMBRE								
DICIEMBRE								
TOTAL	162500	26700	42100	66460	64720	3600	19100	385180

Fuente: Florycampo.

Elaborado por: Departamento de ingeniería.

El consumo de agua cruda de la finca Florycampo asciende a los 385.180,00 m³ en el año 2013, trabajando con el sistema óptimo de bombeo. La diferencia de la cantidad de agua cruda utilizada, en base del sistema de bombeo convencional y el sistema óptimo de consumo es 70.715,00 m³, sin tomar en cuenta el mes de noviembre del presente año, en el año 2012, en el mes de noviembre el consumo llegó a los 40.600,00 m³. Si se proyecta para el año 2013 en el mes de noviembre, que su consumo sea igual, en el peor de los casos, porque se sabe que mediante el análisis de los cuadros de consumo, al momento de reemplazar el sistema convencional con el sistema óptimo los consumos bajan en gran proporción.

Asumiendo que el consumo proyectado en el presente año, en el mes de noviembre es de 40.600,00 m³, sumados al consumo de todo el año, se tiene 425.780,00 m³, comparando con el año 2012 hay un menor consumo que reflejan los 30.115,00 m³ en decremento; siendo éste el ahorro en consumo de agua cruda, potenciada desde la implementación del sistema óptimo de bombeo.

En el cuadro 6, se muestra el consumo de energía eléctrica con el sistema de bombeo convencional; los datos son suministrados por la finca Florycampo, en los períodos indicados en cada una de las tablas.

Cuadro 6.

Consumo de energía eléctrica Florycampo año 2012, sistema convencional de bombeo (Datos Florycampo)

CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA FLORICAMPO AÑO 2012			
MES	ENERGÍA ELÉCTRICA CONSUMIDA EMELNORTE	ENERGÍA ELÉCTRICA CONSUMIDA GENERADA	TOTAL EN Kw/h
ENERO	105900	2000	107900
FEBRERO	52700	200	52900
MARZO	60502	2500	63002
ABRIL	60302	200	60502
MAYO	53500	2000	55500
JUNIO	52650	2000	54650
JULIO	49750	2000	51750
AGOSTO	69900	3200	73100
SEPTIEMBRE	69900	2500	72400
OCTUBRE	62000	2600	64600
NOVIEMBRE	7400		7400
DICIEMBRE	4000		4000
TOTAL	648504	19200	667704

Fuente: Florycampo.

Elaborado por: Departamento de ingeniería.

El consumo de energía eléctrica de la finca Florycampo asciende a los 667.704,00 kW/h en el año 2012, trabajando con el sistema de bombeo convencional.

En el cuadro 7, se muestra el consumo de energía eléctrica con el sistema óptimo de bombeo; los datos son suministrados por la finca Florycampo, en los períodos indicados en cada una de las tablas.

Cuadro 7.

Consumo de energía eléctrica Florycampo año 2013, sistema óptimo de bombeo (Datos Florycampo)

CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA FLORICAMPO AÑO 2013			
MES	ENERGÍA ELÉCTRICA CONSUMIDA EMELNORTE	ENERGÍA ELÉCTRICA CONSUMIDA GENERADA	TOTAL EN Kw/h
ENERO	52000	1000	53000
FEBRERO	2000	100	2100
MARZO	12800	1500	14300
ABRIL	11500	100	11600
MAYO	19250	1200	20450
JUNIO	1500	1000	2500
JULIO	1980	1200	3180
AGOSTO	17450	1500	18950
SEPTIEMBRE	17500	1900	19400
OCTUBRE	9900	2400	12300
NOVIEMBRE			
DICIEMBRE			
TOTAL	145880	11900	157780

Fuente: Florycampo.

Elaborado por: Departamento de ingeniería.

El consumo de energía eléctrica de la finca Florycampo asciende a los 157.780,00 kW/h en el año 2013, trabajando con el sistema óptimo de bombeo. La diferencia de la cantidad de energía eléctrica consumida, basándose en el sistema de bombeo convencional y el sistema óptimo de consumo es de 529.924,00 kW/h, sin tomar en cuenta el mes de noviembre y diciembre del presente año; en el año 2012, en el mes de noviembre y diciembre el consumo llegó a los 7.400,00Kw/h y 4.000,00 Kw/h respectivamente. Si se proyecta que para el año 2013 en el mes de noviembre y diciembre, que el consumo sea igual, en el peor de los casos, porque se sabe que mediante el análisis de los cuadros de consumo, al

momento de reemplazar el sistema convencional con el sistema óptimo, que los consumos bajan en gran proporción.

Asumiendo que el consumo proyectado en el presente año, en el mes de noviembre y diciembre es de 7.400,00 kW/h y 4.000,00 kW/h respectivamente, sumados al consumo de todo el año, tenemos 169.180,00Kw/h, comparando con el año 2012; hay un menor consumo que reflejan los 509.924,00Kw/h en decremento, este es el ahorro en consumo de energía eléctrica, desde la implementación del sistema óptimo de bombeo.

En este capítulo también se muestran los equipos y dispositivos electrónicos seleccionados, para estudio, diseño y construcción del sistema de bombeo con óptimo consumo eléctrico para la finca Florycampo.

Además se obtuvieron los resultados de los cálculos realizados en el presente proyecto.

4.2 Determinación de los motores y bombas de agua horizontales del sistema óptimo de bombeo.

4.2.1 Potencia de Consumo

La potencia que requiere la bomba para su normal funcionamiento es conocida como Potencia de Consumo (P_c) y es calculada por la expresión siguiente, en la cual se utilizan los datos de placa del motor, mostrados en la figura 27, dichas bombas se instalaron en una isla flotante para el fácil

mantenimiento a demás tiene como ventaja el ascenso o descenso dependiendo del nivel de agua en que se encuentre el reservorio:

$$P \text{ (HP)} = \frac{100\% \times Q_b \text{ l/s} \times \text{HDT m}}{76 \times \eta_b \%}$$

Dónde:

HDT: Altura dinámica total (m).

Q_b : Caudal de Bombeo (l/s).

η_b : Eficiencia de la bomba (%).

4.2.1.1 Cálculo de la potencia del motor-bomba de agua horizontal a instalarse.

Los datos son suministrados por el personal técnico de la finca Florycampo previo estudio:

Q_b= 115 l/s.

HDT= 50 m

η_b = 91.8% (Dato de placa del motor).

Figura 27.

Placa de motor 40 HP SIEMENS.



Fuente: Sistema óptimo de bombeo FYC

Elaborado por: Los Autores

Con estos datos procedemos a calcular la potencia necesaria para el sistema de bombeo.

$$P(HP) = \frac{100\% \times Qb \text{ l/s} \times HDT \text{ m}}{76 \times nb \%}$$

$$P(HP) = \frac{100\% \times 115 \text{ l/s} \times 50 \text{ m}}{76 \times 91,8\%}$$

$$P = 82,41 \text{ HP}$$

Con los datos calculados se obtuvo una potencia de 82.41 HP por lo que se implementó 3 motores de 40 HP.

Los tres motores de 40 HP se utilizaron por el diseño hidráulico, tipo de red y tuberías que tiene la florícola, la presión esperada necesaria para tener el riego en las condiciones de cada uno de los equipos de la florícola.

La presión máxima recomendada por los fabricantes de las tuberías es de 80 psi, un solo motor de 120 HP o 2 de 60 no permitirían tener los rangos de operación, y peor aún soportar la presión de dichas tuberías.

Con la implementación de los tres motores de 40 HP se cumplió desde el mínimo consumo hasta el máximo consumo, en tres pasos similares, por lo que en el proyecto queda justificado la utilización de tres motores de 40 HP.

Como valor agregado a la utilización de tres motores, se tiene la optimización en la parte de mantenimiento correctivo de cada uno de los motores.

4.2.3 Motor eléctrico de inducción tipo sumergible.

Para obtener el agua desde un pozo subterráneo, en este caso un pozo profundo, se necesita una bomba electro sumergible, para posteriormente almacenar el agua en un reservorio de gran tamaño (10.000 m³), para esto, por sus características, se instaló una bomba electro sumergible Franklin Electric.

En el cuadro 8 se visualiza el consumo de agua cruda del sistema convencional o tradicional

Cuadro 8.
Consumo de agua cruda sistema convencional.

CONSUMO DE AGUA CRUDA SISTEMA CONVENCIONAL				
CONSUMO PROMEDIO MENSUAL	CONSUMO DIARIO	CONSUMO POR HORA (24 H)	CONSUMO POR MINUTO	CONSUMO POR SEGUNDO
m ³	m ³	m ³	m ³	m ³
41000,00	1366,67	56,94	0,95	0,0158
CONSUMO PROMEDIO MENSUAL	CONSUMO DIARIO	CONSUMO POR HORA (24 H)	CONSUMO POR MINUTO	CONSUMO POR SEGUNDO
Lts	Lts	lts	Lts	lts
41000000,00	1366666,67	56944,44	949,07	15,82

Fuente: Florycampo.

Elaborado por: Departamento de ingeniería.

La demanda de agua para el llenado del reservorio mencionado en anteriores capítulos (capacidad 10.000 m³) se logró con 40 litros por segundo presentados en el cuadro 9, logrando así el objetivo planteado por la finca.

Cuadro 9.
Consumo de agua cruda requerida con incremento de naves.

CONSUMO DE AGUA CRUDA REQUERIDO CON INCREMENTO DE NAVES				
CONSUMO PROMEDIO MENSUAL	CONSUMO DIARIO	CONSUMO POR HORA (10 H)	CONSUMO POR MINUTO	CONSUMO POR SEGUNDO
m ³	m ³	m ³	m ³	m ³
43200,00	1440,00	144,00	2,40	0,0400
CONSUMO PROMEDIO MENSUAL	CONSUMO DIARIO	CONSUMO POR HORA (10 H)	CONSUMO POR MINUTO	CONSUMO POR SEGUNDO
Lts	lts	lts	lts	lts
43200000,00	1440000,00	144000,00	2400,00	40,00

Fuente: Florycampo.

Elaborado por: Departamento de ingeniería.

Como se observa en el cuadro 9, la cantidad de litros necesarios para satisfacer el llenado del reservorio es de 40 litros por segundo; comparados con el sistema convencional su incremento es de un 180%, debido al aumento de naves de flores de invierno y al número de horas de llenado del reservorio, a continuación se describe el motor sumergible a utilizarse para lograr este objetivo teniendo como dato para el cálculo de la potencia 40 l/s.

Los motores sumergibles Franklin están diseñados principalmente para operar con el eje en posición vertical.

4.2.3.1 Cálculo de la potencia de la bomba electro sumergible a instalarse.

Los datos son suministrados por el personal técnico de la finca Florycampo previo estudio:

$$Q_b = 40 \text{ l/s.}$$

$$HDT = 40\text{m}$$

$$\eta_b = 90 \% \text{ (Dato de placa del motor).}$$

Con estos datos procedemos a calcular la potencia necesaria para potenciar el agua del pozo artesiano.

$$P (HP) = \frac{100\% \times Q_b \text{ l/s} \times HDT \text{ m}}{76 \times \eta_b \%}$$

$$P(HP) = \frac{100\% \times 40 \text{ l/s} \times 40\text{m}}{76 \times 90\%}$$

$$P = 23.39(HP)$$

Con los datos calculados se obtuvo una potencia de 23.92 HP por lo que se implementó una bomba electro sumergible de 25 HP.

4.3 Determinación del arranque, protección de los motores trifásicos, sistema de puesta a tierra, corrección del bajo factor de potencia y diseño del sistema óptimo de bombeo para la finca Florycampo.

4.3.1 Elección y características del arrancador suave para bombas centrífuga u horizontal y electro sumergible.

Para el arranque de los motores de impulsión de 40HP y el motor electro sumergible de 25 HP respectivamente, a base de un minucioso estudio de beneficios y características técnicas se optó por instalar el dispositivo de marca Siemens denominado Sirius 3RW30.

Como parte del diseño y dimensionamiento del sistema, para la protección de los motores de 40HP, se implementó por sus características, el arrancador suave.

El cálculo para el dimensionamiento de la intensidad de corriente de los arrancadores suaves y guardamotors se obtiene de la siguiente expresión.

$$P = \frac{In \sqrt{3} V_{ln} FP}{FS}$$

Despejando I (Intensidad nominal de corriente) se obtiene:

$$In = \frac{P \times FS}{\sqrt{3} V_{ln} FP}$$

Dónde:

I_n = Intensidad nominal de corriente.

P = Potencia del motor (W 1HP=746W)

V = Tensión de la red (Línea trifásica).

FP = Factor de potencia.

FS = Factor de servicio.

n = Eficiencia del motor

4.3.1.1 Elección de arrancador suave para bomba centrífuga de 40 HP.

I_n = ?

P = 40 HP = 29 840 W.

V = 440 V (Línea trifásica).

FP = 0.82

FS = 1.05

n = 91.8

Con estos datos procedemos a calcular la intensidad de corriente:

$$I_n = \frac{P \times FS}{\sqrt{3} \times V \times n \times FP}$$

$$I_n = \frac{40HP \times 746W \times 1.05}{1.732 \times 440 \times 0.91 \times 0.82}$$

I_n = 54.09 Amp.

Por la intensidad de corriente obtenida 54.09 Amp en el cálculo, se adquiere un arrancador suave de 63 Amp, que es el inmediato superior en su gama.

4.3.1.2 Elección de arrancador suave para bomba electro sumergible de 25 HP.

$I_n = ?$

$P = 25 \text{ HP} = 18650 \text{ W}$.

$V = 440 \text{ V}$ (Línea trifásica).

$FP = 0.80$

$FS = 1.0$

$n = 90$

Con estos datos procedemos a calcular la intensidad de corriente:

$$I_n = \frac{P \times FS}{\sqrt{3} \times V \times n \times FP}$$

$$I_n = \frac{25 \text{ HP} \times 746 \text{ W} \times 1.00}{1.732 \times 440 \times 0.90 \times 0.80}$$

$I_n = 33.98 \text{ Amp}$.

Por la intensidad de corriente obtenida de 33.98 Amp en el cálculo, se adquiere un arrancador suave que se encuentra en el rango de 28-40 Amp.

4.3.2 Elección y características del guardamotor.

Para la protección de los motores de impulsión de 40HP y el motor electro sumergible de 25 HP respectivamente, a base de un minucioso estudio de beneficios y características técnicas se optó por instalar el dispositivo de marca Siemens denominado Sirius 3RV.

Los disyuntores Sirius 3RV son compactos y limitadores de corriente. Garantizan una parada segura, fiable cuando los cortocircuitos se producen, protegen los equipos y los sistemas contra sobrecarga.

Además, son adecuados para la conmutación operacional de carga en alimentadores con una baja frecuencia de funcionamiento y desconectan de forma segura la planta o el sistema de la red de alimentación, cuando se están realizando cambios.

4.3.2.1 Elección de guardamotor para bomba centrífuga de 40 HP.

$I_n = ?$

$P = 40 \text{ HP} = 29\,840 \text{ W}$.

$V = 440 \text{ V}$ (Línea trifásica).

$FP = 0.82$

$FS = 1.05$

$n = 91.8$

Con estos datos procedemos a calcular la intensidad de corriente:

$$I_n = \frac{P \times FS}{\sqrt{3} \times V \times n \times FP}$$

$$I_n = \frac{40 \text{ HP} \times 746 \text{ W} \times 1.05}{1.732 \times 440 \times 0.91 \times 0.82}$$

$I_n = 54.09 \text{ Amp}$.

Por la intensidad de corriente obtenida 54.09 Amp en el cálculo, se adquiere un guardamotor de 63 Amp, que es el inmediato superior en su gama.

4.3.2.2 Elección de guardamotor para bomba sumergible de 25 HP.

$I_n = ?$

$P = 25 \text{ HP} = 18650 \text{ W}$.

$V = 440 \text{ V}$ (Línea trifásica).

$FP = 0.80$

$FS = 1.0$

$n = 90$

Con estos datos procedemos a calcular la intensidad de corriente:

$$I_n = \frac{P \times FS}{\sqrt{3} \times V \times n \times FP}$$
$$I_n = \frac{25 \text{ HP} \times 746 \text{ W} \times 1.00}{1.732 \times 440 \times 0.90 \times 0.80}$$

$I_n = 33.98 \text{ Amp}$.

Por la intensidad de corriente obtenida de 33.98 Amp en el cálculo, se adquiere un guardamotor de 40 Amp.

4.3.3 Sistema de puesta a tierra del sistema óptimo de bombeo de la finca Florycampo.

Una instalación de baja potencia, como es el caso que se presenta en este proyecto requerirá una o pocas varillas enterradas verticalmente, separadas, pero metálicamente conectadas entre ellas. La finca Florycampo, por estar ubicado en una zona de un suelo fértil, en su mayoría el terreno es cultivable, tiene una resistividad baja del orden de 50 Ohm.m obtenidos en la medición en sitio con el telurómetro.

En suelos que presentan resistividad, como la encontrada en la finca Florycampo, es necesario mejorarlos en lo que a características de conductividad se refiere, siendo el procedimiento para ello el de excavar las dimensiones de la puesta a tierra con una profundidad de 0.6 m del nivel +0,0; colocándose después dentro de la zanja los elementos eléctricos para un correcto aterraje, rellenándolo con tierra húmifera o chocoto y sustrato o Gem para mejoramiento del suelo.

En el cuadro 10 se indica los datos existentes para calcular las dimensiones de la puesta a tierra:

Cuadro 10.

Datos para calcular el sistema de puesta a tierra.

Dimensión de la Excavación	4,00m x 4,00 m
Resistividad del suelo	50 Ohm.m
Corriente de Falla	3.4 KA
Resistencia de P a T	Menor a 5 Ohm.m
Materiales de Conductores	Cable recocido
Profundidad de entierro	0,6 m
Varillas	En el perímetro

Fuente: Sistema óptimo de bombeo FYC.

Elaborado por: Los autores.

La corriente de cortocircuito o corriente de falla se la obtuvo mediante el software “Cymdist” facilitado por el departamento de la calidad de la energía Emelnorte.

Como se indicó en párrafos anteriores, el terreno de esta puesta a tierra fue mejorado, poniendo en lugar de la tierra existente, en el interior

de la zanja tierra humífera o chocoto y Gem, para lograr una puesta a tierra menor a 5 ohmios. Para cálculos tomaremos como valor de resistividad del suelo 19.35 Ohm.m, producto ya del mejoramiento del suelo. En el cuadro 11 se indica los datos obtenidos mediante el mejoramiento realizado.

Cuadro 11.
Datos para calcular el sistema de puesta a tierra,
en suelo mejorado.

Dimensión de la Excavación	4.00m x 4.00 m
Resistividad del suelo (Mejorado)	19.35 Ohm.m
Corriente de Falla	3.4 KA
Resistencia de P a T	Menor a 5 Ohm
Materiales de Conductores	Cable recocado
Profundidad de entierro	0,6 m
Varillas	En el perímetro

Fuente: Sistema óptimo de bombeo FYC.

Elaborado por: Los autores.

El tipo de puesta a tierra del sistema óptimo de bombeo de la finca Florycampo será del tipo “Electrodo vertical en pozo” o varias varillas en cuadro hueco, procedimiento de dimensionamiento aprendido en seminario de diseño de puesta a tierra organizado por el colegio de ingenieros eléctricos y electrónicos de Imbabura.

D = 4.00 m



D = 4.00 m

Estas son las dimensiones de la puesta a tierra, el dato D para uso en las fórmulas a continuación será de 4.00 m.

Procedemos a calcular la resistencia de una semiesfera enterrada, (una varilla al ser enterrada en la tierra se comporta como un electrodo en forma de semiesfera).

La varilla tiene una longitud de 1.80m y diámetro de 5/8" de pulgada o 0.016m.

$$R_{IV} = \frac{\rho}{2 * \pi * l} \ln \frac{4l}{d} \text{ Ec. (1)}$$

Dónde:

R_{IV} = Resistividad de una varilla.

ρ = Resistividad del suelo.

l = longitud de la varilla.

d = diámetro de la varilla.

$$R_{IV} = \frac{19,35}{2 * \pi * 1,80} \ln \frac{4 * 1,80}{0,016}$$

$$R_{IV} = 10,45 \text{ Ohm.}$$

La R_{IV} entonces es 10,45 ohmios con los datos existentes.

Este valor no cumple porque la resistencia de la puesta a tierra esperada debe ser menor a 5 Ohmios.

Se procede entonces a calcular el sistema de puesta a tierra mediante el método del “Electrodo vertical en pozo” o cuadro hueco, necesiándose para ello hacer el siguiente proceso:

$$R_{SEMIESFERA} = \frac{\rho}{2 * \pi * r} \text{ Ec. (2)}$$

Dónde:

$R_{SEMIESFERA}$ = Resistividad de la semiesfera.

ρ = Resistividad del suelo.

r = radio de la semiesfera.

Igualamos la Ec. (1) con la Ec. (2) y despejamos r .

Entonces se tiene que:

$$r = \frac{l}{\ln(4l/d)}$$

$$r = \frac{1,80}{\ln(4 \times 1,80 / 0,016)}$$

$$r = 0.29 \text{ m.}$$

De aquí que al calcular:

$$\alpha = r/D$$

Dónde:

α = Relación radio de la semiesfera con la distancia de varilla a varilla.

D = Distancia de varilla a varilla.

Entonces se tiene que:

$$\alpha = r/D$$

$$\alpha = 0.29/4,00$$

$$\alpha = 0.074$$

Con la siguiente fórmula tenemos el valor de la R de puesta a tierra poniendo dos varillas por lado en el cuadrado hueco.

$$R_N = R_{IV} \frac{(1 + k * \alpha)}{N}$$

Dónde:

K = Depende del número de Varillas.

N = Número total de varillas.

En el cuadro 12 se indica los parámetros de cálculo empleando varillas en “Electrodo vertical en pozo” o cuadro hueco.

Cuadro 12.
Parámetros de cálculo empleando varillas en cuadro hueco

N	K
4	2,7071
8	4,2583
12	5,3939
16	6,0072
20	6,4633
24	6,8363
28	7,1479

Fuente: Sistema óptimo de bombeo FYC.

Elaborado por: Los autores.

$$R_N = R_{IV} \frac{(1 + k * \alpha)}{N}$$

$$R_N = 10.45 \frac{(1 + 2.707 * 0.073)}{4}$$

$$R_N = 3,13 \text{ Ohm.}$$

La resistencia de puesta a tierra tipo “Electrodo vertical en pozo” o cuadro hueco, con 4 varillas, una por extremo, satisface el requerimiento máximo de diseño, ya que es inferior a los 5 ohmios que se necesitaban. Todas las fórmulas y tablas expuestas anteriormente provienen del capítulo I, instalaciones de puesta a tierra, del folleto de diseño en alto voltaje, de autoría del Ing. Paúl Ayora catedrático de la Escuela Politécnica Nacional, y los conocimientos adquiridos en seminario de diseño de puesta a tierra organizado por el colegio de ingenieros eléctricos y electrónicos de Imbabura.

4.3.4 Diseño y cálculo del banco de capacitores automático para corregir el bajo factor de potencia producido por los motores implementados.

Para la compensación de la energía reactiva del sistema óptimo de bombeo de la finca Florycampo se optó por implementar el método de “Compensación variable” que es “aquella en la que suministramos la potencia reactiva según las necesidades de la instalación”.

Debe utilizarse cuando la instalación tenga una demanda reactiva variable, es recomendable en las instalaciones donde la potencia reactiva a compensar supere el 15% de la potencia nominal del 81% del transformador y/o para compensar la totalidad de una instalación. Esta

compensación automática, es capaz de adecuarse a las variaciones de potencia reactiva requerida en la instalación, para conseguir mantener el FP objetivo de la instalación.

El valor mínimo aceptado del factor de potencia en empresas eléctricas distribuidoras es de 0,92. (Regulación CONELEC 004/01) Según www.conelec.gob.ec señala: “Para aquellos consumidores de la categoría general, con medición de energía reactiva, que registren un factor de potencia medio mensual inferior a 0,92 el distribuidor aplicará los cargos establecidos en el Reglamento de Tarifas, en concepto de cargos por bajo factor de potencia”. (pág. 10).

Para evitar penalizaciones por bajo factor de potencia, en el diseño de la compensación de la energía reactiva, para la finca Florycampo, el FP propuesto para el cálculo es 0.95.

En el cuadro 13 se muestra la descripción de los motores trifásicos utilizados.

Cuadro 13.
Descripción de los motores trifásicos.

Cantidad	Equipo	Potencia HP	Potencia KW	FP
2	Motor - Bomba 40 HP c/u	80	59,68	0,82
1	Motor electro sumergible	25	18,65	0,82
Total		105	78,33	0,82

Fuente: Sistema óptimo de bombeo FYC.

Elaborado por: Los autores.

La potencia activa total es de 78.33 kW o 105 HP.

El cálculo de la compensación reactiva se la realizó con dos de los tres motores implementados en el diseño óptimo de bombeo, ya que uno de los motores está compensado con el VFD.

Se procede a calcular el sistema de compensación de energía reactiva mediante el método de "Compensación variable", necesítándose para ello hacer el siguiente proceso:

4.3.4.1 Cálculo del banco de capacitores.

4.3.4.1.1 Paso uno.

Calcular la potencia aparente para Q inicial con la expresión posterior:

$$FP = \frac{P}{S} = \cos \emptyset$$

Dónde:

FP = Factor de potencia = $\cos \emptyset$. FP = 0.82

P= Potencia activa. P= 78.33

S= Potencia aparente. S= ?.

$$FP = \frac{P}{S}$$

Despejando S se obtiene:

$$S = \frac{P}{FP}$$

$$S = \frac{78.33}{0.82}$$

$$S = 95.52 \text{ kVA}$$

4.3.4.1.2 Paso dos.

Plantear potencia reactiva inicial con la expresión posterior:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Dónde:

S= Potencia aparente. S= 95.52 kVA.

P= Potencia activa. P= 78.33 kW.

Q= Potencia reactiva. Q= ?.

Despejando Q se obtiene:

$$Q_{inicial} = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$Q_{inicial} = \sqrt{(95.52)^2 - (78.33)^2}$$

$$Q_{inicial} = 54.66 \text{ KVAR}$$

4.3.4.1.3 Paso tres.

Calcular la potencia aparente para Q requerida con la expresión posterior:

$$FP = \frac{P}{S} = \cos \emptyset$$

Dónde:

FP = Factor de potencia = $\cos \emptyset$.

FP = 0.95

P= Potencia activa.

P= 78.33

S= Potencia aparente.

S= ?.

$$FP = \frac{P}{S}$$

Despejando S se obtiene:

$$S = \frac{P}{FP}$$

$$S = \frac{78.33}{0.95}$$

$$S = 82.45 \text{ kVA}$$

4.3.4.1.4 Paso cuatro.

Plantear potencia reactiva requerida con la expresión posterior:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Dónde:

S= Potencia aparente.

S= 82.45 kVA.

P= Potencia activa.

P= 78.33 kW.

Q= Potencia reactiva.

Q= ?.

Despejando Q se obtiene:

$$Q_{requerida} = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$Q_{requerida} = \sqrt{(82.45)^2 - (78.33)^2}$$

$$Q_{requerida} = 25.74 \text{ kVAR}$$

Para calcular la potencia reactiva del banco de capacitores se aplica la siguiente fórmula:

$$Q_{banco} = Q_{inicial} - Q_{requerida}$$

$$Q_{banco} = 54.66 \text{ kVAR} - 25.73 \text{ kVAR}$$

$$Q_{banco} = 28.92 \text{ kVAR}$$

El resultado es la potencia del banco de capacitores para la carga del sistema óptimo de bombeo de la finca Florycampo.

Con estos resultados se instaló de un banco de capacitores automático de 30 kVAr. La compensación automática, debe adecuarse a las variaciones de potencia reactiva requerida en la instalación, para conseguir mantener el FP que se plantea de la instalación. El mecanismo de compensación automático está constituido por tres elementos internos principales:

1. El relé varimétrico: Cuya función es medir el $\cos \varphi$ de la instalación y dar las órdenes a los contactores para intentar aproximarse lo más posible al $\cos \varphi$ objetivo, conectando los distintos escalones de potencia reactiva.
2. Los contactores: Son los elementos encargados de conectar los distintos capacitores que conforman el banco. El número de escalones que es posible disponer en un equipo de compensación automático depende de las salidas que tenga el regulador.
3. Los capacitores como se muestran en la figura 28: Son los elementos que aportan la energía reactiva a la instalación. Normalmente la conexión interna de los mismos está hecha en triángulo.

Figura 28.
Tablero banco de condensadores.



Fuente: Sistema óptimo de bombeo FYC
Elaborado por: Los Autores

El relé varimétrico que controla el sistema automático de “Compensación variable”, después de realizar un análisis se utilizó el Varlogic NR6 mostrado en la figura 29, que consta de las siguientes características.

Facilidad:

Pantalla de fácil lectura.

Diálogo hombre/máquina intuitivo.

Control:

Visualización directa de características de la batería de condensadores y de red.

Flexibilidad:

Programación y puesta en marcha automática.

Red Modbus RS485 de opción de comunicación.

Aplicaciones:

Cuadros de distribución o equipos de corrección del factor de potencia.
Descripción de la gama. Los controladores Varlogic miden permanentemente la potencia reactiva consumida por la instalación y controla los pasos de los condensadores para poder obtener el factor de potencia requerido.

Figura 29.
Varlogic NR6.



Fuente: Sistema óptimo de bombeo FYC

Elaborado por: Los Autores

4.3.5 Diseño del sistema de bombeo óptimo.

El diseño hidráulico y mecánico del sistema ha sido realizado por la Dirección de Ingeniería de Hilsea Investments Ltd. a cargo del Ing. Miguel Caicedo e Ing. Fernando Ipiales; y, por el contratista de equipos de riego

Flor Nintanga S.A., quienes nos han proporcionado la información necesaria para diseño eléctrico.

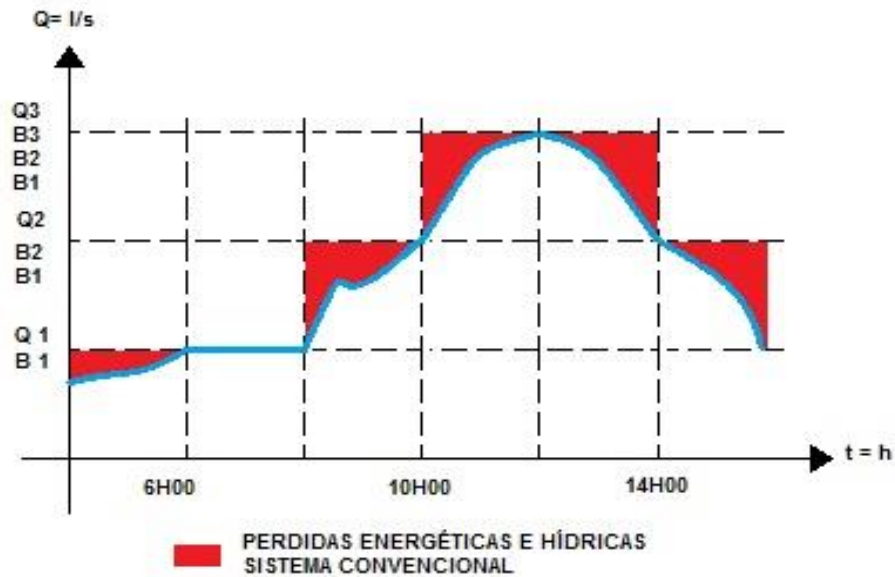
En base a los antecedentes presentados anteriormente en este documento, la finca Florycampo para abastecer sus necesidades, debe obtener el agua desde un pozo subterráneo, en este caso, un pozo artesiano potenciado mediante una bomba electro sumergible de 25 hp, para posteriormente almacenar el agua en un reservorio de gran tamaño (10.000 m³).

Luego se espera bombear hacia los bloques de cultivo y demás dependencias de la finca. Dada la enorme cantidad de agua que requiere una finca de esta magnitud (la más grande de Cayambe), el sistema de bombeo requerido para el efecto, igualmente es de una gran potencia eléctrica, en este caso, con tres bombas de 40 hp c/u.

El desarrollo de la ingeniería del sistema de alimentación eléctrica, desde la red de MT, el centro de transformación, el sistema de distribución, su compensación reactiva, diseño y construcción de tableros de fuerza y control es cuanto se propone realizar el presente estudio.

Requiere especial atención en cuanto al uso racional de la energía eléctrica, pues los sistemas de bombeo con presión constante convencionales, implican enormes pérdidas de energía, como se muestra en la figura 30, además las pérdidas también son en gran proporción hídricas.

Figura 30.
Curva característica del caudal en función del tiempo
Sistema convencional.



Fuente: Sistema óptimo de bombeo FYC

Elaborado por: Los Autores

A continuación se resume el funcionamiento del sistema propuesto:

Mediante tres bombas de 40 hp, se alimenta el manifold de la tubería principal de agua, tomando el líquido desde el reservorio ubicado en la parte baja de la finca, las bombas se encuentran montadas en una isla flotante sobre el mismo reservorio.

Ver anexos fotográficos.

El agua del reservorio se la obtiene de un pozo artesiano potenciado por una bomba electro sumergible que permite obtener una producción de agua de 45 litros por segundo.

Ver anexo fotográfico.

Dos de las tres bombas son de velocidad constante (B1 y B2) y arrancan a través de arrancadores suaves, la tercera bomba (B3) se acciona a través de un variador de frecuencia y regula su velocidad en función de la señal de presión del manifold, que le llega al VFD a través de un sensor transmisor de presión con señal de 0 a 10 V, que representa una presión entre 0 y 100 psi.

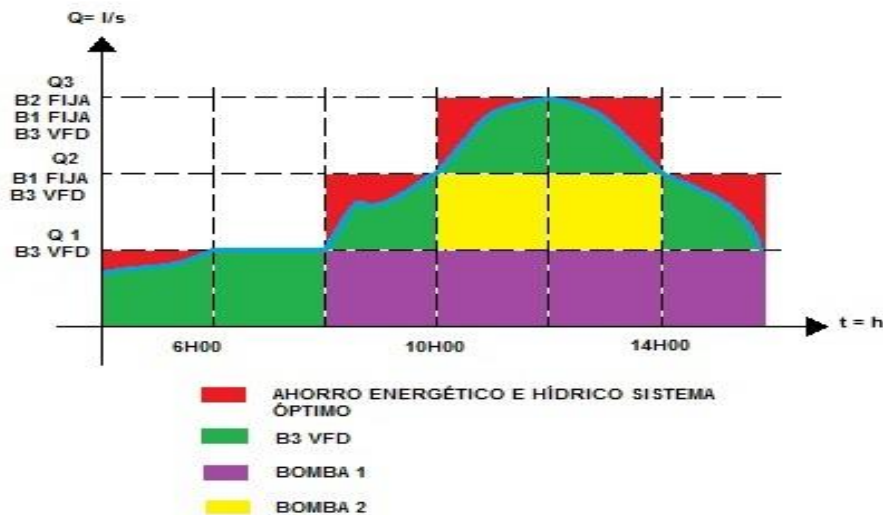
El variador de frecuencia a través de un PID interno y parametrizable controla automáticamente su velocidad en función de la presión de la tubería, no necesita más control que el contacto remoto de arranque y parada del variador, pues regula automáticamente su frecuencia de salida.

Al arrancar el sistema en modo automático, el PLC da la orden de arranque al VFD que acciona B3, el cual a través de una rampa de 10 segundos inicia el bombeo, controlando de manera autónoma su velocidad en función de la señal de presión de la tubería obtenida con el PT.

Si el VFD (B3) alcanza el 100% de su velocidad nominal, a través de un contacto seco en sus salidas digitales, notifica al PLC, el cual da la orden inmediata de arrancar a B1 de velocidad fija, igualmente con una rampa de arranque de al menos 15 segundos para evitar turbulencias que alteren el sistema. El PLC tiene como dato el número de bombas (B1, B2 y B3) que ha mandado a arrancar y si es de velocidad fija o variable.

El sistema está diseñado para trabajar en modo automático únicamente con 2 bombas a la vez, es decir, B3 (de velocidad variable) y B1 o B2 (de velocidad fija) en pares B3-B1 o B3-B2, como se observa en la figura 31, la entrada de cada motor de acuerdo a la necesidad del caudal y presión.

Figura 31.
Curva característica del caudal en función del tiempo
Sistema óptimo de bombeo.



Fuente: Sistema óptimo de bombeo FYC

Elaborado por: Los Autores

En modo automático el PLC selecciona alternadamente a B1 y B2 para cada ciclo de trabajo, generando un desgaste uniforme de los equipos.

Para poder tener información sobre la frecuencia del VFD, programamos la salida analógica del mismo variador, convertimos la frecuencia internamente en señal de 0 a 10 V a través de un convertidor propio del variador, y ésta señal, ingresamos como dato al PLC, para obtener información de la frecuencia para el proceso de control automático. Es importante anotar que para apagar las bombas el criterio

determinante es la presión total del sistema, es decir, si la presión instantánea es mayor a la presión de setpoint del sistema (65PSI), luego de esperar una breve temporización (5 seg) el PLC manda a desconectar a la bomba de velocidad fija, manteniendo la frecuencia del variador (JOG) en 45 Hz para evitar el hueco en el suministro de agua. Luego de salir de operación la bomba de velocidad fija, vuelve a modo automático el VFD manteniendo los 65 PSI del setpoint.

Entradas y salidas de control:

Son entradas digitales del PLC:

1. Selector para Arranque del sistema en modo automático
2. Contacto para Alarma del VFD entrada digital
3. Contacto para Alarma del Var Logic (Compensación Reactiva)
4. Contacto de Sobrecarga guardamotor B1
5. Contacto de Sobrecarga guardamotor B2
6. Contacto de Sobrecarga guardamotor Bomba Sumergible
7. Contacto del relé de Falla de Voltaje
8. Pulsador de Resetear Falla

Son entradas analógicas del PLC:

1. Señal de presión del sistema proveniente del VFD (0-10V)

Son salidas del PLC:

1. Arranque Soft Starter Bomba 1
2. Arranque Soft Starter Bomba 2
3. Arranque variador de frecuencia Bomba 3

4. Velocidad Jog 45 Hz (es la velocidad que se fija al VFD el momento del apagado de las bombas de velocidad fija)
5. Luz de falla
6. Alarma audible

4.3.5.1 Manual de operación del sistema

Definiciones y advertencias.

Peligro

Significa que se puede producir la muerte, lesiones graves o daños materiales considerables, mostrado en la figura 32, si es que no se toman las precauciones adecuadas.

**Figura 32.
Riesgo eléctrico.**



Fuente: Sistema óptimo de bombeo FYC

Elaborado por: Los Autores

Advertencia

Significa que puede producirse la muerte, lesiones graves o daños, materiales considerables mostrados en la figura 33, si es que no se toman las precauciones adecuadas.

Figura 33.
Lesiones graves.



Fuente: Sistema óptimo de bombeo FYC

Elaborado por: Los Autores

4.3.5.1.1 Personal calificado

Para los fines de estas Instrucciones de uso y de las etiquetas en el producto, una "persona calificada" es alguien que está familiarizado con la instalación, montaje, puesta en servicio y operación del equipo y conoce los peligros implicados.

Dicha persona deberá tener las siguientes calificaciones:

- 1.** Formado y autorizado a poner en operación válvulas, bombas, leer manómetros, interpretar señales, activar y desactivar sistemas eléctricos de acuerdo con los procedimientos de seguridad establecidos.
- 2.** Formado y capacitado en el uso adecuado de equipos de protección de acuerdo con los procedimientos de seguridad establecidos.
- 3.** Capacitado en el uso y operación del Sistema de Bombeo con control óptimo de FloryCampo.

4.3.5.1.2 Presión del sistema

Definición de las presiones máximas y mínimas de operación del sistema que permiten sin problema operar a todos los procesos de la finca,

Se asume que la presión normal está en la banda entre presión baja y presión alta

Presión baja: 55 psi

Presión alta (presión objetivo): 65 psi

Definición de la presión máxima tolerable por el sistema antes de producir daño físico en los equipos de riego:

Presión alta – alta: 80 psi

Presión (traducida a valores de señal de 0 a 10 V – 0 a 6 bar a través del sensor Nautilus, dirigida a la entrada del VFD, sirve para informar al equipo sobre la presión del sistema)

4.3.5.1.3 Limitaciones de Operación

Se tomarán además en cuenta sucesos o eventos que por experiencia sabemos que producen fallas en el sistema, por ejemplo:

No puedo arrancar las bombas 1 y 2 mientras estoy bombeando desde el pozo profundo, pues, nos causa un problema de desbalance de voltajes que el SubMonitor detecta y dispara la bomba sumergible. El desbalance es causado por la acción de los SCR de los arrancadores suaves durante el arranque de los motores. Es necesario en consecuencia operar el pozo

profundo en horas de la madrugada únicamente para no tener este inconveniente en modo automático.

No puedo arrancar las bombas 1 y 2 mientras estoy trabajando con el variador de frecuencia, pues igualmente se dispara por desbalance de voltaje, es necesario entonces, que el programa desconecte momentáneamente el variador al arrancar B1 o B2, y luego de unos segundos, volver a habilitar el variador.

No puedo trabajar en modo automático si necesito el agua de las tres bombas, el sistema únicamente ha sido adaptado para trabajar con una bomba de velocidad variable y una bomba de velocidad fija, pero se ha incluido una sub-rutina que alterna el trabajo de las bombas de velocidad fija cuando son requeridas para mejorar la mantenibilidad.

4.3.5.1.4 Modo de operación manual.

Secuencia lógica sugerida en operación normal (1 bomba de velocidad fija y 1 bomba de velocidad variable para alimentar a presión de 65 psi todo el sistema)

1. El operador arranca el sistema desde cero: todas las tuberías se encuentran vacías,
2. El operador se sitúa frente al primer tablero del lado izquierdo, gira el pulsador de Emergencia para desactivar el bloqueo y abre el tablero con su respectiva llave.
3. Opera hacia abajo y hacia arriba la protección termo magnética principal (breaker) para activar la alimentación de todos los tableros,

4. En ese mismo tablero, acciona el selector con llave, que se encuentra en la puerta para activar los circuitos de control de todos los tableros. Al sonar la alarma presiono el botón reset.
5. En el tercero y cuarto tableros tablero de VFD y tablero de arrancadores suaves, selecciona modo manual, desplazando el selector hacia la posición izquierda.
6. Se recomienda sobremanera, arrancar una de las bombas de velocidad fija, Bomba 1 o Bomba 2, del tablero de Arrancadores Suaves para llenar la tubería, proceder entonces a purgar el aire de la tubería en todas las zonas.
7. Luego, reanudar las actividades agrícolas, consumiendo agua. Manteniendo encendida la bomba B1 o B2
8. Si la presión es inferior a 65 psi, arrancar la bomba del VFD y dejar ambas bombas operando
9. Este procedimiento es ideal para el horario normal de trabajo, entre las 7h00 y las 15h00. Fuera de este horario se recomienda, una vez purgadas las tuberías, apagar la bomba de velocidad fija B1 o B2 y únicamente trabajar con el VFD.

4.3.5.1.5 Modo de operación automático.

Secuencia lógica sugerida en operación normal (1 bomba de velocidad fija y 1 bomba de velocidad variable para alimentar a presión de 65 psi todo el sistema)

1. El operador arranca el sistema desde cero: todas las tuberías se encuentran vacías,
2. El operador se sitúa frente al primer tablero del lado izquierdo, gira el pulsador de Emergencia para desactivar el bloqueo y abre el tablero con su respectiva llave.
3. Opera hacia abajo y hacia arriba el breaker principal para activar la alimentación de todos los tableros
4. En ese mismo tablero, acciona el selector con llave de la puerta para activar los circuitos de control de todos los tableros, la alarma suena, presiono el botón reset.
5. En el cuarto tablero de arrancadores suaves, selecciona modo manual, desplazando el selector hacia la posición izquierda.
6. Se recomienda sobremanera, arrancar una de las bombas de velocidad fija, Bomba 1 Bomba 2, del tablero de Arrancadores Suaves para llenar la tubería, purgar la tubería de aire en todas las zonas.
7. Cuando se terminó de purgar la tubería en todas las secciones, la finca debe parar sus procesos y esperar a que la presión se estabilice por encima de 60 psi, operando en modo manual.
8. Una vez estabilizada la presión, En el tercer tablero de VFD, seleccionar modo automático, desplazando el selector hacia la posición derecha. Al hacerlo, el variador se energizará y la sirena va a sonar con la indicación de falla del VFD que usualmente presenta al arrancar. Seguidamente presionar el botón Fn del Panel de Operador, para resetear el VFD y seguidamente resetear la alarma audible presionando el botón reset color amarillo.

- 9.** Luego de estabilizar el VFD y tener en pantalla 0,00 Hz, girar hacia la derecha modo automático el selector tres posiciones del Tablero de los Arrancadores Suaves.

- 10.** Se ha dado inicio entonces al modo automático a prueba de fallos (purgada la tubería), consecuentemente se cumplirán los siguientes puntos:
 - a.** El PLC espera tres segundos, luego de recibir la señal de automático de ambos tableros, como tiempo de confirmación y estabilización del sistema.

 - b.** El PLC lee la presión inicial, si el valor se encuentra entre el mínimo y el máximo establecidos inmediatamente ordena el arranque del variador de frecuencia.

 - c.** El VFD empieza a modular la presión según el consumo de la finca, trabajando desde 10 Hz hasta 58 Hz, si el consumo de agua de la finca es bajo, el variador y su bomba serán suficientes para alimentar el sistema y mantener la presión constante.

 - d.** Si el variador llega a su velocidad máxima ante un mayor consumo de agua, y sin embargo la presión sigue cayendo, el PLC en un tiempo menor a 10 segundos, procede a apagar el variador y encender B1,

 - e.** Luego de 5 segundos de la orden de arranque dado a la B1 bomba de velocidad fija, el PLC vuelve a arrancar el VFD, (esta transición se la realiza para evitar el fallo del VFD que causa la perturbación de arrancar B1)

 - f.** En este escenario, tenemos dos bombas alimentando de agua la finca, la primera bomba B1 (o B2 según el turno), alimentan una banda prácticamente constante de caudal y presión, mientras que la B3 o VFD

alimenta únicamente la cantidad necesaria de caudal para mantener la presión en 65 psi.

- g.** Si el consumo de la finca baja notablemente, la presión empieza a subir, si pasamos los 66 psi, el variador de frecuencia o VFD baja su frecuencia de alimentación a cero Hz.

- h.** Si aun estando en 0 Hz el VFD, la presión sigue subiendo (como generalmente sucede cuando ya no tenemos mucho consumo), al llegar a 80 psi el PLC apaga inmediatamente la bomba de velocidad fija B1 o B2, para seguidamente arrancar el VFD, quien se encargará nuevamente del alimentar de agua a presión constante mientras no suba nuevamente el consumo.

4.3.5.1.6 Modo de operación manual – extra caudal.

Secuencia lógica sugerida en operación extra caudal (si la bomba fija más la modulante no abastecen la demanda de agua y presión del sistema)

- 1.** Si aun estando conectadas y abasteciendo de agua B1 (o B2) y B3, trabajando en modo automático, el sistema requiere más presión, inmediatamente pasar a modo manual, girando los selectores al punto central y luego al lado izquierdo.

- 2.** Si el sistema efectivamente estaba en modo automático, súbitamente se apagará, por lo que es necesario volver a arrancar manualmente de manera inmediata las bombas de velocidad fija B1 y B2, con un intervalo de 10 segundos entre la una y la otra

3. Comprobar, esperando al menos un minuto, que efectivamente, aún con B1 y B2 de velocidad fija alimentando agua, la presión es inferior a 60 psi.
4. De persistir la baja presión, arrancar manualmente el VFD.

Si el sistema trabaja con las tres bombas en modo manual puede llegar a una presión destructiva para las tuberías, por tanto, debe estar presente el operador de manera permanente, inspeccionando los manómetros mientras las tres bombas operan.

A continuación en el cuadro 14 se determina la solución a posibles problemas que pueden darse en el sistema.

Cuadro 14.
Solución de problemas

Problema	Causa	Solución
El sistema no arranca, no se tiene actividad o ruido en ningún equipo o luz piloto	Falla de energía eléctrica, total o falla de voltaje, el breaker principal no sube	Revisar con multímetro la existencia de las tres fases y el valor V_{fn} debe ser 270 Voltios aproximadamente. Revisar si el relé supervisor de voltaje RM4-TR está con luz verde (permisivo) o rojo (bloqueo)
El sistema no arranca, aunque el breaker principal ya está activo	Falla o falta de voltaje en el circuito de control. No se ha girado el switch	Revisar los breakers de control. Girar hacia la derecha el switch con llave del tablero principal

	con llave	
El sistema no arranca, se da la orden en modo manual y las bombas no encienden	Falla de voltaje de alimentación en equipos o falla térmica previa	En el tablero de los arrancadores suaves, revisar que el foco de READY se encuentre en color verde y que ambos guardamotors estén activados
El sistema no arranca en modo automático	El VFD está en fallo e impide el arranque	Pulsar el botón Fn del panel de operador del VFD para resetear la alarma, seguidamente resetear la sirena
El sistema oscila, el VFD cae en fallo continuamente	Burbujas en la tubería de presión	Purgar las tuberías en modo manual, establecer una presión superior a 60 psi e inmediatamente arrancar el sistema automático nuevamente.
El Submonitor de la bomba del pozo se dispara por alta temperatura de la bomba	Interferencia entre el VFD y el Submonitor	Se recomienda no hacerles trabajar en el mismo horario a las dos bombas.
Los guardamotors de las bombas de velocidad fija se disparan	Sobre corriente instantánea o permanente	Arrancar adecuadamente las bombas de velocidad fija en modo manual, no cruzar los arranques, esperar al menos diez segundos entre arrancar B1 y B2. Al apagarlas igualmente no cruzarlas.

Fuente: Sistema óptimo de bombeo FYC.

Elaborado por: Los autores.

CAPÍTULO V

5 Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones:

5.1.1 La Teoría

Se pudo efectivamente observar la manifestación real de las “leyes de afinidad”; pues, al manipular los parámetros de las bombas con las que se realizó el proyecto, efectivamente, el comportamiento físico del sistema fue muy similar a lo descrito en la teoría que sustenta la solución implementada en el proyecto.

5.1.2 Proceso de Investigación

La observación atenta y científica que nosotros como técnicos podemos realizar sobre un proceso eléctrico o electromecánico definitivamente nos lleva a analizar su eficacia y eficiencia, pudiendo emitir un criterio, e inclusive, proponer una mejor solución de ingeniería.

La experimentación inclusive, siendo novatos en el manejo de ciertos equipos o tecnologías, crea ciencia y experiencia en quienes realizamos este proyecto, aumentando nuestros conocimientos y confianza en el trabajo que podemos realizar.

5.1.3 Producto tecnológico

Definitivamente es posible desarrollar tecnología en nuestro país, inclusive partiendo de materiales y equipos 100% importados; se requiere únicamente participar, de manera seria, en el desarrollo industrial del Ecuador.

5.1.4 Métodos de fabricación

Proyectos de ingeniería que llegan a implementarse y funcionan de manera eficiente, crean experiencia en quienes participan de los mismos, mejorando además sus capacidades de diseño y fabricación.

5.1.5 Las pruebas, equipos, o algún otro aspecto.

El módulo SR3B101BD utilizado en el prototipo de la tesis si tiene capacidad de expansión ya sea para entradas analógicas y salidas digitales.

Se puede colocar el módulo de expansión SRXT43BD en el cual las entradas son de 0 a 10 voltios o de 0 a 20 mA. Y dos salidas analógicas de 0 a 10 voltios, también se puede colocar un módulo de comunicación ya sea modbus (Esclavo) o Ethernet Server de las siguientes series:

Cuadro 15.

Módulos de expansión

REFERENCIA	No DE E/S	ALIMENTACION	ENTRADAS	SALIDAS
SR3XT61BD	6	24 VDC	4	2
SR3XT101BD	10	24 VDC	6	4
SR3XT141BD	14	24 VDC	8	6

Fuente: Auxiliares de automatización.

Elaborado por: Schneider Electric.

La programación de todos los módulos que se adapten para su expansión necesariamente se debe modificar la programación del PLC, puesto que el Software ingresado tiene ya definido sus salidas, al momento de adaptación de un módulo de expansión se tendrá más entradas y salidas y por ende modificaciones.

Es definitivamente beneficioso para Ecuador que las grandes industrias confíen en los ingenieros ecuatorianos, para desarrollar soluciones específicas a sus necesidades cotidianas.

5.2 Recomendaciones:

Se recomienda a la Universidad, el organizar seminarios con profesionales expertos en las distintas ramas industriales, para obtener de primera mano conocimientos de las aplicaciones prácticas que se dan diariamente a los conceptos aprendidos por los estudiantes en clase.

A los estudiantes de ingeniería se les recomienda revisar atentamente los manuales de los equipos antes de manipularlos; pues, bien realizada esta actividad, no existen razones por las cuales debamos evitar

experimentar con tecnologías que no sabemos manejar aún. Si no experimentamos, no aprendemos.

Incentivar a través de la universidad, programas de colaboración tecnológica con las industrias de la zona de influencia, para que podamos entrenarnos, y, aprendiendo de nuestros profesores, llegar a dar soluciones prácticas a los requerimientos puntuales de cada cliente.

A los egresados de la carrera se recomienda complementar los conocimientos adquiridos en las aulas de la Universidad con un plan de autoeducación orientado a complementar sus conocimientos, en cuanto a su vocación específica o su afinidad, con una rama de la electricidad u otra ciencia.

El aporte científico de este trabajo consta en las páginas de la 9 a la 68 y se traduce en las fórmulas, de las cuales se puede determinar cómo teorías científicas, técnica y experimentales; las mismas que serán útiles para la posteridad, en tanto sigan existiendo los mismos procesos y procedimientos de producción y de medición, todo esto focalizado al tema tratado hasta el año 2013.

BIBLIOGRAFÍA

- Leyes de afinidad. (15 de agosto de 2012). <http://cbs.grundfos.com>.
Recuperado 11 de febrero de 2013, de http://cbs.grundfos.com/BGE_Spain/lexica/SG_Laws_of_affinity.html#-
- Bombas centrifugas. (10 de enero de 2012). <http://www.infojardin.net>.
Recuperado 18 de abril de 2013, de <http://www.infojardin.net/glosario/basal/bombas-centrifugas.htm>
- Catálogo técnico Franklin Electric (2005).
- Catálogo técnico Weg Accionamientos ISA CONTROL (2006).
- Automatización industrial. (25 de marzo de 2013).
<http://www.jorgeleon.terradeleon.com>. Recuperado 12 de mayo de 2013,
de <http://www.jorgeleon.terradeleon.com/automatizacion/>
- Catálogo técnico SIRIUS arrancadores suaves SIEMENS (2010).
- Cuaderno técnico SIEMENS Sirius arrancadores suaves (2005-05-08).
- Guardamotores. (26 de abril de 2010). <http://mci-automation.blogspot.com>.
Recuperado 28 de mayo de 2013, de <http://mci-automation.blogspot.com/2012/11/guardamotor-magneto-termico.html>
- Manual de instalación y operación SubMonitor (2005-05-08).
- Cuaderno técnico SubMonitor Franklin Electric (2011-08-10).
- Cuaderno técnico Siemens DA 51.2 (2007-2008).
- ROGGER José, MACAS Rodrigo, (Enero 2010), Diseño y construcción de un modelo didáctico para medir y controlar el caudal y nivel.
- Escuela industrial. (10 de noviembre de 2010).
<http://instrumentacionycontrol.net>. Recuperado 05 de abril de 2013, de http://instrumentacionycontrol.net/Descargas/Documentacion/Automatas_PLC/lyCnet_QUE_es_un_PLC_y_SCADA.pdf
- SACI INSTRUMENT, (2010), En su Manual de Construcciones Industriales.
- Escuela industrial. (19 de octubre de 2011). <http://www.flexilatina.com>.
Recuperado 26 de abril de 2013, de <http://www.flexilatina.com/transmisores-de-presion.html>

Tableros eléctricos. (07 de octubre de 2011). <http://www.quiminet.com>.
Recuperado 05 de mayo de 2013, de

<http://www.quiminet.com/articulos/los-tableros-electricos-sus-tipos-y-aplicaciones-segun-el-uso-de-la-energia-electrica-2586331.htm>

QUISHPE Santiago, ANDRADE Richard, (Diciembre 2012), Diseño de puesta a tierra para una cámara de transformación.

DÍAZ Pablo. (2001). Soluciones prácticas para la puesta a tierra de sistemas eléctricos de distribución. México, Mc Graw Hill.

MOYOYAMA H, (1996). Sistemas de puesta a tierra.

DE LA VEGA ORTEGA Miguel, (2002). Problemas de ingeniería de puesta a tierra. México, D.F.: LIMUSA, S.A de C.V

Energía reactiva. (05 de junio de 2010). <http://www.epec.com>.

Recuperado 10 de junio de 2013, de

<http://www.epec.com.ar/docs/servicios/cosenofi.pdf>

Regulación CONELEC – 004/01.

Manual Teórico-Práctico de Schneider, (2008).

CIRCUTOR S.A, (2007).

VELASCO, Gerardo. (2006). Introducción a la calidad de energía eléctrica.

Ibarra – Ecuador:

Páginas WEB

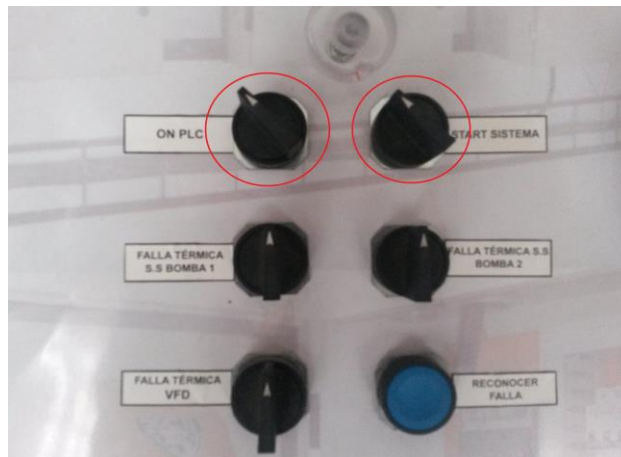
1. Novus Automation (2008) <http://www.wikipedia.com>
2. Motores Eléctricos (2009) <http://www.wikipedia.com>
3. Survalent Industries HMI/SCADA (2009) <http://www.wikipedia.com>
4. PLC's (2009) <http://www.Micrologix.com/100.html>
5. Programación de PLC's <http://www.micrologix100.com>
6. Autómatas Programables ISA.UMH. <http://www.sapiensman.com>

Anexos

MANUAL DE FUNCIONAMIENTO Y OPERACIÓN PROTOTIPO “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO CON ÓPTIMO CONSUMO ELÉCTRICO E HÍDRICO PARA HILSEA INVESTMENTS, FINCA FLORYCAMPO”

Para realizar la simulación del presente prototipo se debe ejecutar los siguientes pasos:

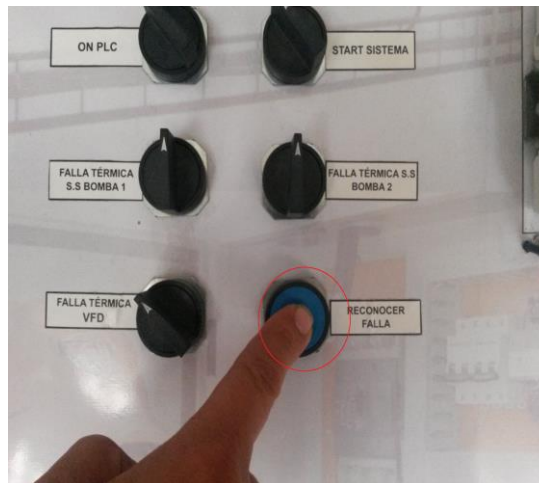
1. Verificar que el cable de alimentación 120V se encuentre correctamente conectado y la protección termo magnética este en posición ON.
2. Encender el PLC (ON PLC) selector lado izquierdo.
3. Encender el sistema del PLC (STAR SISTEMA) selector lado izquierdo.



4. Presionar botón de inicio PLC.



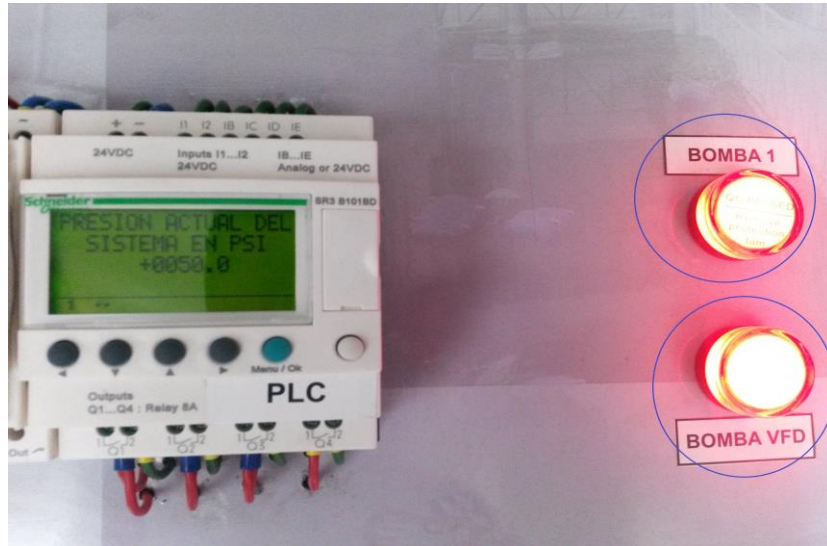
5. Cuando el potenciómetro (PRESION DEL SISTEMA), se encuentra entre 27 y 29 PSI se enciende B1 o B2 y censa la BVFD, si la presión no sube dentro de 15 segundos se enciende la alarma y se visualiza la leyenda fallo general y baja presión del sistema, para lo cual hay que presionar press reset (RECONOCER FALLA).



6. Entre 30 y 49 PSI estará encendido B1 o B2 dependiendo de la sub rutina que alterna el trabajo de las bombas de velocidad fija, cuando son requeridas, para mejorar la mantenibilidad ya que el sistema intercala B1 Y B2.



7. A partir de los 50 hasta 59 PSI permanece encendida B1 o B2 y se enciende BVFD.



8. Entre 65 y 79 PSI se apaga B1 o B2 y se mantiene encendida BVFD.



9. Cuando el sistema sobre pasa los 80 PSI se enciende la alarma y se visualiza la leyenda fallo general y sobre presión del sistema, press reset (RECONOCER FALLA).



10. En forma descendente es decir, cuando el potenciómetro (PRESION DEL SISTEMA), se encuentra entre los 64 hasta los 61 PSI, y no existe consumo de agua, se apaga todo el sistema Bomba 1, Bomba 2 y Bomba VFD; y adopta el MODO SLEEP ya que el sistema se encuentra con una presión perfecta para funcionar sin necesidad de potencializarlo reduciendo aún más el consumo de energía.



Anexo 1.
Programación ZelioSoft 2 sistema óptimo de
bombeo Florycampo.

Anexo 2.

Programación ZelioSoft 2 sistema óptimo de
bombeo prototipo UTN.

Anexo 3.

Ubicación geográfica de la finca Florycampo.



Anexo 4.

Respaldo fotográfico.



Fotografía 1.

Variador de frecuencia-Arrancadores suaves y guarda motores.



Fotografía 2.

Isla flotante, soporte de 3 motores- bombas 40 Hp c/u.



Fotografía 3.

Armado y conexionado de tablero de distribución principal.



Fotografía 4.

Medición de parámetros eléctricos en tablero de distribución principal.



Fotografía 5.

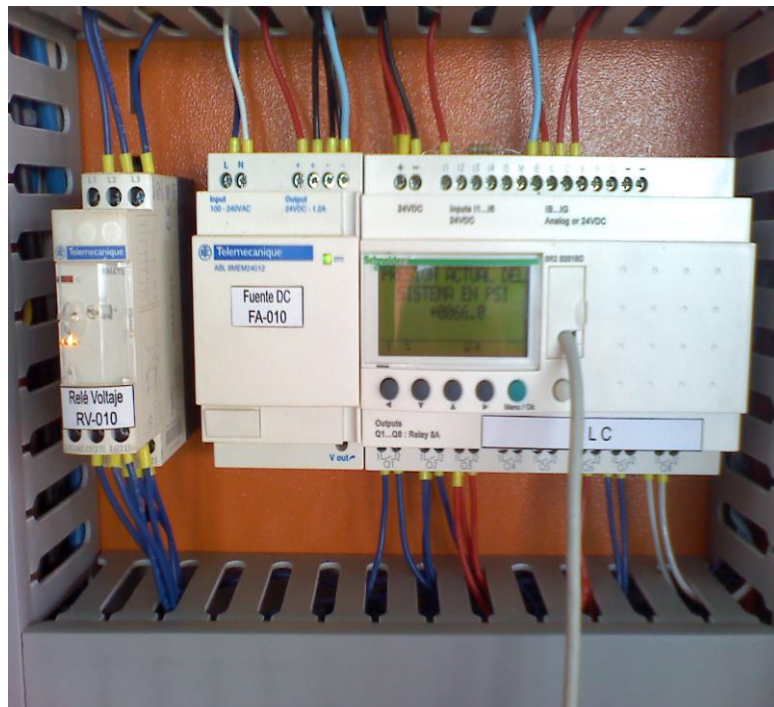
Instalación de:

Tablero arrancadores suaves y guardamotores

Tablero de compensación reactiva.

Tablero variador de frecuencia.

Tablero bomba sumergible.

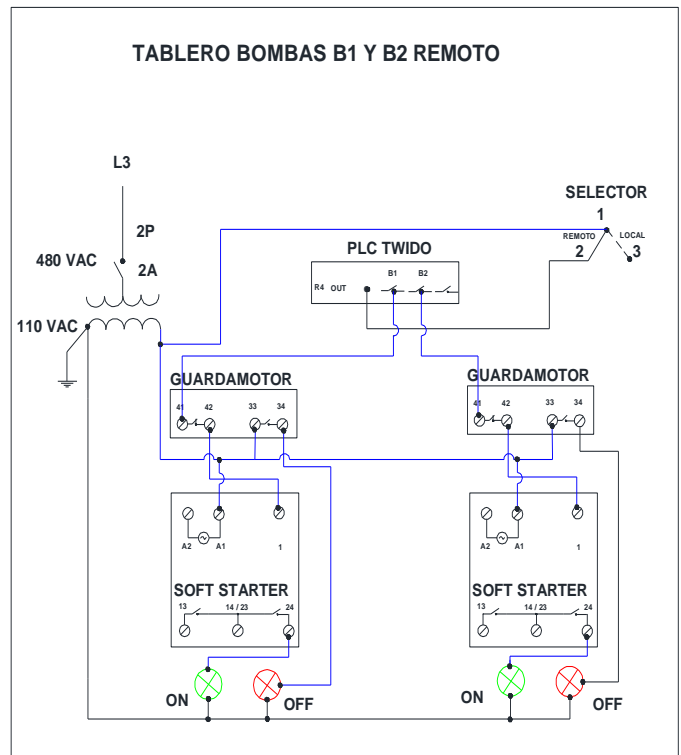
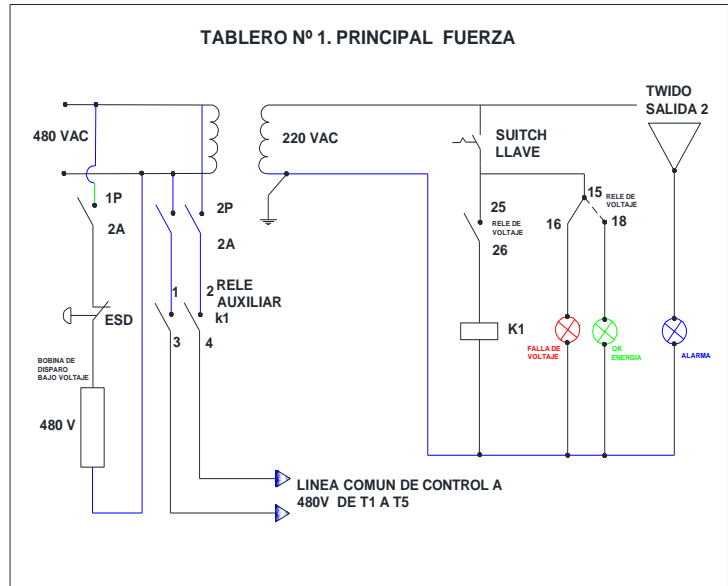


Fotografía 6.

PLC. Zelio SR3

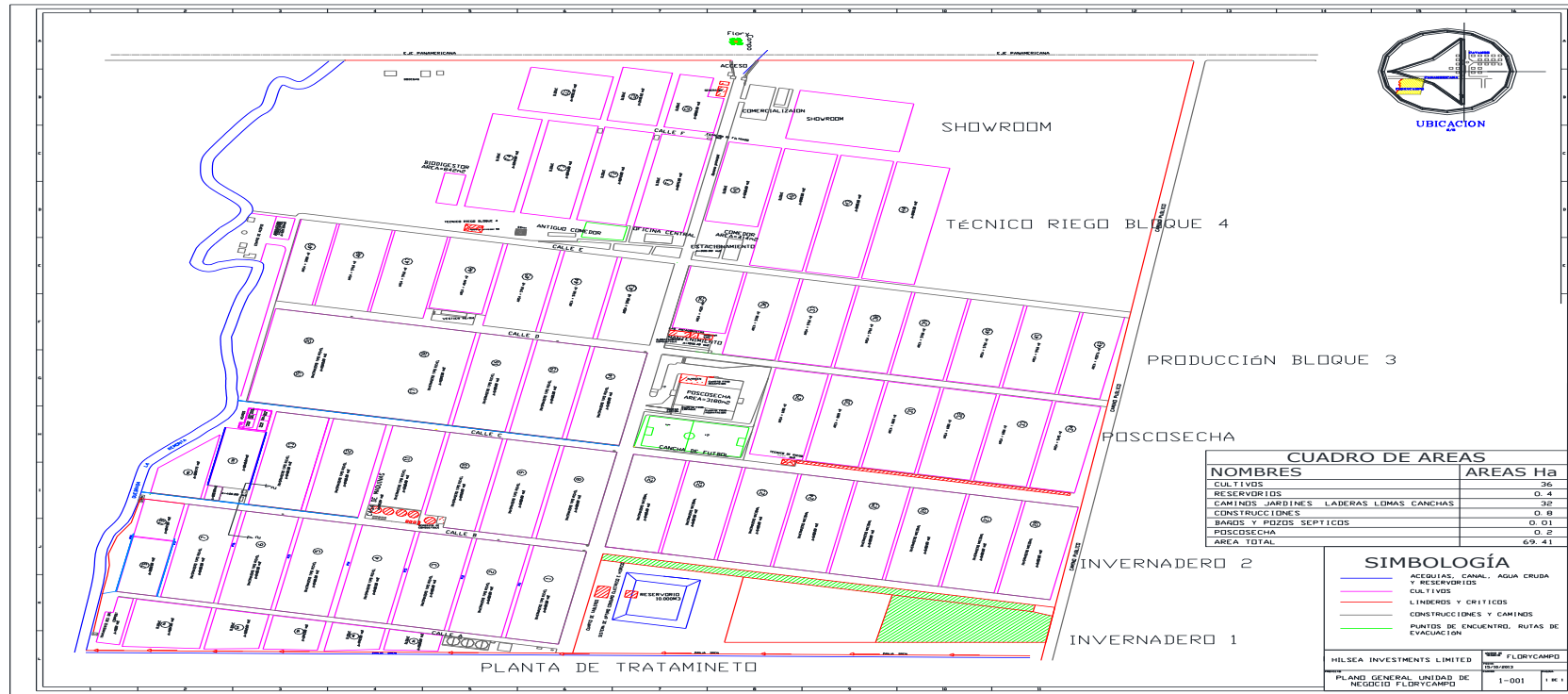
Anexo 5.

Diagramas de control.



Anexo 6.

Naves o bloques de flores de invernadero para exportación finca Florycampo.



Universidad Técnica Del Norte
Facultad de Educación Ciencia y Tecnología.
Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico.

Ibarra 20 de mayo de 2014.

CERTIFICADO

Yo Ing. Mauricio Vásquez certifico:

Que los señores estudiantes egresados **LÓPEZ GUEVARA FAUSTO MARCELO** y **TREJO CUÁSQUER JHON CÉSAR** de la Carrera de Ingeniería en Mantenimiento eléctrico cumplieron con la socialización del tema de trabajo de grado **"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO CON ÓPTIMO CONSUMO ELÉCTRICO E HÍDRICO PARA HILSEA INVESTMENTS, FINCA FLORYCAMPO"** con los estudiantes de cuarto semestre en el laboratorio de la carrera en mención el día 15 de mayo de 2014 a las 16h00.

Es todo cuanto puedo certificar en honor de la verdad.

Atentamente,



.....
Ing. Mauricio Vásquez.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1001867157		
APELLIDOS Y NOMBRES:	LÓPEZ GUEVARA FAUSTO MARCELO		
DIRECCIÓN:	URB. YACUCALLE		
EMAIL:	mlopezgue@yahoo.com.mx		
TELÉFONO FIJO:	585332	TELÉFONO MÓVIL:	0999812162

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO CON ÓPTIMO CONSUMO ELÉCTRICO E HÍDRICO PARA HILSEA INVESTMENTS, FINCA FLORYCAMPO"
AUTORA:	LÓPEZ GUEVARA FAUSTO MARCELO TREJO CUÁSQUER JHON CÉSAR
FECHA: AAAAMMDD	2013-12-23
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en la especialidad de Mantenimiento Eléctrico
ASESOR /DIRECTOR:	ING. MAURICIO VÁSQUEZ

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, LÓPEZ GUEVARA FAUSTO MARCELO., con cédula de identidad Nro. 1001867157, en calidad de autor (es) y titular (es) de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 23 días del mes de Diciembre del 2013

EL AUTOR:



(Firma).....

Nombre: LÓPEZ GUEVARA FAUSTO MARCELO

C.C.: 1001867157

Facultado por resolución de Consejo Universitario _____



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, LÓPEZ GUEVARA FAUSTO MARCELO., con cédula de identidad Nro. 1001867157, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor (es) de la obra o trabajo de grado "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO CON ÓPTIMO CONSUMO ELÉCTRICO E HÍDRICO PARA HILSEA INVESTMENTS, FINCA FLORYCAMPO". que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero en la especialidad de Mantenimiento Eléctrico., en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 23 días del mes de Diciembre del 2013

(Firma)
Nombre: LÓPEZ GUEVARA FAUSTO MARCELO
Cédula: 1001867157



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

4. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0401545108		
APELLIDOS Y NOMBRES:	TREJO CUÁSQUER JHON CÉSAR		
DIRECCIÓN:	SECTOR AJAVI		
EMAIL:	trejhonc2@gmail.com		
TELÉFONO FIJO:	5002190	TELÉFONO MÓVIL:	0999526740

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO CON ÓPTIMO CONSUMO ELÉCTRICO E HÍDRICO PARA HILSEA INVESTMENTS, FINCA FLORYCAMPO"
AUTORA:	LÓPEZ GUEVARA FAUSTO MARCELO TREJO CUÁSQUER JHON CÉSAR
FECHA: AAAAMMDD	2013-12-23
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en la especialidad de Mantenimiento Eléctrico
ASESOR /DIRECTOR:	ING. MAURICIO VÁSQUEZ

5. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, TREJO CUÁSQUER JHON CÉSAR con cédula de identidad Nro. 0401545108, en calidad de autor (es) y titular (es) de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

6. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 23 días del mes de Diciembre del 2013

EL AUTOR:



(Firma).....

Nombre: TREJO CUÁSQUER JHON CÉSAR

C.C.: 0401545108

Facultado por resolución de Consejo Universitario _____



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, **TREJO CUÁSQUER JHON CÉSAR**, con cédula de Identidad Nro. 0401545108, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor (es) de la obra o trabajo de grado **"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO CON ÓPTIMO CONSUMO ELÉCTRICO E HÍDRICO PARA HILSEA INVESTMENTS, FINCA FLORYCAMPO"**, que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero en la especialidad de Mantenimiento Eléctrico., en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 23 días del mes de Diciembre del 2013

(Firma)
Nombre: **TREJO CUÁSQUER JHON CÉSAR**
Cédula: 0401545108