



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
INDOAMÉRICA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS DE LA
INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TEMA:

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA LA
ESTACIÓN DE BOMBEO LIBERTAD BAJO-LIBERTAD ALTO DE LA
EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE AGUA POTABLE Y
SANEAMIENTO DE QUITO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial

Autor

Gancino Gancino Juan Carlos

Tutora

Msc. Topón Liliana

QUITO – ECUADOR

2019

**AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA,
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN
ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Juan Carlos Gancino Gancino, declaro ser autor del Trabajo de Titulación con el nombre “DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA LA ESTACIÓN DE BOMBEO LIBERTAD BAJO-LIBERTAD ALTO DE LA EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE QUITO”, como requisito para optar al grado de INGENIERO INDUSTRIAL y autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica Indoamérica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Tecnológica Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Quito, a los 27 días del mes de febrero de 2019, firmo conforme:

Autor: Juan Carlos Gancino Gancino

Firma:

Número de Cédula: 1712585387

Dirección: Pichincha, Quito, San Antonio de Pichincha, El Oasis

Correo Electrónico: jotacegancino@hotmail.com

Teléfono: 593 992508888

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA LA ESTACIÓN DE BOMBEO LIBERTAD BAJO-LIBERTAD ALTO DE LA EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE QUITO” presentado por Gancino Gancino Juan Carlos, para optar por el Título de Ingeniero Industrial,

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del Tribunal Examinador que se designe.

Quito, 27 de febrero de 2019

.....

Msc. Blanca Liliana Topon Visarrea

C.I: 1721114187

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, como requerimiento previo para la obtención del Título de Ingeniero Industrial, son absolutamente originales, auténticos, personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor

Quito, 27 de febrero de 2019

.....

Juan Carlos Gancino Gancino

C.I.: 1712585387

APROBACIÓN TRIBUNAL

El trabajo de Titulación, ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, sobre el Tema: DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA LA ESTACIÓN DE BOMBEO LIBERTAD BAJO-LIBERTAD ALTO DE LA EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE QUITO, previo a la obtención del Título de Ingeniero Industrial, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del trabajo de titulación.

Quito, de de 2019

.....
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

.....
VOCAL

.....
VOCAL

DEDICATORIA

A mi amada esposa, quien con su apoyo incondicional ha sabido ser el motor que me impulsa a alcanzar nuevas metas tanto personales como profesionales.

A mis queridos hijos Juan Miguel y Pablo Andrés, quienes son mi inspiración para luchar diariamente hasta verlos convertidos en personas de bien.

A mis padres, quienes siempre han sido mi guía y ejemplo a seguir.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por bendecir mi vida y la de mi familia, por guiarme siempre, por ser el apoyo en los momentos de debilidad y dificultad.

A los profesores que me guiaron y brindaron su amistad durante estos años de estudio, haciéndome pensar de manera diferente, haciéndome entender que la experiencia sin el conocimiento, así como el conocimiento sin la experiencia no sirve de mucho.

A mi familia, quienes con su cariño y apoyo anímico han logrado inyectarme fortaleza durante estos años de tanto esfuerzo y estudio.

A mis entrañables compañeros de aula, quienes con su juventud y energía han sabido mantenerme animado en los momentos duros de esta etapa.

A la Universidad Tecnológica Indoamérica, por ser el centro de todo el conocimiento adquirido en este capítulo de mi vida.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
AUTORIZACIÓN PARA REPOSITORIO DIGITAL.....	ii
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	iii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	iv
APROBACIÓN TRIBUNAL	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
INDICE DE ANEXOS.....	xv
RESUMEN EJECUTIVO	xvi
ABSTRACT.....	xvii

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Introducción.....	1
Antecedentes.....	3
Justificación.....	3
Objetivo General	5
Objetivos Específicos.....	5

CAPITULO II

INGENIERÍA DEL PROYECTO

Diagnóstico de la situación actual.....	7
Área de estudio.....	10
Modelo operativo.	10
Desarrollo del modelo operativo	12
Metodología aplicada.....	12
Datos del equipamiento electromecánico existente.....	24

CAPITULO III

PROPUESTA Y RESULTADOS ESPERADOS

Desarrollo de la propuesta.....	34
Sensor de nivel.	35
Trasmisor.....	35
Medios de transmisión.....	36
1. Medios de transmisión guiados o alámbricos.....	36
2. Medios de transmisión no guiados o inalámbricos	39
Receptor.....	42
Cálculos de elementos de control.....	43
Cálculos para el Motor N° 1	43
Cálculos para el Motor N° 2	46
Cálculo de los contactores.....	49
Cálculo del banco de capacitores.	51
Cálculo del conductor común.....	55
Cálculo del sistema de protección contra descargas atmosféricas (Rayos).....	57
Densidad de impacto de rayo sobre el terreno.....	61
Frecuencia esperada de impactos directos de rayos sobre una estructura.	61
Frecuencia aceptable de rayos sobre una estructura.....	64

Cálculo del sistema de puesta a tierra.....	67
Selección del medio de transmisión.....	73
Sistema de control propuesto a implementar.....	75
Sensor de nivel.....	77
Selección del PLC adecuado.....	78
Diagramas eléctricos.....	80
Simbología diagramas de fuerza y control.....	81
Programación PLC.....	84
Resultados esperados.....	85
Cronograma de actividades.....	86
Análisis de costos.....	89
Análisis financiero.....	89
Cálculo del VAN.....	93
Cálculo del TIR.....	94
Cálculo del costo beneficio.....	95
Glosario de términos.....	97

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones.....	98
Recomendaciones.....	100
Bibliografía.....	101
ANEXOS.....	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Volúmenes e Índices ANC.....	2
Tabla 2. Horas investigadas por año	13
Tabla 3. Parámetros para el cálculo estadístico.....	13
Tabla 4. Niveles y Tiempos de estudio en TR Libertad Alto.....	15
Tabla 5. Caudal distribuido promedio mensual.	16
Tabla 6. Datos de funcionamiento inicial de la EB Libertad Baja.....	17
Tabla 7. Cuadro resumen volúmenes y porcentajes.....	19
Tabla 8. Consumo de energía eléctrica EB Libertad Baja	19
Tabla 9. Costo de Lucro Cesante EPMAPS.....	21
Tabla 10. Resumen valores perdidos por la EPMAPS.....	23
Tabla 11. Datos de placa motor y bomba N° 1	25
Tabla 12. Datos de placa motor y bomba N°2	28
Tabla 13. Principales características de la fibra óptica en las comunicaciones ...	38
Tabla 14. Equivalencias de contactores tamaño NEMA vs IEC.....	50
Tabla 15. Efectos causados por un rayo.....	60
Tabla 16. Determinación del coeficiente C_1	63
Tabla 17. Coeficientes de estructura C_2	64
Tabla 18. Contenido de la estructura C_3	65
Tabla 19. Ocupación de la estructura C_4	65
Tabla 20. Consecuencia sobre el entorno C_5	65
Tabla 21. Valores críticos de la Eficiencia.....	67
Tabla 22. Métodos según los niveles de protección contra rayos NPR.	67
Tabla 23. Criterios y alternativas seleccionadas para la matriz Pugh.....	74
Tabla 24. Resultado final de la matriz de Pugh	75
Tabla 25. Conexión sensor SENIX, TOUGHSONIC 14	78
Tabla 27. Simbología y especificaciones elementos.....	81
Tabla 27. Ahorro económico EPMAPS	85
Tabla 28. Inflación proyectada año 2019	91
Tabla 29. Índices financieros para el cálculo del VAN y TIR	92
Tabla 30. Flujo de Caja.	92
Tabla 31. Cálculo y Sumatoria de Períodos.	94

Tabla 32. Cálculo del TIR mediante Excel	95
Tabla 33. Resumen Índices Financieros.....	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Volumen producido y facturado VS IANC	2
Figura 2. Árbol de problemas	6
Figura 3. Porcentajes de Caudales en el TR Libertad Alto	8
Figura 4. Vista satelital de ubicación estación de bombeo y tanque de reserva	9
Figura 5. Perfil de elevación EB Libertad Baja - TR Libertad Alto	9
Figura 6. Diagrama de bloques de la Metodología aplicada	11
Figura 7. Nivel agua en TR Libertad Alto	15
Figura 8. Caudales Distribuidos en un mes.....	16
Figura 9. Caudal bombeado mensual (Julio)	17
Figura 10. Consumo de energía EB Libertad Baja	20
Figura 11. Breaker y fusibles principales sistema motor-bomba N° 1	26
Figura 12. Vista interior tablero de control sistema motor-bomba N° 1	26
Figura 13. Vista exterior tablero de control sistema motor-bomba N° 1	27
Figura 14. Diagrama arranque por autotransformador.....	27
Figura 15. Vista interior tablero de control sistema motor-bomba N° 2	29
Figura 16. Vista exterior tablero de control sistema motor-bomba N° 2.....	30
Figura 17. Diagrama de arranque estrella-triángulo	30
Figura 18. Conexión en estrella y triángulo desde su bornera de seis terminales	31
Figura 19. Registrador de nivel RADCOM LOLOG VISTA.....	32
Figura 20. Caudalímetro ultrasónico portátil SIEMENS SITRANS FUP 1010..	32
Figura 21. Diagrama simplificado de bloque.....	34
Figura 22. Cable UTP o par trenzado sin blindaje	36
Figura 23. Cable STP o par trenzado blindado	37
Figura 24. Cable coaxial, disposición de pantallas de aislamiento	37
Figura 25. Cable de fibra óptica.....	38
Figura 26. Diagrama de funcionamiento sistema de Radio Frecuencia.....	39
Figura 27. SISTEMA SCADA sistema Papallacta Integrado.....	40
Figura 28. Diagrama funcionamiento sistema con GSM.....	41
Figura 29. Funciones industriales de la comunicación vía GPRS	42
Figura 30. Diagrama de dispositivos GPRS	43

Figura 31. Contactor AC-3.....	49
Figura 32. Triángulo de potencias	52
Figura 33. Triángulo de potencias para los motores 1 y 2	53
Figura 34. Capacitores trifásicos para corrección del factor de potencia.	55
Figura 35. Mapa Isoceráunico del Ecuador	59
Figura 36. Superficie de captura para un edificio rectangular	62
Figura 37. Resistencia equivalente	72
Figura 38. Diferencias básicas entre el arranques.....	76
Figura 39. Diagrama de control en bloques	76
Figura 40. Sensor SENIX, modelo TOUGHSONIC 14.....	78
Figura 41. Funcionamiento propuesto del sistema de control para el Proceso	80
Figura 42. Programación PLC	84
Figura 43. Cronograma actividades página 1 de 2.....	87
Figura 44. Cronograma de actividades página 2 de 2.....	88
Figura 45. Inflación anual BCE.	91

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1.- Ficha técnica Flujómetro portátil ultrasónico

ANEXO 2.- Ficha técnica Flujómetro portátil ultrasónico

ANEXO 3.- Ficha técnica conductor THHN

ANEXO 4.- Ficha técnica sensor de nivel SENIX-ToughSonic 14.

ANEXO 5.- Diagrama de fuerza y de control

ANEXO 6.- Ficha técnica relé inteligente modular (PLC) marca SCHNEIDER,
modelo ZELIO LOGIC

ANEXO 7.- Costo de implementación del proyecto.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS DE LA
INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TEMA: DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA LA ESTACIÓN DE BOMBEO LIBERTAD BAJO LIBERTAD ALTO DE LA EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE QUITO

AUTOR: Juan Carlos Gancino Gancino

TUTOR: Msc. Liliana Topón

RESUMEN EJECUTIVO

La Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS), mediante el Departamento de Distribución posee 31 estaciones de bombeo, las cuales abastecen a las zonas geográficas más altas del Distrito. Dentro de estas 31 estaciones, actualmente existen 10 que se encuentran sin un sistema de control automático, lo cual provoca un gran desperdicio del agua tratada por desborde. Se sugiere la automatización del sistema Libertad Baja-Libertad Alto, mediante un diseño particular enfocado en las necesidades puntuales del sistema hidráulico. Del análisis realizado con los datos de caudal y nivel obtenidos durante 744 horas de estudio, se evidencia que el desborde mensual es de 24.053,76 m³/mes, siendo el 47,32% del volumen total bombeado el que se canaliza hacia el desborde, por otra parte, el 27,44% del tiempo bombeado es el que provoca el desborde; con estos datos y con el valor del lucro cesante se calculó el valor que la EPMAPS pierde de manera mensual en este sistema por concepto de pérdida de agua tratada, el cual asciende a \$17.002,64 USD más \$260,29 USD por concepto de energía eléctrica. Para el estudio propuesto se analizaron varias alternativas, siendo la mejor el medio de transmisión guiado mediante fibra óptica. En el tanque Libertad Alto se deberá instalar un sensor de nivel y en la estación de bombeo el tablero de control automático. También, de acuerdo a la norma UNE: 21186 se evidencia la necesidad apremiante de instalar sistemas de protección contra rayos, así como sistemas de puesta a tierra. El costo aproximado del proyecto asciende a \$52750 USD, pero el beneficio se encuentra asegurado, puesto que del análisis financiero realizado por las metodologías del VAN y TIR se determina que es recuperable en cuatro meses.

DESCRIPTORES: Libertad Baja, Control Automático, EPMAPS, Estación de bombeo.

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS DE LA
INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**THEME: DESIGN OF AN AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR
THE LIBERTAD BAJO PUMP STATION-LIBERTAD ALTO
OF THE EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE
AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE QUITO**

AUTHOR: Gancino Gancino Juan Carlos

TUTOR: Msc. Liliana Topón

ABSTRACT

The Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS), through the distribution department, has 31 pumping stations, which supply the highest geographical areas of the District of Quito. Within these 31 stations, there are currently 10 that are without an automatic control system, which causes a great waste of overflow-treated water. It is suggested the automation of the system freedom low-freedom high, through a particular design focused on the specific needs of the hydraulic system. Of the analysis carried out with the data of flow and level obtained during 744 hours of study, it is evident that the monthly overflow is of 24,053.76 m³/month, being 47.32% of the total volume pumped which is channeled towards the overflow, on the other hand, the 27.44% of the time Pumped is the one that causes the overflow, with this data and the value of the loss of profit was calculated the value that the EPMAPS loses monthly in this system by concept of lost profits the value that the EPMAPS loses on a monthly basis in this system is calculated for the loss of treated water, which amounts to \$17,002.64 USD plus \$260.29 USD for electric energy. For the study proposed, several alternatives were analyzed, being the best the means of transmission guided by fiber optic. A level sensor and the pump station must be installed on the high freedom tank by the automatic control panel. Also, according to “UNE: 21186” standard, It is evident the urgent need to install lightning protection systems as well as grounding systems. The approximate cost of the project amounts to \$52.763 USD, but the benefit is assured, since the financial analysis carried out by the methodologies of the “VAN” and “TIR” is determined to be recoverable in four months.

KEYWORDS: Libertad Baja, Automatic Control, EPMAPS, Pump Station.

CAPITULO I

Introducción.

A nivel mundial las Empresas prestadoras de servicios de agua potable tienen distintas formas de operar, ya que dependen de la cantidad de clientes a servir, de la disponibilidad del recurso natural, de la topografía del terreno, del nivel cultural y social de la población servida. La mayor o menor eficacia de estas empresas se ve reflejada en el Índice de Agua No Contabilizada (IANC), el cual es la diferencia entre el agua producida o suministrada y el agua facturada en un sistema de acueducto.

Los principales factores que intervienen en el porcentaje de Agua No Contabilizada son: fallas en las lecturas e imprecisión en los micromedidores de los usuarios finales (medidores de volumen domiciliarios), pérdidas por desbordes en tanques de distribución, fugas en la red de distribución, consumos fraudulentos (conexiones ilegales).

“Cada año, más de 32 mil millones de metros cúbicos (m³) de agua tratada, el equivalente aproximado a 13 millones de piscinas olímpicas, se pierden por fugas, desbordes, etc. en los sistemas urbanos de abastecimiento antes de llegar al consumidor, mientras que 16 mil millones de m³ son consumidos sin ningún pago de por medio” (BANCO MUNDIAL, 2016). “En América Latina, un 45% del agua se pierde antes de llegar al cliente. Esta pérdida, que no se le puede facturar a nadie, no sólo complica el reto de aumentar el acceso a agua potable, sino que también representa un gran despilfarro de energía” (Obras Sanitarias del Estado / Uruguay, 2017)

A nivel nacional, el dato final general del Índice de Agua No Contabilizada es “el promedio de los resultados de los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADS) evaluados en el control, una vez excluidos aquellos registros que contienen inconsistencias en la información presentada. En el análisis para los 31 GADS controlados, se observa que existe una pérdida de 43% de volumen procesado que no se factura, así de cada 10 litros procesados se deja de facturar al menos 4,3 litros”.(ARCA, 2015)

En la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS), el “Índice de Agua no Contabilizada (IANC) en el área urbana es de 22% y en las Parroquias rurales es del 39%, siendo el total en el Distrito Metropolitano de Quito del 28%”. (EPMAPS, 2016).

En la **Tabla 1** se presenta un cuadro resumen de los datos de volúmenes tratados, volúmenes facturados e IANC por regiones detalladas, de la misma manera, en la **Figura 1**, se presenta los porcentajes de estos índices, así como los volúmenes respectivos.

Tabla 1. Volúmenes e Índices ANC

<i>REGIÓN</i>	<i>VOLUMEN PRODUCIDO (m³/s)</i>	<i>VOLUMEN FACTURADO (m³/s)</i>	<i>IANC</i>
QUITO	7,3	5,256	28%
ECUADOR	47,9	27,303	43%
AMERICA LATINA	9195,84	5057,712	45%

Fuente: BANCO MUNDIAL (2015), ARCA (2016), EPMAPS (2016)

Elaborado por: Juan Carlos Gancino

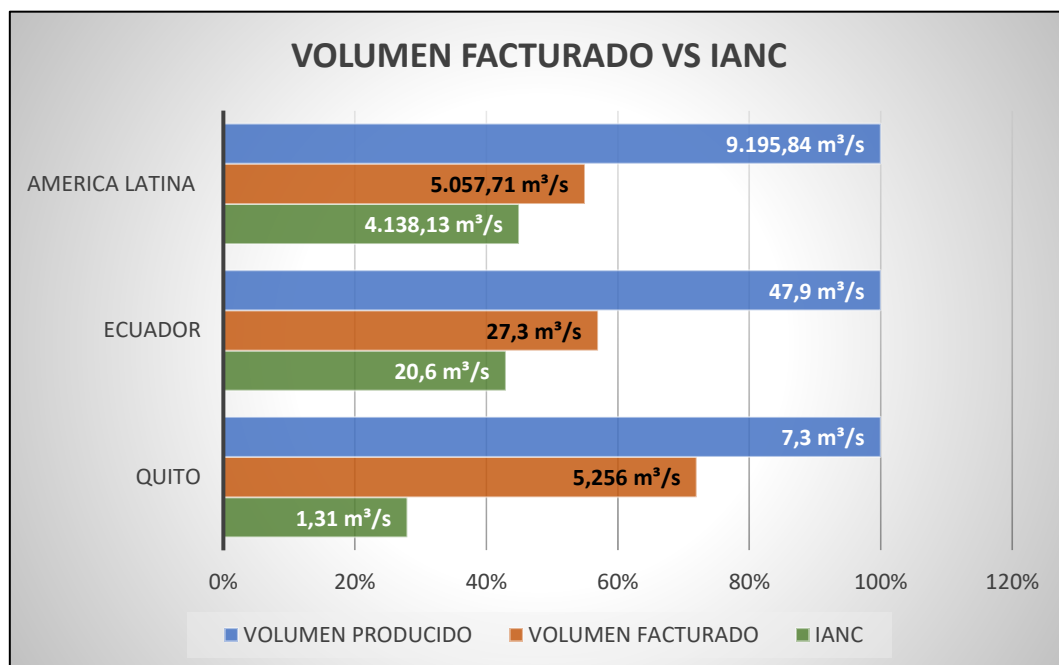


Figura 1. Volumen producido y facturado VS IANC

Fuente: BANCO MUNDIAL (2015), ARCA (2016), EPMAPS (2016)

Elaborado por: Juan Carlos Gancino

Antecedentes.

Actualmente la EPMAPS posee 31 estaciones de bombeo, de las cuales 10 no poseen un sistema de control automatizado.

La Estación de bombeo (EB) LIBERTAD BAJA, se abastece desde la Planta de Tratamiento de El Placer, inaugurada en el año de 1957.

No existe un registro exacto de la fecha en la cual entró en funcionamiento el sistema La Libertad, con la EB Libertad Baja y el tanque de reserva (TR) Libertad alto.

Cabe anotar que la EB Libertad baja no ha sido optimizada de acuerdo a los avances tecnológicos, simplemente se instaló un medidor de caudal electromagnético en el año 2000.

Existe un desborde del recurso agua tratada en este sistema, por lo que es necesario realizar un estudio a fin de determinar el volumen de pérdida, así como el gasto de energía al estar la estación de bombeo más tiempo del necesario encendida.

Justificación.

El Distrito Metropolitano de Quito cuenta con una zona geográfica habitada muy diversa, la cual va desde los 1800 m.s.n.m. hasta los 3100 m.s.n.m.

La EPMAPS, actualmente provee de agua tratada al 98,61% de la población del Distrito Metropolitano, sin embargo, al contar con zonas habitadas con cotas superiores a las cotas de las plantas de tratamiento de agua potable, es necesario contar con estaciones de bombeo o sistemas hidroneumáticos, los cuales eleven la presión de abastecimiento, para, de esta manera garantizar un eficiente servicio a la comunidad.

En la parroquia La Libertad, en el centro de Quito, se encuentra el TR LIBERTAD ALTO, con una cota de 2992 m.s.n.m. es alimentado por la EB LIBERTAD BAJO, mediante dos bombas instaladas en paralelo.

El caudal promedio medido durante el mismo periodo de 31 días en los años 2009, 2010, 2011 y 2012, correspondiente a la EB Libertad Baja, salida bombeo es de 19,61 l/s y el correspondiente al TR Libertad Alto, salida distribución es de 10,33 l/s. El promedio del volumen de agua tratada perdida por desborde, proyectada anualmente es de 288.588,68 m³/año.

Se propone diseñar un sistema de control automático tal, que la variación del nivel de agua en el tanque Libertad Alto no provoque diferencias de presión en el abastecimiento en la red de distribución, garantizando una excelente continuidad del servicio, eliminando la pérdida del agua potable por desborde. Así mismo se optimizará el tiempo de bombeo, generando un menor gasto de energía eléctrica, y ahorrando a la EPMAPS el pago por este servicio, con la consecuente prolongación de la vida útil del sistema de bombeo.

El diseño de este proyecto es factible, por cuanto la formación adquirida en aulas en temas como Automatismo Industrial, Control Industrial, Instalaciones Industriales, Dibujo, Programación de Operaciones, Gestión de Proyectos, Gerencia de Operaciones, permite llevar a buen término este proyecto.

Adicionalmente se cuenta con la aprobación de la Gerencia de Operaciones y de la Subgerencia de Agua Potable de la EPMAPS.

Objetivo General

Diseñar un sistema de control automático para la estación de bombeo Libertad Bajo-Libertad Alto de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito.

Objetivos Específicos.

- Establecer el estudio del funcionamiento actual del sistema de bombeo, mediante datos históricos y mediciones con equipos de medición de nivel y caudal.
- Analizar los diferentes métodos de control de nivel, a fin de seleccionar el más adecuado, tanto económicamente como técnicamente a los intereses de la EPMAPS.
- Seleccionar un sistema de control automático adecuado, para evitar las pérdidas de agua potable y energía eléctrica.
- Determinar el análisis costo-beneficio, el cual demuestre la factibilidad para la implementación del sistema diseñado.

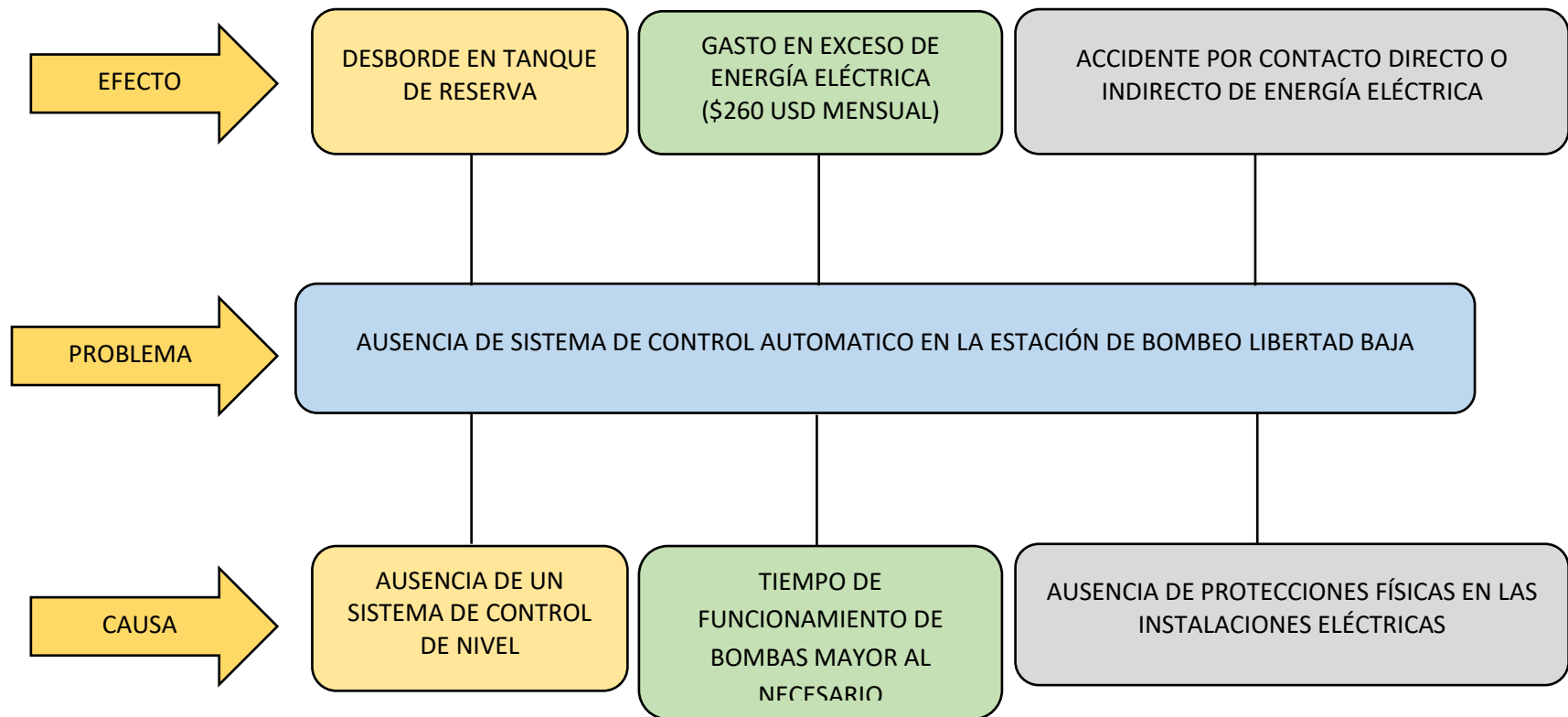


Figura 2. Árbol de problemas
 Fuente: Propia
 Elaborado por: Juan Carlos Gancino

CAPITULO II.

INGENIERÍA DEL PROYECTO.

Diagnóstico de la situación actual.

La relación entre el caudal impulsado y el caudal distribuido se asume como caudal de desborde. El caudal de desborde se ocasiona por permanecer encendidas las bombas más tiempo del necesario, sobrepasando el nivel máximo de reserva del tanque de reserva y gastando recursos tan importantes como lo son el agua potable con todo su costo de conducción y producción, la energía eléctrica, la vida útil de las bombas.

El tanque Libertad Alto, abastece por gravedad a una zona geográfica urbana, la cual posee 661 conexiones de agua potable domiciliarias, cubre un área aproximada de 265.571 m², con un caudal promedio medido distribuido del TR Libertad Alto de 10,33 l/s; y un caudal bombeado el caudal promedio de bombeo de la EB Libertad Bajo es de 19,61 l/s.

Cabe anotar que los datos corresponden al mes de julio de los años 2009, 2010, 2011 y 2012 y han sido tomados de la base de datos integrada al software RADCOM VIEW, archivados en la Unidad de Pérdidas Físicas, del Departamento de Distribución. El promedio del volumen de agua tratada perdida por desborde, proyectada anualmente es de 288.588,68 m³/año, de acuerdo a **Figura 3**. Estos datos son explicados al detalle en la sección “Desarrollo del Modelo Operativo”, en este mismo capítulo.

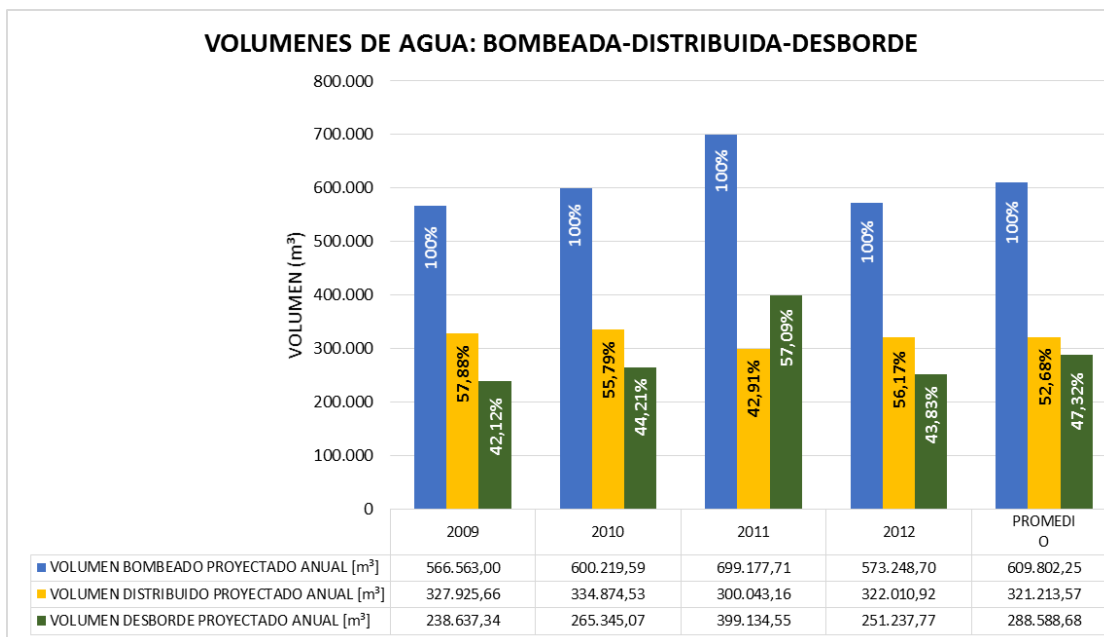


Figura 3. Porcentajes de Caudales en el TR Libertad Alto

Fuente: ARCHIVOS EPMAPS

Elaborado por: Juan Carlos Gancino

El sistema de arranque de las dos bombas instaladas en la Estación de bombeo Libertad Bajo es por autotransformador y sistema estrella delta, respectivamente, mediante selectores, estos son métodos de arranque aceptados para motores de baja potencia, ocasionando perturbaciones en la red de energía eléctrica, así como la disminución en la vida útil del equipamiento electromecánico.

Cabe anotar que uno de los puntos más importantes al optimizar una estación de bombeo es la comunicación electrónica entre el tanque de reserva y la estación de bombeo, cuya distancia por carretera es de 850 metros aproximadamente y distancia en línea recta es de 200 metros aproximadamente; además, tal como lo muestra la **figura 4**, el perfil de elevación va desde los 2932 msnm, hasta los 2992 msnm, teniendo un desnivel total de 60 m. entre la EB Libertad Baja y el TR Libertad Alto demostrado en la **figura 5**.

La EB Libertad bajo se encuentra ubicada en las calles Libertad y Las Canteras, mientras que el TR Libertad Alto se ubica en las calles Libertad y Escalinata.



Figura 4. Vista satelital de ubicación estación de bombeo y tanque de reserva
 Fuente: Google Earth, (2018)
 Elaborado por: Juan Carlos Gancino

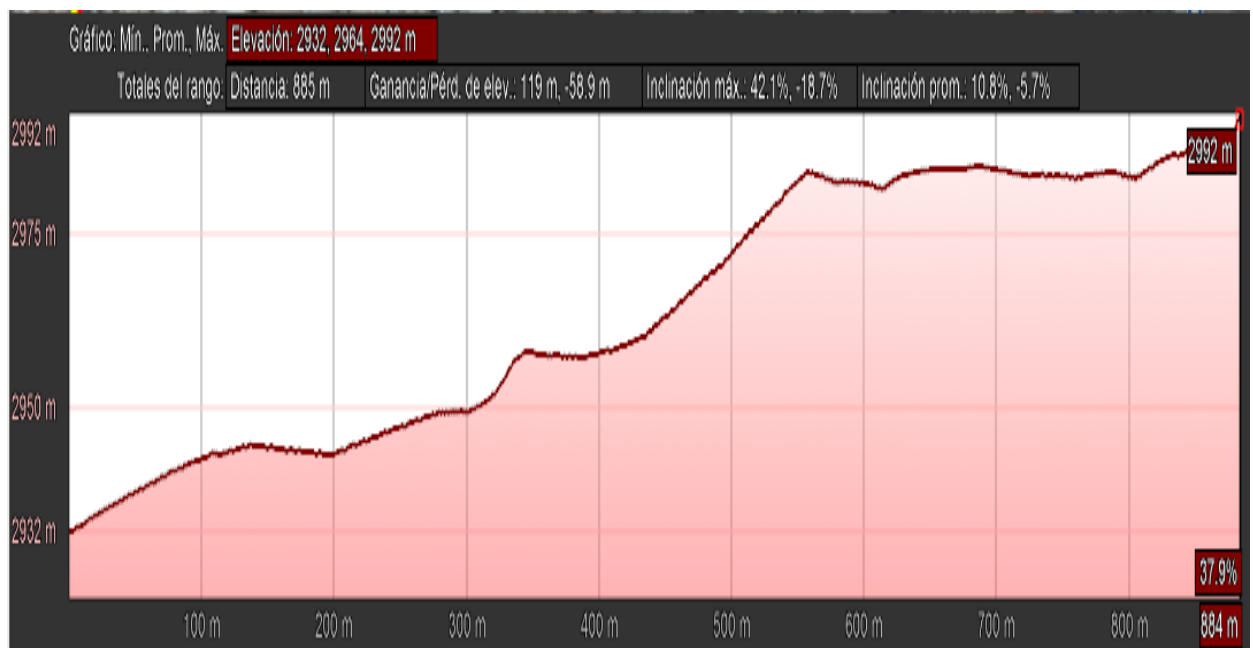


Figura 5. Perfil de elevación EB Libertad Baja - TR Libertad Alto
 Fuente: Google Earth, (2018)
 Elaborado por: Juan Carlos Gancino

Área de estudio.

Dominio: Tecnología y sociedad

Línea de investigación: Empresarial y productiva

Campo: Ingeniería Industrial

Área: Diseño, realización y caracterización de sistemas inteligentes, automáticos, semiautomáticos o manuales

Aspecto: Nuevos métodos de actuación y medición: Física de actuadores y sensores, materiales activos, adquisición y tratamiento de señales.

Delimitación Espacial: Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS), zona hidráulica de abastecimiento tanque Libertad Alto, ubicada en la Parroquia La Libertad, del Distrito Metropolitano de Quito.

Delimitación Temporal: noviembre 2018 - marzo 2019

Modelo operativo.

La metodología de investigación que se utilizará es del tipo aplicada, con la modalidad de investigación de campo, pues es necesario analizar la problemática, valiéndose de datos extraídos desde los registros históricos de la EPMAPS, de los equipos de medición de nivel y caudal, y de bibliografía existente, de acuerdo a **Figura 6.**

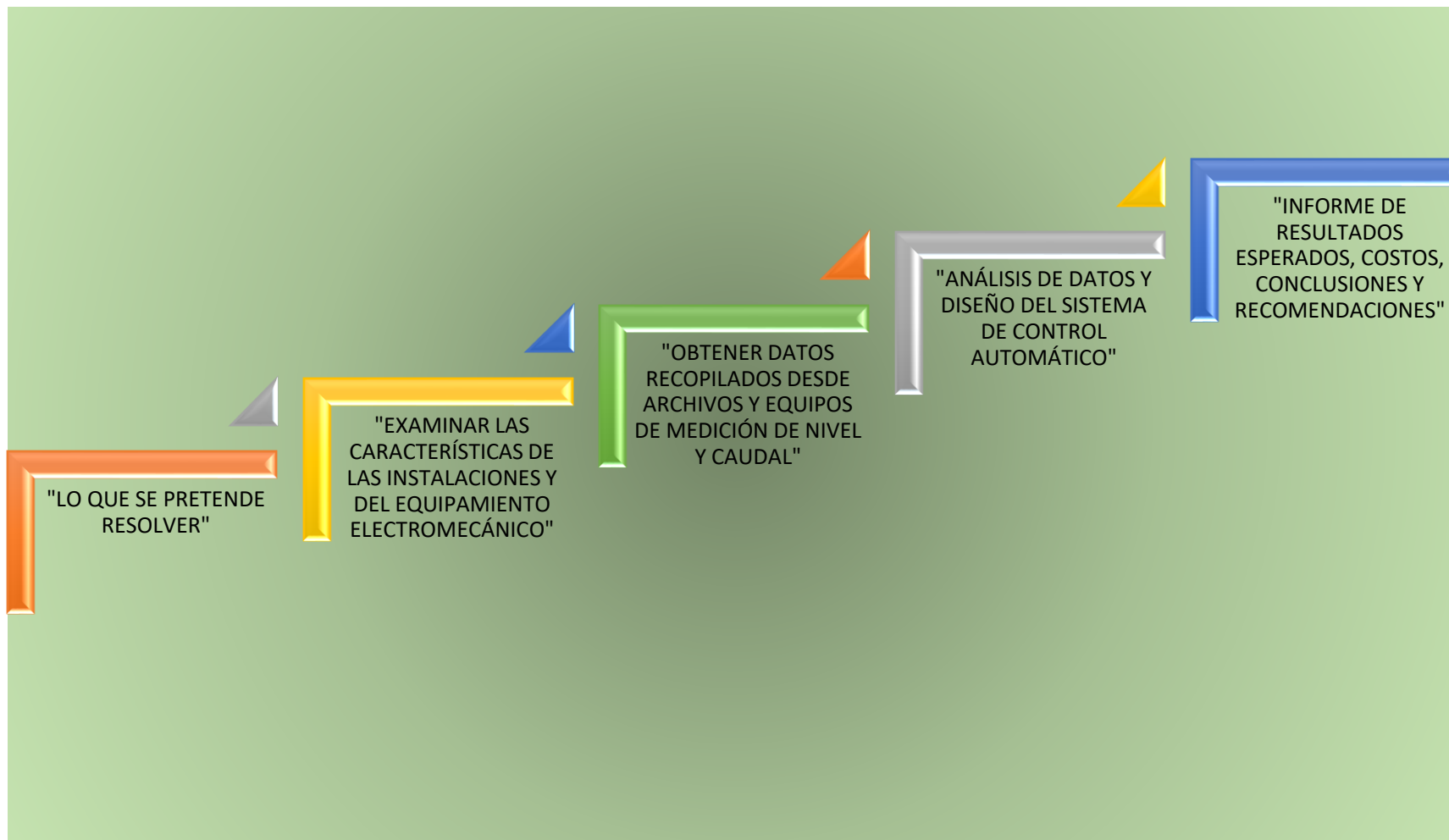


Figura 6. Diagrama de bloques de la Metodología aplicada.

Fuente: Propia.

Elaborado por: Juan Carlos Gancino

Desarrollo del modelo operativo

Metodología aplicada.

Esta investigación se enmarca dentro de la característica de Metodología Aplicada, ya que por definición: “La investigación aplicada, por su parte, tiene como objetivo resolver un determinado problema o planteamiento específico.” (Hernández S., 2010).

Tiene, además la modalidad de investigación de campo, al recolectarse información en las instalaciones de la EPMAPS, así como en la EB Libertad Baja y TR Libertad Alto.

De la misma manera, también posee la modalidad de investigación bibliográfica, ya que el fundamento teórico se sustenta en consultas a archivos digitales, archivos físicos, fuentes bibliográficas, revistas tecnológicas, catálogos de equipos técnicos.

El TR Libertad Alto se alimenta hidráulicamente desde la EB Libertad Bajo. En el TR Libertad Alto no existe un control de nivel automático, por lo que de manera constante hay una pérdida del recurso hídrico por desborde. Esta es la razón por la cual se ve la necesidad de realizar un estudio a fin de controlar el nivel de este tanque de una manera automática y eliminar completamente el desborde del tanque, puesto que además de desperdiciar el recurso agua, la EPMAPS gasta ingentes recursos en químicos para el tratamiento y potabilización del agua potable, así como el gasto de energía eléctrica y la disminución del tiempo de vida útil de las bombas por exceso de tiempo de bombeo.

Cabe anotar que para realizar la evaluación inicial se cuenta con registros históricos del mes de julio de los años 2009, 2010, 2011, 2012, por ser el único mes con registros en común de todos los años estudiados.

El cálculo del tamaño de muestra se realiza mediante el “muestreo aleatorio simple” de acuerdo a la **tabla 2**.

Tabla 2. Horas investigadas por año

AÑO	HORAS ESTUDIADAS	HORAS TOTALES POR AÑO
2009	744	8760
2010	744	8760
2011	744	8760
2012	744	8784
TOTAL	2976	35064

Elaborado por: Juan Carlos Gancino
Fuente: Propia

Además, se tiene los parámetros para el cálculo del tamaño de muestra detallados en la **tabla 3**.

Tabla 3. Parámetros para el cálculo estadístico

PARÁMETRO	VALOR
N	35064 horas
Z	95% factor de confianza ($Z_{\alpha} = 1,96$)
p	0.5 (Probabilidad de que ocurra el evento)
q	0,5 (Probabilidad de que no ocurra el evento)
e	2% (0.02)

Elaborado por: Juan Carlos Gancino
Fuente: Propia

Por tratarse de una población de horas finitas, es decir los cuatro años de referencia, y de acuerdo a (Barry Render, 2009), para el estudio, se tiene:

$$n = \frac{N * p * q * Z_{\alpha}^2}{e^2 * (N - 1) + p * q * Z_{\alpha}^2} \quad (1)$$

Donde:

n: Tamaño de muestra buscado

Z: Parámetro estadístico (normalmente 1.96 por el nivel de confianza de 95%)

e: Error de estimación máximo aceptado (2% = 0,02)

p: Probabilidad de que ocurra el evento (50% = 0.5)

q: Probabilidad de que no ocurra el evento (1-p)

$$n = \frac{35.064 * 0,5 * 0,5 * (1,96)^2}{0.02^2 * (35.064 - 1) + (0,5 * 0,5 * 1,96^2)}$$

$$n = \frac{33.675,47}{14,9856} = 2.247,19 \text{ horas}$$

El valor de 2.247,19 es el número de horas mínimas para garantizar que la muestra de 35.064 horas, equivalentes a cuatro años de estudio tenga éxito.

El número de horas estudiadas en los cuatro años es de 2.976, siendo este valor mayor que 2.247,19, de modo que se garantiza que la muestra es aceptable para esta investigación.

A continuación, se presentan los datos obtenidos en el estudio:

a) Niveles de TR Libertad Alto, **Figura 7.**

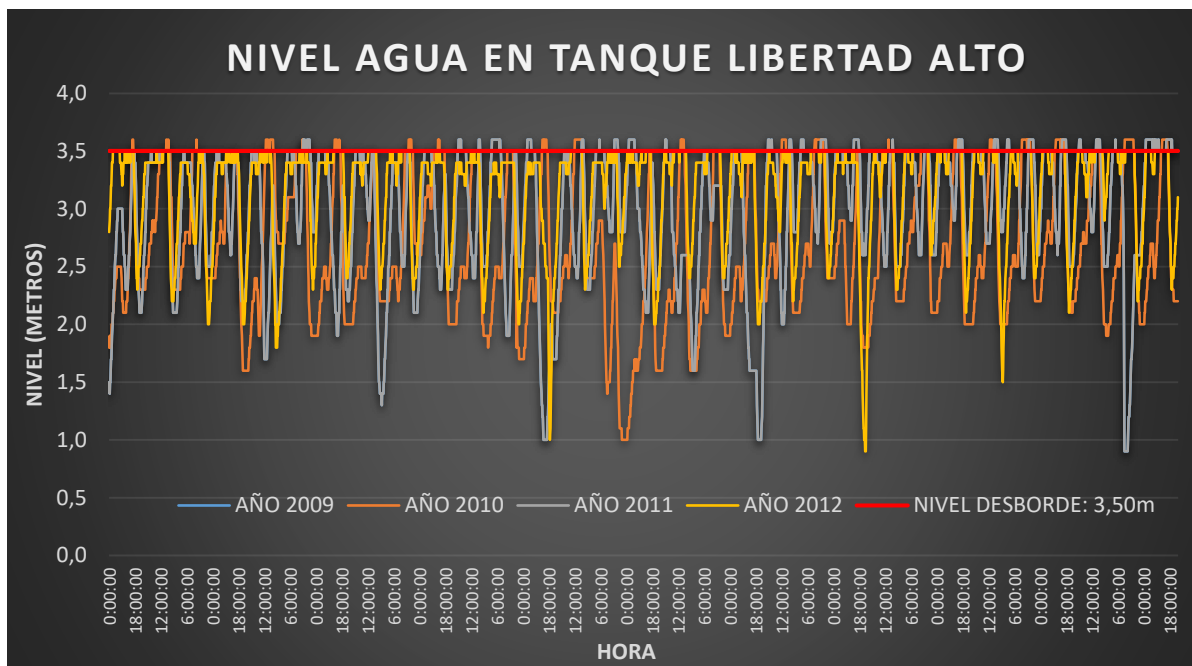


Figura 7. Nivel agua en TR Libertad Alto

Fuente: Datos recolectados del Departamento de Distribución.

Elaborado por: Juan Carlos Gancino

En la **Tabla 4**, se presenta los niveles máximos y mínimos de columna de agua en el tanque, los tiempos de desborde mensual, porcentaje de tiempo de desborde con relación al tiempo de estudio.

Tabla 4. Niveles y Tiempos de estudio en TR Libertad Alto

AÑO	2009	2010	2011	2012	TOTAL
NIVEL MÁXIMO (m)	3,6	3,6	3,6	3,5	
NIVEL MÍNIMO (m)	0,9	1,0	0,9	0,9	
VARIACIÓN NIVEL (m)	2,7	2,6	2,7	2,6	
TIEMPO ESTUDIO (h)	744	744	744	744	2976
TIEMPO DESBORDE (h)	218,25	162,75	218,25	217,25	816,5
% TIEMPO DESBORDE	29,33	21,88	29,33	29,20	27,44

Fuente: Datos extraídos software RADCOM VIEW de la Unidad de Pérdidas Físicas

Elaborado por: Juan Carlos Gancino

b) Estudio de caudal Distribuido del TR Libertad, **Figura 8.**

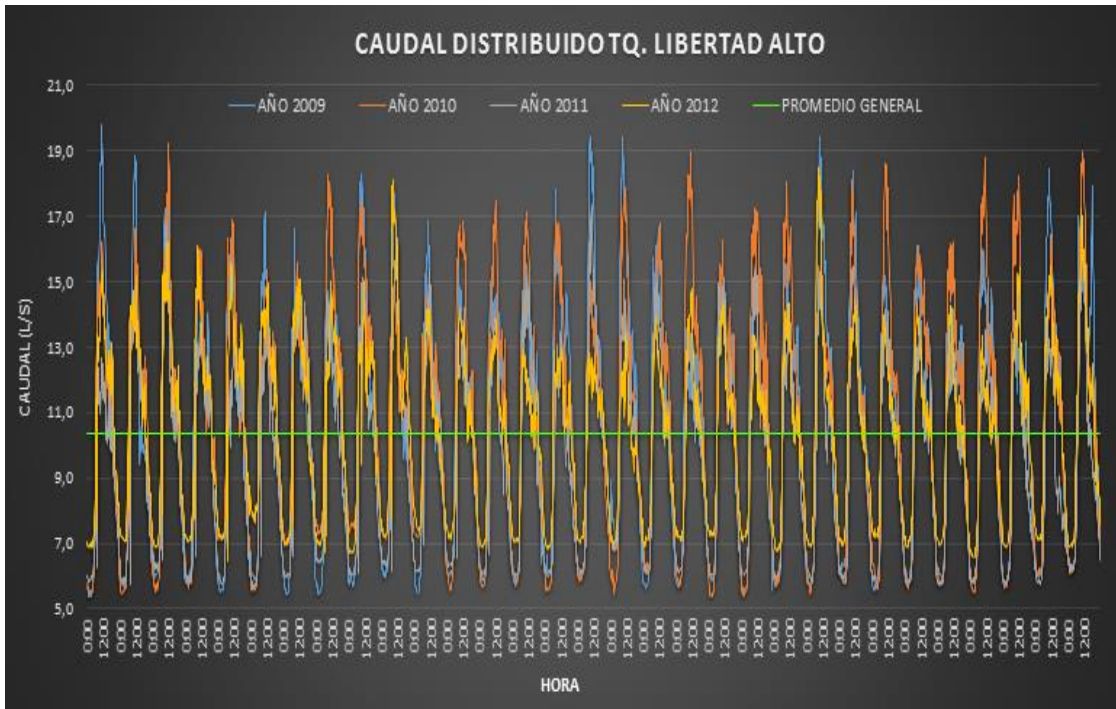


Figura 8. Caudales Distribuidos en un mes
Fuente: Datos extraídos software RADCOM VIEW de la Unidad de Pérdidas Físicas.
Elaborado por: Juan Carlos Gancino

En la **Tabla 5**, se presenta los caudales promedios y el caudal promedio general.

Tabla 5. Caudal distribuido promedio mensual.

AÑO	2009	2010	2011	2012	PROMEDIO GENERAL (l/s)
Q PROMEDIO (l/s)	10,54	10,77	9,65	10,35	10,33
DÍAS ESTUDIO	31	31	31	31	

Fuente: Datos extraídos software RADCOM VIEW de la Unidad de Pérdidas Físicas
Elaborado por: Juan Carlos Gancino

c) Caudal de bombeo EB Libertad Baja, **Figura 9.**

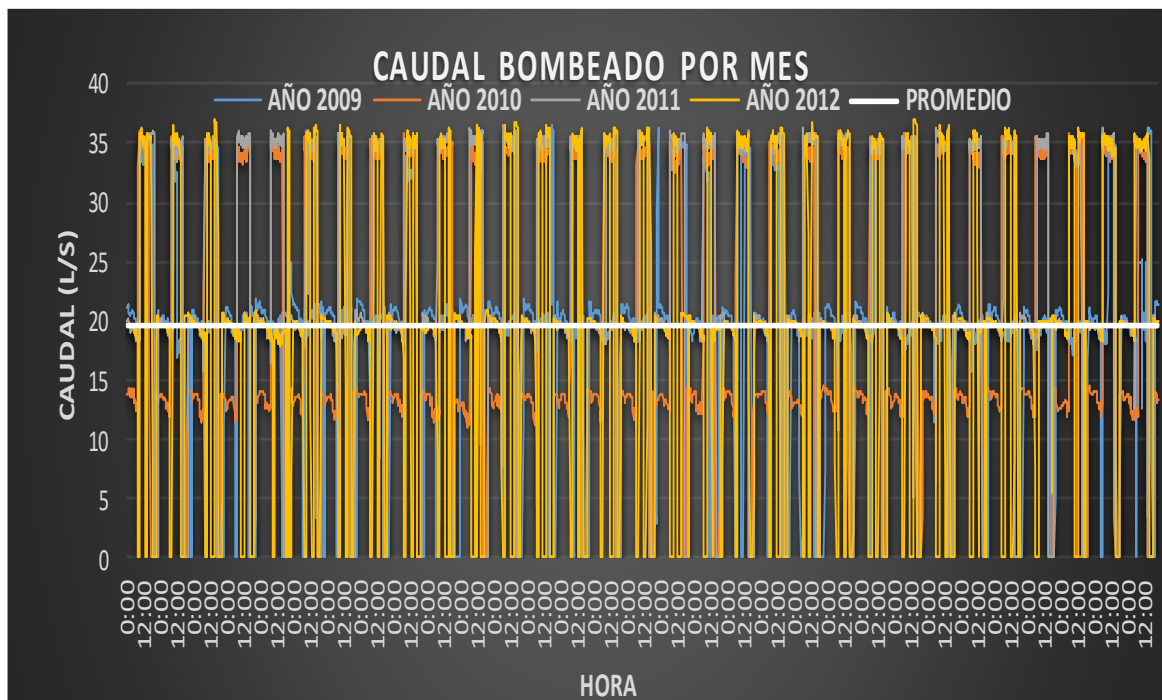


Figura 9. Caudal bombeado mensual (Julio)

Fuente: Datos extraídos software RADCOM VIEW de la Unidad de Pérdidas Físicas.

Elaborado por: Juan Carlos Gancino

En la **Tabla 6**, se dispone de los caudales y tiempos promedios anuales y promedio general total.

Tabla 6. Datos de funcionamiento inicial de la EB Libertad Baja

AÑO	2009	2010	2011	2012	PROMEDIO GENERAL (l/s)	TOTAL
Q PROMEDIO MENSUAL BOMBEADO(l/s)	18,22	19,30	22,48	18,43	19,61	
HORAS ESTUDIO (h) [31 días]	744,00	744,00	744,00	744,00		2976,00
HORAS BOMBEO (h)	631,50	654,50	646,50	576,50		2509,00
% TIEMPO BOMBEO	84,88	87,97	86,90	77,49		84,31

Fuente: Datos extraídos software RADCOM VIEW de la Unidad de Pérdidas Físicas

Elaborado por: Juan Carlos Gancino

Mediante el Caudal Medio diario bombeado y el Caudal Medio diario distribuido se tiene los Volúmenes mensuales de agua potable bombeada, distribuida y de

desborde, según (LAROZE LUCIANO, GONZALO FUSTER, & PORRAS NICOLÁS, 2013), es necesario utilizar las fórmulas (2) y (3) de transformación de unidades.

$$V_{\text{Bomb/m}} = Q_{\text{Bomb}} \left[\frac{\text{l}}{\text{s}} \right] * 3600 \left[\frac{\text{s}}{\text{h}} \right] * 24 \left[\frac{\text{h}}{\text{día}} \right] * 30 \left[\frac{\text{día}}{\text{mes}} \right] * \frac{1}{1000} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{l}} \right] \quad (2)$$

Donde: $V_{\text{Bomb/m}}$ = Volumen bombeado mensual

$$Q_{\text{Bomb}} = \text{Caudal medio diario bombeado} = 19,61 \left[\frac{\text{l}}{\text{s}} \right]$$

$$V_{\text{Bomb/m}} = 19,61 * 3600 * 24 * 30 * \frac{1}{1000} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{mes}} \right] = \mathbf{50.829,12} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{mes}} \right]$$

$$V_{\text{Dist/m}} = Q_{\text{Dist}} \left[\frac{\text{l}}{\text{s}} \right] * 3600 \left[\frac{\text{s}}{\text{h}} \right] * 24 \left[\frac{\text{h}}{\text{día}} \right] * 30 \left[\frac{\text{día}}{\text{mes}} \right] * \frac{1}{1000} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{l}} \right] \quad (3)$$

Donde: $V_{\text{Dist/m}}$ = Volumen distribuido mensual

$$Q_{\text{Dist}} = \text{Caudal medio diario distribuido} = 10,33 \left[\frac{\text{l}}{\text{s}} \right]$$

$$V_{\text{Dist/m}} = 10,33 * 3600 * 24 * 30 * \frac{1}{1000} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{mes}} \right] = \mathbf{26.775,36} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{mes}} \right]$$

$$V_{\text{Desb/m}} = V_{\text{Bomb/m}} - V_{\text{Dist/m}} \quad (4)$$

Donde: $V_{\text{Desb/m}}$ = Volumen desborde o pérdida mensual

$$V_{\text{Desb/m}} = \mathbf{50.829,12} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{mes}} \right] - \mathbf{26.775,36} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{mes}} \right]$$

$$V_{\text{Desb/m}} = \mathbf{24.053,76} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{mes}} \right]$$

El porcentaje del volumen de desborde con respecto al volumen bombeado se presenta en la **tabla 7**.

Tabla 7. Cuadro resumen volúmenes y porcentajes

AÑO	2009	2010	2011	2012	PROMEDIO
VOLUMEN BOMBEADO PROYECTADO ANUAL [m³]	566.563,00	600.219,59	699.177,71	573.248,70	609.802,25
VOLUMEN DISTRIBUIDO PROYECTADO ANUAL [m³]	327.925,66	334.874,53	300.043,16	322.010,92	321.213,57
VOLUMEN DESBORDE PROYECTADO ANUAL [m³]	238.637,34	265.345,07	399.134,55	251.237,77	288.588,68
PORCENTAJE DESBORDE CON RESPECTO AL VOLUMEN BOMBEADO	42,12%	44,21%	57,09%	43,83%	47,32%
PORCENTAJE DESBORDE CON RESPECTO AL VOLUMEN DISTRIBUIDO	72,77%	79,24%	133,03%	78,02%	90,76%

Fuente: Datos extraídos software RADCOM VIEW de la Unidad de Pérdidas Físicas

Elaborado por: Juan Carlos Gancino

En la **tabla 8** se presenta el consumo de energía anual, con promedios mensuales de la EB Libertad Bajo, correspondientes a los años 2006, 2007, 2008, 2009 y 2010 desde enero a diciembre y en el año 2018 desde enero a agosto, de acuerdo a información extraída de la Subgerencia de Hidroelectricidad. Estos datos se encuentran representados gráficamente en la **figura 10**.

Tabla 8. Consumo de energía eléctrica EB Libertad Baja

	AÑO					
	2006	2007	2008	2009	2010	2018
PROMEDIO MENSUAL [Kwh/mes]	12394,50	13548,50	15341,33	12092,75	12983,75	13212,18

Fuente: Datos extraídos de Subgerencia de Hidroelectricidad.

Elaborado por: Juan Carlos Gancino

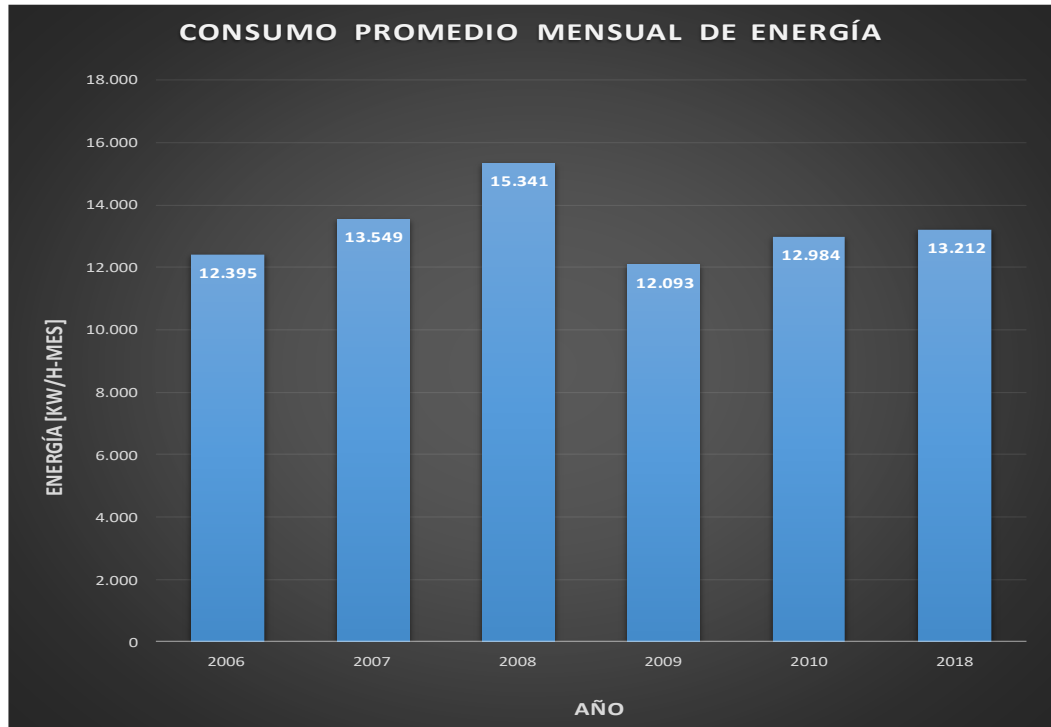


Figura 10. Consumo de energía EB Libertad Baja
Fuente: Datos extraídos de Subgerencia de Hidroelectricidad
Elaborado por: Juan Carlos Gancino

De acuerdo a esta información, los promedios mensuales de consumos de energía eléctrica correspondientes a los años 2006, 2007, 2008, 2009, 2010 y 2018 son semejantes, a excepción del año 2008, que por alguna razón que no se encuentra registrada en bitácoras, el promedio es superior.

Con respecto a los porcentajes de tiempos bombeados, con relación al tiempo de desborde, es del 27,44% (dato de **tabla 4**) y con relación al tiempo de estudio es del 84,31% (dato de **tabla 6**).

El costo promedio mensual que cancela actualmente la EPMAPS por consumo de energía eléctrica, dentro del ciclo de tiempo estudiado, es decir entre los años 2006 a 2010 en la EB Libertad Baja es de \$ 948,56 USD.

Al realizar el control automático de la EB Libertad Baja, se eliminará el desperdicio de agua tratada por desbordes y el tiempo de bombeo en exceso, por lo que el costo promedio mensual que cancelará la EPMAPS por consumo de energía eléctrica será una operación aritmética, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Vm_{op} = \text{Costo promedio}_m[\$USD] * (100\% - \%Tdesb) \quad (5)$$

Donde: Vm_{op} = Nuevo valor que cancelará mensualmente la EPMAPS por concepto de consumo de energía eléctrica en la EB Libertad Baja. [USD], luego de la automatización.

$$\% Tdesb = \text{Porcentaje de tiempo de desborde} = 27,44\%$$

$$Vm_{op} = 948,56[\$USD] * (100\% - 27,44\%)$$

$$Vmensual_{optimizado} = 688,27[\$USD]$$

El ahorro mensual por consumo de energía eléctrica será de:

$$(948,56 - 688,27) [\$USD] = 260,29 [\$USD]$$

Se presenta en la **tabla 9**, el costo del Lucro Cesante por metro cúbico de la EPMAPS más el costo por tasa de alcantarillado. Estos valores son los que deja de percibir la EPMAPS al no servir el volumen de agua tratada de desborde a otros sectores del Distrito Metropolitano de Quito.

Tabla 9. Costo de Lucro Cesante EPMAPS

SECTOR	LUCRO CESANTE [USD] POR m ³ AGUA POTABLE	TASA POR SERVICIO DE ALCANTARILLADO
RESIDENCIAL	0,51	38,60%
COMERCIAL	0,72	38,60%
INDUSTRIAL	0,72	38,60%

Fuente: Datos extraídos de Departamento de Gestión Financiera
Realizado por: Juan Carlos Gancino

Con estos valores se calcula el costo que deja de percibir la EPMAPS por no entregar el volumen de agua desbordado a los usuarios se da de acuerdo a la siguiente operación aritmética:

$$C_{ap+alc} = (C_{LC} \left[\frac{\$USD}{m^3} \right] * V_{Desb} \left[\frac{m^3}{mes} \right]) + (0,386(C_{LC} \left[\frac{\$USD}{m^3} \right] * V_{Desb} \left[\frac{m^3}{mes} \right])) \quad (7)$$

Donde:

C_{ap+alc} = Costo no percibido por la EPMAPS al dejar de abastecer de agua potable debido al desborde.

C_{LC} = Costo de $1m^3$ de agua potable debido al Lucro Cesante

$$C_{ap+alc} = ((0,51 * 24.053,76) + (0,386)(0,51 * 24.053,76)) \left[\frac{\$USD}{mes} \right]$$

$$C_{ap+alc} = \mathbf{17.002,64} \left[\frac{\$USD}{mes} \right]$$

El recurso económico que actualmente está perdiendo la EPMAPS, por concepto de desborde de agua tratada y exceso de consumo de energía eléctrica por tiempo de encendido de bombas se presenta en la ecuación (8), la cual es una suma aritmética.

$$Ahorro total mensual = C_{ap+alc} + 260,29 \text{ [\$ USD]} \quad (8)$$

$$Ahorro total mensual = (17.002,64 + 260,29) \left[\frac{\$ USD}{mes} \right]$$

$$Ahorro total mensual = \mathbf{17.262,93} \left[\frac{\$ USD}{mes} \right]$$

Este es el valor que la EPMAPS deja de percibir mensualmente por concepto de lucro cesante y por consumo excesivo de energía eléctrica, debido al desborde del agua tratada en el TR Libertad Alto.

En la **tabla 10** se resume los costos perdidos por la EPMAPS.

Tabla 10. Resumen valores perdidos por la EPMAPS.

DETALLE	VALOR (\$ USD)
RUBRO PERDIDO POR NO ENTREGAR AGUA A CLIENTES	17.002,64
RUBRO PERDIDO POR ENERGÍA ELÉCTRICA AL MANTENER ENCENDIDAS LAS BOMBAS MÁS TIEMPO DEL NECESARIO	260,29
TOTAL	17.262,93

Fuente: Datos extraídos de Departamento de Distribución

Realizado por: Juan Carlos Gancino

Pero el costo perdido no es solamente económico, también existe un costo social, el cual se define de acuerdo al siguiente párrafo: “Con más 2’644.145 habitantes, Quito se ha convertido en una de las ciudades que más agua consume en el país. Esto, debido al mal uso del líquido vital. El quiteño promedio gasta diariamente alrededor de 200 litros de agua. Esta cifra es estacional, pues en la época seca el consumo asciende aproximadamente a 220 litros de agua por persona.

Esta variación de alrededor de 20 litros se debe a que en los meses secos las personas consumen una mayor cantidad del líquido vital; no solo para cubrir sus necesidades, sino también para regar plantas, lavar el carro, asentar el polvo, entre otras funciones, esta cifra posiciona a la ciudad como uno de los centros urbanos que más agua consume, no solo en el país sino también en la región.

En ciudades de altura como Bogotá o La Paz el consumo diario de agua es de alrededor de 150 litros por persona. En Quito se consume un 46% más. Esta cantidad, además, sobrepasa los 100 litros de agua que la Organización Mundial de la Salud (OMS) estipula como básicos para satisfacer las necesidades de consumo e higiene diarios”(Diario La Hora, 2018).

En tal virtud, y con el mejor de los escenarios, es decir el dato de 200 l/día, se determina de acuerdo a la ecuación (9) la cantidad de personas que no pueden disponer del líquido vital en la ciudad de Quito por este desborde, de acuerdo a la siguiente relación aritmética:

$$\#Persona/mes = \frac{V_{desborde/m}}{V_{persona/m}} \quad (6)$$

Donde: #Persona/mes: Cantidad de personas que dejan de recibir agua tratada mensualmente.

$$V_{persona/m} = 200 \left[\frac{l}{día} \right] * 30 \left[\frac{día}{mes} \right] * \frac{1}{1000} \left[\frac{m^3}{l} \right] = 6 \left[\frac{m^3}{mes} \right]$$

$$\#Persona/mes = \frac{24.053,76 \left[\frac{m^3}{mes} \right]}{6 \left[\frac{m^3}{mes} \right]}$$

$$\#Persona/mes = 4.009 \text{ [personas/mes]}$$

De acuerdo a este resultado, por los 24.053,76 m³/mes de agua tratada perdida por desborde en este sistema, la EPMAPS deja de servir a un aproximado de 4.009 ciudadanos mensualmente.

Datos del equipamiento electromecánico existente.

SISTEMA MOTOR-BOMBA N° 1

En la **tabla 11** se detallan las características técnicas del sistema motor-bomba N°1 instalados en la EB Libertad Baja.

Tabla 11. Datos de placa motor y bomba N° 1

MOTOR N° 1	BOMBA N° 1
MARCA: AURORA	MARCA: AURORA
MODELO: DH 324TTDR7026EE	MODELO: 411-BF
SERIE: 0914991	SERIE: 75-7190-3
POTENCIA: 40 HP	CAUDAL: 317 GPM
VOLTAJE: 230/460 (3 FASES)	ALTURA DE BOMBEO: 190 PIES
CORRIENTE: 96/48 A	VELOCIDAD: 1750RPM
FRECUENCIA: 60 Hz	
VELOCIDAD: 1765	
SERVICIO CONTINUO	
FACTOR SEGURIDAD: 1.15	

Fuente: Datos de placa de motor y bomba N°1
Elaborado por: Juan Carlos Gancino

El sistema de control y protecciones eléctricas para el sistema motor - bomba N°1, está conformado por:

1. Un breaker general de 100A.
2. Tres fusibles tipo NH de 160A, 500 V.
3. Tres fusibles tipo NH de 160A.
4. Cuatro fusibles para control de 2A.
5. Un contactor LC1 FF 43
6. Un contactor LC1 FG 43
7. Dos relés de tiempo
8. Un transformador variable (autotransformador)
9. Un Amperímetro análogo.
10. Un voltímetro análogo.
11. Un horómetro.
12. Tres selectores
13. Un pulsador de paro-marcha.

Todos estos elementos se los puede observar en las **figuras 11, 12 y 13**.



Figura 11. Breaker y fusibles principales sistema motor-bomba N° 1
Fuente: EB. Libertad Baja
Elaborado por: Juan Carlos Gancino



Figura 12. Vista interior tablero de control sistema motor-bomba N° 1
Fuente: EB. Libertad Baja
Elaborado por: Juan Carlos Gancino



Figura 13. Vista exterior tablero de control sistema motor-bomba N° 1
 Fuente: EB. Libertad Baja
 Elaborado por: Juan Carlos Gancino

El sistema motor-bomba N° 1 se encuentra instalado de acuerdo a la **figura 14**, en la cual se presenta el diagrama de fuerza del sistema de arranque.

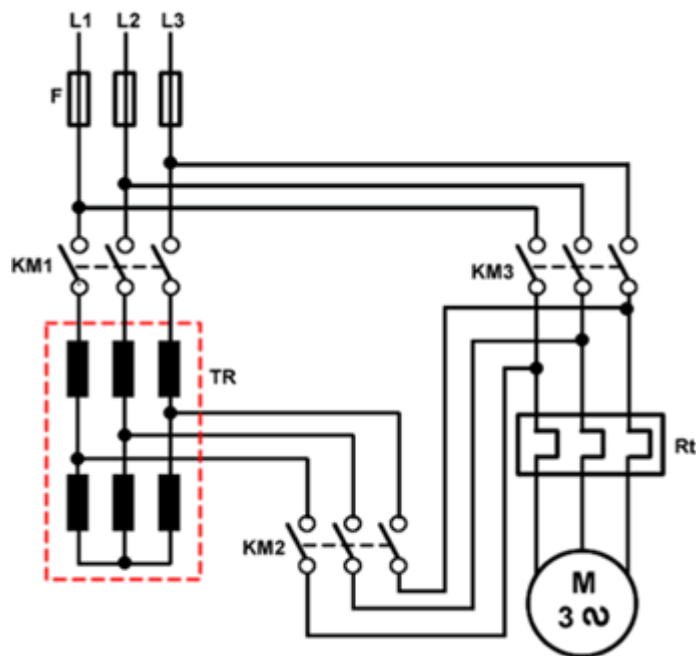


Figura 14. Diagrama arranque por autotransformador
 Fuente: <http://motores.nichese.com/arranques.htm>
 Elaborado por: Juan Carlos Gancino

El sistema de arranque mediante Autotransformador consiste en alimentar al motor con una tensión reducida a través del transformador, de tal manera que las tensiones escalonadas aplicadas en los bornes del motor tengan un valor creciente durante el periodo de arranque, hasta alcanzar el valor nominal de tensión de línea (220Vac), logrando de esta manera una reducción en la corriente de arranque y del par motor. Generalmente los autotransformadores vienen con voltajes bornes de voltaje del 55%, 65% y 80% de la tensión de línea. La principal característica de este sistema es la reducción de la corriente de arranque, entre 1,7 y 4 veces la corriente nominal, sin embargo, el par de arranque también se ve afectado entre el 40% y 85% del par nominal.

En la **tabla 12** se detallan las características técnicas del sistema motor-bomba N°2 instalados en la EB Libertad Baja.

SISTEMA MOTOR-BOMBA N° 2

Tabla 12. Datos de placa motor y bomba N°2

MOTOR N° 2	BOMBA N° 2
MARCA: U.S. ELECTRICAL MOTORS	MARCA: GOULDS
MODELO:	MODELO: 3196
SERIE: H11369 / Z12Z2920268R-1	SERIE: 7095196
POTENCIA: 25 HP	CAUDAL: 250 GPM
VOLTAJE: 230 (3 FASES)	ALTURA DE BOMBEO: 136 PIES
CORRIENTE: 62 A	VELOCIDAD: 3600RPM
FRECUENCIA: 60 Hz	
VELOCIDAD: 3520	
SERVICIO CONTINUO	
FACTOR SEGURIDAD: 1.15	

Fuente: Datos de placa de motor y bomba N°2
Elaborado por: Juan Carlos Gancino

El sistema de control y protecciones eléctricas para el sistema motor - bomba N°2, está conformado por:

1. Un breaker general de 100A.
2. Tres fusibles tipo NH de 100A, 500 V.
3. Dos contactores Allan Bradley A45
4. Un contactor Kasuga MUF35
5. Un relé de tiempo
6. Un horómetro.
7. Un pulsador de paro
8. Un pulsador de marcha

Todos estos elementos se los puede observar en las **figuras 15 y 16**.



Figura 15. Vista interior tablero de control sistema motor-bomba N° 2
Fuente: EB. Libertad Baja
Elaborado por: Juan Carlos Gancino



Figura 16. Vista exterior tablero de control sistema motor-bomba N° 2
 Fuente: EB. Libertad Baja
 Elaborado por: Juan Carlos Gancino

El procedimiento de arranque del sistema motor-bomba N° 2 es mediante el método Estrella-Triángulo

El sistema motor-bomba N° 2 se encuentra instalado de acuerdo a la **figura 17**, en el cual se presenta el diagrama de fuerza del sistema de arranque.

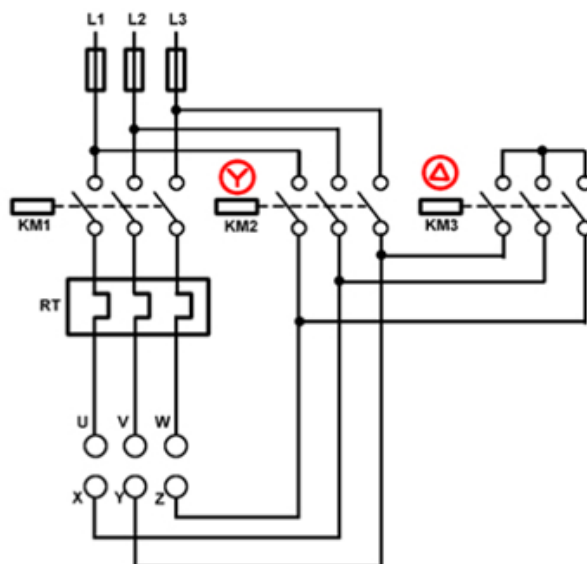


Figura 17. Diagrama de arranque estrella-triángulo
 Fuente: <http://motores.nichese.com/arranques.htm>
 Elaborado por: Juan Carlos Gancino

El método de arranque Estrella-triángulo o también conocido como Estrella-Delta, es el método más conocido y uno de los más sencillos para arranque de motores de inducción. Con el método estrella-triángulo se reduce la corriente en el momento del arranque, al alimentar a una tensión menor con la conexión en estrella, es decir en $\frac{1}{\sqrt{3}}$. Con esto se logra que la intensidad de arranque baje a la tercera parte de la intensidad que se produciría en un arranque directo. Además, el par de arranque se reduce más del 50%. Cabe anotar que, para poder utilizar este método de arranque, el motor debe poseer en su bornera los seis terminales eléctricos, como se indica en la **figura 18**.

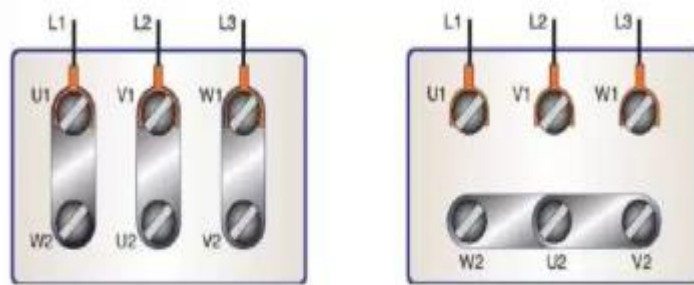


Figura 18. Conexión en estrella y triángulo desde su bornera de seis terminales
Fuente: automatismoindustrial.com; motores asíncronos; arranque estrella-triángulo
Elaborado por: Juan Carlos Gancino

Los datos recopilados en la investigación de campo se sustentan en las mediciones realizadas en la EB Libertad Baja y el tanque de reserva Libertad Alto, con equipos de última tecnología, tanto en nivel, con el registrador RADCOM LOLOG VISTA (**figura 19**) y Ficha técnica en **ANEXO 1**, en caudal con el Caudalímetro ultrasónico portátil SIEMENS FUP 1010 (**figura 20**) y Ficha técnica en **ANEXO 2**, lo que permitió recopilar información específica para determinar los problemas existentes debido a la falta de un sistema de control automático.



Figura 19. Registrador de nivel RADCOM LOLOG VISTA
Fuente: <http://hwm-latinoamerica.com>
Elaborado por: Juan Carlos Gancino



Figura 20. Caudalímetro ultrasónico portátil SIEMENS SITRANS FUP 1010
Fuente: www.industry.usa.siemens.com
Elaborado por: Juan Carlos Gancino

Además, se ha recopilado información de hojas técnicas, manuales de usuario y catálogos de fabricante, sobre los sistemas de comunicación existentes tales como Radio Frecuencia, Fibra Óptica, GPRS, los mismos que se detallan en el capítulo 3.

También se ha recopilado información de los actuales sistemas de arranque mediante variadores de frecuencia a fin de minimizar los efectos de sobrecorriente por arranque, los sistemas de protecciones tanto para el equipamiento electromecánico existente como para el ser humano, detallados también en el capítulo 3.

CAPITULO III.

PROPUESTA Y RESULTADOS ESPERADOS

Desarrollo de la propuesta.

La propuesta es el “Diseño de un sistema de control automático para la estación de bombeo Libertad Bajo-Libertad Alto de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito”.

Para comprender el funcionamiento de un sistema de comunicaciones electrónico, se definirán varios términos, los cuales se encuentran representados en el diagrama de bloques de la **figura 21**.

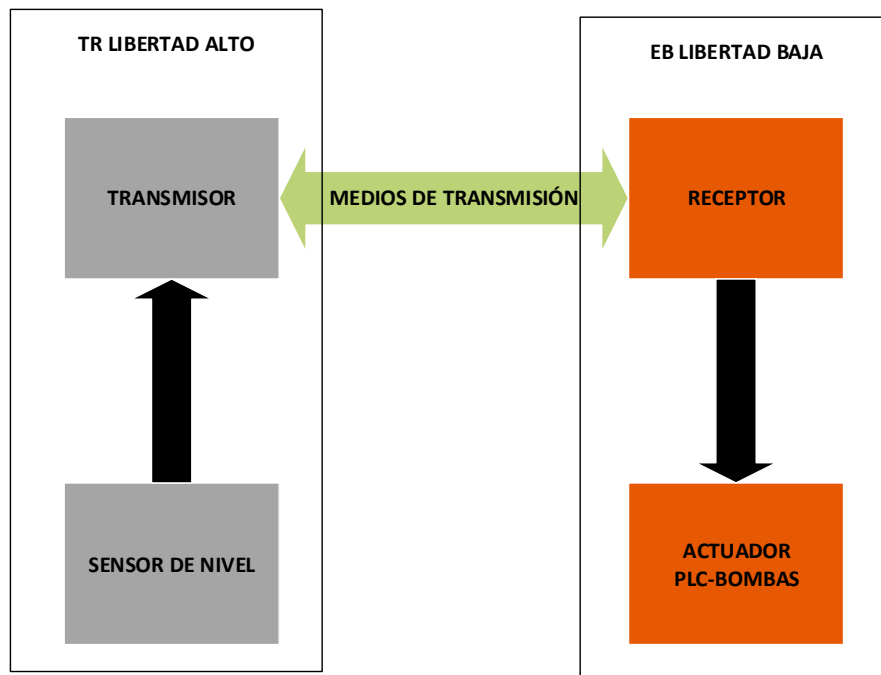


Figura 21. Diagrama simplificado de bloque
Fuente: Propia
Elaborado por: Juan Carlos Gancino

Los términos representados en el diagrama de bloques son especificados a continuación:

Sensor de nivel.

Es un dispositivo electrónico que mide la altura del material, generalmente líquido, dentro de un tanque u otro recipiente. Este sensor se instalará dentro del TR Libertad Alto y se encargará de emitir una señal eléctrica de corriente o voltaje hacia el transmisor.

Trasmisor.

Es un instrumento que capta la variable en proceso y la transmite a distancia a un instrumento receptor, indicador o controlador. Es un equipo que emite una señal, código o mensaje a través de un medio. Para lograr una sesión de comunicación se requiere: un transmisor, un medio y un receptor. “Es un dispositivo electrónico, encargado de captar la variable de proceso mediante un elemento primario y la transmiten a distancia en forma de señal neumática, electrónica o digital.

- La señal neumática es de 20 a 100 kPa (0,2 1 bar), equivalente a 3-15 psi.
- La señal electrónica normalizada es de 4-0mA de corriente continua.
- La señal digital consiste en una serie de impulsos en forma de bits. Cada bit consiste en dos signos, el 0 y el 1 (código binario).

La exactitud que se consigue con las diferentes señales de transmisión es:

- $\pm 0,5\%$ en los neumáticos
- $\pm 0,3\%$ en los electrónicos
- $\pm 0,15\%$ en los inteligentes, con señal de salida de 4 a 20 mA, cc.
- $\pm 0.1\%$ en los digitales.”(Solé, 2008)

Adicionalmente, el transmisor se encargará de modular la señal para adaptarla al tipo de señal que contenga el medio de transmisión.

La modulación electrónica de señal, no es más que el conjunto de técnicas utilizadas para transportar información sobre una onda portadora, siendo ésta típicamente de señal senoidal. Estas técnicas permiten un mejor aprovechamiento del canal de comunicación, lo que permite transmitir más información de manera simultánea y además protegerla de posibles interferencias y ruidos.

Cabe anotar que existen varios tipos de modulación, dependiendo del parámetro de la onda portadora sobre el que actúa la señal moduladora.

Medios de transmisión.

Son las vías por las cuales viajan los datos. Dependiendo de la forma de conducir estos datos a través del medio, se clasifican en dos grandes grupos:

1. **Medios de transmisión guiados o alámbricos:** Existen varios tipos de transmisión guiados:

1. **Par trenzado.** - Existe dos tipos de par trenzado, el UTP y el STP, su aplicación es para líneas telefónicas conmutadas y dedicadas.

1.a. **El UTP** (Unshielded Twisted Pair) (**Figura 22**). También denominado cable de par trenzado sin blindaje, posee pares trenzados sin blindar los cuales se utilizan para comunicar redes locales (dentro de un mismo predio).

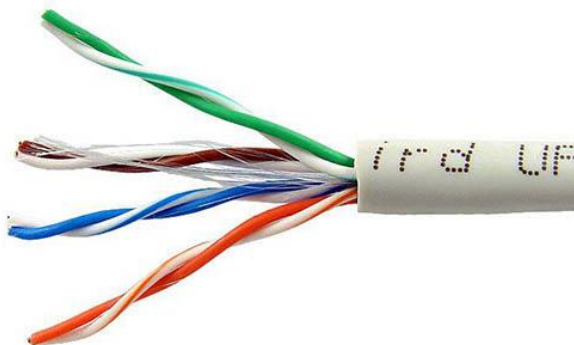


Figura 22. Cable UTP o par trenzado sin blindaje
Fuente: <https://tuelectronica.es>
Elaborado por: Juan Carlos Gancino

1.b. **El STP** (Shielded Twisted Pair) (**Figura 23**). También denominado cable de par trenzado blindado, es similar al UTP, con la diferencia de que cada par tiene una pantalla protectora, además de poseer una lámina externa de aluminio o cobre trenzado alrededor del conjunto de pares, diseñada para reducir la absorción del ruido eléctrico. Este cable es más costoso y difícil de manipular con respecto al anterior.

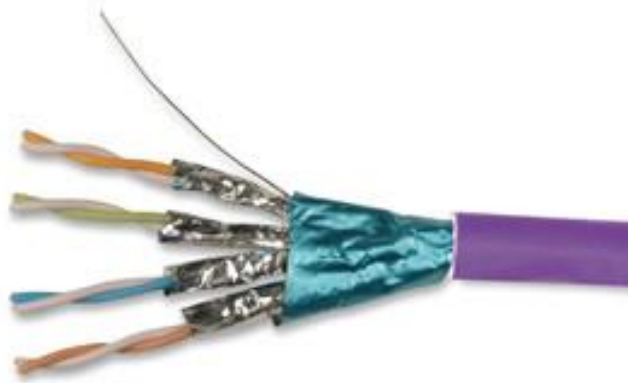


Figura 23. Cable STP o par trenzado blindado
Fuente: <https://www.dripstonellc.com>
Elaborado por: Juan Carlos Gancino

2. **Cable coaxial.** - (**Figura 24**). Presentan mejor blindaje que el par trenzado y alcanzan distancias mayores, tienen un elevado ancho de banda, dependiendo de su longitud, además poseen excelente inmunidad al ruido eléctrico. Sus principales aplicaciones son la televisión por cable, además de redes de área local.



Figura 24. Cable coaxial, disposición de pantallas de aislamiento
Fuente: <https://www.mouser.ec/Wire-Cable/Coaxial-Cables/>
Elaborado por: Juan Carlos Gancino

3. **Fibra óptica.** - (**Figura 25**). En la **tabla 13** se presentan las principales cualidades de la fibra óptica. Consiste en un hilo muy fino de material transparente, pudiendo ser vidrio o plástico, por el cual se envían pulsos de luz que representan los datos a transmitir. Se emplea habitualmente

en redes de datos y telecomunicaciones, para transporte de voz, video, internet.

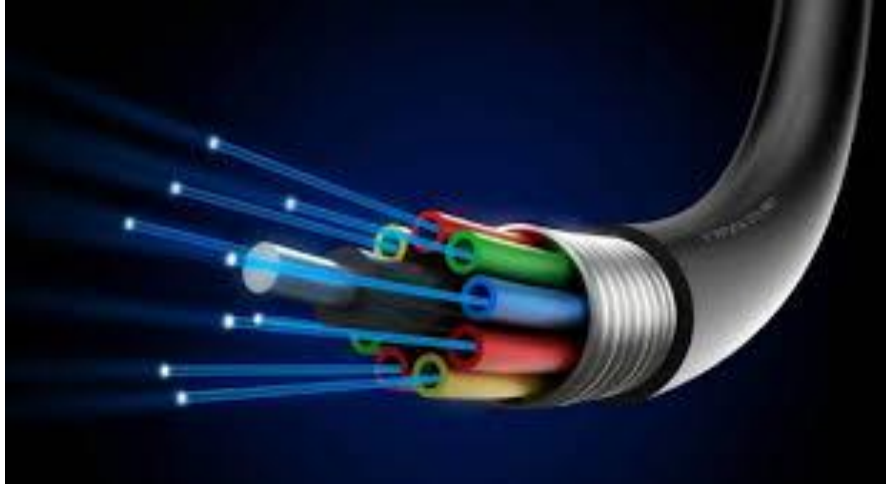


Figura 25. Cable de fibra óptica
Fuente: <http://www.ingesdata.com>
Elaborado por: Juan Carlos Gancino

Tabla 13. Principales características de la fibra óptica en las comunicaciones

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Poseen un gran ancho de banda	Costo elevado en equipamiento, cableado, instalación, adecuación y perforación de canaletas para encaminar los enlaces de fibra.
Por ser muy delgado y flexible, es mucho más ligero y ocupa menos espacio que el cable coaxial y el cable par trenzado	
Prácticamente total inmunidad al ruido	Complejidad en la instalación
La materia prima para fabricarla es abundante en la naturaleza	Proclives a robos, roturas, lo que produciría una pérdida en la comunicación y problemas en el bombeo
Compatibilidad con tecnología digital	
Inmunidad a la interferencia y atenuación	Necesaria obra civil complementaria para el funcionamiento.
Resistente al calor, al frío y a la corrosión	Dificultad para empalmar un cable de fibra roto.
Gran seguridad. La intrusión en una fibra óptica es fácilmente detectable, por el debilitamiento de la energía luminosa en recepción.	
Utilizados para pequeñas y grandes distancias	
Poseen una gran velocidad de transmisión	

Fuente: <http://www2.udec.cl>
Elaborado por: Juan Carlos Gancino

2. **Medios de transmisión no guiados o inalámbricos:** Son aquellos que no utilizan cables, es decir no usan un medio físico y se transmite por medio de ondas electromagnéticas. La configuración para las transmisiones no guiadas puede ser unidireccional o bidireccional.

En la unidireccional el sentido de la información viaja solamente en una vía, sin posibilidad de retorno y retroalimentación.

En la bidireccional, el sentido de la información viaja en las dos vías, con posibilidad de retorno y retroalimentación.

Los principales tipos de medio de transmisión no guiados son:

2.a. **Radiofrecuencia.** - Este medio de transmisión depende de la frecuencia, así, a bajas frecuencias, las ondas de radio cruzan los obstáculos sin problema, sin embargo, la potencia de la señal se reduce mientras más distancia tenga desde la fuente de emisión, de acuerdo a **figura 26**. Adicionalmente, a altas frecuencias, las ondas de radio tienden a viajar en línea recta, rebotan en los obstáculos y son absorbidas en el espacio libre.

Así, las bandas UHF, VHF y HF son las más utilizadas por su ancho de banda, además porque permiten mejores velocidades de transmisión.

Cabe anotar que la EPMAPS tiene implementado este tipo de medio de transmisión en diferentes lugares de la ciudad, para así poder realizar la comunicación entre diferentes estaciones de bombeo.

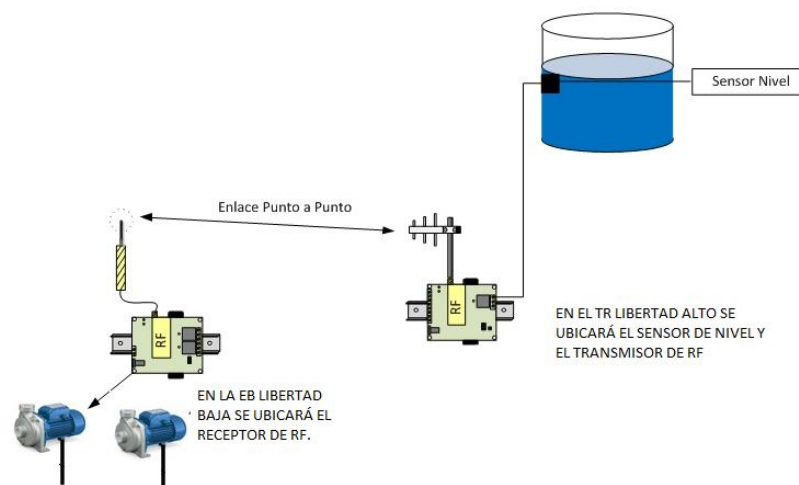


Figura 26. Diagrama de funcionamiento sistema de Radio Frecuencia

Fuente: <http://www.ctmelectronica.com.ar>

Elaborado por: Juan Carlos Gancino

2.b. **Micro onda.** - Consiste en tres componentes fundamentales, los cuales son: el transmisor, el receptor y el medio de transmisión. El transmisor es el encargado de modular una señal digital a la frecuencia utilizada para transmitir, el canal aéreo representa un camino aéreo representa un camino abierto entre el transmisor y el receptor.

La principal desventaja de este sistema es la distancia que se debe cubrir entre transmisor y receptor, además debe estar sin obstáculos; adicionalmente se debe utilizar torres para ajustar las alturas de comunicación.

El Sistema de comunicaciones más grande que posee la EPMAPS, es el sistema Papallacta Integrado, de acuerdo a la **figura 27**, el mismo que se basa en las comunicaciones por señal micro onda.

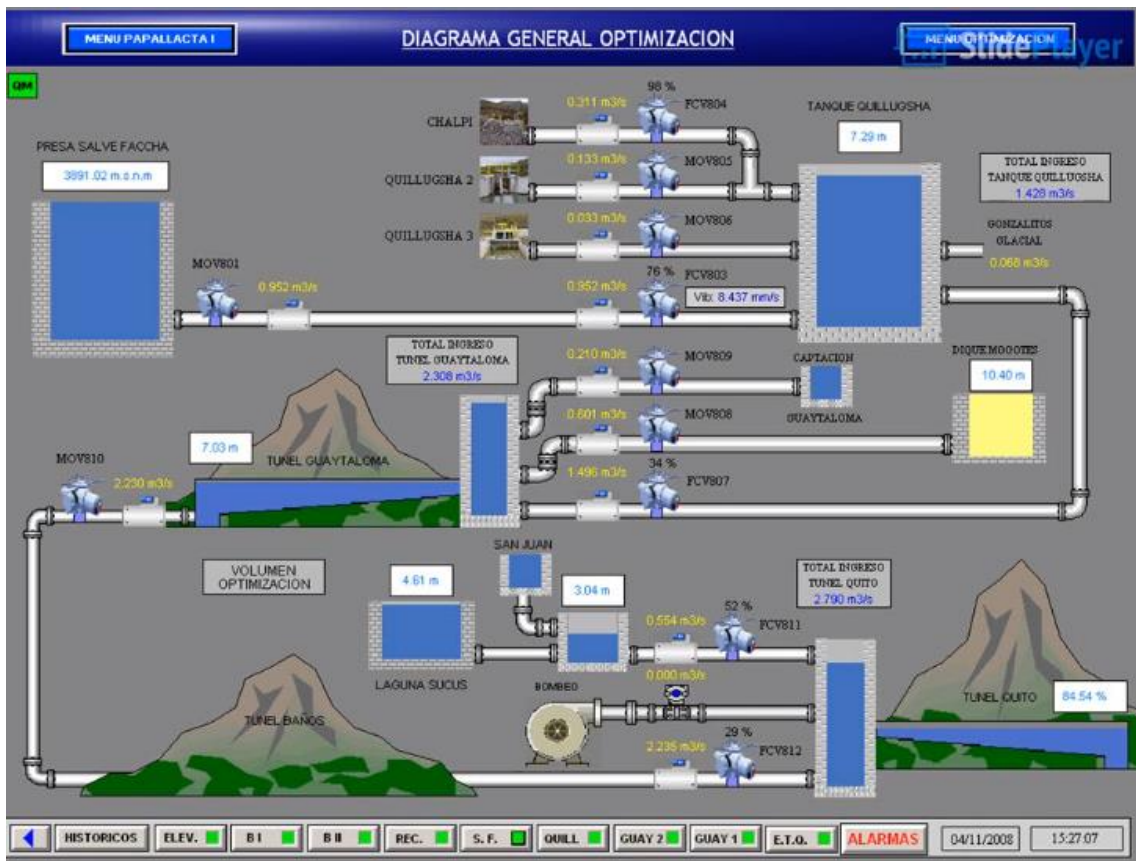


Figura 27. SISTEMA SCADA sistema Papallacta Integrado
Fuente: Archivos EPMAPS
Elaborado por: Juan Carlos Gancino

2.c. GSM/GPRS

- GSM (Global System for mobile Communications), o Sistema global de comunicaciones. Esta es la tecnología más utilizada a nivel mundial; muchos teléfonos móviles poseen este tipo de conectividad. “La expansión de las redes móviles ha creado una infraestructura global (Hora, 2018) que genera enormes cantidades de datos que son invaluable para el desarrollo social y económico. Hay más de 3.8 mil millones de suscriptores móviles únicos en los países en desarrollo; en estos mercados, más personas tienen acceso a un teléfono móvil que a agua potable o electricidad. Las investigaciones de GSMA revelan que habrá 25 mil millones de conexiones de Internet de las Cosas globalmente para el año 2025, permitiendo el uso de información para diferentes aplicaciones, como el monitoreo de cultivos agrícolas en tiempo real y la detección de fugas de agua”. (BANCO MUNDIAL, 2018). **Figura 28.**

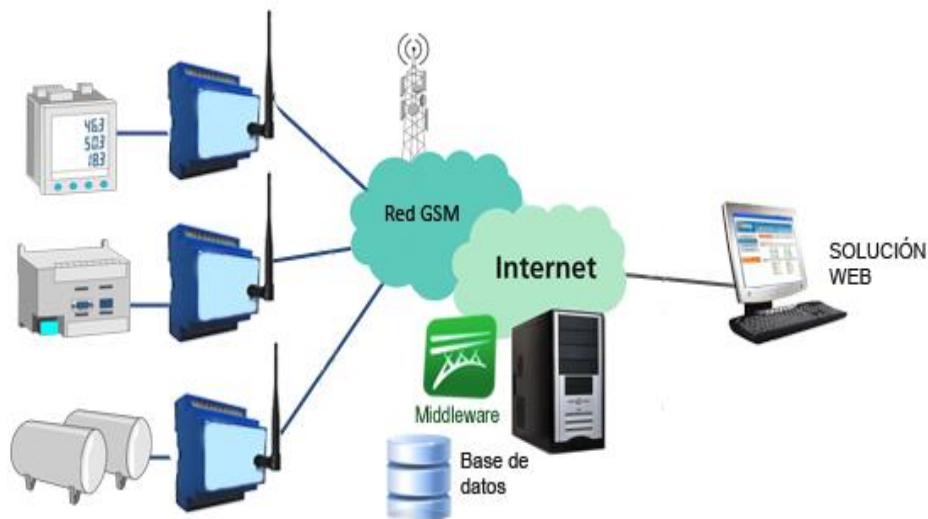


Figura 28. Diagrama funcionamiento sistema con GSM

Fuente: <http://www.trilegend.com>

Elaborado por: Juan Carlos Gancino

- GPRS (General Packet Radio Service) o servicio general de paquetes vía radio, que no es otra cosa que una mejora del sistema GSM. Además, una de las ventajas es la transmisión de datos en movilidad, mejorando la eficacia, la velocidad; la facturación va en función del volumen de datos transmitidos y no

del tiempo de conexión. En la **figura 29** se presenta un diagrama de bloques del funcionamiento del sistema GPRS para telecontrol y telemetría.

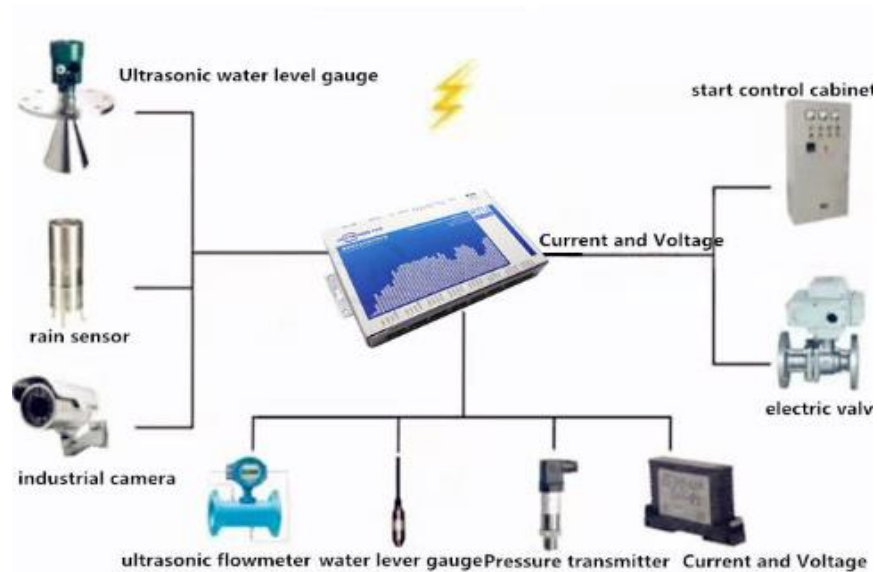


Figura 29. Funciones industriales de la comunicación vía GPRS

Fuente: <http://spanish.rturemoteterminalunit.com>

Elaborado por: Juan Carlos Gancino

Receptor.

El receptor extrae del medio de comunicación la señal transmitida. Su operación principal es la demodulación (proceso inverso a la modulación). A pesar de recibir señales frecuentemente débiles por la atenuación, el receptor posee varias etapas de amplificación. En la **figura 30** se observa un receptor-actuador, el cual además de recibir y demodular la señal, actúa enviando señales de corriente y voltaje para que actúe el elemento a ser controlado, sea éste un circuito eléctrico, electrónico, elementos electromecánicos, tales como electroválvulas, medidores de variables, arrancadores de motores, etc.

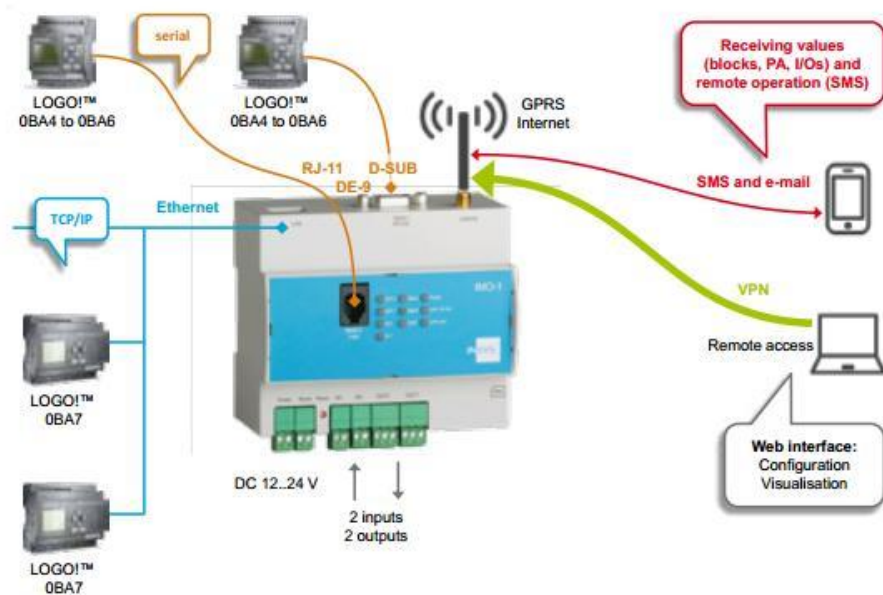


Figura 30. Diagrama de dispositivos GPRS
Fuente: <http://www.sumelco.com>
Elaborado por: Juan Carlos Gancino

Cálculos de elementos de control.

Cálculos para el Motor N° 1

Con los datos descritos en la **Tabla 9**, se realiza el cálculo para las protecciones eléctricas, así como para los elementos de control que gobernarán al motor, estos cálculos se realizarán siguiendo las recomendaciones del Código Eléctrico Ecuatoriano: (*CODIGO ELECTRICO ECUATORIANO*, s/f)

Por tratarse de un sistema con una línea de alimentación eléctrica trifásica a 220Vac, la corriente nominal del motor 1, de 40HP se define mediante la ecuación (10), de acuerdo a (RODRIGUEZ MIGUEL, 2013) es:

$$P = (\sqrt{3}) * V * I_{nom1} * \cos\phi \quad (7)$$

$$I_{nom1} = \frac{P[w]}{(\sqrt{3}) * V * \cos\phi}$$

Donde: I_{nom1} = Corriente nominal motor 1 [A]
 $P[w]$ = Potencia del motor en watos
 $\sqrt{3}$ = Factor de multiplicación para sistemas trifásicos
 V = Voltaje nominal del motor [V]
 $\cos\phi$ = Factor de potencia (normalmente es de 0,8)

$$I_{nom1} = \frac{40HP * \frac{746w}{1HP}}{(\sqrt{3}) * 220V * 0,8}$$

$$I_{nom1} = \mathbf{97,88A.}$$

De acuerdo al Código Eléctrico Ecuatoriano, los conductores de conexión que alimenten a un motor deben estar dimensionados para un valor de 125% de la intensidad a plena carga del motor. Con este antecedente, la intensidad requerida es el resultado de multiplicar la intensidad nominal por 1,25 y dividiendo este resultado para el Factor de temperatura y el Factor de calentamiento adicional. (CIEPI, 1973)

$$I_{cond1} = \frac{1,25 I_{nom1}}{Ft * Fc} \quad (8)$$

Donde:

I_{cond1} = Corriente que soportará el conductor que alimenta al motor 1

I_{nom1} = Corriente nominal del motor 1 = 97,88 A.

- Ft = Factor de temperatura ambiental ($Ft = 1$) (AMADOR ESTEBAN, 1988)
- Fc = Factor de calentamiento adicional ($Ft = 1$) (AMADOR ESTEBAN, 1988)

$$I_{cond1} = \frac{1,25 * 97,88}{1 * 1} [A]$$

$$I_{cond1} = 122,35A$$

De acuerdo a catálogo actualizado de cables en Ecuador, (ELECTROCABLES, 2012, **ANEXO 3**), el cable sugerido por aislamiento, temperatura de operación, maniobrabilidad, costo es el cable con aislamiento **THHN FLEXIBLE** número 2 AWG, el mismo que soporta hasta **130A** instalado hasta 3 conductores en tubería conduit.

De la misma manera se procede para determinar la protección contra sobrecargas, es decir el cortacircuitos (breaker principal de esta línea).

- El Factor de seguridad (SF), según tabla 9 es de 1,15. Con este factor de seguridad, el factor de multiplicación, el mismo que es $1,25 I_{nom}$ (AMADOR ESTEBAN, 1988)

$$I_{PS} = 1,25 * I_{nominal} \quad (9)$$

Donde:

I_{ps} = Corriente de protección contra sobrecarga.

I_{nom} = Corriente nominal del motor = 97,88 A.

$$I_{PS1} = 1,25 * 97,88A = \mathbf{122,35A} \text{ (máxima)}$$

Con este dato, se sugiere instalar un breaker de 125A, 3 polos.

Para el cálculo de los fusibles de protección contra cortocircuitos por línea, según (RODRIGUEZ MIGUEL, 2013)) se tiene:

$$I_{fusible1} = 2,0 * I_{nominal1} \quad (10)$$

Donde:

$I_{fusible1}$ = Corriente de protección contra cortocircuitos.

I_{nom1} = Corriente nominal del motor = 97,88 A.

$$I_{\text{fusible1}} = 2,0 * 97,88\text{A} = 195,76\text{A}$$

El valor de la capacidad de corriente inmediata superior a 195,76A es 200A en fusibles normalizados tipo NH, por lo que se debe seleccionar éste valor.

Cálculos para el Motor N° 2

Con los datos descritos en la Tabla 10, se realiza el cálculo para las protecciones eléctricas, así como para los elementos de control que gobernarán al motor, estos cálculos se realizarán siguiendo las recomendaciones del Código Eléctrico Ecuatoriano: (CODIGO ELECTRICO ECUATORIANO, 1973.)

Por tratarse de un sistema con una línea de alimentación eléctrica trifásica a 220Vac, la corriente nominal del motor 2, de 25HP, al igual que la ecuación (10) es:

$$P = (\sqrt{3}) * V * I_{\text{nom2}} * \cos\emptyset \quad (11)$$

$$I_{\text{nom2}} = \frac{P[\text{w}]}{(\sqrt{3}) * V * \cos\emptyset}$$

Donde: I_{nom2} = Corriente nominal motor 2 [A]

$P[\text{w}]$ = Potencia del motor en watios

$\sqrt{3}$ = Factor de multiplicación para sistemas trifásicos

V = Voltaje nominal del motor [V]

$\cos\emptyset$ = Factor de potencia (normalmente es de 0,8)

$$I_{\text{nom2}} = \frac{25\text{HP} * \frac{746\text{w}}{1\text{HP}}}{(\sqrt{3}) * 220\text{V} * 0,8}$$

$$I_{\text{nom2}} = \mathbf{61,18\text{A.}}$$

De acuerdo al Código Eléctrico Ecuatoriano, los conductores de conexión que alimenten a un motor deben estar dimensionados para una intensidad de 125% de la intensidad a plena carga del motor. Con este antecedente, la intensidad requerida es el resultado de multiplicar la intensidad nominal por 1,25 y dividiendo este resultado para el Factor de temperatura y el Factor de calentamiento adicional. (CIEPI, 1973)

$$I_{\text{cond}2} = \frac{1,25 I_{\text{nom}2}}{F_t * F_c} \quad (12)$$

Donde:

$I_{\text{cond}2}$ = Corriente que soportará el conductor que alimenta al motor 2

$I_{\text{nom}2}$ = Corriente nominal del motor 2 = 61,18 A.

F_t = Factor de temperatura ambiental ($F_t = 1$) (AMADOR ESTEBAN, 1988)

F_c = Factor de calentamiento adicional ($F_c = 1$) (AMADOR ESTEBAN, 1988)

$$I_{\text{cond}2} = \frac{1,25 * 61,18}{1 * 1} [A]$$

$$I_{\text{cond}2} = 76,47A$$

De acuerdo a catálogo actualizado de cables en Ecuador, (ELECTROCABLES, 2012), el cable sugerido por aislamiento, temperatura de operación, maniobrabilidad y costo es el cable con aislamiento **THHN FLEXIBLE** número 4 AWG, el mismo que soporta hasta **95A** instalado hasta 3 conductores en tubería conduit.

De la misma manera se procede para determinar la protección contra sobrecargas, es decir el cortacircuitos (breaker principal de esta línea).

- El Factor de seguridad (SF), según tabla 10 es de 1,15 con este factor de seguridad, el factor de multiplicación, el mismo que es 1,25 I_{nom} (AMADOR ESTEBAN, 1988)

$$I_{PS2} = 1,25 * I_{nominal1} \quad (13)$$

Donde:

I_{ps2} = Corriente de protección contra sobrecarga del motor 2

I_{nom2} = Corriente nominal del motor 2 = 61,18 A.

$$I_{PS} = 1,25 * 61,18A = \mathbf{76,47A (m\acute{a}xima)}$$

Con este dato, se sugiere instalar un breaker de 80A, 3 polos.

Para el cálculo de los fusibles de protección contra cortocircuitos por línea, según (AMADOR ESTEBAN, 1988), se tiene:

$$I_{fusible2} = 2,0 * I_{nominal2} \quad (14)$$

Donde:

$I_{fusible2}$ = Corriente de protección contra cortocircuitos del motor 2

I_{nom2} = Corriente nominal del motor 2 = 61,18 A.

$$I_{fusible2} = 2,0 * 61,18A = 122,36A$$

El valor de la capacidad de corriente inmediata superior a 122,36A es 125A en fusibles normalizados tipo NH, por lo que se debe seleccionar éste valor.

Cálculo de los contactores.

“El contactor es un aparato de maniobra usado en circuitos de fuerza con la finalidad de conmutar una carga determinada, es decir conectarla o desconectarla, de acuerdo a normas y regulaciones eléctricas internacionales tales como IEC y NEMA.

Figura 31.



Figura 31. Contactor AC-3
Fuente: <https://www.schneider-electric.com>
Elaborado por: Juan Carlos Gancino

El contactor bajo norma IEC se selecciona de acuerdo al tipo de protección (tipo I ó tipo II) y de acuerdo a la categoría (AC-3: Se aplica a los motores de jaula de ardilla donde se produce la desconexión mientras el motor está funcionando. Los usos más comunes son para todos los motores con rotor en jaula de ardilla. Ascensores, escaleras mecánicas, transportadores, elevadores, compresores, bombas, mezcladoras, unidades de aire acondicionado, etc.)

La vida útil de los contactores está dada por dos factores: el número de operaciones mecánicas o de maniobra (dureza mecánica) y la operación eléctrica (dureza eléctrica), estos factores varían de acuerdo al tipo, tamaño y carga del contactor.” (SIEMENS, 2014).

Para el cálculo del contactor necesario para comandar al motor N° 1 y N° 2, se realiza las siguientes transformaciones de unidades, según (RODRIGUEZ MIGUEL, 2013).

$$\text{Potencia} = 40 \text{ Hp} * \frac{746 \text{ Watt}}{1 \text{ Hp}} = 29,840 \text{ Watts} = 29.84 \text{ Kw} \quad (15)$$

$$I_{nominal 1} = 97,88 \text{ A}$$

$$\text{Potencia} = 25 \text{ Hp} * \frac{746 \text{ Watt}}{1 \text{ Hp}} = 18.650 \text{ Watts} = 18,65 \text{ Kw} \quad (16)$$

$$I_{nominal 2} = 61,18 \text{ A}$$

Con estos datos y con los datos de placa determinados en las **tablas 12 y 13**, se determina basándose en la **tabla 14**, el contactor óptimo para el efecto.

Tabla 14. Equivalencias de contactores tamaño NEMA vs IEC

Equivalencias de contactores tamaño NEMA vs Contactores IEC

Aplica para motores trifásicos de 4 polos tipo jaula de ardilla 60 Hz

Contactor tamaño NEMA	Corriente Nominal (Máx. 600V)	Potencia Máxima en HP		Contactor IEC (EN AC-3)
		220 V	440 V	
00	9	1.5	2	A9
0	18	3	5	A12
1	27	7.5	10	A26, A30
2	45	15	25	A40, A50
3	90	30	50	A95
4	135	50	100	A145
5	270	100	200	A300
6	540	200	400	AF580
7	810	300	600	AF750
8	1215	450	900	AF1350

Fuente: (ABB, s.f.)

Elaborado por: Juan Carlos Gancino

Los contactores necesarios serán:

Para el motor N° 1, tamaño NEMA: 4, Corriente nominal 135A, Potencia máxima 50 HP, tamaño IEC: A145

Para el motor N° 2, tamaño NEMA: 3, Corriente nominal 90A, Potencia máxima 30 HP, tamaño IEC: A95

Cálculo del banco de capacitores.

Factor de potencia. - Los aparatos eléctricos transforman la energía eléctrica en otro tipo de energía, sea esta luminosa (lámparas), calorífica (calefactores, duchas, planchas), mecánica (motores). El inconveniente se presenta cuando en estos aparatos toda la energía eléctrica consumida, la mayoría de veces no se transforma por complete en energía útil (luz, calor, etc.)

“El factor de potencia es una medida de la eficiencia o rendimiento eléctrico de un receptor o sistema eléctrico”(Autonell et al., 2010)

En el caso de una estación de bombeo, la potencia Activa o útil, medida en watios (w) o kilowatios (KW), es la que realmente produce trabajo en el motor y es la que se encarga de transformar el trabajo en el eje del motor, a la potencia absorbida desde la red de alimentación de energía eléctrica (EEQ), se denomina potencia Aparente, medida en Volta Amperios (VA) o Kilo volta Amperios (KVA) y a la potencia perdida (por las bobinas del motor) se denomina potencia Reactiva, medida en volta amperios reactivos (VAR) o Kilovolta amperios reactivos (KVAR)

El factor de potencia y el coseno de ϕ tienen el mismo valor. Al hablar de factor de potencia, se habla del valor del coseno de este ángulo en un receptor de corriente alterna, es decir, el desfase que produce entre la tensión y la intensidad.

En el triángulo de potencias, de la **figura 32**, se puede observar de forma gráfica el factor de potencia ($\cos \phi$) y su relación con los tres tipos de potencia presentes en un circuito de energía eléctrica alterna.

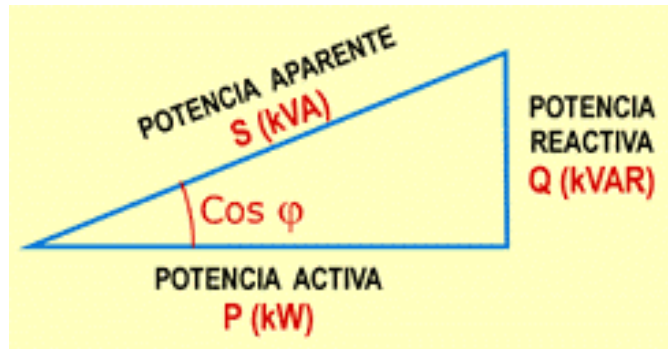


Figura 32. Triángulo de potencias
 Fuente: <http://www.asifunciona.com>
 Elaborado por: Juan Carlos Gancino

Se puede observar que, mientras menor sea el ángulo formado entre la Potencia Aparente (S) y la potencia Activa (P), la Potencia Reactiva (Q) será menor, por lo que será más eficiente el circuito eléctrico, puesto que la energía convertida en trabajo útil será aproximadamente igual a la energía entregada por la red de energía eléctrica.

Esto se logra instalando un banco de capacitores en paralelo con cada motor trifásico de inducción.

De acuerdo al Pliego tarifario vigente de la Empresa Eléctrica Quito S.A., (EEQ-SA) en su numeral H. CARGO POR BAJO FACTOR DE POTENCIA, indica que para aquellos consumidores de la Categoría General, con medición de energía reactiva, que registren un factor de potencia media mensual inferior a 0.92, se aplicarán los cargos establecidos en el Artículo 27 de la Codificación del Reglamento de Tarifas, en “cargos por bajo factor de potencia”.

Adicionalmente, resulta costoso el tratar de llegar a un factor de potencia igual a 1, por lo que cualquier valor del factor de potencia que se encuentre dentro de este rango es aceptable, tanto para la EEQ-SA como para el usuario.

Según (Aguilar Arturo et al, 2009) presenta el cálculo del banco de capacitores para cada motor con las funciones trigonométricas del coseno y tangente de un ángulo, en un triángulo de potencias de acuerdo a las fórmulas (20) a (27).

Actualmente el factor de potencia de cada motor es $\cos \varphi_1 = 0,80$; se propone llegar a un factor de potencia $\cos \varphi_2 = 0,95$

$$\phi_1 = \cos^{-1}0,80 = 36,87^\circ \quad (17)$$

$$\phi_2 = \cos^{-1}0,95 = 18,19^\circ \quad (18)$$

Donde: ϕ = ángulo formado por la potencia aparente y la potencia activa

El triángulo de potencias para cada motor se detalla en la **figura 33**.

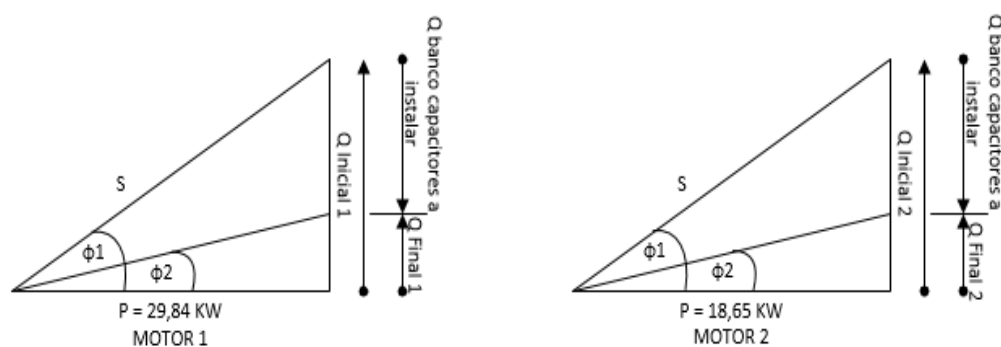


Figura 33. Triángulo de potencias para los motores 1 y 2

Fuente: Propia

Elaborado por: Juan Carlos Gancino

Para el motor 1:

$$\tan \phi_1 = \frac{Q \text{ inicial}_1}{29,84 \text{ KW}} \quad (19)$$

Donde: $Q \text{ inicial}_1$ = Potencia inicial reactiva motor 1 [KVAR]

$$Q \text{ inicial}_1 = 29,84 \text{ KW} * \tan 38,67^\circ = 23,88 \text{ KVAR}$$

$$\tan \phi_2 = \frac{Q \text{ final}_1}{29,84 \text{ KW}} \quad (20)$$

Donde: $Q \text{ final}_1$ = Potencia final reactiva motor 1 [KVAR]

$$Q \text{ final}_1 = 29,84 \text{ KW} * \tan 18,19^\circ = 9,81 \text{ KVAR}$$

Entonces la carga de capacidad de condensadores a instalar para subir el factor de potencia a 0,95 a fin de optimizar el consumo de energía y evitar pagos por multas a la EEQ será de:

$$Q_{c_1} = Q_{\text{inicial}_1} - Q_{\text{final}_1} \quad (21)$$

Donde:

Q_{c_1} = Resta algebraica de las potencias reactivas inicial y final del motor 1

$$Q_{c_1} = 23,88 - 9,81 \text{ [KVAR]}$$

$$Q_{c_1} = 14,07 \text{ [KVAR]}$$

Se elegirá un solo capacitor trifásico normalizado de 15 KVAR o tres capacitores trifásicos de 5 KVAR instalados en paralelo, de un voltaje siempre superior a 230V (380-400) y 60 Hz.

Para el motor 2:

$$\tan \phi_1 = \frac{Q_{\text{inicial}_2}}{18,65 \text{ KW}} \quad (22)$$

Donde: Q_{inicial_2} = Potencia inicial reactiva motor 2 [KVAR]

$$Q_{\text{inicial}_2} = 18,65 \text{ KW} * \tan 38,67^\circ = 14,92 \text{ KVAR}$$

$$\tan \phi_2 = \frac{Q_{\text{final}_2}}{18,65 \text{ KW}} \quad (23)$$

Donde: Q_{final_2} = Potencia final reactiva motor 2 [KVAR]

$$Q_{\text{final}_2} = 18,65 \text{ KW} * \tan 18,19^\circ = 6,13 \text{ KVAR}$$

Entonces la carga de capacidad de condensadores a instalar para subir el factor de potencia a 0,95 a fin de optimizar el consumo de energía y evitar pagos por multas a la EEQ será de:

$$Q_{c_2} = Q_{\text{inicial}_2} - Q_{\text{final}_2} \quad (24)$$

Donde: Q_{c2} = Resta algebraica de las potencias reactivas inicial y final del motor 2

$$Q_{c2} = 14,92 - 6,13 \text{ [KVAR]}$$

$$Q_{c2} = 8,79 \text{ [KVAR]}$$

Se elegirá un solo capacitor trifásico normalizado de 10 KVAR o dos capacitores trifásicos de 5 KVAR instalados en paralelo, de un voltaje siempre superior a 230V (380-400) y 60 Hz.

Con este cálculo realizado, la mejor opción sería adquirir cinco capacitores trifásicos a 380V con capacidad de 5 KVAR cada uno, de acuerdo a **figura 34** para instalarlos tres en paralelo para el motor 1 y dos en paralelo para el motor 2.



Figura 34. Capacitores trifásicos para corrección del factor de potencia.
Fuente: www.weg.net/catalog/weg
Elaborado por: Juan Carlos Gancino

Cálculo del conductor común.

El conductor común es aquel que alimenta al tablero de control y va desde el contador eléctrico hacia el tablero de control de las bombas, con una distancia aproximada de 15 metros.

Para realizar este cálculo, es necesario previamente conocer el factor de demanda del Sistema.

El factor de demanda se conoce como la “relación entre el promedio de la demanda sobre un tiempo determinado, al pico de carga ocurrido en ese tiempo. El promedio de la demanda es entendido como el número de KWh consumidos durante un periodo particular, divididos por el número de horas equivalentes a ese período”. (CALVO LUIS, 1980)

De la **tabla 9** se obtiene el resultado del promedio de la demanda en un mes. Según (LAROZE LUCIANO et al., 2013) se tiene en la ecuación (28), la siguiente transformación de unidades.

$$\text{Potencia promedio de demanda} = 13.262,17 \left[\frac{\text{KWh}}{\text{mes}} \right] * \left[\frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ días}} \right] * \left[\frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}} \right]$$

$$\text{Potencia promedio de demanda} = 18.419,68 \text{ watios}$$

La potencia máxima ocurrida durante el tiempo de estudio se da cuando los dos motores están encendidos de manera simultánea.

$$\text{Potencia máxima} = [40 + 25][\text{HP}] * \left[\frac{746 \text{ w}}{1\text{HP}} \right] \quad (25)$$

$$\text{Potencia máxima} = 48.490 \text{ watios}$$

Adicionalmente, para el cálculo del factor de demanda y el conductor común, de acuerdo a (AMADOR ESTEBAN, 1988), con las siguientes relaciones:

$$\text{Factor de demanda (FD)} = \frac{\text{Potencia promedio de demanda}}{\text{Potencia máxima}} \quad (26)$$

$$\text{Factor de demanda (FD)} = 0,38$$

La fórmula para el cálculo del conductor común viene dada de la siguiente manera:

$$I_{cc} = \frac{1,25 * I_{m1} + (I_{m2}) * F. D.}{F. T.* F. C.} \quad (27)$$

Donde:

I_{cc} = Corriente del conductor común

I_{m1} = Corriente nominal del motor 1 = 97,88 A

I_{m2} = Corriente nominal del motor 2 = 61,18 A

F_t = Factor de temperatura ambiental ($F_t = 1$) (AMADOR ESTEBAN, 1988)

F_c = Factor de calentamiento adicional ($F_c = 1$) (AMADOR ESTEBAN, 1988)

$$I_{cc} = \frac{(1,25 * 97,88) + ((61,18) * 0,38)}{1 * 1} A$$

$$I_{cc} = \frac{122,35 + 23,25}{1} = 145,60 A.$$

De acuerdo a catálogo actualizado de cables en Ecuador, (ELECTROCABLES, 2012), (**Anexo 3**) el cable sugerido por aislamiento, temperatura de operación, maniobrabilidad y costo es el cable con aislamiento THHN FLEXIBLE número 1 AWG, el mismo que soporta hasta 150A instalado 3 conductores en tubería conduit. Con un criterio técnico, se puede colocar dos conductores número 6 AWG, el cual soporta hasta 75 A cada uno, es decir, dos conductores en paralelo por cada fase de energía eléctrica.

Cálculo del sistema de protección contra descargas atmosféricas (**Rayos**).

“La descarga atmosférica conocida como rayo, es la igualación violenta de cargas de un campo eléctrico que se ha creado entre una nube y la tierra o, entre nubes.

Los rayos motivo del estudio, por su efecto, son los de nube a tierra, y en éstos se pueden encontrar 4 tipos: 2 iniciados en las nubes, y 2 iniciados en tierra, ya que pueden ser positivos o negativos. Los más comunes, siendo el 90% de los rayos detectados, son de una nube negativa hacia tierra.

Los rayos iniciados en las nubes negativas, normalmente aparecen en nubes de tormenta del tipo cumulonimbos convectivas, que usualmente miden de 3 a más de 50 km de largo, y son consecuencia de un rompimiento dieléctrico atmosférico.

Este rompimiento una vez iniciado, avanza en zigzag a razón de unos 50 metros por microsegundo.

Una vez que el rompimiento creó una columna de plasma en el aire, la descarga eléctrica surgirá inmediatamente dentro de un hemisferio de 50 metros de radio aproximadamente del punto de potencial más alto. Y cualquier objeto puede ser el foco de esta descarga hacia arriba de partículas positivas, aún desde una parte metálica debajo de una torre.” (ROBERTO RUELAS, S. F.)

Para el cálculo de la necesidad o no de la instalación de un Sistema de protección contra rayos, se define en primer lugar el término Isoceráunico.

“El nivel Isoceráunico se define como la cantidad de tormentas eléctricas (con truenos) que hay en un año. El número de tormentas eléctricas tiene indudable relación con el número de descargas que ocurren por unidad de superficie y unidad de tiempo. Es más representativo el número de descargas eléctricas por unidad de superficie (kilómetro²) y por año, que mide la probabilidad que tiene un punto del terreno de ser alcanzado por una descarga atmosférica.

Los niveles isoceráunicos se suelen llevar a mapas isoceráunicos **Figura 35**, es decir a mapas con curvas de nivel ceráunico, muestran la densidad con descargas al año. A pesar de que los mapas no dan una indicación de las intensidades, duración, extensión, si dan el número de tormentas ocurridas, constituyendo un dato relevante de información.”(ORBEA EDISON, 2017)

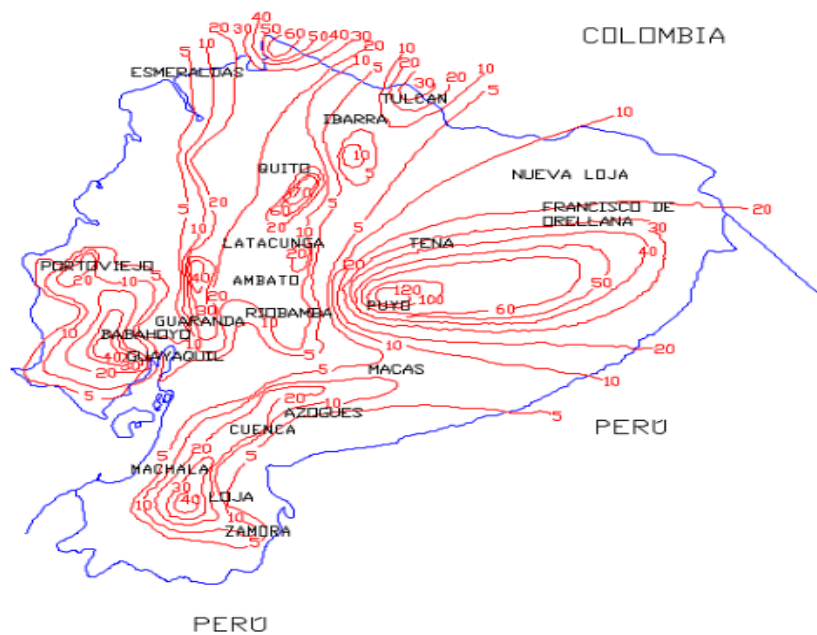


Figura 35. Mapa Isoceráunico del Ecuador
 Fuente: <http://elestudianteelectromecanico.blogspot.com>
 Elaborado por: Juan Carlos Gancino

El análisis y posterior cálculo, de ser el caso, de la selección de nivel de protección para una instalación exterior contra el rayo está tomado conforme al anexo B de la norma **UNE: 21186:1996**.

Se realiza el estudio de los daños causados por el impacto directo del rayo sobre las estructuras a proteger.

En varios casos, la necesidad de protección es indudable, por ejemplo, en el caso de:

- Agrupaciones numerosas de personas;
- Necesidades de continuidad de los servicios públicos o de producción;
- Zonas de gran intensidad de impacto de rayo;
- Edificios muy altos o aislados;
- Edificios que contengan materiales explosivos o inflamables, o patrimonio cultural irremplazable.

La EB libertad Baja, se identifica con el punto segundo detallado, ya que se trata de un servicio público y el fin mayor es que exista la continuidad de éste servicio al menor costo.

Ciertos ejemplos de efectos causados por un rayo para diferentes tipos de estructura comunes se relacionan en la **tabla 15**, a modo de información.

Tabla 15. Efectos causados por un rayo

CLASIFICACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS	TIPO DE ESTRUCTURA	EFFECTO DE RAYO
ESTRUCTURAS COMUNES	CASA PARTICULAR	Perforación de las instalaciones eléctricas, incendio y daños materiales que se limitan normalmente a los objetos próximos al punto de impacto o de paso de la descarga.
	GRANJA	Riesgos de incendio y de chispas peligrosas. Riesgo de corte de corriente: muerte de ganado debido a la pérdida de control de ventilación y de la distribución de los alimentos. Riesgo de tensión de paso
	TEATROS, ESCUELAS, GRANDES SUPERFICIES, ÁREAS DEPORTIVAS	Riesgo de pánico y de fallo de las alarmas de incendio, causando retraso en la lucha contra el fuego.
	BANCOS, COMPAÑÍAS DE SEGUROS, SOCIEDADES COMERCIALES, CENTROS DE SALUD	Como el anterior, más problemas con pacientes de cuidados intensivos y dificultad de auxilio a las personas impedidas.
	INDUSTRIAS	Efectos adicionales dependiendo del contenido de las fábricas, desde daños menores hasta inaceptables y a la pérdida del producto
	MUSEOS Y EMPLAZAMIENTOS ARQUEOLÓGICOS	Pérdida irremplazable del Patrimonio Cultural.

Fuente: norma UNE: 21186:1996, anexo B, tabla B.1

Elaborado por: Juan Carlos Gancino

En todos los casos existe riesgo para las personas que se encuentren en el interior de la estructura.

Los equipos electrónicos sensibles pueden ser instalados dentro de cualquier tipo de estructura y pueden ser fácilmente dañados por las sobretensiones debidas a las descargas.

La elección adecuada de un nivel de protección contra rayos, en un lugar determinado se basa en la frecuencia de impactos de rayo prevista sobre la estructura y en la frecuencia anual aceptable de rayos establecida para esa zona.

Densidad de impacto de rayo sobre el terreno.

La densidad de impactos de rayos sobre el terreno, expresado en rayos por km², se determina mediante la utilización del nivel cerámico local, y mediante la siguiente fórmula:

$$N_g = 0,02N_k^{1,67} \quad (28)$$

Donde:

N_g Densidad anual media de impactos de rayo en la región donde se sitúa la estructura, expresado en rayos por km².

N_k Nivel cerámico local

En la **figura 35** se observa que el nivel cerámico N_k en la zona centro de la ciudad de Quito varía entre 60 y 70, por lo que se toma el nivel más alto de estos dos, es decir 70 tormentas con truenos en un año.

$$N_g = (0,02) * (70^{1,67}) = 24,12$$

Frecuencia esperada de impactos directos de rayos sobre una estructura.

$$N_d = \frac{N_g * 1,1 * A_e * C_1 * 10^{-6}}{\text{año}} \quad (29)$$

Donde:

N_g Densidad anual media de impactos de rayo en la región donde se sitúa la estructura, expresado en rayos por km².

1,1 Coeficiente de seguridad ligado a la evaluación de impactos

A_e Superficie de captura equivalente de la estructura aislada (m²)

C_1 Coeficiente relacionados con el entorno

La superficie de captura equivalente se define como la superficie sobre el suelo que tiene la misma probabilidad anual que la estructura de recibir el impacto directo de un rayo.

El cálculo de la superficie de captura se basa en la siguiente fórmula,

$$A_e = L * l + 6H(L + l) + 9\pi H^2 \quad (30)$$

Donde:

A_e Superficie de captura para un rayo en una estructura rectangular

L Ancho de la estructura

l Profundidad de la estructura

H Altura de la estructura

Las variables de la ecuación (33) se obtienen de acuerdo a la **figura 36**.

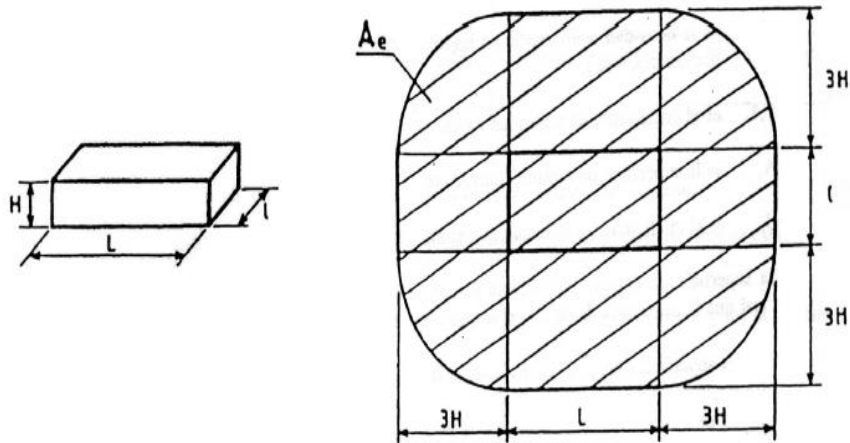


Figura 36. Superficie de captura para un edificio rectangular
 Fuente: norma UNE: 21186:1996, anexo B, figura B.3
 Elaborado por: Juan Carlos Gancino

Para la EB Libertad Baja, las medidas del edificio son:

$$L = 10 \text{ m}$$

$$l = 6 \text{ m}$$

$$H = 4 \text{ m}$$

$$A_e = 10 * 6 + 6(4)(10 + 6) + 9\pi(4)^2$$

$$A_e = (60 + 384 + 452,39)m^2$$

$$A_e = 896,39m^2$$

En la tabla 16 se presentan diferentes situaciones para la elección del coeficiente relacionado con el entorno C_1 .

Tabla 16. Determinación del coeficiente C_1

SITUACIÓN RELATIVA A LA ESTRUCTURA	C_1
Estructura situada en un espacio donde hay otras estructuras o árboles de la misma altura o más altos	0,50
Estructura rodeada de estructuras más bajas	0,75
Estructura aislada	1
Estructura aislada situada sobre una colida o promontorio	2

Fuente: norma UNE: 21186:1996, anexo B, tabla B.2

Elaborado por: Juan Carlos Gancino

La EB Libertad Baja se encuentra rodeada de estructuras más altas, con viviendas de 2 y 3 plantas, por lo que se elige el coeficiente $C_1 = 0,5$.

Con estos antecedentes, se calcula la frecuencia esperada de impactos directos de rayos sobre una estructura.

$$N_d = \frac{N_g * 1,1 * A_e * C_1 * 10^{-6}}{\text{año}} \quad (31)$$

$$N_d = \frac{24,12 * 1,1 * 896,39 * 0,5 * 10^{-6}}{\text{año}}$$

$$N_d = \frac{11,89 \times 10^{-3} \text{ impactos directos}}{\text{año}}$$

Frecuencia aceptable de rayos sobre una estructura.

Los valores de la frecuencia aceptable de rayos sobre una estructura [Nc] se calculan mediante el análisis del riesgo de daños, teniendo en cuenta los siguientes factores:

- Tipo de construcción
- Contenido de la estructura
- Ocupación de la estructura
- Las consecuencias sobre el entorno.

Con este antecedente, se determina los cuatro factores dados por los coeficientes C₂, C₃, C₄ y C₅, los cuales deben ser evaluados con la ayuda de las **tablas 17 a 20**, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$N_c = \frac{3 \times 10^{-3}}{(C_2)(C_3)(C_4)(C_5)} \quad (32)$$

Donde:

Nc = Frecuencia aceptable de rayos sobre una estructura

C2 = Coeficiente de estructura

C3 = Contenido de la estructura

C4 = Ocupación de la estructura

C5 = Consecuencia sobre el entorno

Tabla 17. Coeficientes de estructura C₂

ESTRUCTURA	7.3.2 METAL	7.3.3 COMÚN	INFLAMABLE
METAL	0,5	1	2
COMÚN	1	1	2,5
INFLAMABLE	2	2,5	3

Fuente: norma UNE: 21186:1996, anexo B, tabla B.5

Elaborado por: Juan Carlos Gancino

La EB Libertad Baja es una estructura formada por hormigón armado de construcción y mampostería de ladrillo, por esta razón se determina el coeficiente $C_2 = 0.5$

Tabla 18. Contenido de la estructura C_3

Sin valor o no inflamable	0,5
Valor común o normalmente inflamable	2
Gran valor o particularmente inflamable	5
Valor excepcional, irremplazable o muy inflamable, explosivo	10

Fuente: norma UNE: 21186:1996, anexo B, tabla B.6

Elaborado por: Juan Carlos Gancino

El contenido de la estructura es tuberías de agua potable, motores eléctricos, bombas de impulsión. Con este antecedente se determina el coeficiente $C_3 = 0.5$, puesto que no son materiales inflamables.

Tabla 19. Ocupación de la estructura C_4

Ocupada ocasionalmente	0,5
Ocupada normalmente	3
De difícil evacuación o riesgo de pánico	7

Fuente: norma UNE: 21186:1996, anexo B, tabla B.7

Elaborado por: Juan Carlos Gancino

La Ocupación de esta estructura es ocasional, ya que el operador ingresa a la EB Libertad Baja solamente para poner en marcha y apagar el sistema de bombeo. Con este antecedente, se determina el coeficiente $C_4 = 0.5$

Tabla 20. Consecuencia sobre el entorno C_5

Sin necesidad de continuidad en el servicio y alguna consecuencia sobre el entorno	1
Necesidad de continuidad en el servicio y alguna consecuencia sobre el entorno	5
Consecuencia para el entorno	10

Fuente: norma UNE: 21186:1996, anexo B, tabla B.8

Elaborado por: Juan Carlos Gancino

La EB Libertad Baja, abastece de agua tratada al TR Libertad Alto, por ser un servicio básico para el ser humano, el coeficiente $C_5 = 5$, ya que no se puede prescindir de agua potable.

En tal virtud, el cálculo de la Frecuencia aceptable de rayos sobre una estructura es:

$$N_c = \frac{3 \times 10^{-3}}{(C_2)(C_3)(C_4)(C_5)}$$

$$N_c = \frac{3 \times 10^{-3}}{(0,5)(0,5)(0,5)(5)}$$

$$N_c = 4,8 \times 10^{-3}$$

Para determinar la necesidad o no de la instalación de un sistema de protección contra rayos, se relaciona los valores de la frecuencia aceptable de rayos (N_c) y de la frecuencia esperada de rayos sobre una estructura (N_d).

- Si $N_d \leq N_c$, el sistema de protección no es necesario.
- Si $N_d > N_c$, se debe instalar un sistema de protección contra rayos, cuya eficiencia E será:

$$E \geq 1 - N_c/N_d \quad (33)$$

$$N_d = 11,89 \times 10^{-3} \quad \text{y} \quad N_c = 4,8 \times 10^{-3}$$

$$N_d = 11,89 \times 10^{-3} > N_c = 4,8 \times 10^{-3}$$

Por tanto, es necesario instalar un Sistema de Protección Contra Rayos en la EB Libertad Baja., cuya eficiencia será:

$$E \geq 1 - 4,8 \times 10^{-3} / 11,89 \times 10^{-3}$$

$$E \geq 1 - 4,8 \times 10^{-3} / 11,89 \times 10^{-3}$$

$$E \geq 0,596$$

Con este valor, se verifica en la **tabla 21** el nivel de protección necesario para la estructura es de nivel III.

Tabla 21. Valores críticos de la Eficiencia

E EFICIENCIA CALCULADA	NIVEL DE PROTECCIÓN CORRESPONDIENTE
$E > 0,98$	Nivel I + Medidas complementarias
$0,95 < E \leq 0,98$	Nivel I
$0,80 < E \leq 0,95$	Nivel II
$0 < E \leq 0,80$	Nivel III

Fuente: norma UNE: 21186:1996, anexo B, tabla B.10

Elaborado por: Juan Carlos Gancino

La diferencia entre niveles de protección contra rayos se resume en la **tabla 22**.

Tabla 22. Métodos de instalación según los niveles de protección contra rayos NPR.

Nivel de protección NPR (clase del SPCR)	Mínima corriente presunta del rayo de retorno (KAc de cresta)	Eficiencia de la protección	Método de la esfera rodante: radio de la esfera, R	Método de las mallas: distancia máxima entre conductores paralelos.
I	3 kAc	99%	20 m	5 m
II	8 kAc	97%	30 m	10 m
III	10 kAc	91%	45 m	15 m
IV	16 kAc	84%	60 m	20 m

Fuente: (JUAN CARLOS ARCIONI & JORGE FRANCISCO JIMENEZ, 2015)

Elaborado por: Juan Carlos Gancino

Cálculo del sistema de puesta a tierra.

“El sistema de puesta a tierra (SPT) es la unión de todos los elementos metálicos que, mediante cables de sujeción suficiente entre las partes de una instalación y un conjunto de electrodos, permite la desviación de corrientes de falla o de las descargas de tipo atmosférico, e impide la aparición de una diferencia de potencial peligrosa en las instalaciones.

Puesta a tierra para protección.- es un método que parte de la base de que es necesario conectar eléctricamente al suelo todas aquellas de las instalaciones eléctricas que no se encuentren a tensión normalmente, pero que pueden tener diferencias de potenciales a causa de fallas accidentales, tales partes pueden ser: los tableros eléctricos, carcasas de las máquinas eléctricas y en cualquier parte de una estructura metálica.”(Encalada Ángel, 2013)

“Los objetivos de un sistema de puesta a tierra (SPT) son:

- La seguridad de las personas. - Para equalizar los niveles de potencial que se pueden inducir generando niveles peligrosos de voltaje cuando ocurre una descarga eléctrica o una condición de falla.
- La protección de las instalaciones. - Para proveer un camino específico para corrientes de falla hacia el electrodo de puesta a tierra con el propósito de dar una operación confiable y segura para el personal. Esto incluye el proveer una referencia para todas las fuentes de poder AC y DC.
- La compatibilidad electromagnética. - Para reducir el efecto de las perturbaciones provocadas por electricidad estática, interferencia electromagnética, interferencia de radiofrecuencia y transitorios espurios que pueden llegar a través de la red provocados por la operación de equipos eléctricos en el sitio.

Por lo tanto, las funciones de un SPT son:

- Garantizar condiciones de seguridad a los seres vivos.
- Permitir a los equipos de protección despejar rápidamente las fallas.
- Servir de referencia al sistema eléctrico
- Conducir y disipar las corrientes de falla con suficiente capacidad.”(COMITÉ EJECUTIVO DE LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN, 2011)

Actualmente el los tableros de control, así como los motores instalados en la EB Libertad Baja no poseen un SPT, por lo que se ve la necesidad de instalarlo, para

poder proteger al equipamiento electromecánico, así como al personal que labora en el sitio y al personal técnico encargado del mantenimiento.

Para realizar el cálculo del SPT, según (ROBERTO RUELAS, S. F.), se debe utilizar el método Wenner, el cual consiste en una medición indirecta con el arreglo de los electrodos (4) en diferentes puntos dispuestos en línea recta. De esta medición se obtiene la resistividad eléctrica del terreno (ρ). La resistividad del terreno se mide con un Medidor de Resistencia a tierra marca LEM de FLUKE, Modelo SATURN GEO X.

La lectura de la Resistividad del terreno no es directa. La lectura presenta un valor de resistencia que permite calcular la Resistividad del Terreno mediante la fórmula:

$$\rho = 2\pi * a * R \quad (34)$$

Donde:

ρ	Resistividad del terreno
2π	Constante
a	Distancia entre las puntas de prueba (picas)
R	Valor de resistencia medido por el aparato.

La medición de R se realiza ubicando las puntas de prueba a una distancia de 4 metros una de otra.

El valor de R, marcado en el equipo es de $0,83 \Omega$

Entonces:

$$\rho = 2\pi * 4m * 0,83 \Omega$$

$$\rho = 20,86 \Omega m$$

El cable conductor desnudo que se deberá colocar, debe ser mayor o igual al mayor conductor calculado, el cual es el número 2 AWG. Para tableros de control en baja tensión, se debe colocar:

- Cable desnudo de cobre número 2/0 AWG, 19 hilos.
- Varillas de alta camada, ERITECH de ERICO, EE.UU. con dimensiones de 1,80 metros de largo y 5/8" de diámetro (4 varillas)
- De ser necesario se mejorará la resistividad del terreno con químicos tales como: GEM de ERICO, BENTONITA, AGUA SAL, etc.
- Suelta exotérmica.

Para calcular el valor de la resistencia de la malla de tierra total, se debe calcular primero el valor de la resistencia de los elementos que la componen, por separado.

La Ecuación de LAURENT para hallar la Resistencia del cable (R_c) plantea:

$$R_c = \left(\frac{\rho}{2d} + \frac{\rho}{L} \right) \quad (35)$$

Donde:

R_c	Resistencia obtenida por el cable de la malla instalado [Ω]
ρ	Resistividad eléctrica del terreno [$\Omega.m$]
d	Diámetro equivalente al círculo de igual superficie que la de la malla propuesta [m]
L	Longitud total del cable utilizado en la malla [m]

Por tratarse de un área física con limitado espacio para la instalación de la malla, se tomará como medidas, un cuadrado de 3,5 m x 3,5 m.

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

Donde:

$$\rho = 20,86 \Omega.m$$

$$\text{Área} = 3,5m \times 3,5m = 12,25m.$$

Área del círculo equivalente: $A = \pi R^2 = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2$

$$d = \sqrt{\frac{4(12,25)}{\pi}} = 3,95\text{m}$$

$$L = 3,5\text{m} \times 4 = 14\text{m}$$

Con estos antecedentes se calcula la resistencia del Cable (R_c)

$$R_c = \left(\frac{\rho}{2d} + \frac{\rho}{L}\right)$$

$$R_c = \left(\frac{20,86\Omega\text{m}}{2(3,95\text{m})} + \frac{20,86\Omega\text{m}}{14\text{m}}\right)$$

$$R_c = (2,64\Omega + 1,49\Omega)$$

$$\mathbf{R_c = 4,13\Omega}$$

Para hallar la resistencia correspondiente a cada varilla (R_v) sin tomar en cuenta la acción de los diferentes aditivos que usualmente se colocan, tales como sales minerales, aditivo químico GEM, etc., se utiliza la ecuación de SCHWARTZ:

$$R_v = \frac{\left[\left(\frac{\rho}{2\pi l}\right) * \left[\text{Ln}\left(\frac{4l}{r}\right) - 1\right]\right]}{4} \quad (36)$$

Donde:

- R_v Resistividad de una sola varilla
- ρ Resistividad eléctrica del terreno = 20,86 [$\Omega\cdot\text{m}$]
- l Longitud del electrodo 1,8 [m]
- Ln Logaritmo natural
- r Radio del electrodo o varilla [m] = El diámetro de las varillas es de 5/8" (15,88 mm), por tanto: $r = 15,88 \text{ mm}/2 = 7,94 \text{ mm} = 0,0079 \text{ m}$.

$$R_v = \frac{\left\{\left(\frac{20,86}{2\pi(1,8)}\right) * \left[\text{Ln}\left(\frac{4(1,8)}{0,0079 \text{ m}}\right) - 1\right]\right\}}{4}$$

$$R_v = \frac{\{(1,844) * [\text{Ln}(910,39)]\}}{4}$$

$$R_v = 3,14 \Omega \text{ Por electrodo}$$

La resistencia equivalente eléctrica de la malla (R_m), de acuerdo a la **figura 37** será:

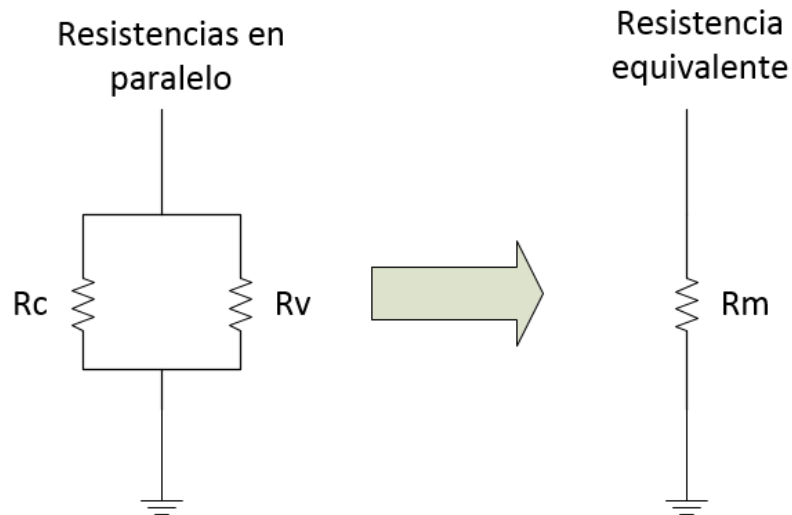


Figura 37. Resistencia equivalente
Fuente: Propia
Elaborado por: Juan Carlos Gancino

$$\frac{1}{R_m} = \frac{1}{R_c} + \frac{1}{R_v} \quad (37)$$

$$\frac{1}{R_m} = \frac{1}{4,13\Omega} + \frac{1}{3,14\Omega}$$

$$\frac{1}{R_m} = 0,56 \Omega^{-1}$$

$$R_m = 1,78\Omega$$

Valor total de la malla esperado: $1,78\Omega$.

Lo ideal es que un sistema de puesta a tierra tenga un valor de resistencia igual a cero.

Valor teórico que confirma una resistencia menor a 5Ω con los materiales propuestos, adicionalmente se debe tomar en cuenta la acción del aditivo químico GEM, que mejora la conductividad del terreno.

Cabe indicar que no existe ningún umbral de resistencia de tierra estándar reconocido de manera unánime por parte de todas las agencias normativas. Sin embargo, la NFPA y el IEEE recomiendan un valor de resistencia de tierra de **5,0 Ω o menor**.

El NEC indica que es necesario “asegurarse de que la impedancia del sistema a tierra sea menor de 25 Ohmios (Ω), tal y como se especifica en la norma NEC 250.56. En instalaciones con equipos sensibles debería ser de 5,0 Ohmios o menor.”

Los cálculos para la resistencia de puesta a tierra han sido elaborados bajo las normativas ANSI/NFPA 70-250 (NEC); NEMA 250.4; NEMA 250.52; ANSI/NEMA GR 1.

Selección del medio de transmisión.

Con base al breve repaso de conceptos, y métodos analizados, es necesario tomar una decisión del medio de comunicación con el cual se elaborará el proyecto de automatización de la EB Libertad Baja. Esta decisión se debe tomar, luego de realizar y analizar la matriz de decisiones (Matriz de Pugh).

Para elegir los criterios y alternativas que integrarán la matriz de decisiones se utiliza la metodología de “LLUVIA DE IDEAS” entre el grupo de trabajo compuesto por cinco personas, encargado del mantenimiento de los sistemas de macromedición, del Departamento de Distribución de la EPMAPS.

La metodología de “Lluvia de Ideas” es un método grupal de trabajo que estimula la creatividad para generar propuestas, desarrollar ideas o solucionar problemas. Se aplica normalmente en empresas y organizaciones.

Su principal objetivo es generar un ambiente propicio para el pensamiento creativo, a partir del cual se generen ideas que, por experiencia en el área, fluyan con lógica. Estas ideas ayudarán para resolver el problema en cuestión.

Es un proceso interactivo, sin estructura, que permite lo mejor de la capacidad de los participantes.

Luego, todas las ideas son reunidas y analizadas para elegir a las mejores y a las que tengan mayor coyuntura. Para este caso, se eligió a cuatro ideas para criterios y a cuatro ideas para alternativas.

El método de Lluvia de Ideas, como herramienta de trabajo grupal, fue creado por Alex Osborn y publicado en 1942.

Los criterios y alternativas obtenidos se muestran en la **Tabla 23**; el resultado final se muestra en la **tabla 24**.

Tabla 23. Criterios y alternativas seleccionadas para la matriz Pugh (toma de decisiones)

CRITERIOS	ALTERNATIVAS
COSTO DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN	CABLE COAXIAL
CONFIABILIDAD EN LA TRANSMISIÓN DE DATOS	FIBRA ÓPTICA
TECNOLOGÍA	RADIO FRECUENCIA
SEGURIDAD (PROCLIVE A ROBOS O ROTURAS)	MICRO ONDA
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	GSM/GPRS

Fuente: Brainstorme realizado con técnicos EPMAPS
Elaborado por: Juan Carlos Gancino

Tabla 24. Resultado final de la matriz de Pugh

	COSTO DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN	CONFIABILIDAD EN LA TRANSMISIÓN DE DATOS	TECNOLOGÍA	SEGURIDAD (PROCLIVE A ROBOS O ROTURAS)	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	
	18,00%	26,00%	24,00%	20,00%	12,00%	%
CABLE COAXIAL	28,00%	6,00%	6,00%	8,00%	16,00%	11,56%
FIBRA ÓPTICA	26,00%	28,00%	22,00%	26,00%	16,00%	24,36%
RADIO FRECUENCIA	14,00%	22,00%	24,00%	22,00%	24,00%	21,28%
MICRO ONDA	12,00%	22,00%	24,00%	22,00%	24,00%	20,92%
GSM/GPRS	20,00%	22,00%	24,00%	22,00%	20,00%	21,88%
						100,0%

Fuente: Procesamiento información en matriz decisiones
 Elaborado por: Juan Carlos Gancino

De la información obtenida, se sugiere que la mejor decisión a tomar es el medio de comunicación mediante fibra óptica, con un porcentaje de 24,36%

Sistema de control propuesto a implementar.

La correcta operación de la EB Libertad Baja, consiste en controlar el nivel del TR Libertad Alto por medio de un controlador el cual se integrará a un Controlador Lógico Programable (PLC).

En el TR Libertad Alto se instalará un sensor de nivel, el cual tendrá dos niveles de referencia: ALTO y BAJO. Este sensor de nivel, con sus respectivos valores programados transmitirá la información en forma de señal digital (1-0), siendo 1 el valor de TR Libertad Alto con nivel de agua alto y 0 el valor de TR con nivel de agua bajo, esta información se transmitirá mediante el cable de fibra óptica hacia el controlador instalado en la EB Libertad Baja.

El controlador se encarga de recibir la señal desde el sensor de nivel y de enviar a las entradas digitales del PLC.

El PLC enviará la respectiva señal digital hacia el actuador de la EB Libertad Baja. El actuador está representado por la combinación del motor eléctrico trifásico acoplado a la bomba y el arrancador suave.

“Un arrancador suave es un dispositivo electrónico que permite controlar el arranque y parada de motores de inducción, ayudando a proteger el motor y contribuyendo al ahorro de energía.

El arranque a plena tensión, conlleva picos de tensión que pueden generar costes por sobrecarga de la red eléctrica y por los esfuerzos en los accionamientos mecánicos.” (Kling, 2002)

En la **figura 38** se presenta las diferencias básicas entre el arranque en línea directo (DoL), el arranque en estrella-triángulo y el arranque suave, en función de la tensión (V), de la intensidad del motor (I) y del par motor (M) del mismo.

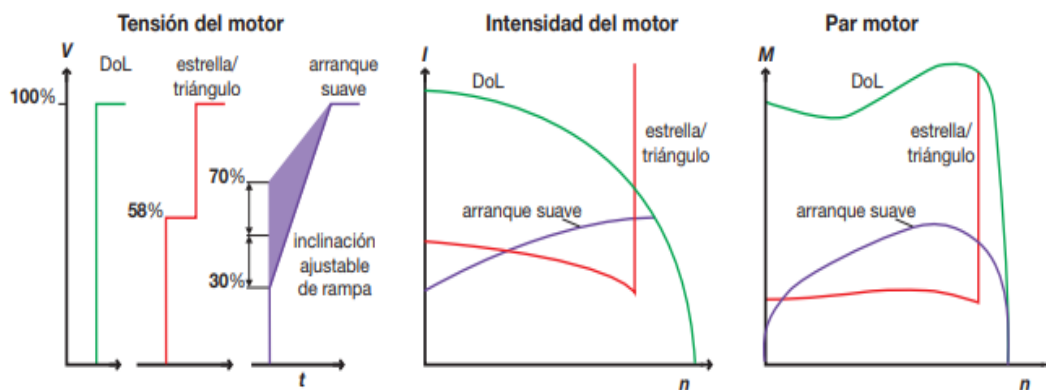


Figura 38. Diferencias básicas entre el arranques.
Fuente: Kling, 2002
Elaborado por: Juan Carlos Gancino

En la **figura 39** se observa el diagrama de bloques del Sistema. En este sistema, se tiene la señal parametrizada, la cual indica el valor de altura de columna de agua a la cual se desea que encienda y apague el sistema.

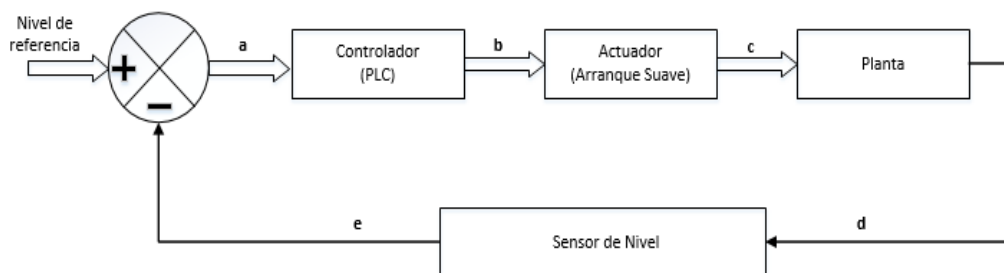


Figura 39. Diagrama de control en bloques
Fuente: Propia

En esta figura se presenta:

- a:** valor de la señal digital medida,
- b:** valor de la señal digital transmitida por el controlador hacia el actuador (1 o 0),
- c:** señal que actúa sobre el sistema,
- d:** variable medida en el sistema (la altura del nivel de agua)
- e:** señal emitida por el sensor de nivel, esta señal puede ser en corriente (4-20 mA o 0-5V).

Sensor de nivel.

El sensor de nivel entrega un valor digital de la variable de altura del TR, esta variable tiene dos estados; el nivel alto (1 lógico) que se produce cuando el nivel del TR es bajo (igual o menor a 2,5 m.), esta señal es acondicionada y transmitida hacia el PLC, modificando de esta manera la entrada digital y posicionándola en un estado de 1 lógico.

El 0 lógico se produce cuando el nivel del TR es alto, es decir 3,30 m. Esta señal es acondicionada y transmitida hacia el PLC, el cual le permite pasar del estado 1 lógico al estado 0 lógico, es decir es interpretada como estado apagado.

El sensor de nivel propuesto es de marca SENIX, modelo TOUGHSONIC 14, el cual mide la distancia, emitiendo una onda de sonido que choca con el objeto a medir (espejo de agua) midiendo de ésta manera el eco de ida y vuelta. Conocida la velocidad del sonido, se determina la distancia del objeto.

El sensor alcanza una distancia máxima de 4,3 metros. En la **figura 40** se muestra el sensor y su conexionado.

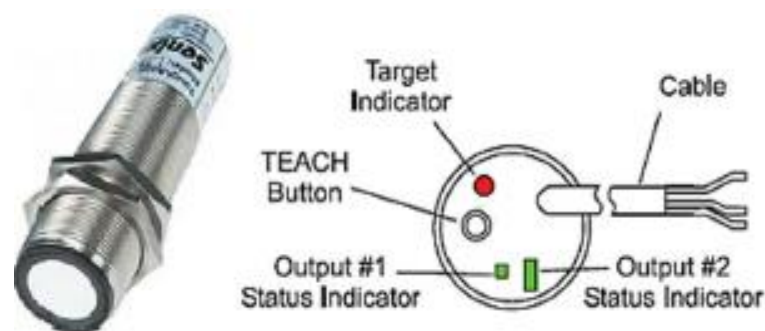


Figura 40. Sensor SENIX, modelo TOUGHSONIC 14
 Fuente: <https://senix.com/wp-content/uploads/ToughSonic-14-Data-Sheet.pdf>
 Elaborado por: Juan Carlos Gancino

Este sensor posee las características detalladas en la **tabla 25**; la información técnica adicional se respalda en el **ANEXO 4**.

Tabla 25. Conexionado sensor SENIX, TOUGHSONIC 14

VARIABLE	DESCRIPCIÓN	CABLE
ALIMENTACIÓN	10-30 VDC	Café
TIERRA	PODER Y FASE COMÚN	Azul
SALIDA DE VOLTAJE	0-10 VDC	Blanco
SALIDA DE CORRIENTE	4-20 mA ó 0-20 mA	Negro
INTERRUPTOR 1	NPN-PNP	Negro
INTERRUPTOR 2	NPN-PNP	Negro
RS-232 OUT/RS-485-	Serial Data Conection	Gris
RS-232 IN/RS-485+	Serial Data conection	Amarillo

Fuente: <https://senix.com/wp-content/uploads/ToughSonic-14-Data-Sheet.pdf>
 Elaborado por: Juan Carlos Gancino

Selección del PLC adecuado.

En la actualidad, el mercado ecuatoriano cuenta con una gran variedad de PLC de diferentes y reconocidas marcas, tales como SIEMENS, ABB, ALLAN BRADLEY, SCHNEIDER, MITSUBISHI, etc., sin embargo, es necesario tener un criterio profesional a la hora de la selección, puesto que es importante tomar en cuenta el servicio post-venta, así como la facilidad del lenguaje de programación, la funcionalidad y costo.

Se debe además tener muy en cuenta lo que se desea controlar, para nuestro caso se trata del arranque de dos motores, en dos opciones, una manual y otra automática, y solamente una entrada de control, la cual es la señal del sensor de nivel.

Por tal motivo en el mercado ecuatoriano existen dos tipos de PLC, de bajo costo, de marcas reconocidas, confiables, de fácil programación y además poseen puertos para comunicación. Estos PLC son el ZELIO y LOGO!, de las marcas SCHNEIDER y SIEMENS respectivamente.

Realizada la selección del equipamiento, se desarrollará el diagrama de control, el cual en términos generales se presenta en la **figura 41**, donde se muestra el funcionamiento del sistema de control para el proceso, el cual se encuentra controlado desde el PLC LOGO!, el mismo que recibe señales del sensor de nivel en modo automático y de los pulsadores de marcha y paro en modo manual, permitiendo activar o desactivar los motores con sus respectivas bombas de impulsión, los mismos que son gobernados por los Arrancadores Suaves.

En el TR Libertad Alto es necesario instalar un sistema de energía de respaldo para el sensor de nivel, ya que, al fallar la energía eléctrica no existiría comunicación entre el TR Libertad Alto y la EB Libertad Baja, ocasionando el vaciado del TR y posterior desabastecimiento del líquido vital a la población.

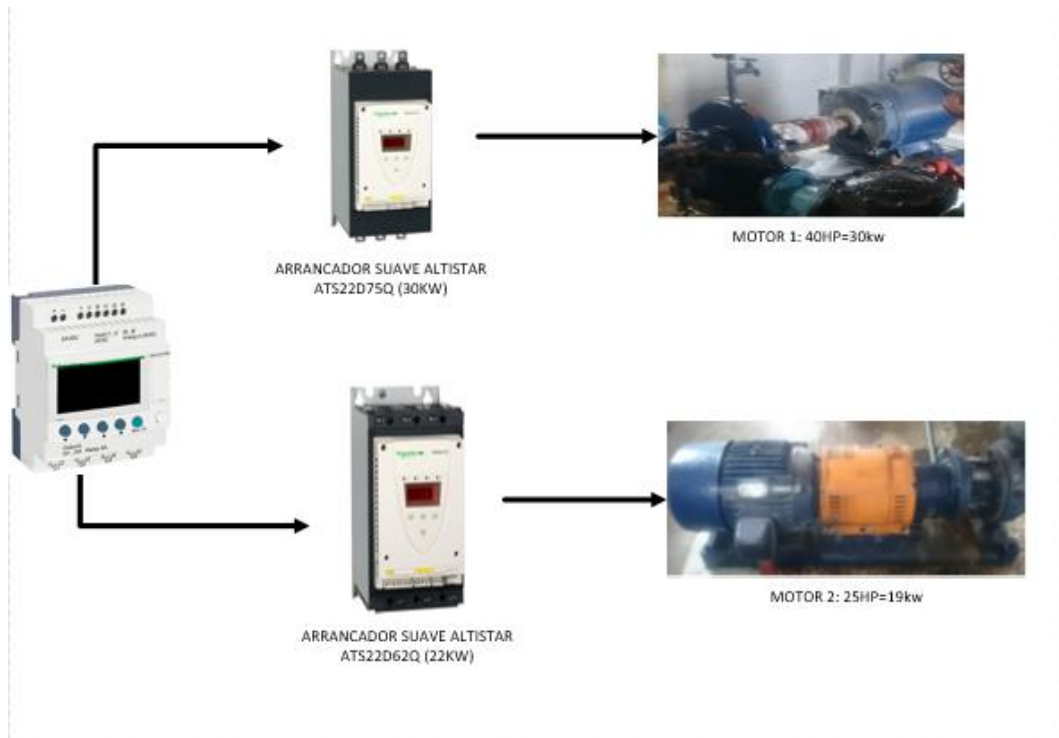


Figura 41. Funcionamiento propuesto del sistema de control para el Proceso
Fuente: Propia
Elaborado por: Juan Carlos Gancino.

Además, en el TR Libertad Alto es necesario instalar un sistema de aislamiento de señal de energía eléctrica con un sistema de energía de respaldo para que opere el sensor de nivel sin interrupciones provocadas por los fallos externos en la red de energía eléctrica.

El sistema de aislamiento separará totalmente la alimentación a los elementos electrónicos de posibles perturbaciones en la red de energía eléctrica. Esto se logra instalando un transformador de aislamiento, con relación 1 a 1 y de 1KVA de capacidad puesto que del secundario del transformador se instalarán tomacorrientes de servicio para elementos electrónicos o computadores portátiles únicamente.

Diagramas eléctricos.

Para la EB Libertad Baja, se instalará un sistema de aislamiento de señal acompañado de un sistema de energía de respaldo, estos sistemas están representados en los DIAGRAMA DE FUERZA F1 y DIAGRAMA DE CONTROL C1. De la misma manera, el conexionado eléctrico del tablero con el

Sistema de aislamiento de señal más el sistema de energía de respaldo se presenta en los DIAGRAMAS DE CONTROL C2, C3 y C4. Ver **Anexo 5**.

Simbología diagramas de fuerza y control

La simbología de los diagramas presentados en el **Anexo 5**, así como las especificaciones de los elementos se detallan en la **tabla 27**.

Tabla 267. Simbología y especificaciones elementos.

SIMBOLO	EQUIPO	CAPACIDAD	DETALLE
F1	FUSIBLE NH	200 A	3 FASES
F2	FUSIBLE NH	125 A	3 FASES
Q1	BREAKER DE PROTECCIÓN	125 A	3 POLOS
Q2	BREAKER DE PROTECCIÓN	80 A	3 POLOS
Q3	BREAKER DE PROTECCIÓN	20 A	2 POLOS
Q4	BREAKER DE PROTECCIÓN	10 A	2 POLOS
Q5	BREAKER DE PROTECCIÓN	10 A	2 POLOS
Q6	BREAKER DE PROTECCIÓN	10 A	2 POLOS
Q7	BREAKER DE PROTECCIÓN	2 A	2 POLOS
KM1	CONTACTOR AC3	135 A, 50 HP	NEMA 4; IEC A145, BOBINA 24 Vdc
KM2	CONTACTOR AC3	90 A, 30 HP	NEMA 3; IEC A95, BOBINA 24 Vdc
KM3	CONTACTOR PARA CAPACITOR	16 KVAR	NORMA IEC 60947-4-1, BOBINA 24 Vdc
KM4	CONTACTOR PARA CAPACITOR	12,5 KVAR	NORMA IEC 60947-4-1, BOBINA 24Vdc
RT1	RELÉ TÉRMICO DE SOBRECARGA	90-110 A	REGULABLE CON RESETEO
RT2	RELÉ TÉRMICO DE SOBRECARGA	90-110 A	REGULABLE CON RESETEO
AS1	ARRANCADOR SUAVE	25 HP	3 FASES
AS2	ARRANCADOR SUAVE	40 HP	3 FASES
3X5 KVAR	BANCO CAPACITORES	15 KVAR	3 FASES/400 Vac
2X5 KVAR	BANCO CAPACITORES	10 KVAR	3 FASES/400 Vac
M1	MOTOR TRIFÁSICO	40 HP	230 Vac
M2	MOTOR TRIFÁSICO	25 HP	230 Vac
TR1	TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO	2 KVA	230 Vac/127 Vac
TR2	TRANSFORMADOR	1 KVA	127 Vac / 24 Vdc
UPS	UPS	1KVA	127 Vac, 8 HORAS DE RESPALDO ENERGÍA REGULADA

TC1	TOMACORRIENTE 1	10 A, 250 V	POLARIZADO CON TIERRA
TC2	TOMACORRIENTE 2	10 A, 250 V	POLARIZADO CON TIERRA
FC1	FUSIBLE CONTROL	2 A	CARTUCHO 10*38mm
FC2	FUSIBLE CONTROL	2 A	CARTUCHO 10*38mm
S1	SELECTOR 3 POSICIONES	ON-OFF-ON	Ø22 mm MANUAL-AUTOMÁTICO
S2	PULSADOR EMERGENCIA	TIPO HONGO	Ø22 mm CON ENCLAVAMIENTO
NIVEL	SENSOR DE NIVEL	MÁX 4,3 m	ULTRASÓNICO-RADAR-ETC.
RA1	RELÉ AUXILIAR 1	BOBINA 24Vdc	8 CONTACTOS
RA2	RELÉ AUXILIAR 2	BOBINA 24Vdc	8 CONTACTOS
RA3	RELÉ AUXILIAR 3	BOBINA 24Vdc	8 CONTACTOS
H1	LUZ PILOTO LED	24 Vdc	Ø22 mm NARANJA SOBRECARGA M1
H2	LUZ PILOTO LED	24 Vdc	Ø22 mm NARANJA SOBRECARGA M2
H3	LUZ PILOTO LED	24 Vdc	Ø22 mm ROJO M1 APAGADO
H4	LUZ PILOTO LED	24 Vdc	Ø22 mm VERDE M1 ENCENDIDO
H5	LUZ PILOTO LED	24 Vdc	Ø22 mm ROJO M2 APAGADO
H6	LUZ PILOTO LED	24 Vdc	Ø22 mm VERDE M2 ENCENDIDO
H7	LUZ PILOTO LED	24 Vdc	Ø22 mm VERDE NIVEL ALTO
H8	LUZ PILOTO LED	24 Vdc	Ø22 mm ROJO NIVEL BAJO
H9	LUZ PILOTO LED	24 Vdc	Ø22 mm VERDE MANUAL
H10	LUZ PILOTO LED	24 Vdc	Ø22 mm ROJO AUTOMÁTICO
IH1	PROGRAMADOR HORARIO 1	24 Vdc	2 TEMPORIZADORES
IH2	PROGRAMADOR HORARIO 2	24 Vdc	2 TEMPORIZADORES
TANQUE DE RESERVA LIBERTAD ALTO			
LA-Q1	BREAKER DE PROTECCIÓN	20 A	2 POLOS
LA-Q2	BREAKER DE PROTECCIÓN	20 A	2 POLOS
LA-Q3	BREAKER DE PROTECCIÓN	10 A	2 POLOS
LA-Q4	BREAKER DE PROTECCIÓN	10 A	2 POLOS
LAQ5	BREAKER DE PROTECCIÓN	2 A	2 POLOS
LATR1	TRANSFORMADOR	2KVA	AISLAMIENTO, RELACIÓN 1:1
LATR2	TRANSFORMADOR	0,1 KVA	PROCESO; 127 Vac/24Vdc
LA-UPS	UPS	2 KVA	127 Vac, 8 HORAS DE RESPALDO ENERGÍA REGULADA

LATC1	TOMACORRIENTE 1	10 A, 250 V	POLARIZADO CON TIERRA
LATC2	TOMACORRIENTE 2	10 A, 250 V	POLARIZADO CON TIERRA

Fuente: Propia

Elaborado por: Juan Carlos Gancino

Programación PLC

La programación del PLC se realizó en lenguaje LADDER y se presenta en la **figura 42**.

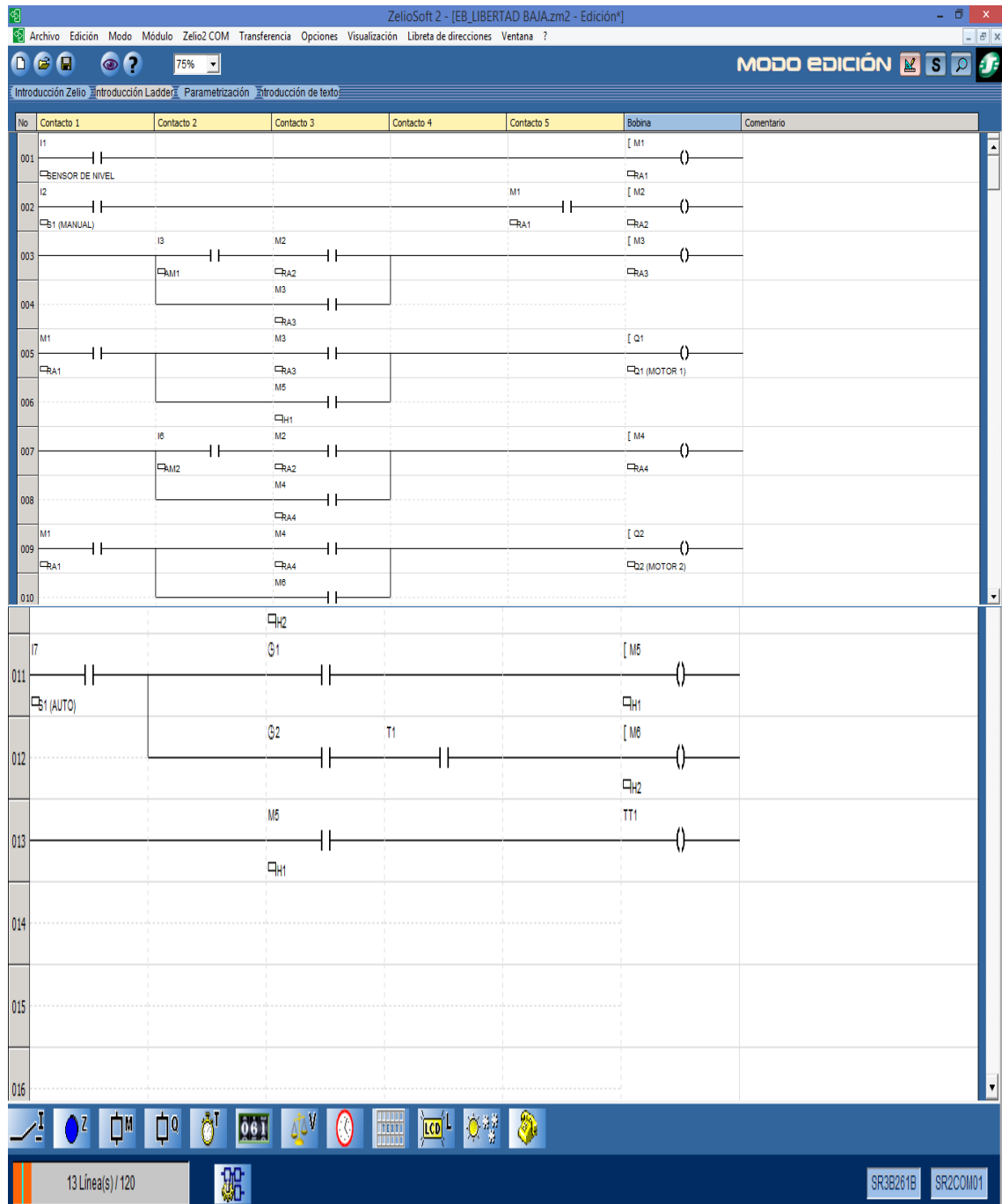


Figura 42. Programación PLC
Fuente: Software Zelio Soft 2
Elaborado por: Juan Carlos Gancino

Resultados esperados.

Si la propuesta presentada es aprobada e implementada por las autoridades de la EPMAPS, la EB Libertad Baja tendría un sistema de bombeo totalmente automático, evitando así depender exclusivamente del factor humano.

Adicionalmente se ahorraría recursos económicos, los mismos que se encuentran detallados en la **tabla 27**; Además al evitar el desborde en el tanque de reserva Libertad Alto, ese volumen perdido se aprovecharía distribuyendo a más familias del Distrito Metropolitano de Quito.

Tabla 27. Ahorro económico EPMAPS

AUTOMATIZACIÓN DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO LIBERTAD BAJA			
DETALLE	MENSUAL		
	CANTIDAD	VALOR m³ (USD)	SUBTOTAL (USD)
VOLUMEN MENSUAL DESBORDE	24.053,76 m ³		
AHORRO DE AGUA TRATADA AL EVITAR DESBORDE	24.053,76 m ³	\$ 0,51	\$ 12.267,42
PÉRDIDA POR NO FACTURAR RUBRO POR ALCANTARILLADO	9.284,75 m ³	\$ 0,51	\$ 4.735,22
PÉRDIDA POR CONSUMO EXCESIVO DE ENERGÍA ELÉCTRICA	3.639,26 kWh	\$ 0,0715	\$ 260,29
TOTAL			\$ 17.262,93

Fuente: Datos archivos EPMAPS

Elaborado por: Juan Carlos Gancino

Cabe anotar que, con el volumen de agua perdido por desborde, se podría abastecer a 4.009 personas aproximadamente de manera mensual.

Los sistemas de protección eléctrica, tales como el SPCR (sistemas de protección contra rayos) y el SPPT (sistema de protección de puesta a tierra) protegerán al personal que labora en la estación, además del equipamiento electromecánico instalado.

Cronograma de actividades.

El cronograma de actividades se lo realizó en Project Professional (**figuras 43 y 44**), tomando en cuenta que, por tratarse de una Empresa Pública, la puesta en marcha de este proyecto se la realizará mediante el Portal de Compras Públicas, cumpliendo todos los requisitos que exige el Servicio Nacional de Contratación Pública (SERCOP), el cual es que el delimita fechas. En tal virtud se han tomado las fechas máximas que se establecen normalmente para un proyecto de esta magnitud.

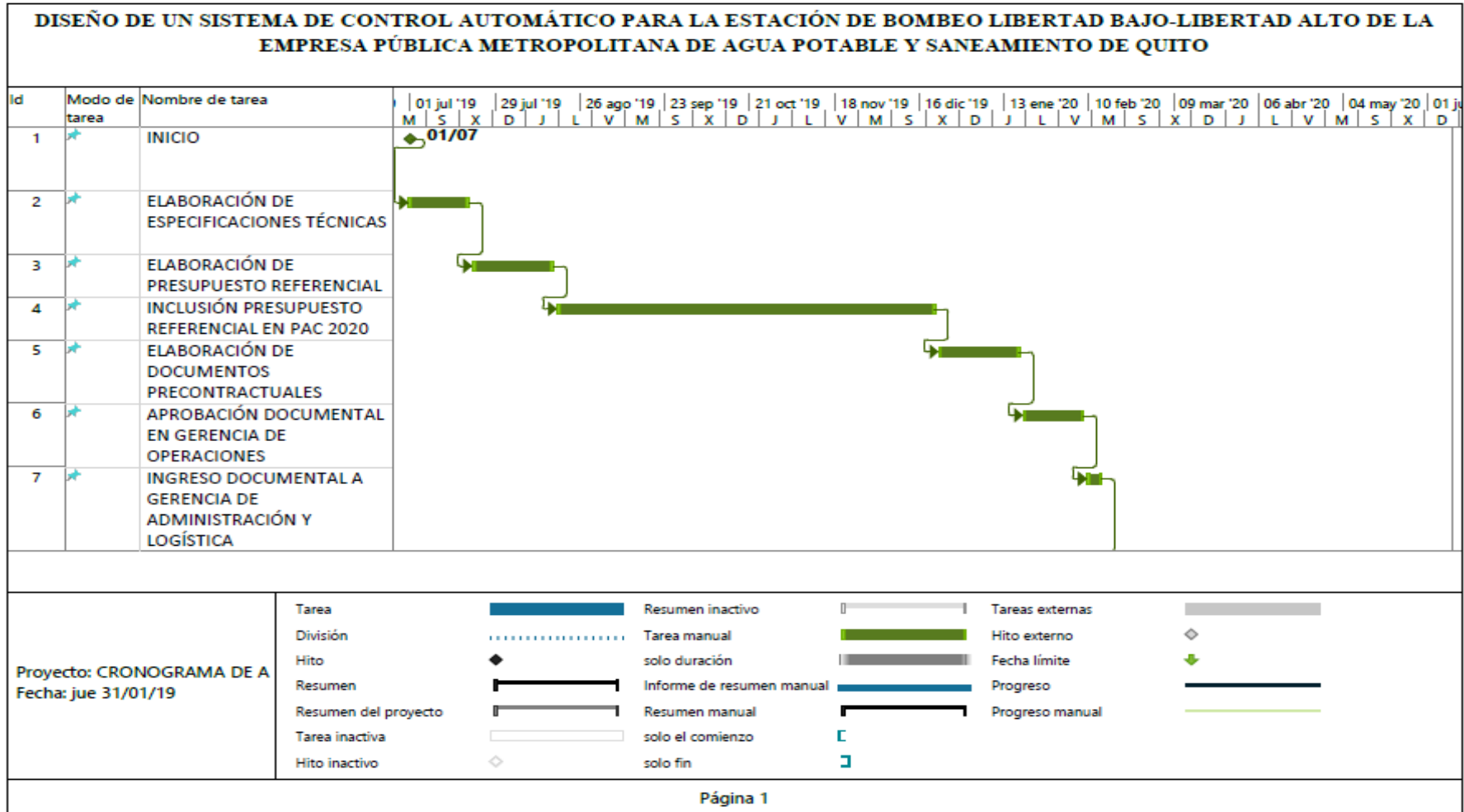


Figura 43. Cronograma actividades página 1 de 2
 Elaborado por: Juan Carlos Gancino

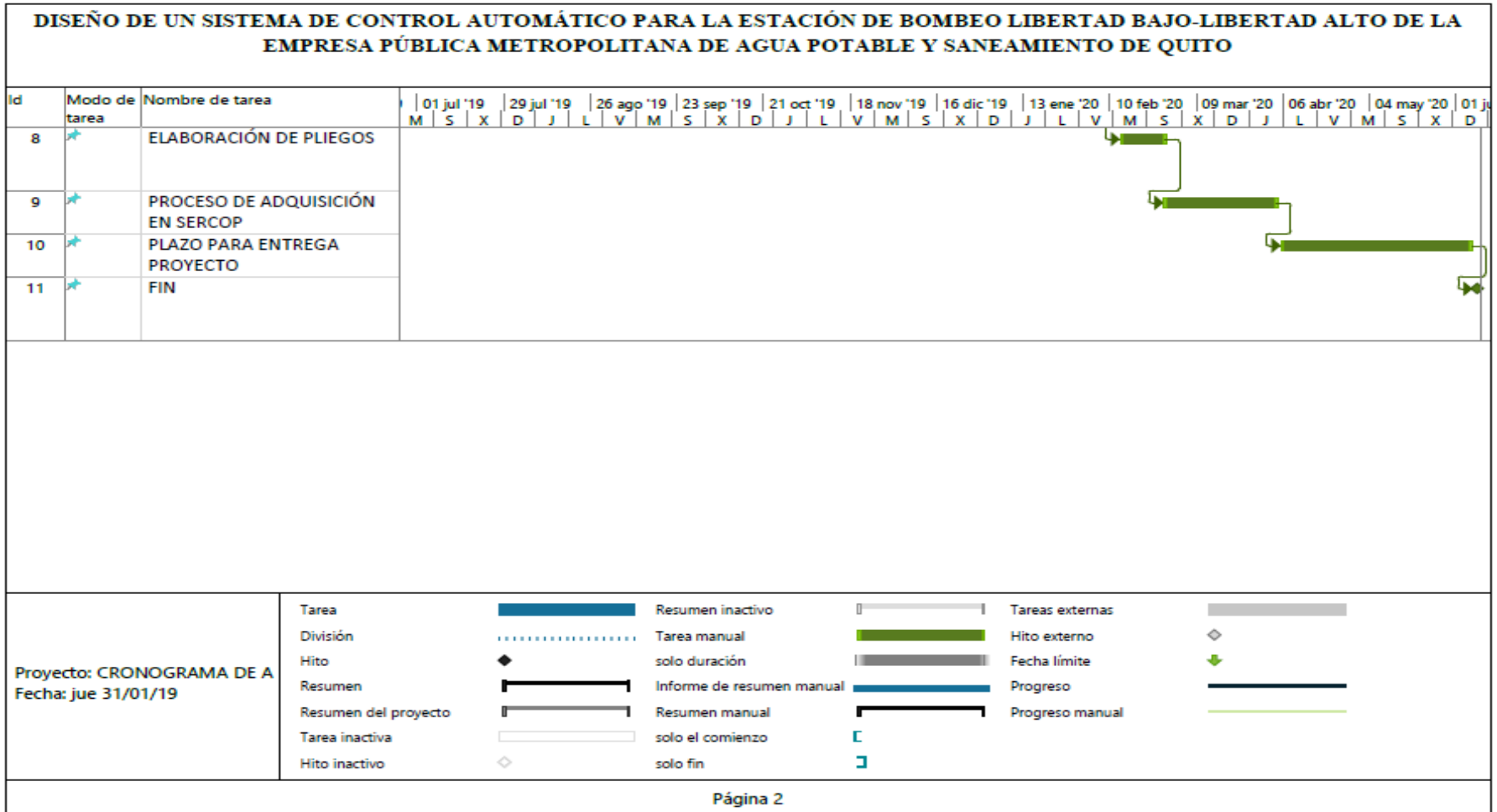


Figura 44. Cronograma de actividades página 2 de 2
 Elaborado por: Juan Carlos Gancino

Análisis de costos.

Análisis financiero.

De acuerdo al REGLAMENTO DE LEY DE RECURSOS HÍDRICOS USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA, Decreto Ejecutivo 650, publicado en el Registro Oficial, Suplemento 483 del 20 de abril del 2015, el cual establece:

“CAPITULO PRIMERO LAS JUNTAS ADMINISTRADORAS DE AGUA POTABLE

Art. 40.- Definición de Juntas y aplicación del derecho humano al agua. - De conformidad con lo previsto en el artículo 43 de la Ley, las Juntas Administradoras de Agua Potable son organizaciones comunitarias, **sin fines de lucro**, que tienen la finalidad de prestar el servicio público de agua potable, así como en su caso, el de saneamiento. Su accionar se fundamenta en criterios de eficiencia económica, sostenibilidad del recurso hídrico, calidad en la prestación de los servicios y equidad en el reparto del agua. Cuando las Juntas presten el servicio de saneamiento se llamarán Juntas Administradoras de Agua Potable y Saneamiento.

Las Juntas deben reconocer y aplicar el derecho humano al agua de la forma como se regula en la Ley en este Reglamento. Conforme a su carácter de derecho económico y social, la aplicación se fundamentará en principio de progresividad, a cuyos efectos las Juntas deberán formular un Plan de implementación para el que deberá colaborar el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal en cuya jurisdicción se encuentre la Junta. El Plan se comunicará a la secretaría del Agua. El saneamiento básico, como contenido del derecho humano al agua, se adecuará en cuanto a su contenido a las características hidrológicas y geográficas del territorio de la Junta sin que sea la única forma de cumplimiento la construcción de una red de alcantarillado.

El procedimiento para la creación de las nuevas Juntas de Agua Potable y adaptación de los Estatutos de las existentes lo determinará la Secretaría del Agua conforme lo determina la Ley.”(SECRETARÍA GENERAL JURÍDICA EC, 2015)

En cuanto a depreciación de los bienes, la Ley Orgánica de Régimen Tributario Interno dictamina lo siguiente:

“La depreciación de los activos fijos se realizará de acuerdo a la naturaleza de los bienes, a la duración de su vida útil y la técnica contable. Para que este gasto sea deducible, no podrá superar los siguientes porcentajes:

- (I) Inmuebles (excepto terrenos), naves, aeronaves, barcasas y similares 5% anual.
- (II) Instalaciones, maquinarias, equipos y muebles 10% anual.
- (III) Vehículos, equipos de transporte y equipo caminero móvil 20% anual.
- (IV) Equipos de cómputo y software 33% anual.

En caso de que los porcentajes establecidos como máximos en este Reglamento sean superiores a los calculados de acuerdo a la naturaleza de los bienes, a la duración de su vida útil o la técnica contable, se aplicarán estos últimos.”(SRI, 2017)

Con estos antecedentes y teniendo en cuenta que la misión de la EPMAPS es “Proveer servicios de agua potable y saneamiento con eficiencia y responsabilidad social empresarial”, todo esto sin fines de lucro, se ha decidido realizar el análisis financiero utilizando las metodologías del VAN (Valor Actual Neto), TIR (Tasa Interna de Retorno) y COSTO BENEFICIO.

Previo al cálculo del VAN y TIR, es necesario obtener las tasas referenciales activas máximas del Banco Central del Ecuador, para el sector público, así como la tasa de inflación estimada para el año 2019, realizada mediante el método asociativo con regresión lineal con información proporcionada por el Banco Central del Ecuador, datos obtenidos desde el año 2010 hasta el año 2018 de acuerdo a las tablas **28** y **29**, así como en la **figura 45**.

INFLACIÓN ACUMULADA EN ENERO DE CADA AÑO (Porcentajes, 2007-2019)



La inflación acumulada en enero de 2019 fue de 0,47% este es el mayor resultado desde el 2016. Cabe destacar que al ser coincidente la inflación acumulada en enero con la inflación mensual, las explicaciones de este resultado se detallan en la lámina 4.



Fuente: INEC

BANCO CENTRAL DEL ECUADOR
www.bce.ec



Figura 45. Inflación anual BCE.

Fuente: <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/PublicacionesNotas/Notas/Inflacion/inf201901>.

Realizado por: Juan Carlos Gancino

Cabe anotar que, el cálculo del VAN, TIR Y Costo-Beneficio se realizó de acuerdo a lo indicado en el texto “Evaluación de proyectos” (Urbina Baca, 2013).

Tabla 28. Inflación proyectada año 2019

N	AÑO	AÑOS TRANSFORMADOS (X)	INFLACIÓN ACUMULADA ANUAL (Y)	X ²	X*Y	Pronóstico de regresión (Yc)	(Y-Yc) ²	(Y-Ym) ²
1	2010	1	0,68	1	1	0,672	0,0001	0,0494
2	2011	2	0,57	4	1,14	0,618	0,0023	0,0126
3	2012	3	0,5	9	1,5	0,565	0,0042	0,0018
4	2013	4	0,72	16	2,88	0,511	0,0436	0,0688
5	2014	5	0,59	25	2,95	0,458	0,0175	0,0175
6	2015	6	0,31	36	1,86	0,404	0,0089	0,0218
7	2016	7	0,09	49	0,63	0,351	0,0680	0,1353
8	2017	8	0,19	64	1,52	0,297	0,0115	0,0717
9	2018	9	0,47	81	4,23	0,244	0,0512	0,0001
Σ		45	4,120	285	17,39	4,12	0,21	0,38

n	AÑO	AÑOS TRANSFORMADOS	INFLACIÓN PROYECTADA ANUAL
		X	Y
10	2019	10	0,19

Con los valores proporcionados y luego de desarrollar la ecuación, se tiene que para el año 2019 la inflación aproximada será de 0,19%

Fuente: Propia

Elaborado por: Juan Carlos Gancino

Tabla 29. Índices financieros para el cálculo del VAN y TIR

TASA	ANUAL	MENSUAL
Referencial Activa Máxima del BCE, para el sector público (<i>i</i>)	9,33%	0,778%
Tasa de inflación proyectada al año 2019 (<i>f</i>)	0.19%	0,0158%
Tasa de descuento D ($i+f+(i*f)$)	9,54%	0,793%

Fuente: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec>; <https://contenido.bce.fin.ec>

Elaborado por: Juan Carlos Gancino

De acuerdo a la Ley Orgánica de Régimen Tributario Interno, las instalaciones se depreciarán en 10 años, se ha tomado la decisión de realizar los cálculos del VAN y TIR de manera mensual solamente a cuatro meses, puesto que en el tercer mes el VAN es negativo, pero a partir del cuarto mes ya es positivo, todo esto por cuanto los valores de retorno son altos; estos datos se presentan en la **tabla 30**.

Tabla 30. Flujo de Caja.

	MES				
	0	1	2	3	4
INGRESOS					
COSTO POR DESPERDICIO DE AGUA TRATADA Y TASA DE ALCANTARILLADO (LUCRO CESANTE)	\$ 0,00	\$ 17.002,64	\$ 17.002,64	\$ 17.002,64	\$ 17.002,64
AHORRO POR ENERGÍA ELÉCTRICA	\$ 0,00	\$ 260,29	\$ 260,29	\$ 260,29	\$ 260,29
EGRESOS					
INVERSIÓN	\$ 52.763,22	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
DEPRECIACIÓN	\$ 0,00	\$ 439,69	\$ 439,69	\$ 439,69	\$ 439,69
FLUJO NETO DE CAJA (FNC)	-\$ 52.763,22	\$ 16.823,24	\$ 16.823,24	\$ 16.823,24	\$ 16.823,24

Fuente: Datos obtenidos en la investigación, Proformas.

Elaborado por: Juan Carlos Gancino

Cabe anotar que el valor de inversión de \$52.763,22 USD se obtiene del precio referencial de implementación del proyecto, el mismo que se encuentra detallado en el **ANEXO 7**.

Cálculo del VAN.

El cálculo del VAN se realiza con base a la siguiente fórmula:

$$VAN = -I_o + \sum_{i=1}^n \frac{FNC}{(1 + D)^n}$$

Donde:

<i>VAN:</i>	Valor Actual Neto
<i>I_o:</i>	Inversión inicial
<i>FNC:</i>	Flujo Neto de Caja
<i>n:</i>	Número de períodos
<i>D:</i>	Tasa de descuento.

Para el período 1:

$$P_1 = \frac{FNC}{(1 + D)^1} = \frac{16.823,24}{(1 + 0,00793)^1} = \$ 16.690,81$$

Para el período 2:

$$P_2 = \frac{FNC}{(1 + D)^2} = \frac{16823,24}{(1 + 0,00793)^2} = \$ 16.559,41$$

De la misma manera se procede para el cálculo de los periodos $P_3 \dots \dots \dots P_4$

A continuación, se realiza la suma de estos valores, los cuales se encuentran detallados en la **tabla 31**.

Tabla 31. Cálculo y Sumatoria de Períodos.

PERIODO (MES)	$\sum_{i=1}^n \frac{FNC}{(1+D)^n}$
1	\$ 16.690,81
2	\$ 16.559,41
3	\$ 16.429,06
4	\$ 16.299,73
Σ	\$ 65.979,01

Fuente: Propia

Elaborado por: Juan Carlos Gancino

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{FNC}{(1+D)^n}$$

$$VAN = -\$52.763,22 + \$65.979,01$$

$$VAN = \$13.215,78$$

Cálculo del TIR.

Para el cálculo del TIR se iguala a cero la ecuación del VAN y se despeja el valor de la tasa de descuento D, este valor es el TIR del proyecto. A continuación, se compara este valor con la tasa tomada para el cálculo del VAN y, de ser mayor, el proyecto tiene rentabilidad.

$$0 = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{FNC}{(1+TIR)^n}$$

Con el flujo neto de caja, según la **tabla 30**, se determina el valor del TIR, de indicado en la **tabla 32**.

Tabla 32. Cálculo del TIR mediante Excel

	MES				
	0	1	2	3	4
INGRESOS					
COSTO POR DESPERDICIO DE AGUA TRATADA Y TASA DE ALCANTARILLADO (LUCRO CESANTE)	\$ 0,00	\$ 17.002,64	\$ 17.002,64	\$ 17.002,64	\$ 17.002,64
AHORRO POR ENERGÍA ELÉCTRICA	\$ 0,00	\$ 260,29	\$ 260,29	\$ 260,29	\$ 260,29
EGRESOS					
INVERSIÓN	\$ 52.763,22	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
DEPRECIACIÓN	\$ 0,00	\$ 439,69	\$ 439,69	\$ 439,69	\$ 439,69
FLUJO NETO DE CAJA (FNC)	-\$ 52.763,22	\$ 16.823,24	\$ 16.823,24	\$ 16.823,24	\$ 16.823,24

TASAS MENSUALES		
TASA D		0,793% $(i+f+i*f)$
TASA BCE Activa Efectiva Máxima Para inversión Pública (enero 2019)(i)		0,778%
TASA DE INFLACIÓN (f)		0,0158%

TIR	10,49%
------------	---------------

Fuente: Datos BCE, Datos INEN 2019
Elaborado por: Juan Carlos Gancino

Cálculo del costo beneficio

El Cálculo del Costo Beneficio se realiza mediante la siguiente relación:

$$\frac{B}{C} = \frac{VAN}{I_0}$$

Donde:

- B*: Beneficio
C: Costo
VAN: Valor Actual Neto
I₀: Inversión inicial

$$\frac{B}{C} = \frac{VAN}{I_0} = \frac{\$13.215,78}{\$52.763,22} = 0,25$$

La teoría indica que, si la relación Beneficio/Costo es mayor a cero, entonces el Beneficio supera al costo, por tanto, el proyecto será rentable, la relación calculada es **0,25**.

A continuación, en la **tabla 33** se presenta un cuadro resumen con los índices financieros obtenidos en la investigación:

Tabla 33. Resumen Índices Financieros

ÍNDICE	DETERMINANTE PARA TOMA DE DECISIÓN	VALOR OBTENIDO	CONCLUSIÓN
VAN	MAYOR O IGUAL A 0	\$13.215,78	PROYECTO RENTABLE
TIR	MAYOR A D (0,79%)	10,49%	PROYECTO RENTABLE
COSTO-BENEFICIO	MAYOR A 0	0,25	PROYECTO RENTABLE

Fuente: Propia

Elaborado por: Juan Carlos Gancino

Finalmente se puede decir que, con los valores obtenidos del VAN, TIR y Costo Beneficio, el proyecto analizado es rentable para los intereses técnicos y económicos de la EPMAPS.

Glosario de Términos

EPMAPS: Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento.

UTP: (Unshielded Twisted Pair) Par trenzado sin blindaje.

STP: (Shielded Twisted Pair) Par trenzado blindado.

GSM: (Global System for mobile Communications) Sistema global para comunicaciones móviles.

GPRS: (General Packet Radio Service) Paquete general de radio servicio.

INTENSIDAD: La intensidad de corriente eléctrica (I) es la cantidad de electricidad o carga eléctrica (Q) que circula por un circuito en la unidad de tiempo (t). Para denominar la Intensidad se utiliza la letra I y su unidad es el **Amperio(A)**.

AWG: (American Wire Gauge) Calibre de alambre americano.

ROTOR JAUDA DE ARDILLA: Es la parte que rota usada comúnmente en un motor de inducción de corriente alterna.

CAPACITOR: También conocido como condensador es un dispositivo capaz de almacenar energía a través de campos eléctricos.

FACTOR DE POTENCIA: Es la relación de la potencia activa usada en un circuito, expresada en vatios o kilovatios (KW), a la potencia aparente que se obtiene de las líneas de alimentación, expresada en voltio-amperios o kilovoltio-amperios (KVA).

CUMULONINBUS: Es un tipo de nube de desarrollo alto, denso, con tormenta y mal tiempo. Su base suele encontrarse a menos de 2.000 m de altura mientras que la cima puede alcanzar unos 15.000 - 20.000 m de altura.

NIVEL ISOCERÁUNICO: Es el número promedio de días al cabo del año en los que hay tormenta. Se considera día con tormenta a aquel en el que al menos se oye un trueno.

SPT: Sistemas de puesta a tierra.

IMPEDANCIA: Oposición combinada de elementos del circuito al paso de corriente.

PLC: Controlador lógico programable

CAPITULO IV.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones.

Del análisis expuesto en el proceso de bombeo en la estación Libertad Baja, así como en el proceso de llenado del tanque de reserva Libertad Alto y con base en los objetivos planteados, se precisa que el principal problema existente en este sistema es el desborde del tanque Libertad Alto, ocasionado por un ausente sistema de control automático, puesto que, actualmente el sistema de bombeo está subordinado a la experiencia empírica del operador.

- De los datos de caudal obtenidos en las 744 horas de estudio, tanto a la salida de la estación de bombeo, así como a la salida del tanque de reserva, se determina que existe un desborde considerable, puesto que el caudal promedio de la estación de bombeo es de 19,61 l/s y el caudal promedio de distribución del tanque de reserva es de 10,33 l/s, ocasionando una pérdida del recurso hídrico tratado de 24.053,76 metros cúbicos mensuales.

En este sentido, el valor que recuperaría la EPMAPS por concepto de Lucro Cesante por los valores de agua potable y tasa de alcantarillado sería de \$17.002,64 USD mensuales. Además, actualmente la estación de bombeo se encuentra encendida un 84,31% del tiempo diario, es decir, de las 24 horas del día, se encuentra encendida 20,23 horas. De llegarse a implementar el sistema de control, estaría encendida 13,64 horas al día, lo que conllevaría a un ahorro adicional de energía eléctrica de 260,29 dólares mensuales.

- En cuanto al medio de transmisión, luego de realizar la metodología de matriz de Pugh, la mejor alternativa resultó ser la transmisión mediante un medio guiado entre la estación de bombeo y el tanque de reserva por medio de Fibra Óptica.

- El sistema de control seleccionado es mediante un sensor de nivel ultrasónico, el cual envía la señal digital hacia el PLC instalado en la estación de bombeo para encender o apagar las bombas de manera alternada, mediante un sistema de arranque suave, todo esto con un sistema de protección contra rayos y un sistema de puesta a tierra adecuadamente calculado, protegiendo de esta manera la vida útil de los equipos, así como al personal que labora en el sistema.
- Dentro del estudio financiero mensual realizado mediante las metodologías del VAN, TIR y COSTO BENEFICIO, con los valores obtenidos de \$13.215,78 USD; 10,49% y 0,25 respectivamente se concluye que la solución estudiada es rentable para los intereses técnicos y económicos de la EPMAPS, ya que el valor del VAN se encuentra por sobre los valores del dinero en el tiempo para un proyecto (el valor es mayor a cero), el porcentaje del TIR es mayor a la tasa de descuento, la cual es de 0,793% mensual y la relación Beneficio/Costo es mayor a cero, lo que indica que el beneficio es mayor al costo. Cabe anotar que éste estudio se realizó de manera mensual para poder observar mejor los valores estudiados. Además, de implementarse el sistema de control automático de la EB Libertad Baja y del Tanque de Reserva Libertad Alto, se optimizará no solo los recursos físicos e hídricos, también se podrá distribuir el volumen desbordado a 4.009 personas de manera mensual, aumentando así el porcentaje de cobertura del Distrito Metropolitano, siendo este uno de los principales Índices de Gestión de la EPMAPS.

Recomendaciones.

- La EPMAPS, al ser una Empresa de Servicios líder en la prestación de servicios dentro de la región, debe contar con sistemas de control automáticos en todas las estaciones de bombeo, por lo que se recomienda implementar el Diseño de Control Automático de la estación de Bombeo Libertad Baja-Libertad Alto.
- Los instrumentos de control y medición deben estar acordes a los avances tecnológicos, sin embargo, en la Estación de Bombeo y el Tanque de Reserva se encuentran medidores de flujo, de presión y de nivel obsoletos o inexistentes, por lo que se recomienda instalar un equipamiento moderno, con integración de las señales a las bases de datos que poseen los diferentes departamentos.
- La solución propuesta puede ser mejorada con el tiempo, de acuerdo a los avances tecnológicos y, de ser el caso integrada al sistema Scada que posee la EPMAPS.
- La EPMAPS posee varios puntos conflictivos en cuanto a desborde de caudales se refiere, por lo que se recomienda crear un equipo de trabajo conformado por profesionales con experiencia en sistemas de control, hidráulica, comunicaciones, para proponer soluciones efectivas a corto y mediano plazo a fin de minimizar las pérdidas de agua tratada y ahorrar recursos económicos, manteniendo también de mejor manera el equipamiento e instalaciones.

Bibliografía

- ABB. (Sin Fecha). *FORMULAS PRÁCTICAS*. 10.
- Aguilar A., Bravo F., y otros. (2009). *GEOMETRÍA Y TRIGONOMETRÍA*,
Primera Edición.
- Autonell, J., Balcells, y otros. (2010). *Eficiencia en el uso de la Energía Eléctrica*.
Marcombo.
- Banco Mundial. (2016). ¿Habrà suficiente agua para todos? Recuperado el 4 de
noviembre de 2018, de World Bank website: <http://www.bancomundial.org/es/news/feature/2016/03/31/peru-habra-suficiente-agua-para-todos>
- Banco Mundial. (2018). Grupo Banco Mundial y GSMA anuncian alianza para
maximizar Grandes Datos del Internet de las Cosas para el desarrollo.
Recuperado el 27 de noviembre de 2018, de World Bank website:
<http://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2018/02/26/world-bank-group-and-gsma-announce-partnership-to-leverage-iot-big-data-for-development>
- Barry Render, J. H. (2009). *Principios de ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES* (Séptima edición). México: PEARSON EDUCACIÓN,.
- Calvo L. (1980). *COMPARACIÓN DE DEMANDAS DE DISEÑO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE DISTRIBUCIÓN.- APLICACIÓN AL ÁREA URBANA DE QUITO* (ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL).
- CIEPI. *Código Eléctrico Ecuatoriano*, (1973).
- Comité ejecutivo de la Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2011). *NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN NEC*.

Diario La Hora. (2018, septiembre 21). Cada quiteño gasta de 200 a 220 litros de agua por día. Recuperado el 1 de diciembre de 2018, de La Hora Noticias de Ecuador, sus provincias y el mundo website: <https://www.lahora.com.ec/quito/noticia/1102187676/cada-quiteno-gasta-de-200-a-220-litros-de-agua-por-dia>.

ELECTROCABLES. (2012). Catálogo Electrocables : Caminos de Energía.

Encalada, A. (2013). *IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE PARARRAYOS PARA LOS EQUIPOS DE LA ESTACIÓN BASE DE LA TORRE 1 DE LA RADIO UNIVERSITARIA 98.5 MHz* (Universidad Nacional de Loja).

Hernández Sampieri R., Fernández Collado C., & Baptista Lucio P. (2010). *Metodología de la Investigación* (5° Edición).

Indicadores-tecnicos-ARCA-2015_red.pdf. (s/f). Recuperado de http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/12/indicadores-tecnicos-ARCA-2015_red.pdf

Arcioni J. & Gimenez J. (2015). *Sistemas de protección contra rayos*. Recuperado de https://www.editores-srl.com.ar/sites/default/files/ie296_arcioni_gimenez_sistemas_de_proteccion_contra_rayos.pdf

Kling Sören. (2002). *56-63 M647 SPA.pdf*. Recuperado de <https://library.e.abb.com/public/e7f5bee372e4ba0bc1256ddd00347076/56-63M647SPA.pdf>

Laroze L., Fuster G., & Porras N. (2013). *Concepto y Magnitudes en Física* (PRIMERA EDICIÓN).

Memoria de sostenibilidad Agua de Quito 2016.pdf. (s/f).

- Obras Sanitarias del Estado / Uruguay. (2017). Agua No Contabilizada.,
Recuperado el 4 de noviembre de 2018, de <http://www.ose.com.uy/agua/agua-no-contabilizada>
- Orbea E. (2017). MAPA ISOCERÁUNICO DEL ECUADOR.
- Ruelas R. (S. F.). *DESCARGAS ATMOSFERICAS... TEORIA Y DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA.*
- Rodríguez M. (2013). *ELECTROTECNIA PARA INGENIEROS NO ESPECIALISTAS. 32.*
- Secretaría General Jurídica EC. *REGLAMENTO LEY RECURSOS HIDRICOS USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA. , (2015).*
- SIEMENS. (2014). *Hotline Técnica – FAQ.* Recuperado de <https://www.industry.siemens.com/topics/aan/es/hotline/Documents/1/2014.pdf>
- Solé, A. C. (2008). *Instrumentos industriales, su ajuste y calibración* (Tercera Edición). Barcelona: Marcombo.
- SRI. *LEY ORGÁNICA DE RÉGIMEN TRIBUTARIO INTERNO. , (2017).*
- Urbina Baca. (2013). *Evaluación de Proyectos* (Séptima). México, D.F.: McGraw Hill.

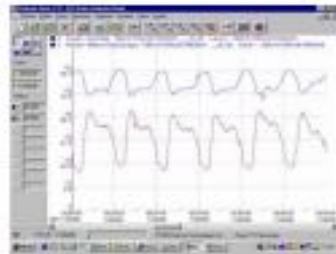
ANEXOS

ANEXO 1.- Ficha técnica Lolog Vista.

Sectorización y Telecontrol

LOLOG LL - V

REGISTRADOR DE DATOS DE CAUDAL Y PRESIÓN
CON PANTALLA DE VISUALIZACIÓN



- Gran capacidad de almacenamiento
- Totalmente sumergible, IP68





LOLOG LL - V

Ventajas

- Gran capacidad de almacenamiento
- Excepcional robustez
- Totalmente sumergible, IP68
- Gran autonomía, > 5 años
- Transductor de presión interno autoalimentado
- Comunicación de datos con agenda electrónica PDA



Aplicaciones

- Toma de datos de caudal y/o presión para calibración de modelos matemáticos
- Control de fugas por sectores
- Registro de caudales de grandes consumidores
- Dimensionamiento de contadores de uso industrial y doméstico



Especificaciones técnicas

Señales de entrada	<ul style="list-style-type: none">- Digital: Tipo REED o pulso libre de tensión y colector abierto (frecuencia máxima 64 Hz)- Analógica: 4 - 20 mA- Presión: Transductor interno de presión de rango 0 a 5 bar, 0 a 10 bar, 0 a 15 bar y 0 a 20 bar.
Registro de datos	<ul style="list-style-type: none">- Capacidad para 16.000 lecturas- Intervalo de registro programable desde 1 seg. hasta 60 minutos- Almacenamiento continuo-cíclico de datos- Modo de registro: por conteo o por tiempo-suceso
Comunicación	<ul style="list-style-type: none">- Interface RS232 por infrarrojos para programación/interrogación con PC o con agenda electrónica PDA a 9.600 b.p.s.- Software de análisis de datos (ficheros manuales e históricos de lugar) bajo entorno Windows en castellano.
Alimentación	<ul style="list-style-type: none">- Batería de litio con autonomía mínima de 5 años- Batería reemplazable al final de su vida útil- Sensor de presión interno alimentado por la batería del registrador
Características físicas	<ul style="list-style-type: none">- Carcasa de aleación de aluminio con protección IP68, totalmente sumergible- Dimensiones: 220mm x 110mm x 45mm.- Peso: 0,5 Kg.- Temperatura de trabajo: -10°C hasta + 50°C
Pantalla de visualización	<ul style="list-style-type: none">- Pantalla LCD de 5 dígitos- Visualización de los valores instantáneos del caudal y de la presión- Visualización del volumen total acumulado (12 dígitos)- Introducción de la lectura de volumen acumulado en el contador

v. 2.9

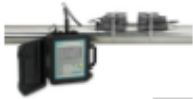
ANEXO 2.- Ficha técnica Flujómetro portátil ultrasónico

SIEMENS



Ultrasonic Clamp-on Flow Meter
SITRANS FUP1010 (Portable)

Description



The SITRANS FUP1010 clamp-on non-intrusive ultrasonic flowmeter offers maximum versatility plus battery power for portable field use. It can operate in either WideBeam transit time or Doppler mode, making it suitable for virtually any liquid.

SITRANS FUP1010 is ideal for general flow survey work where high accuracy is required. It is being offered in single and dual channel/path configurations in a weatherproof enclosure. The portable meter is also available as a pre-configured Water Check Metering Kit for the water and wastewater industry.

Application examples include raw and potable water, sludges, mixed liquor, hot and cold water systems, thermal energy and batching.

Pair the SITRANS FUS1010 with the SITRANS F US Thickness Gauge to ensure precise flow measurement.

➤ [SITRANS FUP1010 Ultrasonic Clamp-on flow meter catalog specification sheet](#)

Detail

Specifications

Measuring range	±12 m/s (±40 ft/s) bidirectional
Nominal sizes	DN 6 to DN 9140 (0.25" to 360")
Accuracy	±0.5 to 2.0% at ≥0.3 m/s (1ft/s)
Repeatability	±0.15% at ≥0.3 m/s (1ft/s)
Inputs	4 analog, 4 status, 4 frequency
Outputs	4 analog, 2 temperature
Communication	RS232
Ambient temperature	-18 to 60 °C (0 to 140 °F)
Medium temperature	-40 to 230 °C (-40 to 450 °F)
Enclosure ratings	IP67
Approvals	UL, ULc, CE

Benefits

- Facilitates use in the field thanks to meter portability and one hour quick charge for four hours of normal operation
- Withstands rain damage and rough treatment that would destroy most other meters
- Minimizes capital cost by allowing simultaneous measurement of two pipes (dual channel)
- Allows storage of numerous site data, making it very suitable for survey use
- Measures a wide variety of liquid applications

ANEXO 3.- Ficha técnica conductor THHN



THHN



Aplicaciones THHN

Los conductores de cobre tipo THHN o THWN-2 son utilizados para circuitos de fuerza y alumbrado en edificaciones industriales, comerciales y residenciales, son especialmente aptos para instalaciones especiales por ductos difíciles y usarse en zonas abrasivas o contaminadas con aceites, grasas, gasolinas, etc. y otras sustancias químicas corrosivas como pinturas, solventes, etc., tal como se especifica en el National Electrical Code. Este tipo de conductor cuando es utilizado como THHN puede ser usado en lugares secos con temperatura máxima de operación de 90 °C, pero si es utilizado como THWN-2 puede ser usado en lugares secos y húmedos con temperatura máxima de operación de 90 °C, así mismo cuando están expuestos a aceites, grasas, pinturas, solventes químicos, etc., su temperatura máxima de operación es 75 °C. En cuanto a su tensión de servicio, para todas las aplicaciones, es de 600 V.

Especificaciones THHN

Los conductores de cobre tipo THHN o THWN-2 fabricados por ELECTROCABLES C.A., cumplen con las siguientes especificaciones y normas:

- **ASTM B-3** : Alambres de cobre recocido o suave.
- **ASTM B-8** : Conductores trenzados de Cobre en capas concéntricas, duro, semiduro o suave.
- **UL - 83** : Alambres y cables aislados con material termoplástico.
- **NEMA WC-5** : Alambres y cables aislados con material termoplástico (ICEA S-61-402) para transmisión y distribución de energía eléctrica.

Además de todos los requerimientos del National Electrical Code.

Construcción THHN

Los conductores tipo THHN o THWN-2 pueden ser sólidos o cableados y están contruidos con cobre de temple suave, están además aislados con una capa uniforme de material termoplástico Cloruro de Polivinilo (PVC) resistente a la humedad y al calor, sobre la cual se aplica una cubierta protectora de Nylon o poliamida. Pueden ser suministrados en colores variados según su calibre y con distintas formas de embalaje.

Detalles del THHN



Conductor de Cobre
Aislante de material termoplástico PVC 600V. - 90 °C
Chaqueta de Nylon

Detalles del THHN



Conductor de Cobre
Aislante de material termoplástico PVC 600V. - 90 °C
Chaqueta de Nylon

Conductores de Cobre tipo THWN y THHN

Conductor elaborado bajo normas:

NEMA WC-5 • ICEA S-61-402 • ASTM B3, B8 • UL STANDARD 83 • INEN

Forma de Embalaje:

- A: Rollo de 100 m.
- B: Carrete de 1500 m.
- C: Carrete de 1000 m.
- D: Carrete de 500 m.
- E: Carrete múltiplo de 1000 m.
- Z - Long. a requerimiento del cliente.

Colores Disponibles:

Cables (calibres 20 al 10 AWG): Negro, blanco, celeste, azul, rojo, púrpura, amarillo y verde.
Cables (calibres 8 al 2 AWG): Negro, blanco, azul y rojo.
Cables (calibres 1 al 1000 AWG): Negro.
CALIBRES SUPERIORES(DESDE EL 750 MCM HASTA EL 1.000 MCM), BAJO REQUERIMIENTO.

CALIBRE AWG ó MCM	SECCION mm ²	FORMACION No. de hilos por diámetro mm.	ESPESOR AISLAMIENTO mm.	ESPESOR CHAQUETA mm.	DIAMETRO EXTERIOR mm.	PESO TOTAL Kg/Km	CAPAC. DE CORRIENTE para 1 conductor al aire libre Amp.	CAPAC. DE CORRIENTE para 3 conductores en conduit Amp.	TIPO CABLE
20	0,519	1 x 0.813	0,38	0,10	1,77	7,07	15	10	TFN
18	0,823	1 x 1,02	0,38	0,10	1,98	10,94	15	10	TFN
16	1,31	1 x 1,29	0,38	0,10	2,25	16,48	20	15	TFN
14	2,08	1 x 1,63	0,38	0,10	2,59	23,17	35	25	THHN
12	3,31	1 x 2,05	0,38	0,10	3,01	34,16	40	30	THHN
10	5,26	1 x 2,59	0,51	0,10	3,81	55,04	55	40	THHN
8	8,34	1 x 3,26	0,76	0,13	5,04	91,22	80	55	THHN
16	1,31	19 x 0,30	0,38	0,10	2,46	17,95	20	15	TFN
14	2,08	19 x 0,38	0,38	0,10	2,86	23,80	35	25	THHN
12	3,31	19 x 0,47	0,38	0,10	3,31	35,70	40	30	THHN
10	5,26	19 x 0,60	0,51	0,10	4,22	56,20	55	40	THHN
8	8,37	7 x 1,23	0,76	0,13	5,47	93,70	80	55	THHN
6	13,30	7 x 1,55	0,76	0,13	6,43	141,30	105	75	THHN
4	21,15	7 x 1,96	1,02	0,15	8,22	227,60	140	95	THHN
2	33,62	7 x 2,47	1,02	0,15	9,75	348,10	190	130	THHN
1	42,36	7 x 2,78	1,27	0,18	11,24	446,20	220	150	THHN
1/0	53,49	19 x 1,89	1,27	0,18	12,35	553,30	260	170	THHN
2/0	67,43	19 x 2,12	1,27	0,18	13,50	688,70	300	195	THHN
3/0	85,01	19 x 2,39	1,27	0,18	14,85	856,80	350	225	THHN
4/0	107,20	19 x 2,68	1,27	0,18	16,30	1069,50	405	260	THHN
250	127,00	37 x 2,09	1,52	0,20	18,07	1263,00	455	290	THHN
300	152,00	37 x 2,29	1,52	0,20	19,47	1502,00	505	320	THHN
350	177,00	37 x 2,47	1,52	0,20	20,73	1743,00	570	350	THHN
400	203,00	37 x 2,64	1,52	0,20	21,92	1981,00	615	380	THHN
500	253,00	37 x 2,95	1,52	0,20	24,09	2457,00	700	430	THHN
600	304,00	37 x 3,23	1,78	0,23	26,63	2960,00	780	475	THHN
650	329,00	37 x 3,37	1,78	0,23	27,61	3221,00	820	500	THHN
700	355,00	37 x 3,49	1,78	0,23	28,45	3453,00	855	520	THHN

ANEXO 4.- Ficha técnica sensor de nivel SENIX-ToughSonic 14.

ToughSonic® REMOTE 14 Level Sensor

Level & Distance Data Collection for Remote Monitoring

REMOTE Series

REMOTE sensors are designed for level and distance measurement in remote monitoring and other demanding outdoor applications. Surge protection assures reliable performance in lightning prone areas, and they consume less power than our other models.

Connect to one sensor or up to 32 sensors in an RS-485 network group. Whether your data needs are simple or complex this sensor can handle them. Connect with displays, RTUs, PLCs, PCs or custom systems.

These all-weather sensors provide years of maintenance free service and survive submersion.



**Non-Contact
Ultrasonic
Distance & Level
Measurement**

Communications

Addressable Modbus RTU industry standard protocol is supported by PCs and most monitoring equipment.

Protocol options also include simple ASCII or phased high speed multi-sensor data collection for special applications.

Baud rate selectable from 9600 to 115k to meet your needs.

Operating mode can be either measure-on-poll or free-running. When free running the latest data is returned on poll. In either mode sensor data may be filtered or averaged by pre-selected algorithms.

SenixVIEW software supports configuration and testing of one sensor or a group (network) of sensors. It also allows storage and recall of setups for fast sensor cloning (copying) to save time.



**SenixVIEW PC
Software Included!**

Features & Benefits

Rugged Packaging contains electronics and cable potted into a stainless 316 housing for reliable performance in wet or dirty environments.

Smart Ultrasonics gives you control of sensor parameters to optimize performance in each application. Additional support features include data logging, statistics and output test features for installation and verification.

Distance Measurements are made without contact with the liquid or solid material and are:

- Long range, short dead band
- Unaffected by optical factors like color and transparency
- Narrow beam with adjustable sensitivity to suit your needs
- Temperature compensated
- No warmup, ready to measure within 1 second of power on

Indoor & Outdoor

The REMOTE 14 offers high performance, short distance measurement in challenging remote monitoring installations and many other environments.

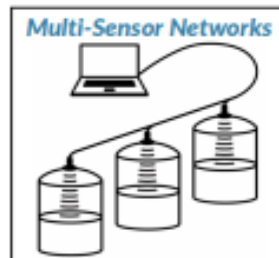
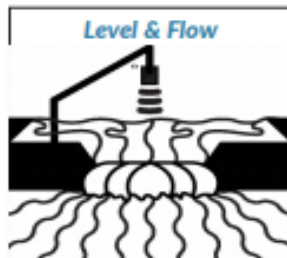
Surge Protected for transients up to 7 kV on the data and power circuits – 75% stronger immunity than CE EMC directives, for improved lightning resistance.



21% Lower Power consumption than our ToughSonic 14 for solar/battery installations.

Some Example Applications:

- Irrigation control
- Open channel flow
- Conveyor contents profiling
- Agricultural machine control
- Liquid tank networks
- SCADA* level sensing (*Supervisory Control and Data Acquisition)



TOUGHSONIC®
Tough. Smart.

800 677 3649 802 489 7300 10516 Route 116 Suite 300, Hinesburg, VT 05461 USA
Fax: 802 489 7400 e-mail: sales@senix.com web: senix.com

Senix
distance & level sensors



Senix® Corporation, 10516 Route 116 Suite 300, Hinesburg, VT 05461 USA

Phone: 800 677 3649 or 802 489 7300 FAX: 802 489 7400

Web: senix.com E-mail: sales@senix.com

ToughSonic® REMOTE 14 Level Sensor

Specifications

Optimum Range *	10 ft. (3 m)	Max. Range *	14 feet (4.3 m)
Deadband	Typ. < 4 in. (100 mm)	Beam Width	6° ± 1° off axis @ -3db
Case Material	316 stainless steel	Configuration	Stored in sensor's non-volatile memory
Temperature	-40 to 158 F (-40 to 70 C)	Data Output	Modbus, ASCII streaming, specials
Humidity	0 to 100% operating	Transducer	120 kHz, Ruggedized Piezoelectric
Compensation	Selectable temperature compensation	Protection	NEMA-4X, NEMA-6P, IP68
Data Resolution	0.0034 in. (0.086 mm) per count	Adjustment	SenixVIEW PC Software
Repeatability	Nominal 0.2% of range @ constant temp. Affected by target, distance, environment		
Update Rate	20 Hz (50 ms), SenixVIEW adjustable; also affected by SenixVIEW filter selections		
Modbus Protocol	Modbus RTU, 9600 to 115200 baud, 8 data bits, 1 stop, no parity		
ASCII Protocol	Five ASCII distance characters followed by Carriage Return; for single sensor connections only		
RS-485 Networks	From 1 to 32 sensors can operate in an addressable multi-drop network		
Ready time	< 1 second after power application		
Cable	2m standard length, potted into sensor body, PUR with shield and drain, other lengths available		
Conformance	CE, RoHS, fast transient protection exceeds IEC 61000-4-4		

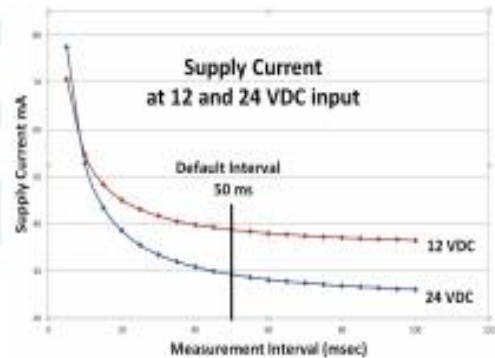
Target Requirements

Objects	Detects liquid surface, flat or curved objects. Surface must reflect ultrasound to sensor
Distance Ranges (**)	Affected by size, shape, orientation of target (sound level reflected back to sensor), environment Restrict use to Optimum Range when using over a wide range of environmental conditions
Orientation	Sensor should be oriented perpendicular to liquid surface for maximum reflection
Optical	Unaffected by target color, light, transparency or other optical characteristics

Connections

Connection	Wire	Description
Power (**)	Brown	10-30 VDC @ 80 mA max Typical: 30 mA @ 24 VDC
Ground	Blue	Power & interface common
RS-232 out	Gray	Serial data connection (depends on model)
RS-485-	Gray	Serial data connection (depends on model)
RS-232 in	Yellow	Serial data connection (depends on model)
RS-485+	Yellow	Serial data connection (depends on model)

(**) Continuous measurements at default interval.
Minimum 15 VDC input for optimum sensitivity.

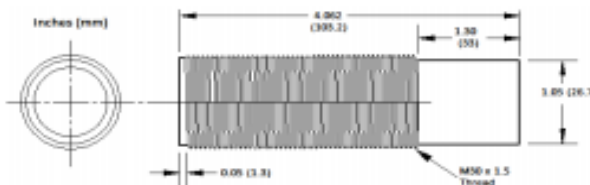


Part Numbers

Model Number	Description
U14-REMOTE-232	Sensor with serial RS-232 interface (limited to single sensor connections)
U14-REMOTE-485	Sensor with serial RS-485 interface (allows addressable multi-sensor networks)

Senix also offers interconnection, communications, mounting, and display components

Dimensions



Mechanical

Dimensions are in inches (mm)
Mounting Hole: 1.2 in. (30.5 mm) diameter

Standard Cable: 6.5ft (2m)

Ships with manual and two 30mm SS316 mounting nuts (mounting brackets available)

Weight: 10.4 oz (0.29 kg)

ANEXO 5.- Diagramas de fuerza y de control

ANEXO 6.- Ficha técnica relé inteligente modular (PLC) marca SCHNEIDER, modelo ZELIO LOGIC

Ficha técnica del producto SR3B101BD

Características

relé inteligente modular Zelio Logic - 10 E S - 24 V CC – relógio - visor



Principal

Gama de producto	Zelio Logic
Tipo de producto o componente	Reles inteligente modular

Complementario

Visualización local	Donde
Número de líneas de esquema de control	0...500 with FBD programming 0...240 with ladder programming
Tiempo de ciclo	6...90 ms
Tiempo de backup	10 años en 25 °C
Deriv. reloj	6 s/mes en 25 °C 12 min/año en 0...55 °C
Comprobaciones	Memoria de programa en cada inicialización
[Us] tensión de alimentación nominal	24 V
Límites tensión alimentación	19.2...30 V
Corriente de alimentación	100 mA (con extensiones) 100 mA (sin extensión)
Potencia disipada en W	3 W sin extensión 8 W con extensiones
Protección contra inversión de polaridad	Con
De pie conducto	6 acorde a EN/IEC 61131-2 tipo 1
Tipo de entrada digital	Resistivo
Voltaje entrada	24 V CC
Corriente de entrada discreta	4 mA
Frecuencia de contaje	1 kHz para entrada digital
Estado de tensión 1 garantizado	>= 15 V para circuito de entrada digital I1...IA y IH...IR >= 15 V para IB...IG usado como circuito de entrada digital
Estado de tensión 0 garantizado	<= 5 V <= 5 V para circuito de entrada digital I1...IA y IH...IR <= 5 V para IB...IG usado como circuito de entrada digital
Current state 1 guaranteed	>= 1.2 mA for IB...IG used as discrete input circuit >= 2.2 mA for I1...IA and IH...IR discrete input circuit
Current state 0 guaranteed	<= 0.5 mA for IB...IG used as discrete input circuit <= 0.75 mA for I1...IA and IH...IR discrete input circuit

Descargo de responsabilidad: Esta documentación no ha sido diseñada como reemplazo, ni se debe utilizar para determinar la idoneidad o la confiabilidad de estos productos para aplicaciones específicas de usuarios

Fase marcador	PNP de sensores de proximidad de 3 hilos (entrada digital)
Número de entrada analógica	4
Tipo de entrada analógica	Modo comum
Rango de entrada analógica	0...10 V 0...24 V
Tensión máxima admisible	30 V (circuito entrada analógica)
Resolución de entrada analógica	8 bits
Clip-en las cubiertas	39 mV (circuito entrada analógica)
Tiempo conversión	Tempo de ciclo de relés inteligente para circuito entrada analógica
Error de conversión	+/- 5 % en 25 °C para circuito entrada analógica +/- 6.2 % en 55 °C para circuito entrada analógica
Precisión de repetición	+/- 2 % en 55 °C para circuito entrada analógica
Distancia de funcionamiento	10 m entre estaciones, con cable blindado (sensores no aislado) para circuito entrada analógica
Tapa de conexiones trasero	12 kOhm (IB...IG usado como circuito de entrada analógica) 12 kOhm (IB...IG usado como circuito de entrada digital) 7.4 kOhm (circuito de entrada digital I1...IA y IH...IR)
Número de salidas	4 relé salidas
Limites de tensión de salida	24...250 V AC (salida del relé) 5...30 V CC (salida del relé)
Tipo de contactos y composición	NA para salida del relé
Corriente térmica de salida	8 A para as 4 salidas (salida del relé)
Durabilidad eléctrica	500000 cycles AC-12en 230 V, 1.5 Afor salida del relé conforming to EN/IEC 60947-5-1 500000 cycles AC-15en 230 V, 0.9 Afor salida del relé conforming to EN/IEC 60947-5-1 500000 cycles DC-12en 24 V, 1.5 Afor salida del relé conforming to EN/IEC 60947-5-1 500000 cycles DC-13en 24 V, 0.6 Afor salida del relé conforming to EN/IEC 60947-5-1
Capacidad de conmutación en mA	>= 10 mA en 12 V (salida del relé)
Rango de operación en hz	0.1 Hz (a le) para salida del relé 10 Hz (sin carga) para salida del relé
Durabilidad mecánica	10000000 cycles (salida del relé)
[Uimp] Tensión asignada de resistencia a los choques	4 kV acorde a EN/IEC 60947-1 y EN/IEC 60664-1
Reloj	Donde
Tiempo respuesta	10 ms (de estado 0 a estado 1) para salida del relé 5 ms (de estado 1 a estado 0) para salida del relé
Conexiones - terminales	Terminales de tornillo, capacid sujeción: 1 x 0,2...1 x 2,5 mm² AWG 25...AWG 14 semi-sólido Terminales de tornillo, capacid sujeción: 1 x 0,2...1 x 2,5 mm² AWG 25...AWG 14 sólido Terminales de tornillo, capacid sujeción: 1 x 0,25...1 x 2,5 mm² AWG 24...AWG 14 Flexible con terminal Terminales de tornillo, capacid sujeción: 2 x 0,2...2 x 1,5 mm² AWG 24...AWG 16 sólido Terminales de tornillo, capacid sujeción: 2 x 0,25...2 x 0,75 mm² AWG 24...AWG 19 Flexible con terminal
Par de apriete	0.5 N.m
Categoría de sobretensión	III acorde a EN/IEC 60664-1
Peso del producto	0,25 kg

Entorno

Inmunizado a microcortes	<= 1 ms
Certificaciones de producto	CSA C-Tick GL GOST UL
Normas	EN/IEC 60068-2-27 Ea EN/IEC 60068-2-6 Fc EN/IEC 61000-4-11 EN/IEC 61000-4-12 EN/IEC 61000-4-2 nivel 3 EN/IEC 61000-4-3 EN/IEC 61000-4-4 nivel 3 EN/IEC 61000-4-5 EN/IEC 61000-4-6 nivel 3

Grado de protección IP	IP20 (bloque de terminales) acorde a IEC 60529 IP40 (panel frontal) acorde a IEC 60529
Características ambientales	Directiva EMC acorde a EN/IEC 61000-6-2 Directiva EMC acorde a EN/IEC 61000-6-3 Directiva EMC acorde a EN/IEC 61000-6-4 Directiva EMC acorde a EN/IEC 61131-2 zona B Directiva bajo voltaje acorde a EN/IEC 61131-2
6 mm inserto cuadrado hembra	Clase B acorde a EN 55022-11 grupo 1
Grado de contaminación	2 acorde a EN/IEC 61131-2
Temperatura ambiente de funcionamiento	-20...40 °C em invólucro no ventilado acorde a IEC 60068-2-1 y IEC 60068-2-2 -20...55 °C acorde a IEC 60068-2-1 y IEC 60068-2-2
Temperatura ambiente de almacenamiento	-40...70 °C
Altitud máxima de funcionamiento	2000 m
Transporte de altitud	<= 3048 m
Humedad relativa	95 % sin condensación o goteo de agua

Garantía contractual

Warranty period	18 Meses
-----------------	----------

ANEXO 7.- Presupuesto de implementación del proyecto.



elsystem s.a.
Electricidad Sistemas y Tecnología
Vasco de Contreras No.35-251 y Mañosca
Teléfonos: (593-2) 2456510 - 2245241
Quito - Ecuador

Cliente / Dirección

EMPRESA PÚBLICAMETROPOLITANA
DE AGUA
POTABLE Y SANEAMIENTO - EPMAPS
Av. Mariana de Jesús y Alemania
Atn. Tigo. Juan Carlos Gancino

Cotización

No. : EST19_1110

Fecha: 08/01/2019 |

Tiempo de Entrega	Forma de Pago	Garantía	Rep.	Validez	Proyecto
12-14 SEMANAS	15 DIAS	12 MESES	DDM	08/03/2019	
Descripción			Cant.	V. Unitario	Total
CONTROL REMOTO DE BOMBAS - LIBERTAD BAJO					
TABLERO ELÉCTRICO DE FUERZA Y CONTROL (TFC ESTACIÓN DE BOMBEO)					
GABINETE METALICO AUTOSOPORTADO TS 8 MEDIDAS - 1000X2000X600					3,760.00T
JUEGO DE FIJACION MAGNETICO PARA ILUMINACION PARA ARMARIOS COMPACTA, 2 PZAS			1	16,69	16.69T
ILUMINACIÓN DE ARMARIOS COMPACTA MAGNÉTICA, 100-240 VCA, 14 W			1	323,83	323.83T
INTERRUPTOR DE PUERTA CON CABLE PARA ALIMENTACIÓN DE ILUMINARIA			1	92,67	92.67T
MATERIAL MENUDO			1	50	50.00T
SUBTOTAL					4,243.19
FUSIBLES TIPO NH.					
FUSIBLE TIPO NH 200A, NH00-Am, 500V, 120kA			3	37.30	113.18T
FUSIBLE TIPO NH 125A, NH00-Am, 500V, 120kA			3	17.26	77.67T
BASE PORTAFUSIBLE TIPO NH, 3P			2	232.76	465.51T
SUBTOTAL					656.355T
DISYUNTOR TERMOMAGNÉTICO TRIPOLAR.					
BREAKER NSX100F MARCO 125A TIPO F 3P 3F, UNIDAD DE DISPARO TERMOMAGNETICA			1	305.40	305.40T
BREAKER NSX100F MARCO 80A TIPO F 3P 3F, UNIDAD DE DISPARO TERMOMAGNETICA			1	267.68	267.68T
MATERIAL MENUDO			0	200	200.00
SUBTOTAL					773.08T
PROTECTOR MULTIFUNCIÓN					
CONTROLADOR ETHERNET 5 100A 24VDC			1	2,252.50	2,252.50T
MÓDULO EXTENSIÓN DE RELÉ MULTIFUNCIÓN PARA SUPERVISIÓN DE VOLTAJE			2	612.75	1,225.50T
CONNECTION CABLE			2	14.85	29.70T
SUBTOTAL					4,006.35
MEDIDOR DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS					
POWER METER MODELO PM5110			1	531	531.00T
SUBTOTAL					531.00
SUPRESOR DE TRASCIENTES PARA SISTEMA DE FUERZA					
VPU II 3 R 600V/25kA			2	234.98	469.95T
SUBTOTAL					469.95
ARRANCADOR SUAVE ELECTRÓNICO					
ARRANQ. SUAVE-ATS22-CONT. 25HP 230 A 600 V AC.			1	2,283.32	2,283.32T
ARRANQ. SUAVE-ATS22-CONT. 40HP 230 A 600 V AC.			1	3,117.66	3,117.66T
MATERIAL MENUDO			0	200.00	200.00T
SUBTOTAL					5,600.98
CONDUCTOR DE COBRE #6, AWG, THHN					
CAB. CU.ST 4 X 6 AWG 600V (CONCEN.)			30	30.89	926.64T
SUBTOTAL					926.64
			Subtotal		
			IVA (12.0%)		
			Total		



elsystem s.a.
Electricidad Sistemas y Tecnología
Vasco de Contreras No 35-251 y Mañosca
Teléfonos: (593-2) 2456510 - 2245241
Quito - Ecuador

Ciente / Dirección

EMPRESA PÚBLICAMETROPOLITANA
DE AGUA
POTABLE Y SANEAMIENTO - EPMAPS
Av. Mariana de Jesús y Alemania
Atn. Tigo. Juan Carlos Gancino

Cotización

No. : EST19_1110

Fecha: 08/01/2019 |

Tiempo de Entrega	Forma de Pago	Garantía	Rep.	Validez	Proyecto
12-14 SEMANAS	15 DIAS	12 MESES	DDM	08/03/2019	
Descripción	Cant.	V. Unitario	Total		
TUBERÍA CONDUIT 1/2"	15	11	165.00T		
TUBO RÍGIDO ROSCADO IMC 1/2" x 1 M CON UNIÓN, UNIÓN RÍGIDA ROSCADA 1/2", CODO RÍGIDO ROSCADO 1/2"	15	27.44	411.60T		
SUBTOTAL			576.60		
TUBERÍA CONDUIT 1 1/2"					
TUBO RÍGIDO ROSCADO IMC 1 1/2" x 1 M CON UNIÓN, UNIÓN RÍGIDA ROSCADA 1 1/2", CODO RÍGIDO ROSCADO 1 1/2"	20	43.97	879.48T		
SUBTOTAL			879.48		
SISTEMA DE CONTROL DEL PROYECTO					
TABLERO METÁLICO PARA EQUIPOS DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN (TANQUE)					
ARMARIO MURAL METÁLICO600X1000X250 IP66	1	664.50	664.50T		
ILUMINACIÓN DE ARMARIOS COMPACTA MAGNÉTICA, 100 -240 VCA, 14 W	1	453.36	453.36T		
JUEGO DE FIJACION MAGNETICO PARA ILUMINACION PARA ARMARIOS COMPACTA, 2 PZAS	1	25.04	25.04T		
INTERRUPTOR DE PUERTA CON CABLE PARA ALIMENTACIÓN DE ILUMINARIA	1	139.01	139.01T		
SUBTOTAL			1,281.90		
PLC SR2A101FU - ESTACIÓN DE BOMBEO					
CONTROLADOR LÓGICO ZELIO SR2A101FU 6 ENTRADAS 24 VDC PNP /NPN, 4 SALIDAS PNP, 0...30 VDC, ALIMENTACION DE 24VDC PUERTOS DE COMUNICACIÓN ETHERNET.	1	270	270.00T		
SUBTOTAL			270.00		
PLC SR2A101FU - TANQUE DE DISTRIBUCIÓN					
CONTROLADOR LÓGICO ZELIO SR2A101FU 6 ENTRADAS 24 VDC PNP /NPN, 4 SALIDAS PNP, 0...30 VDC, ALIMENTACION DE 24VDC PUERTOS DE COMUNICACIÓN ETHERNET.	1	270	270.00T		
EXPANSION DC24, 4E, 2S, 4~20MA, 4~20MA	1	669.80	669.80T		
SUBTOTAL			939,80T		
SWITCH INDUSTRIAL ADMINISTRABLE					
SPIDER II 8TX/2FX-SM EEC	2	2.108,05	4,216.10T		
SUBTOTAL			4,216.10		
CABLES DE INTERCONEXIÓN, BORNERAS, MARQUILLAS, ETC					
TRANSFORMADOR CONTROL INDUSTRIAL. SQUARE D TIPO T MULTI TAP. PRIMARIO 240X480 SECUNDARIO 120/240; PRIMARIO 230 X 460 SECUNDARIO 115/230; PRIMARIO 220X440	2	345	690.00T		
CIRCUIT BREAKER C60N 2P 20A C	1	38.36	38.36T		
CIRCUIT BREAKER C60N 2P 10A C	4	37.65	150.60T		
			Subtotal		
			IVA (12.0%)		
			Total		



elsystem s.a.

Electricidad Sistemas y Tecnología
Vasco de Contreras No.35-251 y Mañosa
Teléfonos: (593-2) 2456510 - 2245241
Quito - Ecuador

Cliente / Dirección

EMPRESA PÚBLICAMETROPOLITANA
DE AGUA
POTABLE Y SANEAMIENTO - EPMAPS
Av. Mariana de Jesús y Alemania
Atn. Tlgo. Juan Carlos Gancino

Cotización

No. : EST19_1110

Fecha: 08/01/2019 |

Tiempo de Entrega	Forma de Pago	Garantía	Rep.	Validez	Proyecto
12-14 SEMANAS	15 DIAS	12 MESES	DDM	08/03/2019	
Descripción	Cant.	V. Unitario	Total		
CIRCUIT BREAKER C60N 1P 2A C	4	20.55	82.2T		
CP M SNT 250W 24V 10A	2	302.90	605.79T		
PATCH PANEL FIBRA OPTICA	2	450	900.00T		
ETHERNET SFTP 2M CORD, UL&CSA	6	49.56	297.36T		
ETHERNET SFTP 5 M CORD,UL&CSA	4	58.73	234.90T		
RELE INDUST.MINIATURA 4NANC 5A 24VCC	10	13.05	130.50T		
BASE RXM2 / 4, E/S MEZC, TORNILLO	10	9.45	94.50T		
PDL 4 S/N/L/PE	50	5.72	285.75T		
PAP PDL4S	10	0.84	8.40T		
WDU 2.5	50	1.01	50.25T		
WAP 2.5-10 TAPA PARA BORNA DE TORNILLO WDU2.5 / WDU4 / WDU6 /WDU10 BEIGE	10	0.51	5.10T		
ZEW 35/2 TOPE DE BORNERA	10	0.96	9.60T		
ACCESORIOS	1	500	500.00T		
CONTACTOR AC3, 135 A, 50 HP, 24Vdc	1	300	300.00T		
CONTACTOR AC3, 90A, 30HP, 24Vdc	1	195	195.00T		
CONTACTOR CAPACITOR 16 KvAR, bobina 24Vdc	1	308.25	308.25T		
CONTACTOR CAPACITOR 12 KvAR, bobina 24Vdc	1	246.99	246.99T		
BATERÍA DE CAPACITORES VARPLUSCAN 10.6 Kvar 480V BLRCH088A106B48	1	133.95	133.95T		
BATERÍA DE CAPACITORES VARPLUSCAN 15Kvar 240V BLRCH131A157B24	1	235.02	235.02T		
UPS 1.5KA INCLUIDO BATTERY PACK	2	450.00	900.00T		
PROGRAMADOR HORARIO-SEMANAL 24Vdc, DOS ENTRADAS, DOS SALIDAS	2	380.53	761.25T		
SUBTOTAL			7,163,77		
FIBRA ÓPTICA MONOMODO DE 12 HILOS					
FIBRA ÓPTICA MONOMODO 6 HILOS ADSS (AEREA)	1,000	4.38	4,375.00T		
FUSIÓN PUNTOS DE FIBRA	12	37.5	450.00T		
CERTIFICACION PUNTOS DE FIBRA	12	37.5	450.00T		
TENDIDO DE FIBRA ÓPTICA	1,000	3.5	3,500.00T		
ACCESORIOS	1	300.00	300.00T		
SUBTOTAL			9,075.00		
SUBTOTAL MATERIALES Y EQUIPOS			41,610.19		
			Subtotal		
			IVA (12.0%)		
			Total		



elsystem s.a.
Electricidad Sistemas y Tecnología
Vasco de Contreras No.35-251 y Mañosca
Teléfonos: (593-2) 2456510 - 2245241
Quito - Ecuador

Cliente / Dirección

EMPRESA PÚBLICAMETROPOLITANA
DE AGUA
POTABLE Y SANEAMIENTO - EPMAPS
Av. Mariana de Jesús y Alemania
Atn. Tigo. Juan Carlos Gancino

Cotización

No. : EST19_1110

Fecha: 08/01/2019 |

Tiempo de Entrega	Forma de Pago	Garantía	Rep.	Validez	Proyecto
12-14 SEMANAS	15 DIAS	12 MESES	DDM	08/03/2019	
Descripción	Cant.	V. Unitario	Total		
SERVICIOS DE INGENIERÍA					
DESARROLLO DE SOFTWARE DE VISUALIZACIÓN, INGENIERÍA.	1	1,500.00	1,500.00T		
PROGRAMACIÓN PLC, SWITCHES Y COMPONENTES DE RED EN GENERAL	1	500.00	500.00T		
SUBTOTAL			2,000.00		
MONTAJE, INSTALACIÓN, PRUEBAS, PUESTA EN MARCHA Y ENTRENAMIENTO					
MONTAJE MECÁNICO DE TABLEROS, CABLEADO E INTERCONEXIÓN DE EQUIPOS DE RED	1	1,500.00	1,500.00T		
INSTALACIÓN, PRUEBAS Y PUESTA EN MARCHA	1	1,000.00	1,000.00T		
ENTRENAMIENTO	1	1,000.00	1,000.00T		
SUBTOTAL			3,500.00		
CONDICIONES COMERCIALES:					
1. El precio está dado en Dólares Americanos (USD)					
2. Validez de la oferta: 30 días					
3. Tiempo de entrega: 12-14 semanas					
4. Forma de pago: 50% Anticipo, 25% equipos en bodega, 25% puesta en marcha.					
5. Garantía: 1 año contra defectos de fabricación					
6. Lugar de Entrega: Bodegas Cliente Quito					
7. País de Origen: YOKOGAWA - JAPÓN, DREXELBROOK-USA, SCHNEIDER ELECTRIC - FRANCIA.					
				Subtotal	USD 47.110,19
				IVA (12.0%)	USD 5.653,22
				Total	USD 52.763,22