



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**PROPUESTA DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EL POZO
MECÁNICO Y LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL INSTITUTO
TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO GUATEMALA SUR (ITUGS)**

Carlos Eulalio Escobar Ramírez

Asesorado por el Ing. Carlos Augusto Cabrera Olivares

Guatemala, mayo de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EL POZO
MECÁNICO Y LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL INSTITUTO
TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO GUATEMALA SUR (ITUGS)**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CARLOS EULALIO ESCOBAR RAMÍREZ

ASESORADO POR EL ING. CARLOS AUGUSTO CABRERA OLIVARES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, MAYO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Aurelia Anabela Córdova Estrada
EXAMINADORA	Inga. María Martha Wolford Hernández
EXAMINADOR	Ing. Fredy Mauricio Monroy Peralta
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PROPUESTA DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EL POZO MECÁNICO Y LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO GUATEMALA SUR (ITUGS)

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha enero 2013.

Carlos Eulalio Escobar Ramírez

La Nueva Guatemala de la Asunción,
05 de enero de 2014

Ingeniero
César Ernesto Urquizú Rodas
Director de Escuela de Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Su Despacho

Estimado Ingeniero Urquizú:

En virtud de mi asesoría del trabajo de graduación titulado, "PROPUESTA DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EL POZO MECÁNICO Y LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO GUATEMALA SUR (ITUGS)", del estudiante Carlos Eulalio Escobar Ramírez, quien se identifica con carné número 200611295, he tenido a bien la revisión del trabajo de graduación expuesto. Después de haberse realizado las correcciones que a mi juicio eran necesarias, considero que el referido trabajo de graduación cumple con los requisitos planteados en el protocolo respectivo, por lo que apruebo y recomiendo darle el trámite correspondiente.

Y para los intereses que al propio estudiante convengan, extiendo, sello y firmo la presente, en la Ciudad de La Nueva Guatemala de la Asunción, a cinco días del mes de enero de dos mil catorce.

Con las muestras de mi consideración y respeto, lo saludo muy atentamente,



Ing. Carlos Augusto Cabrera Olivares
Ingeniero Mecánico Industrial
Colegiado activo: 10,132

Carlos Augusto Cabrera Olivares
Ingeniero Mecánico Industrial
Colegiado No. 10132



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **PROPUESTA DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EL POZO MECÁNICO Y LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO GUATEMALA SUR (ITUGS)**, presentado por el estudiante universitario **Carlos Eulalio Escobar Ramírez**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Jaime Roberto Ruíz Díaz
Ingeniero Industrial
Col. 5182
Ing. Jaime Roberto Ruíz Díaz
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, marzo de 2014.

/mgp



REF.DIR.EMI.062.014

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **PROPUESTA DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EL POZO MECÁNICO Y LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO GUATEMALA SUR (ITUGS)**, presentado por el estudiante universitario **Carlos Eulalio Escobar Ramírez**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, abril de 2014.

/mgp

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 197.2014

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **PROPUESTA DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EL POZO MECÁNICO Y LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO GUATEMALA SUR (ITUGS)**, presentado por el estudiante universitario **Carlos Eulalio Escobar Ramírez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 5 de mayo de 2014

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por permitirme alcanzar este triunfo, por darme salud y sabiduría para concluir con éxito esta etapa de mi vida.
- Virgen del Rosario** Por la intercesión ante su hijo amado, para que siempre fueran escuchadas mis súplicas.
- Mi padre** Angel Escobar, por todo su apoyo, cariño y confianza que me ha brindado en todos los años de mi vida y por enseñarme a ser un hombre con principios, responsable y trabajador.
- Mi madre** Juana Ramírez, por todo su apoyo, esfuerzo, dedicación, amor, cuidado y confianza que me ha brindado y por enseñarme que el amor de una madre es lo más sagrado del mundo.
- Mis hermanos** Ángel y Alejandra Escobar, por todo el apoyo y cariño. Gracias por compartir tantos momentos especiales conmigo.
- Mi cuñada** Lilian Vela, por todo su apoyo y cariño.

Mi sobrino

Fernando Escobar, por ser una luz de amor y felicidad para la familia. Con mucho amor.

Mi novia

Josselyn Guerra, por su amor, apoyo y comprensión en la etapa final de mi carrera. Con mucho amor.

Toda mi familia

Por su cariño y oraciones durante toda mi carrera.

Mis amigos

Por toda su amistad y apoyo incondicional; especialmente a Luis Orozco, Amílcar Zapón, Byron Pérez y Cristóbal Laynez. Gracias por compartir tantos momentos especiales conmigo.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por sus bendiciones y por permitirme ser sancarlista.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por darme la oportunidad de realizarme profesionalmente.
Facultad de Ingeniería	Por ser mi segundo hogar en este camino tan arduo.
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial	Por forjar profesionales de la ingeniería mecánica industrial.
Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur (ITUGS)	Por abrirme sus puertas para la realización del presente trabajo de graduación.
Ingeniero José Francisco Gómez Rivera	Por su apoyo y ayuda incondicional.
Ingeniero Carlos Augusto Olivares Cabrera	Por su apoyo y asesoría brindada para la realización del presente trabajo de graduación.
Ingeniero Douglas Ronaldo Rosales Guerra	Por su ayuda y apoyo brindado.

Luis Carlos Orozco Méndez

Por su invaluable ayuda, apoyo, amistad y asesoría brindada en la realización del presente trabajo de graduación y durante toda la carrera universitaria.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XXVII
OBJETIVOS.....	XXIX
INTRODUCCIÓN.....	XXXI
1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1. Historia	1
1.2. Ubicación del ITUGS.....	4
1.3. Misión	5
1.4. Visión.....	6
1.5. Objetivos.....	6
1.5.1. General.....	6
1.5.2. Específicos	6
1.6. Actividades del ITUGS.....	7
1.7. Estructura organizacional	8
1.7.1. Personal administrativo	9
1.7.2. Personal docente.....	10
1.7.3. Personal operativo.....	11
1.8. Carreras que imparte el ITUGS.....	13
1.8.1. Procesos de manufactura	13
1.8.2. Metal mecánica.....	14
1.8.3. Electrónica.....	15
1.8.4. Refrigeración y aire acondicionado.....	16

1.8.5.	Producción alimentaria	17
1.8.6.	Mecánica automotriz	18
2.	SITUACIÓN ACTUAL DEL MANTENIMIENTO DENTRO DE LAS ÁREAS A EVALUAR EN EL ITUGS	19
2.1.	Análisis general del mantenimiento del ITUGS	19
2.1.1.	Análisis FODA	20
2.1.1.1.	Fortalezas.....	20
2.1.1.2.	Oportunidades.....	21
2.1.1.3.	Debilidades.....	21
2.1.1.4.	Amenazas	21
2.2.	Diagrama Causa-Efecto respecto al mantenimiento	26
2.2.1.	Pozo mecánico.....	28
2.2.2.	Planta de tratamiento	29
2.3.	Diagnóstico del mantenimiento	30
2.3.1.	Administrativo.....	31
2.3.1.1.	Planificación	31
2.3.1.2.	Supervisión.....	31
2.3.1.3.	Control.....	32
2.3.2.	Pozo mecánico.....	32
2.3.2.1.	Sistema eléctrico	37
2.3.2.1.1.	Correctivo.....	43
2.3.2.2.	Sistema mecánico	45
2.3.2.2.1.	Correctivo.....	46
2.3.2.3.	Condiciones de la ubicación.....	49
2.3.3.	Planta de tratamiento	50
2.3.3.1.	Sistema eléctrico	51
2.3.3.1.1.	Correctivo.....	56
2.3.3.2.	Sistema mecánico	57

	2.3.3.2.1.	Correctivo	59
	2.3.3.3.	Condiciones de la ubicación	59
2.4.		Repercusiones de la falta de mantenimiento preventivo	60
2.5.		Análisis de los costos del mantenimiento correctivo.....	61
2.6.		Análisis final de la problemática	67
3.		PROPUESTA DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL POZO MECÁNICO Y LA PLANTA TRATAMIENTO.....	71
3.1.		Mantenimiento	71
3.2.		Conceptos teóricos.....	76
	3.2.1.	Mantenimiento correctivo.....	77
	3.2.2.	Mantenimiento preventivo.....	79
	3.2.3.	Bomba sumergible.....	81
	3.2.4.	Bomba centrífuga	86
	3.2.5.	Motor eléctrico	88
3.3.		Elaboración de programa	90
	3.3.1.	Propósito y alcance del programa	90
	3.3.2.	Planos de ubicación.....	91
		3.3.2.1. Pozo mecánico	91
		3.3.2.2. Planta de tratamiento.....	94
	3.3.3.	Identificación de los equipos.....	101
		3.3.3.1. Críticos	101
		3.3.3.2. Auxiliares	103
	3.3.4.	Calendarización de las actividades.....	104
		3.3.4.1. Pozo mecánico	105
		3.3.4.2. Planta de tratamiento.....	105
3.4.		Mantenimiento preventivo.....	106
	3.4.1.	Creación de fichas técnicas	106

3.4.2.	Elaboración de las rutinas de mantenimiento.....	107
3.4.3.	Uso de lubricantes.....	124
3.4.4.	Instrucciones de como verificar el panel de control.....	127
3.4.5.	Fichas de control.....	129
3.4.6.	Inventario de repuestos.....	129
4.	IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	131
4.1.	Departamento de Mantenimiento.....	131
4.1.1.	Funciones del Departamento de Mantenimiento del ITUGS.....	131
4.1.2.	Elaboración del perfil.....	132
4.1.2.1.	Encargado del Departamento de Mantenimiento.....	132
4.1.2.2.	Técnico.....	134
4.1.2.2.1.	Mecánico.....	134
4.1.2.2.2.	Electricista.....	135
4.1.2.2.3.	Electrónico.....	136
4.1.3.	Jerarquía del Departamento de Mantenimiento	137
4.1.4.	Administración.....	138
4.1.4.1.	Planificación.....	138
4.1.4.2.	Supervisión.....	138
4.1.4.3.	Control.....	139
4.2.	Funciones del personal.....	139
4.2.1.	Funciones del encargado del Departamento de Mantenimiento.....	139
4.2.2.	Funciones del técnico mecánico.....	141
4.2.3.	Funciones del técnico electricista.....	141

4.2.4.	Funciones del técnico electrónico.....	142
4.3.	Capacitaciones del personal.....	143
4.3.1.	Objetivos de la capacitación	143
4.3.2.	Empresas y/o instituciones para capacitación	144
4.3.3.	Frecuencia de capacitación	145
4.4.	Tercerización	146
4.4.1.	Empresas dedicadas al <i>outsourcing</i>	146
4.4.2.	Servicios prestados por empresas.....	148
4.4.3.	Servicios adicionales de las empresas	151
4.4.4.	Área de cobertura	152
4.5.	Costos del programa de mantenimiento	153
4.5.1.	Personal del Departamento de Mantenimiento.....	153
4.5.2.	Útiles y enseres	154
4.5.3.	Equipos e instrumentos de medición	155
4.5.4.	Equipo de seguridad.....	157
4.5.5.	Operativas	159
4.5.6.	<i>Outsourcing</i>	160
4.5.7.	Análisis de los costos del mantenimiento preventivo	161
4.6.	Herramientas y equipo.....	165
4.6.1.	Herramientas de taller	165
4.6.2.	Instrumentos de medición.....	166
4.6.3.	Equipo de protección	167
4.6.4.	Uniforme	167
5.	EVALUACIÓN Y MEJORA CONTINUA DEL PROGRAMA.....	169
5.1.	Metodología de la evaluación	169
5.1.1.	Propósito de la evaluación.....	169
5.1.2.	Encargado de la evaluación del programa	169

5.1.3.	Frecuencia de la evaluación.....	170
5.1.4.	Formatos de evaluación	170
5.1.5.	Archivos de formatos de evaluación.....	170
5.2.	Análisis de falla	171
5.2.1.	Identificar tipos de falla.....	171
5.2.2.	Análisis estadístico de la frecuencia del tipo de falla.....	172
5.2.3.	Acciones correctivas y preventivas	173
5.3.	Biblioteca técnica	185
5.3.1.	Manual del equipo	186
5.3.2.	Textos relativos del equipo.....	186
5.3.3.	Documentos de apoyo	186
5.3.4.	Documentación del mantenimiento del equipo.....	187
5.4.	Reclutamiento del personal.....	187
5.4.1.	Fuentes de reclutamiento	187
5.4.2.	Pruebas escritas.....	188
5.4.3.	Pruebas prácticas.....	189
5.4.4.	Pruebas médicas.....	189
CONCLUSIONES.....		191
RECOMENDACIONES		197
BIBLIOGRAFÍA.....		199
ANEXOS.....		201

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Instalaciones del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur (ITUGS).....	3
2.	Fotografía satelital del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur (ITUGS).....	4
3.	Organigrama del personal administrativo.....	9
4.	Organigrama del personal docente.....	10
5.	Organigrama del personal operativo.....	11
6.	Organigrama general del ITUGS.....	12
7.	Diagrama Causa-Efecto de la falta de abastecimiento de agua.....	28
8.	Diagrama Causa-Efecto de la falta de tratamiento de aguas residuales.....	29
9.	Diagrama de mando del pozo mecánico del ITUGS.....	40
10.	Diagrama de fuerza del pozo mecánico del ITUGS.....	42
11.	Diagrama de mando de la planta de tratamiento de aguas residuales de ITUGS.....	53
12.	Diagrama de fuerza de la planta de tratamiento de aguas residuales de ITUGS.....	55
13.	Bomba sumergible marca Grundfos del pozo mecánico del ITUGS	82
14.	Bomba centrífuga.....	86
15.	Vista lateral del pozo mecánico del ITUGS.....	92
16.	Vista de planta del pozo mecánico y cuarto de máquinas.....	93
17.	Vista de planta de la caja de rejas de la planta de tratamiento.....	94

18.	Vista lateral de la caja de rejas de la planta de tratamiento	95
19.	Vista de planta del tanque de aireación de la planta de tratamiento....	96
20.	Vista lateral del tanque de aireación de la planta de tratamiento.....	97
21.	Vista de planta del cuarto de máquinas, tubería de aire y tubería de lodos de la planta de tratamiento	98
22.	Vista de planta del clarificador, patio de lodos y pozo de descarga de la planta de tratamiento	99
23.	Vista lateral del clarificador de la planta de tratamiento.....	100
24.	Jerarquía de operaciones del Departamento de Mantenimiento	137

TABLAS

I.	Análisis FODA del mantenimiento dentro del ITUGS.....	22
II.	Matriz de relación de estrategias FODA	24
III.	Estrategias del análisis FODA	25
IV.	Registro del análisis del lodo en la perforación del pozo	35
V.	Registro de los materiales encontrados en la perforación del pozo del ITUGS	35
VI.	Especificaciones técnicas del motor eléctrico sumergible actual.....	38
VII.	Especificaciones técnicas del motor eléctrico sumergible que tenía el pozo mecánico.....	43
VIII.	Mediciones eléctricas tomadas al motor eléctrico.....	44
IX.	Especificaciones técnicas de la bomba sumergible que posee el pozo mecánico.....	46
X.	Mediciones realizadas a la parte mecánica del motor eléctrico del pozo mecánico.....	47

XI.	Mediciones realizadas a la bomba sumergible del pozo mecánico.....	48
XII.	Especificaciones técnicas del motor eléctrico que posee la planta de tratamiento del ITUGS.....	51
XIII.	Especificaciones técnicas del motor eléctrico sumergible que posee la bomba de lodos.....	52
XIV.	Especificaciones técnicas del <i>blower</i>	57
XV.	Especificaciones técnicas de la bomba de lodos	58
XVI.	Listado de los equipos críticos que componen la configuración del pozo mecánico	102
XVII.	Listado de los equipos críticos que componen la configuración de la planta de tratamiento.....	102
XVIII.	Listado de los componentes auxiliares de la configuración del pozo mecánico.....	103
XIX.	Listado de los componentes auxiliares de la configuración de la planta de tratamiento de aguas residuales.....	104
XX.	Rutina de mantenimiento preventivo de la cisterna del pozo mecánico.....	108
XXI.	Rutina de mantenimiento preventivo del sistema eléctrico del pozo mecánico.....	109
XXII.	Rutina de mantenimiento preventivo para el pozo mecánico	111
XXIII.	Pruebas preliminares al motor eléctrico sumergible.....	113
XXIV.	Rutina de mantenimiento preventivo de la caja de rejas de la planta de tratamiento	115
XXV.	Rutina de mantenimiento preventivo del sistema eléctrico de la planta de tratamiento.....	116
XXVI.	Rutina de mantenimiento preventivo del <i>blower</i> de planta de tratamiento	118
XXVII.	Rutina de mantenimiento preventivo del motor eléctrico de la planta de tratamiento	119

XXVIII.	Rutina de mantenimiento preventivo del tanque de aireación de la planta de tratamiento	120
XXIX.	Rutina de mantenimiento preventivo del clarificador de la planta de tratamiento.....	122
XXX.	Rutina de mantenimiento preventivo para la bomba y motor de lodos del clarificador de la planta de tratamiento	123
XXXI.	Rutina de mantenimiento preventivo para el patio de lodos de la planta de tratamiento	124
XXXII.	Características que posee el aceite sintético pneulube	125
XXXIII.	Características que posee el aceite Altis EM2.....	126
XXXIV.	Tabla Características que posee el aceite dieléctrico 37kva <i>luber</i> no inhibido tipo I.....	126
XXXV.	Costos de la planilla del personal del Departamento de Mantenimiento.....	153
XXXVI.	Costos de los útiles y enseres	155
XXXVII.	Costos de equipos e instrumentos de medición	156
XXXVIII.	Costos de equipo de protección personal.....	157
XXXIX.	Costos de servicios.....	159
XL.	Costos de servicios de <i>outsourcing</i>	160
XLI.	Costos de inversión del Departamento de Mantenimiento.....	164
XLII.	Localización de problemas en el sistema del motor eléctrico del pozo mecánico y su acción correctiva	173
XLIII.	Localización de problemas en la bomba sumergible del pozo mecánico y su acción correctiva	178
XLIV.	Localización de problemas en el <i>blower</i> y su acción correctiva	181

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
CA	Carretera asfaltada
cSt	Centístokes
∅	Diámetro
Φ	Fase
/	Fracción
°C	Grados centígrados
°F	Grados Fahrenheit
° ' "	Grados, minutos, segundos
Hz	Hercio
HG	Hierro galvanizado
HP	Horse power (caballos de fuerza)
K	Kelvin
kg	Kilogramo
kg/m³	Kilogramo por metro cúbico
L1, L2, L3	Línea uno, línea dos, línea tres
>	Mayor que
m	Metro
mm	Milímetros
'	Pies
X	Por
%	Porcentaje
pH	Potencial de Hidrógeno
"	Pulgadas

Q.	Quetzal
-	Resta / Número negativo
RPM	Revoluciones por minuto
SFA	Service Factor Amps (Amperaje de Factor Servicio)
S. A	Sociedad Anónima
+	Suma
V	Voltio

GLOSARIO

Accidente laboral	Toda lesión corporal y psicológica que un trabajador sufre por consecuencia del trabajo que ejecuta.
Aceite	Mezcla de aceite básico y aditivos empleados en el campo de la lubricación.
Acero al carbono	Aleación estrictamente de hierro y carbono. Contiene entre 0,05 a 2,0 por ciento de carbono.
Acervo	Conjunto de bienes morales, culturales o materiales de una colectividad de persona.
Acometida eléctrica	Parte de la instalación eléctrica que se construye desde las redes de distribución hasta las instalaciones del usuario.
Acuífero	Relativo al agua.
Aire acondicionado	Tratamiento del aire ambiente de espacios habitados, los parámetros a tratar son: temperatura, humedad, limpieza y flujo.
Álabe	Paleta curvada de una turbomáquina o rotomáquina. Lleva a cabo la transformación de energía cinética y presión.

Amperímetro	Instrumento de medición eléctrico que permite medir la intensidad de corriente en un circuito eléctrico.
Amperio	De símbolo A, es la unidad de la intensidad de corriente eléctrica.
Arandela	Es un disco delgado con un agujero, por lo común en el centro. Normalmente se utilizan para soportar una carga de apriete.
Arrancador magnético	Controlador de arranque, parada y protección de los motores. Su principio de funcionamiento es el del magnetismo.
ASTM	American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana de Ensayos y Materiales).
BANGUAT	Banco de Guatemala.
Base de datos	Conjunto de datos almacenados sistemáticamente para su posterior uso.
Blower	Máquina de desplazamiento de fluido, generalmente aire. Análogo a un compresor.
Bobina	Componente de un circuito eléctrico que almacena energía en forma de campo magnético.

Bomba	Máquina transformadora de energía mecánica en energía de fluido incompresible, posibilitando el impulso de un fluido.
Bridas	Elemento que une dos componentes de un sistema de tubería. Sus elementos de fijación, por lo general, son pernos.
Calidad	Grado en el que un conjunto de características cumplen con los requisitos.
Caudal	Cantidad de fluido que fluye por unidad de tiempo. También es denominado como caudal volumétrico.
CEMA	Centro de Estudios del Mar y Agricultura.
Circuito de fuerza	Circuito de 3 fusibles encargado de proteger a un motor eléctrico de sobrecargas de energía.
Circuito eléctrico	Serie de componentes eléctricos conectados entre sí con el propósito de generar, transportar o modificar señales eléctricas.
Cloro	Elemento químico tóxico empleado en la producción de insumos industriales, purificación, desinfección e industria química.

Cojinete	Elemento mecánico o conjunto de elementos que permiten la conexión entre un eje y una o varias piezas y la reducción de la fricción entre las mismas.
Compresor	Máquina que permite aumentar la presión y desplazar ciertos tipos de fluidos compresibles.
Concreto	Material compuesto empleado en el sector de construcción. Está compuesto por cemento, arena, agua y pedrín.
Contactador	Componente electromecánico que permite o interrumpe el paso de corriente proporcionalmente a la tensión aplicada a su bobina.
Contaminante	Agente orgánico o inorgánico que provoca un cambio adverso en un sistema equilibrado.
Corriente	Flujo de carga eléctrica que recorre un material por unidad de tiempo. Su medida es el Ampere.
Corrosión	Deterioro superficial de un material derivado de un ataque electroquímico de su entorno.
Corto circuito	Fallo en un aparato o sistema eléctrico en el cual la corriente eléctrica pasa del conductor activo al neutro o tierra.

Desgaste	Pérdida de masa superficial de un material sólido debido a la interacción física, eléctrica o química con otro cuerpo.
Diagrama	Representación gráfica que muestra las relaciones entre las diferentes partes de un sistema.
Diseño	Proceso creativo y técnico encaminado a idear elementos y sistemas útiles en un campo específico.
Energía	Capacidad asociada a los objetos y sustancias para poder realizar un trabajo y/o cambios físicos.
Energía de flujo	Energía que posee un fluido debido a la presión que posee.
Energía mecánica	Forma de energía que se puede convertir completamente en trabajo mecánico mediante un dispositivo mecánico.
Energizar	Suministrar energía eléctrica.
Engranaje	Mecanismo utilizado para la transmisión de potencia de un componente a otro de una máquina.

Estudio hidrogeológico	Estudia las aguas subterráneas en lo relacionado con circulación, condicionamientos geológicos y captación. Actualmente, no sólo estudia la provisión, sino también sus ciclos, contaminantes, movilidad, dispersión e impacto ambiental.
Fases	Cada uno de los circuitos de una corriente eléctrica alterna, los hay: monofásicos, bifásicos y trifásicos.
Filtro	Dispositivo a través del cual circula un fluido para eliminar ciertas impurezas.
Flipón	También llamado interruptor de circuito, es un aparato capaz de abrir o interrumpir un circuito eléctrico al momento de que la corriente eléctrica exceda un valor predeterminado.
FODA	Fortalezas, Oportunidades, Debilidades, Amenazas.
FONAPAZ	Fondo Nacional para la Paz.
Fusible	Dispositivo intercalado en una instalación eléctrica para que se funda al momento de un corto circuito o exceso de carga.
Galvanización	Proceso electroquímico por el cual se puede cubrir un metal con otro.

Golpeteo	Fallo mecánico consistente en una serie cíclica de golpes entre piezas con movimiento relativo.
Grasa	Mezcla de aceite básico con base jabonosa que permite lubricar piezas en aplicaciones específicas.
Grava	Rocas de tamaño comprendido entre 2 y 64 milímetros.
Gravedad específica	Comparación de la densidad de una sustancia con la densidad de una sustancia estándar. La sustancia estándar para líquidos y gases son el agua y el aire, respectivamente.
Hierro galvanizado	Fundición de bajo contenido de carbono que tiene entre 10 a 15 por ciento de zinc.
Higiene industrial	Procedimientos y conocimientos desarrollados para prevenir y/o reducir los factores causantes de enfermedades ocupacionales.
Hipoclorito de calcio	También llamado Cal Clorada, es un compuesto químico empleado en el tratamiento de residuales. Su principal función es eliminar bacterias, algas, mohos, hongos y microorganismos dañinos para el ser humano.
ICDF	International Cooperation and Development Fund (Fondo Internacional de Cooperación y Desarrollo).

IGSS	Instituto Guatemalteco de Seguridad Social.
Impulsor	Toda máquina motriz que transforma cualquier tipo de energía a energía de flujo.
INDE	Instituto Nacional de Electrificación.
Índice de viscosidad	Coeficiente que permite determinar el comportamiento de la viscosidad de un fluido ante la variación de la temperatura de trabajo.
Infraestructura	Conjunto de elementos necesarios para el funcionamiento de una organización u actividad.
Interruptor	Dispositivo que permite desviar o interrumpir el paso de corriente eléctrica en un circuito.
ISO	International Organization for Standardization (Organización Internacional de Normalización).
ITUGS	Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur.
Juntas	Elemento mecánico que permite la unión de dos o más piezas.
Lubricante	Sustancia que forma una película que impide el contacto directo entre dos piezas con movimiento relativo. Puede ser líquido, sólido o gaseoso.

Mack up	Hoja que señala las eficiencias de la persona que efectúa esa operación. Para comparar si ésta (persona) es idónea al puesto.
Manual de operación	Documento proveído por el fabricante, el cual contiene las directrices de operación de una máquina o equipo.
Máquina herramienta	Tipo de máquina que se utiliza en la mecanización de piezas sólidas.
Medición	Comparación de un patrón estándar con un objeto o fenómeno con magnitud desconocida.
Metal	Material en el que existe un solapamiento entre la banda de valencia y conducción en su estructura electrónica.
Microorganismo	Seres vivos unicelulares o multicelulares que únicamente pueden ser visualizados microscópicamente.
Montaje	Proceso sistemático en el cual cada pieza es emplazada en su lugar definitivo dentro de un sistema.
Motor	Parte sistemática de una máquina capaz de transformar cualquier tipo de energía en energía mecánica.

Motor eléctrico	Motor que transforma la energía eléctrica en energía mecánica. Utiliza los principios de inducción y Ampere.
Multímetro	Instrumento de medición eléctrico portátil que permite la medición de corriente eléctrica, potencial eléctrico y resistencia eléctrica en un circuito.
NEMA	National Electrical Manufacturers Association (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos).
Planificación	Proceso metódico en el que se diseñan los medios y acciones para obtener un objetivo.
Potencial hidrógeno	Abreviado pH, es una medida de alcalinidad o acidez de una sustancia.
Presión	Fuerza ejercida por unidad de área.
Proceso	Conjunto de actividades u eventos interrelacionados que se realizan o suceden en un determinado lapso de tiempo.
Producción	Sinónimo de fabricación, actividad que, mediante diversos procesos, transforma la materia prima en productos.
Punto de burbujeo	Temperatura y condiciones a las cuales se inicia la ebullición en un sistema.

Punto de fluidez	Temperatura más baja de una sustancia a la cual se sigue comportando como un fluido.
PVC	Polyvinyl chloride (Policloruro de vinilo).
Refrigeración	Proceso consistente en bajar o mantener la temperatura de un objeto o espacio.
Seguridad industrial	Conjunto de normas que buscan reducir o erradicar los riesgos laborales en la industria.
Soldadura	Proceso por el que se unen dos materiales, generalmente metales, debido a una fusión entre estos.
Stock	Inventario o existencias, grupo de bienes poseídos y almacenados por una empresa para cubrir la demanda en un período determinado.
Tanque de abastecimiento	Estructura de diversos materiales que son para almacenar y preservar líquidos o gases a presión ambiente.
Tanque de aireación	Estructura donde se proporciona oxígeno al afluente a tratar.
Temperatura	Magnitud física asociada con la energía interna de un sistema termodinámico.

Tercerización	También llamado <i>Outsourcing</i> , consiste en la contratación de una o varias empresas externas para la ejecución de ciertas actividades específicas, entre ellas: servicio de mantenimiento para equipos, apoyados con manuales y revisiones periódicas.
Tratamiento térmico	Conjunto de operaciones controladas de calentamiento y enfriamiento de los metales o aleaciones metálicas en estado sólido. Tienen como fin el mejorar las propiedades mecánicas.
Tubería	Conducto plástico, metálico o cerámico que cumple la función de transportar fluidos.
USAC	Universidad de San Carlos de Guatemala.
Válvula	Mecanismo que permiten la regulación, interrupción y/o apertura de fluido a través de un conducto cerrado o abierto.
Velocidad	Magnitud física que indica el desplazamiento de un objeto por unidad de tiempo.
Vibración	Propagación de ondas elásticas que producen deformaciones y tensiones sobre un objeto, elemento o máquina.

Viscosidad

Oposición a fluir de un fluido. Se divide en viscosidad dinámica y cinemática.

Voltio

Símbolo V, unidad derivada para el potencial eléctrico.

RESUMEN

El Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur (ITUGS) tiene como misión la formación de técnicos en educación superior que contribuyan con el desarrollo técnico y académico del país. Para ello cuenta con carreras técnicas a nivel Universitario, laboratorios, equipos, herramientas y áreas de trabajo para la realización de prácticas, en orden de proveer una enseñanza de alta calidad.

A través de un diagnóstico, se establece la situación actual del mantenimiento dentro de las áreas a evaluar en el ITUGS. Serán empleadas herramientas tales como: análisis FODA, análisis causa-efecto, análisis de costos, entre otras, con el fin no sólo de diagnosticar la situación actual, sino también las repercusiones operativas, financieras y académicas implícitas.

Además se analiza las condiciones actuales en las que está trabajando la configuración del pozo mecánico y planta de tratamiento, se verifican las condiciones que pueden llegar a afectar a los estudiantes y personal del ITUGS, al momento de presentarse fallas en la bomba sumergible y planta de tratamiento. También se hace un análisis de los costos implícitos en los trabajos de mantenimiento correctivo que se han efectuado a los equipos.

Es propuesto un programa de mantenimiento preventivo para pozo mecánico y planta de tratamiento, de igual manera, se propone la calendarización de las actividades y rutinas de mantenimiento preventivo respectivas.

Para la implantación de la propuesta del programa de mantenimiento preventivo se proporcionan directrices para la creación de un departamento de mantenimiento, se estiman costos que implica su creación y se establecen los costos del mantenimiento preventivo, así como, el beneficio costo que representa realizar un mantenimiento preventivo ante un mantenimiento correctivo.

También se propone la metodología de evaluación para el programa de mantenimiento preventivo y se establece que las actividades de mantenimiento preventivo estarán comprendidas en un 40 por ciento para el pozo mecánico y planta de tratamiento, y el 60 por ciento será dedicado para actividades de mantenimiento del ITUGS. También se dispone la metodología de documentación de la información recaudada con respecto a las fallas y acciones correctivas que se deben aplicar en un momento determinado. Asimismo, se dan las fuentes de reclutamiento para el nuevo personal del departamento de mantenimiento y los tipos de pruebas a realizarse para su futura contratación.

OBJETIVOS

General

Desarrollar un programa de mantenimiento preventivo para el pozo mecánico/bomba sumergible y planta de tratamiento de aguas residuales del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur (ITUGS).

Específicos

1. Analizar la situación actual sobre el mantenimiento para el pozo mecánico y planta de tratamiento de aguas residuales del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur (ITUGS).
2. Identificar los eventos mecánicos de mayor recurrencia e introducir los cambios necesarios para la optimización en el programa de mantenimiento sugerido.
3. Diseñar e implantar las herramientas y el sistema de recopilación estadística del programa de mantenimiento preventivo.
4. Desarrollar procedimientos generales y específicos de operación, inducción y funcionamiento general del programa de mantenimiento.
5. Estructurar la metodología de evaluación del período e intervalos de tiempo de la misma y la importancia de la tercerización en el proceso.

6. Evaluar en un plazo no menor a tres meses la información estadística correspondiente al programa de mantenimiento.
7. Implementar un sistema de mejora continua para el programa de mantenimiento en un período no menor a seis meses.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad poseer un programa de mantenimiento preventivo en edificios, maquinaria y equipo es indispensable, debido a que se les exige a las empresas mantener un alto grado de confiabilidad, control y apropiada operación en todo tipo de equipos, que pueda responder a los requerimientos planteados por las necesidades operativas de las industrias. Por tal razón, toda empresa debe contar con un programa de mantenimiento preventivo y correctivo detallado, de manera que se establezca cuáles serán los períodos de tiempo y acciones de mantenimiento necesarias, en el cual, cada maquinaria y/o infraestructura debe ser revisado para darle el servicio respectivo.

El Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur (ITUGS), al día de hoy carece de un programa de mantenimiento para las diferentes áreas de las cuales se constituye el establecimiento; por tal razón, se ha identificado la necesidad imperativa de hacer una propuesta de un programa de mantenimiento preventivo para la bomba de agua y planta de tratamiento, con el fin de contrarrestar y prevenir las fallas que puedan presentarse a corto y mediano plazo en estas áreas, mismas que suponen parte fundamental dentro del normal funcionamiento del establecimiento en mención.

Por ende, tanto por motivos operacionales como por motivos de higiene y salubridad, es claramente evidente que ningún establecimiento puede carecer del vital líquido, ya que esto repercutiría directamente en la suspensión de funciones del Instituto, entorpeciendo así el proceso de formación profesional de los estudiantes de la facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, fundamentándose así la necesidad del estudio, análisis, diseño e implementación del mantenimiento preventivo en el Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur (ITUGS).

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. Historia

Desde su fundación, la Universidad de San Carlos de Guatemala ha mantenido relaciones de cooperación e intercambio académico con diferentes instituciones a nivel nacional e internacional, las cuales se han consolidado durante el desarrollo histórico de la Universidad.

En 1992, de conformidad a la política de apertura hacia el exterior y en apoyo al desarrollo de la investigación universitaria, se ejecutó el proyecto denominado Apoyo a la Gestión de la Investigación y Desarrollo de la Universidad de San Carlos de Guatemala, obteniéndose como resultado la propuesta de un sistema conformado por las divisiones siguientes: Investigación y Desarrollo, Vinculación Externa y Cooperación Internacional, y Formación de Recursos Humanos en Gestión Científica y Tecnológica, el cual concluyó en 1994.

En el 2002, derivado del análisis del proceso de desarrollo de la cooperación e intercambio académico de la Universidad de San Carlos de Guatemala y ante la necesidad de reencauzar dicho proceso de una manera coordinada y de conformidad a lineamientos de carácter general, la División de Desarrollo Organizacional plantea la creación de la Coordinadora General de Cooperación, además de la adjudicación y preparación para el proyecto del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur (ITUGS).

El proyecto del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur, comienza con la iniciativa de ley número 2 683, presentada en junio de 2002 por el Honorable Congreso de la República de Guatemala al Presidente de la República, Licenciado Alfonso Antonio Portillo Cabrera, la cual contiene las bases del convenio de préstamo entre la República de Guatemala y la *International Cooperation and Development Fund* (ICDF), entidad de la República de Taiwán quien otorgó el financiamiento para la ejecución del proyecto.

Mediante el Decreto 44-2002, el Gobierno de Guatemala establece como entidad ejecutora del proyecto al Fondo Nacional para la Paz, (FONAPAZ), cuyo marco legal fue suscrito a través del Acuerdo Gubernativo 43-2003, de fecha 14 de febrero de 2003.

Posteriormente, en noviembre de 2007, fue inaugurada la primera fase del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur, por parte del Señor Presidente de la República, Licenciado Oscar José Berger Perdomo.

El Presidente de la República de Guatemala, en el período presidencial 2008 - 2012, Ingeniero Álvaro Colom Caballeros, de acuerdo con su política de Estado, promueve y facilita el acceso a la educación por considerarla fundamental para el desarrollo humano, el cual constituye un factor condicionante para el desarrollo económico, y la inserción exitosa de Guatemala en la economía global.

Sobre esta base, el Ingeniero Álvaro Colom Caballeros en marzo de 2008, confió a la Universidad de San Carlos de Guatemala, la organización y dirección del desarrollo de la obra física, contenidos curriculares y otros aspectos legales del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur, ITUGS.

En abril de 2008, el Concejo Superior Universitario de la USAC, autoriza al señor Rector, Licenciado Carlos Estuardo Gálvez Barrios, para realizar las acciones y gestiones necesarias con fines de que el Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur (ver figura 1), pase a formar parte de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 1. **Instalaciones del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur (ITUGS)**



Fuente: ITUGS.

La Universidad de San Carlos de Guatemala, entidad rectora de estudios superiores en el país pone al ITUGS a disposición de la población en general para su superación técnica, académica y profesional.

1.2. Ubicación del ITUGS

El Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur está ubicado en el kilómetro 45 de la CA-09 Sur, en el municipio de Palín, del departamento de Escuintla, en una fracción de terreno de la Finca Jurún Marinalá, donado por el Instituto Nacional de Electrificación (INDE), Acuerdo Gubernativo 528-2003 de fecha 7 de octubre de 2003.

Figura 2. **Fotografía satelital del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur (ITUGS)**



Fuente: Google Earth. Consulta 10 de abril 2013.

1.3. Misión

“El ITUGS tiene como misión la formación de técnicos en educación superior de alto rendimiento y competitividad, integridad, ética y visión humanística, cuyo trabajo permita incrementar los índices de productividad y eficiencia que deriven en cambios socioeconómicos positivos para Guatemala; mediante:

- Promover el acervo cultural de la comunidad guatemalteca.
- Contribuir al desarrollo local y regional de acuerdo a políticas del Estado y de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Mejorar la calidad de vida de la población, principalmente, en las áreas de reasentamiento, reinserción y áreas circunvecinas.
- Promover la actividad económica de la población rural, mediante el desarrollo de actividades productivas y la generación de diversas fuentes de empleo.
- Promover la investigación científica y tecnológica, y orientadas al estudio y solución de problemas nacionales, relacionados con el desarrollo humano y la productividad.
- Apoyar a las unidades académicas que la integran en su servicio de docencia, investigación y extensión, las que también son responsables de otorgar los grados académicos de los estudios correspondientes. Brindar asistencia científica y tecnológica en todas las actividades económicas, para contribuir a la competitividad y al desarrollo del país”.¹

¹ ITUGS. *Reseña histórica del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur*. p. 3.

1.4. Visión

“En el 2020, el Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur será la institución educativa de mayor desarrollo y reconocimiento en la región centroamericana por los técnicos-profesionales que egresan en las diferentes áreas del desarrollo industrial y servicios, así como por su valor estratégico en el desarrollo social y económico de las diferentes comunidades, empresas y sector público, en el marco de una perspectiva del desarrollo humano y ambiental sostenible y del mandato de excelencia académica de la Universidad de San Carlos de Guatemala”.²

1.5. Objetivos

Toda organización o institución, debe contar siempre con un objetivo general y varios objetivos específicos para determinar un fin común, por ende, los objetivos del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur, son:

1.5.1. General

Aportar a la sociedad guatemalteca, técnicos universitarios con una sólida e integra formación profesional, aportando al desarrollo del país desde el ámbito de la educación.

1.5.2. Específicos

Los objetivos específicos son los resultados y beneficios cuantificables esperados cuando se ha llevado a cabo una estrategia dentro de una organización, a continuación se presentan los objetivos específicos del ITUGS.

² ITUGS. *Reseña histórica del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur.* p. 3.

- Formar técnicos universitarios en las áreas de Electrónica, Procesos de Manufactura, Metal Mecánica, Refrigeración y Aire Acondicionado, Producción Alimentaria y Mecánica Automotriz.
- Estar a la vanguardia en la educación superior a nivel nacional y regional en el área tecnológica.
- Investigar, estudiar y transmitir todos los aspectos concernientes a la ciencia y tecnología.
- Fomentar y desarrollar la investigación tecnológica de otras ciencias y disciplinas afines, enfocadas al ámbito nacional.
- Ampliar la cobertura institucional hacia nuevas áreas tecnológicas de impacto en la economía de la población guatemalteca.
- Establecer alianzas estratégicas y convenios de apoyo, para fortalecer la tecnología.
- Ampliar y fortalecer el alcance de convenios institucionales con organismos internacionales e Instituciones de formación profesional.
- Apoyar a las unidades académicas que integran el Concejo Directivo del ITUGS, a realizar las prácticas o actividades necesarias para desarrollar su docencia.
- Normar todos los procedimientos del ITUGS.

1.6. Actividades del ITUGS

El Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur, apoya a las unidades académicas que la integran, siendo estas: Facultad de Ingeniería, Agronomía, Ciencias Químicas y Farmacia y CEMA.

El apoyo principal del ITUGS a las actividades de las unidades académicas, consiste en el servicio de docencia, investigación y extensión, con el propósito de abrir nuevas vías de formación que permita a los estudiantes egresados, integrarse a diversas actividades productivas, en el menor tiempo posible. También permite a los egresados las posibilidades de una actualización permanente sobre tecnologías de diversa índole.

1.7. Estructura organizacional

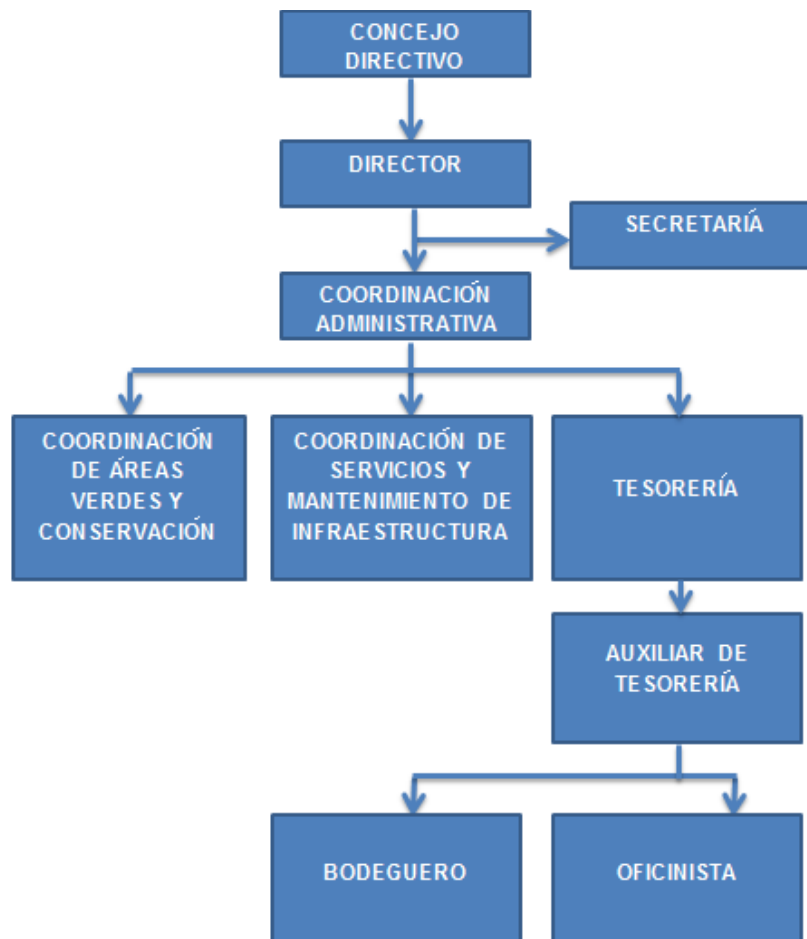
Una estructura organizacional es la base jerárquica de subordinación dentro de una institución, el Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur, está constituido organizacionalmente de la siguiente manera:

- Concejo directivo.
- Director.
- Coordinador académico, coordinador administrativo y de servicios.
- Coordinador de área Metal Mecánica, coordinador de área Electrónica, coordinador de área Procesos de Manufactura, coordinador de área Producción Alimenticia, coordinador de área Mecánica Automotriz y coordinador de área Refrigeración y Aire Acondicionado.
- Profesores y auxiliares.
- Secretarias.
- Encargados de mantenimiento y servicios.
- Personal administrativo y vigilancia.

1.7.1. Personal administrativo

Toda institución debe contar con personal administrativo para la realización de diferentes tareas, el ITUGS cuenta con un organigrama para dar a conocer como está formado su personal, el cual se presenta a continuación:

Figura 3. Organigrama del personal administrativo

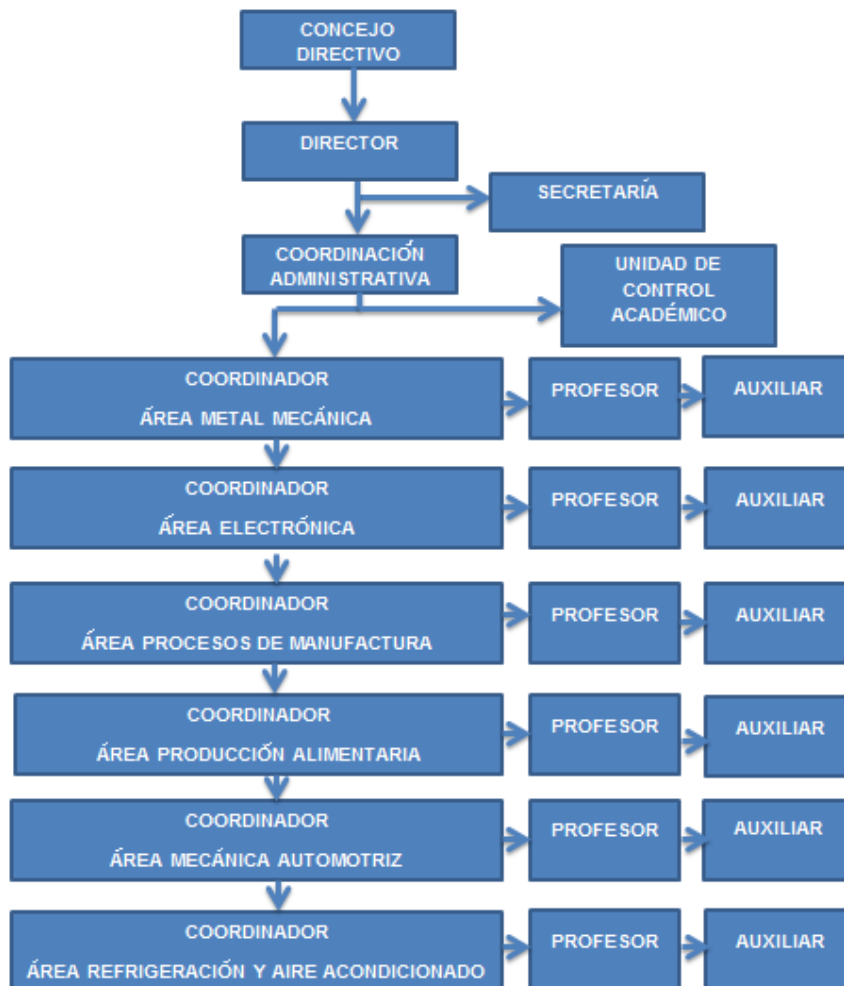


Fuente: ITUGS.

1.7.2. Personal docente

Para las diferentes carreras con las que cuenta el ITUGS se cuenta con personal docente, en el siguiente organigrama se representa como está constituida cada área con base en cada coordinación:

Figura 4. Organigrama del personal docente

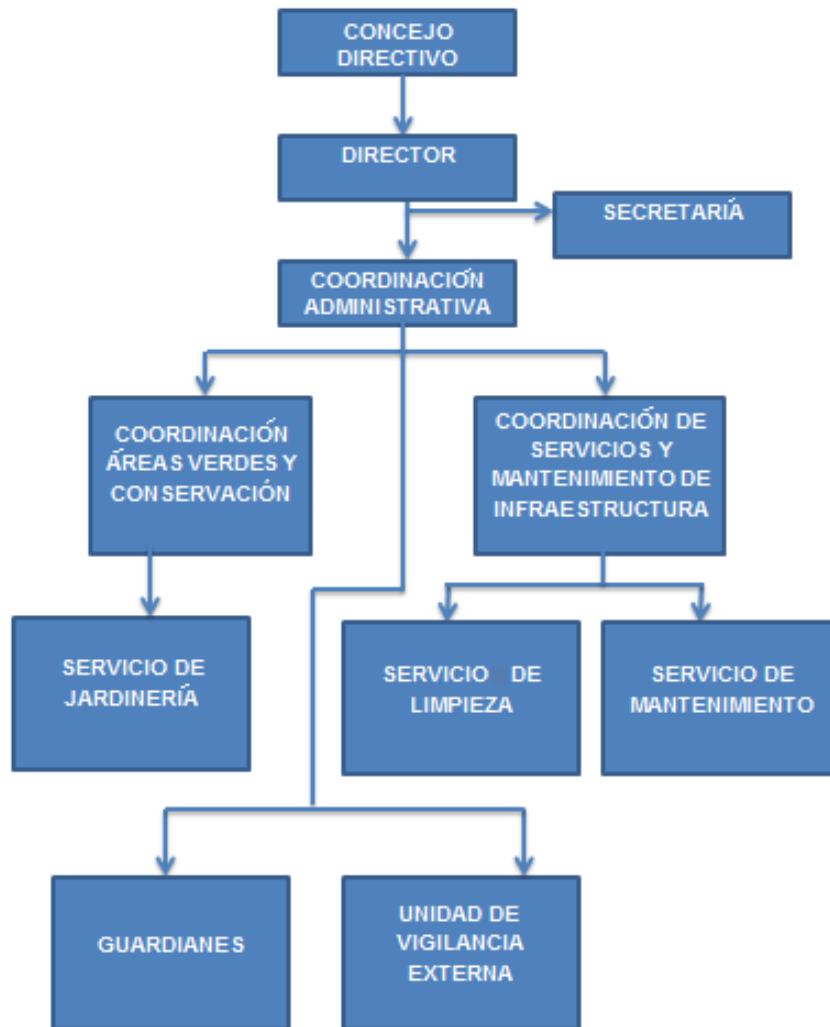


Fuente: ITUGS.

1.7.3. Personal operativo

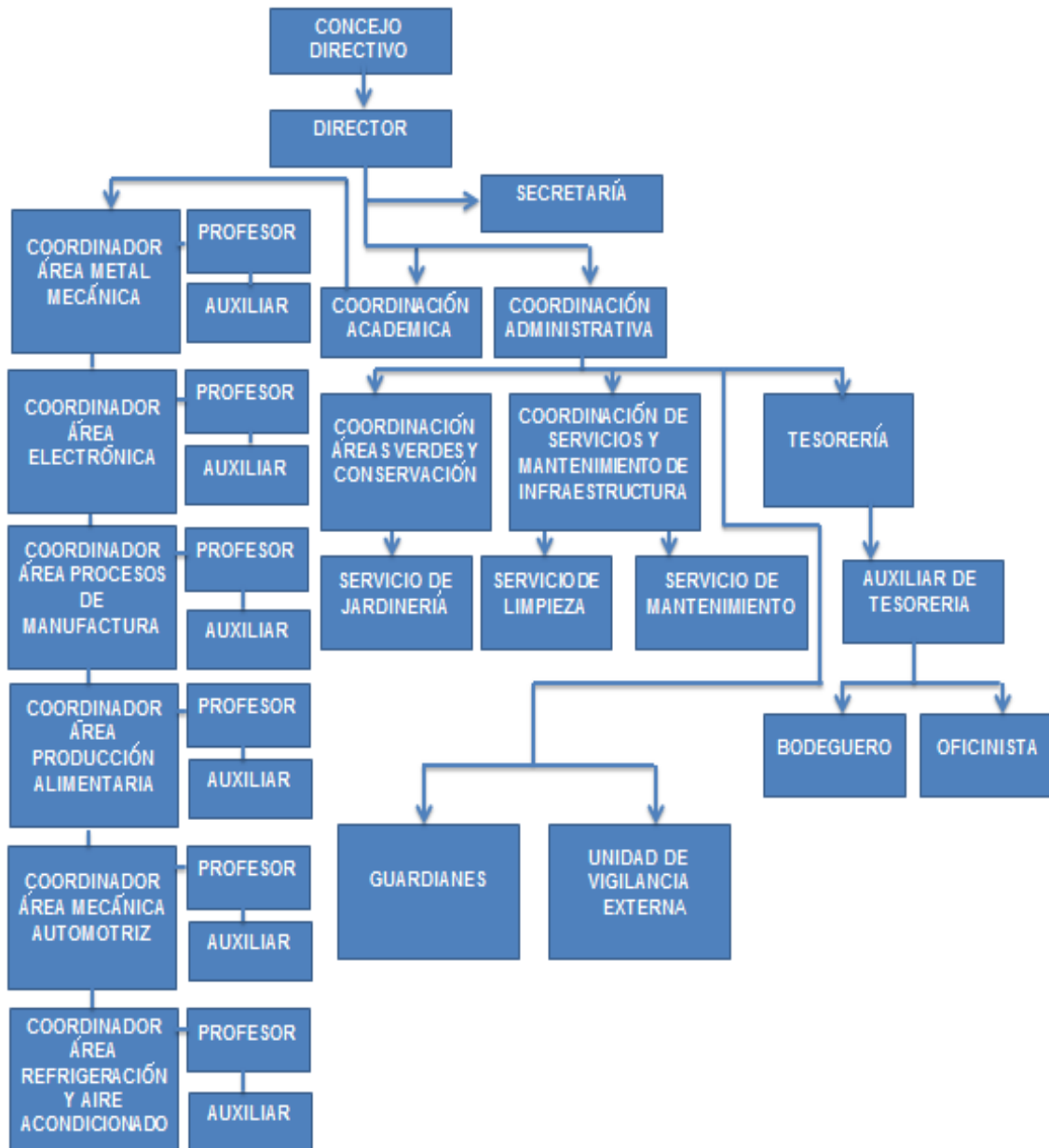
El ITUGS cuenta con personal operativo para mantener en condiciones óptimas cada una de las áreas del mismo, a continuación se presenta el organigrama para conocer la estructura del mismo.

Figura 5. Organigrama del personal operativo



Fuente: ITUGS.

Figura 6. Organigrama general del ITUGS



Fuente: ITUGS.

1.8. Carreras que imparte el ITUGS

Las carreras técnicas universitarias son de alto rendimiento. Sus egresados cuentan con la capacidad para incorporarse a actividades industriales de producción, mantenimiento y aseguramiento de calidad. También cuenta con una base técnica fundamentada en la investigación y el acervo guatemalteco.

1.8.1. Procesos de manufactura

La carrera técnica de procesos de manufactura cuenta dentro de su módulo con equipos y herramientas sofisticadas y personal docente capacitado para la enseñanza. El perfil profesional y el campo ocupacional es el que se describe a continuación:

- Perfil profesional del egresado
 - Diseño de piezas.
 - Conocimientos básicos en soldadura industrial.
 - Organizar, dirigir y ejecutar las operaciones en máquinas-herramientas y tratamientos térmicos.
 - Interpretación y elaboración de planos de taller para la fabricación/producción.
 - Conocimiento de las propiedades y características de los diferentes metales utilizados en la fabricación de estructuras.
 - Podrá analizar e interpretar los programas de fabricación/producción, así como los planos del taller.

- Campo ocupacional
 - Podrá optar a ocupar los cargos de jefe de taller y/o supervisor de área.
 - Empresas que elaboran piezas y/o moldes.
 - Empresas que se dedican al mantenimiento industrial.

1.8.2. Metal mecánica

La carrera técnica de metal mecánica, tiene como objetivo principal la de enseñar el uso correcto de las diferentes soldaduras existentes en el mercado. El perfil profesional y el campo ocupacional es el que se describe a continuación:

- Perfil profesional del egresado
 - Experto en procesos de soldadura industrial y sus aplicaciones.
 - Podrá realizar mantenimiento preventivo en las áreas de electricidad, mantenimiento mecánico, estructuras metálicas, etc.
 - Conocimiento de las propiedades y características de los diferentes metales utilizados en la fabricación de piezas.
 - Experiencia en el manejo de las diferentes máquinas y equipos de soldadura, cortadoras y dobladoras.
 - Podrá analizar e interpretar los programas de fabricación/producción, así como los planos del taller.
- Campo ocupacional
 - Empresas que elaboran estructuras metálicas.

- Industria en metal mecánica.
- Ocupar el puesto de supervisor de grupos de trabajo.

1.8.3. Electrónica

La carrera técnica de electrónica está diseñada para desarrollar la reparación y desarrollo de equipos electrónicos para contribuir al mercado tecnológico. El perfil profesional y el campo ocupacional es el que se describe a continuación:

- Perfil profesional del egresado
 - Mantener, reparar, instalar y ejecutar actualización de equipos y sistemas electrónicos.
 - Administrar recursos que se le asignan para el desarrollo de sus tareas.
 - Participar en la elaboración y evaluación de proyectos relacionados con la electrónica desde su perspectiva técnica y profesional.

- Campo ocupacional
 - Podrá desempeñarse en empresas del sector minero, metal mecánica, agroforestal, equipamiento médico, energías limpias y fabriles con procesos industriales.

1.8.4. Refrigeración y aire acondicionado

La carrera técnica de refrigeración y aire acondicionado está diseñada con base en la operación, reparación y diseño de equipos de refrigeración y aire acondicionado. El perfil profesional y el campo ocupacional es el que se describe a continuación:

- Perfil profesional del egresado
 - Conocimientos en diseño, operación, diagnóstico y mantenimiento de equipos de refrigeración y aire acondicionado, tanto domiciliar como comercial e industrial.
 - Manejo de las diferentes máquinas, equipos y herramientas de servicio especializadas del área.
 - Diagnosticar fallas, planificar mantenimiento preventivo.

- Campo ocupacional
 - Diseño, instalación, operación y mantenimiento de equipos de refrigeración y aire acondicionado en:
 - Hoteles, edificios, oficinas, comercios, casas de habitación.
 - Industrias procesadoras de alimentos.
 - Transporte refrigerado.
 - Cuartos refrigerados de barcos.
 - Vehículos automotores.
 - Ocupar el puesto de supervisor de grupos de trabajo.

1.8.5. Producción alimentaria

La carrera de producción alimentaria tiene entre uno de sus objetivos desarrollar sistemas de control de alimentarios, sistemas de producción, entre otros. El perfil profesional y el campo ocupacional es el que se describe a continuación:

- Perfil profesional del egresado
 - Verificar sistemas de producción de alimentos, con base en planificaciones gerenciales y a los estándares de calidad definidos por la empresa.
 - Aplicar los estándares nacionales e internacionales que rigen la calidad en los productos y procesos.
 - Cuenta con una formación científicotécnica para el registro y lectura de datos de producción y sus controles para la toma de decisiones.
 - Determina los factores de riesgo y diferentes tipos de contaminación alimentaria.

- Campo ocupacional
 - Participación en procesos de planificación, ejecución y control de programas de procesamiento de alimentos en medianas y grandes empresas. Facilitar la relación y comunicación entre operarios y niveles gerenciales.
 - Ocupar el puesto de supervisor de grupos de trabajo.

1.8.6. Mecánica automotriz

La carrera técnica de mecánica automotriz busca desarrollar nuevos sistemas de control sobre los equipos de los vehículos a través de diagnósticos. El perfil profesional y el campo ocupacional es el que se describe a continuación:

- Perfil profesional del egresado
 - Comprender y manejar los distintos sistemas automotrices.
 - Capacidad para diseño de programas de mantenimiento de automotores.
 - Realizar diagnósticos de fallas y corregirlos.
 - Supervisar el mantenimiento mecánico, eléctrico y electrónico de automotores, tanto de vehículos individuales como de flotas de estos.
 - Brindar asesorías en mantenimiento preventivo mecánico, eléctrico o electrónico, a través de una compañía del ramo, o bien, a través de una empresa.

- Campo ocupacional
 - Podrá trabajar en talleres de servicio de vehículos o de flotas de automotores.
 - Desempeñarse en talleres de mantenimiento industrial.
 - Desempeñarse como asistente de servicio de agencias automotrices.
 - Ocupar el puesto de supervisor de grupos de trabajo.

2. SITUACIÓN ACTUAL DEL MANTENIMIENTO DENTRO DE LAS ÁREAS A EVALUAR EN EL ITUGS

2.1. Análisis general del mantenimiento del ITUGS

El período del presente análisis comprende desde el mes de agosto del 2012 a abril del 2013, está enfocado en el programa de mantenimiento que actualmente se lleva acabo tanto del pozo mecánico como de la planta de tratamiento de aguas residuales del ITUGS. El mantenimiento que actualmente se realiza no es eficiente, por estar limitado exclusivamente a tareas de mantenimiento correctivo, lo cual ha generado, desde hace varios meses, fallas repetitivas, tanto en el pozo mecánico como en la planta de tratamiento. Esta razón, hace necesariamente importante el análisis, diseño y práctica de un programa de mantenimiento preventivo para estos dos equipos.

La falta de un programa de mantenimiento de la infraestructura y equipo que se maneja dentro del Instituto, genera una serie de fallas que dificultan las operaciones y actividades normales del ITUGS, porque impactan directamente sobre costos de operación, planificación de actividades, deterioro del equipo e instalaciones y, principalmente, sobre la capacidad de cumplimiento de los objetivos para los cuales fue diseñado el ITUGS.

El punto principal por el cual no se está llevando a cabo un mantenimiento preventivo tanto en el pozo mecánico, planta de tratamiento, equipos e infraestructura del ITUGS es por la falta de una figura encargada de la gestión del mantenimiento. Actualmente cualquier falla que se presenta es solucionada por el director, administrador y tesorería, con especial énfasis en la corrección y poca consideración en la prevención. La problemática es agudizada por la ausencia de un departamento de mantenimiento, auxiliar/es de mantenimiento, instalaciones, equipos, herramientas, enseres y manuales de operación de los equipos.

2.1.1. Análisis FODA

Albert Humphrey definió el FODA como una metodología de estudio de una situación dada dentro de una organización, analizando fortalezas y debilidades correspondientes a características internas, amenazas y oportunidades correspondientes a características externas. De las siglas de las categorías de análisis internos y externos, deriva el nombre de la metodología.

2.1.1.1. Fortalezas

Se entiende por fortaleza dentro del análisis FODA, al aspecto interno dentro de una organización el cual deberá saber si se puede controlar o no. Si se orienta a la problemática expuesta dentro de este capítulo, son todos aquellos factores con los que ya cuenta el ITUGS y contribuirán en gran medida a la implementación de la presente propuesta.

2.1.1.2. Oportunidades

Una oportunidad dentro del contexto de un análisis FODA, supone una circunstancia externa de una organización y de la cual se verá enlazado con situaciones como: tecnología, economía, sociedad, política para el cumplimiento de sus objetivos. Aplicado a la propuesta expuesta, son todos aquellos factores que pueden ayudar al ITUGS, sin embargo, estos factores dependen de si se cuenta con el recurso económico para la adquisición de tecnología, maquinaria, equipo, entre otros.

2.1.1.3. Debilidades

Contraria a la fortaleza dentro del análisis FODA, la debilidad es un aspecto interno que disminuye la capacidad para responder ante cualquier situación adversa.

En la propuesta expuesta, la debilidad la constituyen factores o condiciones presentes en el ITUGS, que representan riesgos potenciales que impidan, parcial o totalmente, la implementación de la misma.

2.1.1.4. Amenazas

En el contexto del análisis FODA, la amenaza está constituida por todas aquellas circunstancias que obstaculizan el desarrollo de una organización y de las cuales en la mayoría de las veces es difícil controlar.

En esta propuesta del programa de mantenimiento, las amenazas serían todos aquellos factores y condiciones externas, que comprometan, seriamente, la implementación, la ejecución, la eficiencia y efectividad del programa de mantenimiento.

En la tabla I se ejemplifican algunos de los factores de mayor incidencia para el análisis FODA del mantenimiento del ITUGS, ordenados por Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas, respectivamente.

Tabla I. **Análisis FODA del mantenimiento dentro del ITUGS**

FORTALEZAS	F₁	Apoyo económico de la USAC.
	F₂	Apoyo de la administración del ITUGS.
	F₃	Instalaciones amplias y nuevas para un departamento de mantenimiento.
	F₄	Disponibilidad de servicios varios (vehículos, luz, teléfono, servicio de internet, mensajería, etc.).
OPORTUNIDADES	O₁	Mejor control a futuro de los equipos que el mercado pueda ofrecer para realizar el mantenimiento preventivo.
	O₂	Existen instituciones que utilizan los mismos equipos y pueden brindar asesoría.
	O₃	Personal capacitado en el mercado laboral.
	O₄	Imagen y credibilidad para justificar el apoyo internacional de países como: Taiwán, Corea, entre otros.

Continuación de la tabla I.

DEBILIDADES	D₁	Escaso equipo, herramientas, útiles y enseres.
	D₂	Carencia de personal para realizar mantenimiento.
	D₃	Poca documentación operativa de los equipos y débil conocimiento de la operación de los mismos.
	D₄	Falta de presupuesto para cubrir las necesidades de mantenimiento.
AMENAZAS	A₁	Existencia de repuestos en el mercado.
	A₂	Clima.
	A₃	Logística de mantenimiento.
	A₄	Necesidad de maquinaria especializada.

Fuente: elaboración propia.

Luego de la realización del análisis FODA, se ha determinado las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas que presenta el mantenimiento dentro del ITUG. Deberá buscarse estrategias sólidas para poder proyectar mayor fuerza a cada una de las fortalezas y oportunidades, para ello es importante trabajar con estrategias tomadas a raíz de relacionar las fortalezas con oportunidades (FO). Además se tiene que minimizar las debilidades ante oportunidades (DO), luego cimentar bien las fortalezas para enfrentar amenazas (FA) y trabajar las debilidades para resistir y eliminar amenazas (DA).

A continuación se presenta la matriz de relación para poder generar las estrategias del análisis FODA.

Tabla II. **Matriz de relación de estrategias FODA**

	O₁	O₂	O₃	O₄	PONDERACIÓN
F₁	2	1	0	2	0= No tiene relación
F₂	1	1	2	1	1= Tiene poca relación
F₃	1	1	1	0	2= Tiene mucha relación
F₄	0	0	1	0	
	O₁	O₂	O₃	O₄	PONDERACIÓN
D₁	2	1	1	1	0= No tiene relación
D₂	1	1	2	0	1= Tiene poca relación
D₃	2	1	1	0	2= Tiene mucha relación
D₄	1	1	1	1	
	A₁	A₂	A₃	A₄	PONDERACIÓN
F₁	0	0	0	0	0= No tiene relación
F₂	0	0	2	0	1= Tiene poca relación
F₃	0	0	0	2	2= Tiene mucha relación
F₄	2	0	1	0	
	A₁	A₂	A₃	A₄	PONDERACIÓN
D₁	0	0	0	0	0= No tiene relación
D₂	0	0	0	0	1= Tiene poca relación
D₃	0	0	0	2	2= Tiene mucha relación
D₄	0	0	2	2	

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. Estrategias del análisis FODA

FO	(F ₁ ,O ₁)	Establecer un control de equipos y herramientas que se utilicen en el programa de mantenimiento preventivo.
	(F ₁ ,O ₄)	Buscar convenios con países extranjeros, tales como: Taiwán, Corea, entre otros, para recibir apoyo económico para necesidades del ITUGS.
	(F ₂ ,O ₃)	Contratar personal que está especializado en el mercado laboral.
DO	(D ₁ ,O ₁)	Introducir nuevas tecnologías, para tener un mejor control de los componentes que conforman el pozo mecánico, planta de tratamiento, equipos e infraestructura del ITUGS.
	(D ₂ ,O ₃)	Capacitar constantemente al nuevo personal del departamento de mantenimiento.
	(D ₃ ,O ₁)	Adquirir manuales de equipos, para un mejor programa de mantenimiento hacia los mismos.
FA	(F ₂ ,A ₃)	Generar convenios con empresas tercerizadoras, para lograr descuentos en actividades de mantenimiento preventivo, de equipos complejos del ITUGS.
	(F ₃ ,A ₄)	Crear vías de acceso para la movilización de maquinaria pesada utilizada para extraer componentes de la bomba sumergible y planta de tratamiento.
	(F ₄ ,A ₁)	Establecer una base de datos con proveedores de repuestos para una compra inmediata de los mismos, cuando sea necesario.

Continuación de la tabla III.

DA	(D₃,A₄)	Fortalecer el programa de mantenimiento preventivo de los equipos críticos por medio de manuales y la utilización de maquinaria especializada brindada por empresas tercerizadoras.
	(D₄,A₃)	Apoyar la implantación presupuestaria para actividades de mantenimiento y crear una logística de mantenimiento efectiva.
	(D₄,A₄)	Designar presupuesto para actividades de mantenimiento donde se deba usar equipo especializado, para revisar configuraciones complejas del pozo mecánico y planta de tratamiento.

Fuente: elaboración propia.

2.2. Diagrama Causa-Efecto respecto al mantenimiento

Kaoru Ishikawa estableció el diagrama Ishikawa conocido también como diagrama Causa-Efecto, el cual es una herramienta que ayuda a facilitar el análisis y soluciones correspondientes a causas de un problema y sus efectos. Este diagrama es utilizado en las fases de diagnóstico y solución de las causas que generan determinados problemas.

A continuación se presenta el análisis causa- efecto del pozo mecánico y la planta de tratamiento, primero se determinará cual es el problema que se presenta en el ITUGS, luego con el uso de las 6M'S del diagrama Ishikawa se determinará las causas que llevan a generar un efecto y, finalmente se detectará cual es la causa raíz del problema que se está presentando en el ITUGS, para luego presentar una solución a la problemática establecida.

¿Cuál es el problema?

Dentro del ITUGS se están presentando dos problemas, el primero es la interrupción de agua potable, este problema se genera ya que en el pozo mecánico se han presentado fallas en la configuración de su estructura, esto provoca que los módulos y las oficinas del Tecnológico no cuenten con agua potable y, a su vez, el área de cafetería queda afectada ya que no puede realizar los alimentos.

El segundo problema que se genera es la contaminación del medio ambiente. Actualmente la planta de tratamiento presenta problemas en su configuración, por lo cual, las aguas residuales están siendo desviadas hacia un pozo, generando daños en el manto freático y en un momento determinado puede surgir un rebalse de las aguas residuales de los pozos que, a su vez, provocaría brotes de enfermedades en los estudiantes y personal administrativo del ITUGS.

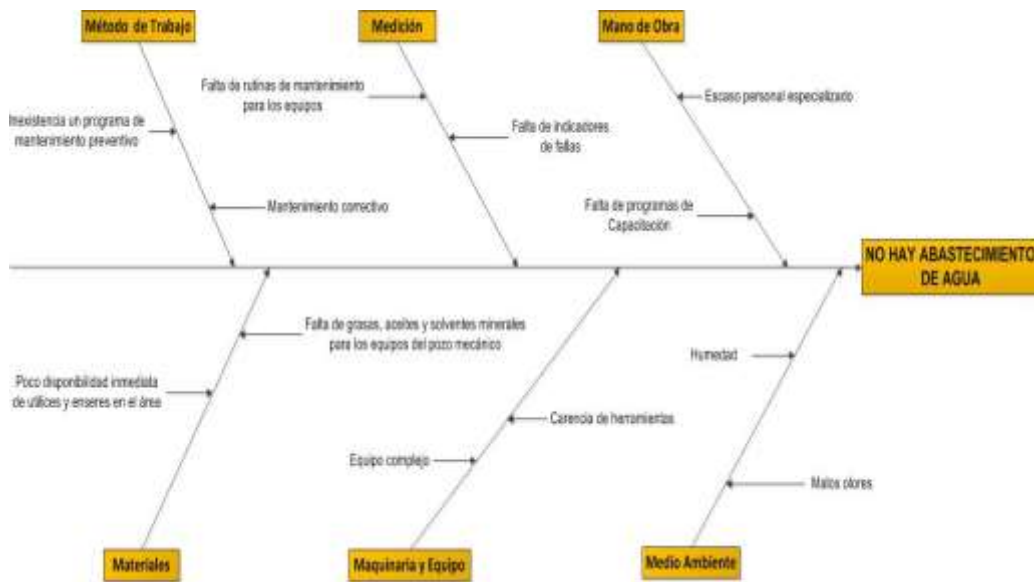
Aplicación de las 6M'S

Para el diagrama Ishikawa se utilizan las 6M'S las cuales son: método de trabajo, medición, mano de obra, materiales, maquinaria y equipo, y medio ambiente.

2.2.1. Pozo mecánico

A continuación se presenta el diagrama Causa-Efecto donde se analiza cuáles son las posibles causas que están generando un efecto derivado del problema que es la interrupción de agua potable dentro de las instalaciones del ITUGS.

Figura 7. Diagrama Causa-Efecto de la falta de abastecimiento de agua

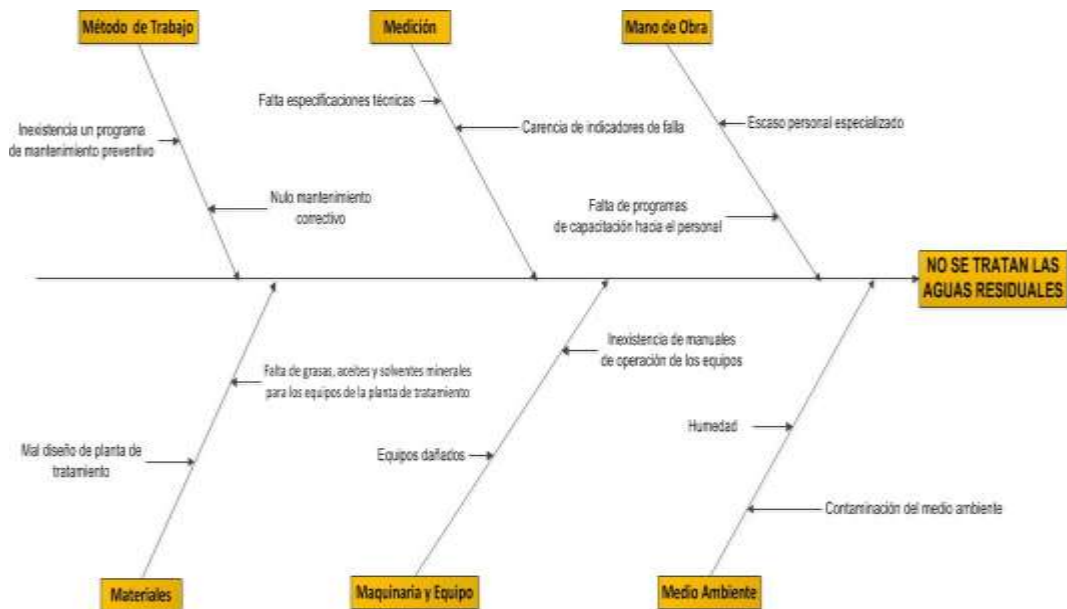


Fuente: elaboración propia.

2.2.2. Planta de tratamiento

A continuación se presenta el diagrama Causa-Efecto donde se analiza cuáles son las posibles causas que están generando un efecto derivado del problema que es la contaminación del medio ambiente, debido a que no se están tratando las aguas residuales que salen del ITUGS.

Figura 8. **Diagrama Causa-Efecto de la falta de tratamiento de aguas residuales**



Fuente: elaboración propia.

- Causa raíz

La causa raíz que se detectó en los dos diagramas Ishikawa que se realizaron fue la no existencia de un programa de mantenimiento preventivo, tanto para el pozo mecánico como para la planta de tratamiento de aguas residuales, lo cual está generando que los equipos estén dañados, no haya personal especializado para la supervisión de los componentes y no se cuenten con rutinas de mantenimiento preventivo. Estas y otras causas implican que no haya abastecimiento de agua y que no se estén tratando las aguas residuales.

La información contenida en el diagrama Causa-Efecto fue obtenida durante un período de 8 meses, comprendida entre agosto de 2012 y abril del 2013, sin incluir diciembre de 2012. Durante este período se observó el funcionamiento de los equipos correspondientes al pozo mecánico y planta de tratamiento, como parte del proyecto para la habilitación de la planta de tratamiento y desarrollo de los planes de mantenimiento para los equipos del Tecnológico.

2.3. Diagnóstico del mantenimiento

Un diagnóstico se basa en el análisis que se hace a través de bases de datos o información recopilada para determinar la situación en la cual se encuentra un equipo, seguido de una verificación de como se está realizando el mantenimiento a cada uno de los equipos que se están evaluando en el presente trabajo.

2.3.1. Administrativo

El objetivo del presente sub capítulo radica en el análisis de la gestión del mantenimiento preventivo, a nivel administrativo, abarcando los niveles gerenciales del ITUGS, encargados de la ejecución, supervisión, control y mejora continua.

2.3.1.1. Planificación

La planificación está constituida por una serie de actividades que deben realizarse exitosamente en un tiempo determinado. Actualmente, el ITUGS no cuenta con una planificación de actividades de mantenimiento claramente establecida, especialmente del orden preventivo. Una mínima planificación se realiza en el mantenimiento correctivo, derivada de la reparación de fallas diversas.

2.3.1.2. Supervisión

En la actual estructura organizacional del ITUGS, expuesta en el primer capítulo del presente documento, existe un puesto cuya función es planificar y velar por que todas las actividades de mantenimiento sean llevadas a cabo. En la actualidad el ITUGS carece de este puesto encargado de la gestión del mantenimiento, tanto de los elementos expresados en el presente trabajo como aquellos que comprenden las instalaciones y equipo utilizado en actividades académicas.

Como se ha explicado previamente, las actividades de mantenimiento en la actualidad están en función del mantenimiento correctivo, para lo cual el ITUGS recurre a empresas tercerizadoras de servicios. Finalizadas las actividades del mantenimiento correctivo vuelve a surgir la necesidad del puesto de encargado del mantenimiento. Solo existe una persona que es el encargado de velar por las actividades del mantenimiento correctivo quien, además, tiene graves carencias de equipo, herramientas, instalaciones y capacitación para llevar a cabo dicha función.

2.3.1.3. Control

Diversas normalizaciones, tales como ISO 9001:2008, contemplan que para llevar el control de un proceso o actividades es necesaria la documentación del mismo, específicamente se refiere a: métodos operativos, anexos de control y registros de control para la actividad. Tomando en cuenta que en el ITUGS no existe un programa de mantenimiento ni preventivo ni correctivo para la bomba de agua y la planta de tratamiento, es necesario implementar registros que respalden el historial de estas actividades.

2.3.2. Pozo mecánico

Un pozo mecánico está compuesto por una bomba sumergible, motor eléctrico, tubería de descarga, tanque de abastecimiento y una caseta de controles, que de una excavación profunda, extrae, clora y distribuye agua potable a un tanque, apta para ser utilizada en servicios básicos para consumo humano.

Todo lo relacionado con un pozo mecánico se hace a través de una empresa especializada, que contratará los servicios de un ingeniero geólogo, el cual se encargará de realizar el estudio técnico-profesional, para posteriormente poner en marcha el proyecto.

La perforación de un pozo mecánico se hace con maquinaria y equipo especializado, el cual deberá ser trasladado desde la sede de la compañía hasta el lugar de la perforación. También es necesario el transporte de materiales complementarios, tales como: tubería, arena, grava, piedrín y otros, algunos de los cuales son adquiridos con terceras empresas que deben transportarlas hasta el lugar de la perforación.

Tanto para el montaje y desmontaje de la maquinaria deben contemplarse todos los trabajos preliminares a la perforación, tales como: instalación de la maquinaria y equipo en el sitio de trabajo, construcción de las fosas de lodos, lugar donde se realizará la mezcla de lodos de perforación, equipos diversos y bodega de herramientas en tanto sea posible. En todos los casos al completar los trabajos, el contratista deberá restaurar el sitio ocupado a su condición original.

Para la construcción del pozo mecánico del ITUGS fue utilizado un equipo de perforación de rotación, por tener la capacidad de alcanzar la profundidad al diámetro indicado y porque contaba con las características necesarias para perforar estratos de diferentes durezas y capacidades.

Con el objeto de evitar contaminación inducida durante la perforación y pruebas, especialmente de bacterias ferruginosas consideradas dañinas para la vida útil del pozo, antes de iniciar la perforación se realizó una desinfección a cada una de las herramientas que se utilizarían en la perforación, habiéndose utilizado una solución a base de hipoclorito de calcio al 30 por ciento.

El diámetro de perforación fue de 0,31 metros (12 ¼ pulgadas), el cual fue el necesario para la instalación del empaque o filtro de grava o estabilizadores de formación, cuando sea necesario, alrededor de la rejilla o coladera del pozo. La profundidad del pozo es de 182 metros (600 pies), ya que a esta distancia se encontró un acuífero que lograba proporcionar el caudal necesario para el abastecimiento de agua potable.

Dentro del trabajo de perforación se tuvo cuidado para que el pozo quedará vertical y obtener una óptima instalación del equipo de impulsión que ya se tenía programado instalar, habiéndose efectuado las respectivas pruebas de verticalidad, la cual se realiza con el objeto de que no exista un rozamiento indebido entre las partes del equipo de bombeo y el ademe del pozo.

Durante el proceso de la perforación del pozo se realizó un registro de cómo se encontraba el lodo mientras se realizaba el trabajo de perforación, a continuación se muestra la tabla IV, indicando cada uno de los datos obtenidos.

Tabla IV. **Registro del análisis del lodo en la perforación del pozo**

Especificaciones	Datos
pH del lodo	7,3
Viscosidad del lodo	41 m ² /s
Temperatura del lodo	22 °C
Peso específico del lodo	1 104,97 kg/m ³

Fuente: ITUGS.

Asimismo, durante la perforación del pozo se tomaron muestras de los materiales encontrados en el curso de la misma y en los cambios de estratos. Estas muestras fueron debidamente puestas en bolsas plásticas, en el mismo sitio de la perforación. Los materiales encontrados durante el proceso de perforación, son los siguientes.

Tabla V. **Registro de los materiales encontrados en la perforación del pozo del ITUGS**

Profundidad	Tipo de material
De 0 a 18 metros, aproximadamente	Piedra con barro
De 18 a 100 metros, aproximadamente	Roca sólida
De 100 a 129 metros, aproximadamente	Roca saturada
De 129 a 138 metros, aproximadamente	Roca volcánica
De 138 a 176 metros, aproximadamente	Barro con piedra
De 176 a 182 metros aproximadamente	Roca saturada

Fuente: ITUGS.

La tubería y sus uniones instaladas dentro del pozo son de ademe, la cual es la recomendada para proteger de derrumbes las paredes del pozo. Esta tubería es lisa, de acero al carbón y con un diámetro interno de 0,20 metros (8 pulgadas), peso de 52,68 kilogramos (24 libras) por metro y de un espesor de pared de 0,67 centímetros (0,26 pulgadas), según las características especificadas en la Norma ASTM A-53 y especificaciones recomendadas en el estudio hidrogeológico.

Para la instalación de la tubería se cumplieron recomendaciones para que la misma fuera introducida libremente, sin necesidad de ser doblada. También se atendió la recomendación de que la longitud y colocación de la tubería de rejilla, no sobrepasara el nivel del bombeo.

La estabilización del pozo se hizo mediante el suministro e instalación de grava, la cual permitió formar el empaque del espacio anular entre las paredes del pozo y la tubería de ademe. El espacio anular fue de 50 milímetros de espesor.

El sello sanitario del pozo se hizo posteriormente, el cual consiste en una estructura de concreto en las proximidades de la boca del pozo, y que evita posibles filtraciones indeseables del exterior. Incluyó la estructura superficial que rodea la parte externa del ademe, la zona inmediata del ademe y sirve de base para el equipo de bombeo.

Después de la construcción, el pozo fue objeto de una limpieza habiéndose extraído todos los materiales resultantes de la perforación. Posteriormente, se produjo la agitación en el interior del pozo para provocar el ajustado al diámetro interior de la tubería. Los trabajos de agitación mecánica y limpieza del pozo se realizaron en un período de 48 horas continuas. La operación, denominada desarrollo y limpieza, quedó completa hasta que el agua extraída del pozo no contuviera materiales en suspensión.

Antes de la extracción del equipo utilizado para la prueba de bombeo y la desinfección del pozo, se tomó una muestra de agua la cual fue colocada en un recipiente plástico de un galón, previamente esterilizado y desmineralizado, con propósitos de análisis físicos y químicos, tales como: olor, color, temperatura, turbiedad, PH, conductividad, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos, acidez, dióxido de carbono, alcalinidad, calcio, magnesio, dureza total, cloruro, fluoruro, hierro, manganeso, oxígeno disuelto, cloro total y cloro residual. También se realizaron exámenes bacteriológicos para consumo humano, tales como: grupo coniforme fecal y total, *Escherichia coli* y recuento aeróbico total.

Luego de realizar todos los análisis correspondientes se comprobó que el pozo mecánico cumplía con todos los requerimientos necesarios para su uso correspondiente dentro de las instalaciones del ITUGS.

2.3.2.1. Sistema eléctrico

Dentro de su configuración el pozo mecánico lo conforma una parte eléctrica la cual está compuesta por: el motor eléctrico y el cuarto de máquinas, en donde se encuentran ubicados el circuito eléctrico de mando y el circuito eléctrico de fuerza.

El motor eléctrico sumergible tiene la función de poner a trabajar la bomba sumergible para que succione agua hacia la superficie. Este equipo posee las siguientes características, (ver tabla VI):

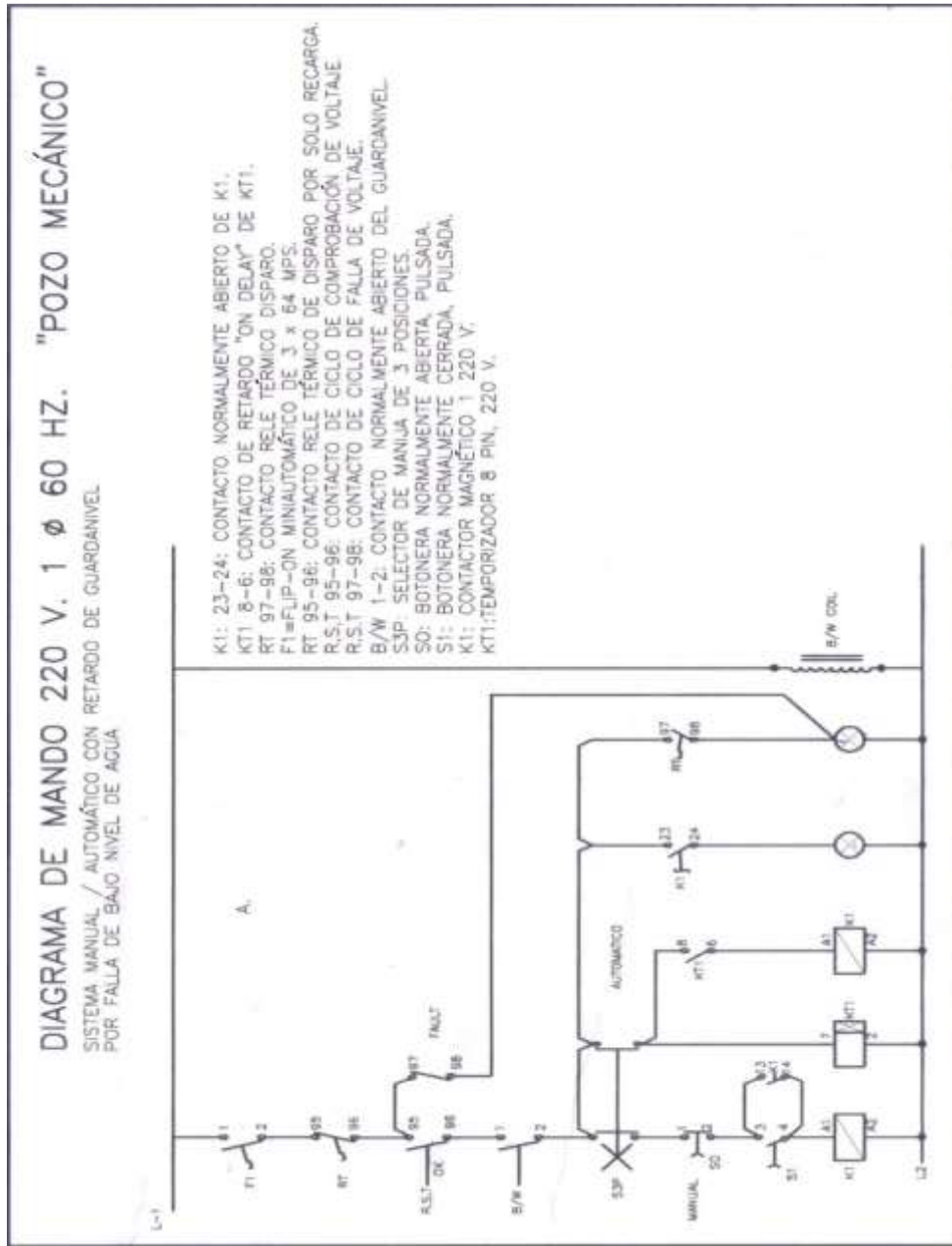
Tabla VI. **Especificaciones técnicas del motor eléctrico sumergible actual**

Especificaciones	Datos
Marca	Franklin Electric
Número de serie	11L19-18-080728336336911
Modelo	276 6196 020
Código	11L19
Fase	3
Temperatura ambiente	50 °C
Hp	60
Voltios	460/380-415
Amperios	81,0
Hertz	60
Factor de seguridad	1,15

Fuente: ITUGS.

El cuarto de máquinas está constituido por un circuito eléctrico de mando, el cual está compuesto de dos botones, encendido y apagado, donde el encendido está conectado a la línea 1 (L1) por mediación del fusible y del mismo al apagado de la conexión entre L1 y encendido y apagado-encendido, se conecta el contacto auxiliar del arrancador magnético, del segundo contacto del apagado a uno de los contactos de la bobina del arrancador magnético, del otro contacto de la misma bobina al contacto normalmente cerrado de la protección térmica, y de ahí a la línea 3 (L3), cerrando de esta forma el circuito. A continuación se presenta el diagrama de mando el cual representa el funcionamiento eléctrico del pozo mecánico (ver figura 9).

Figura 9. Diagrama de mando del pozo mecánico del ITUGS

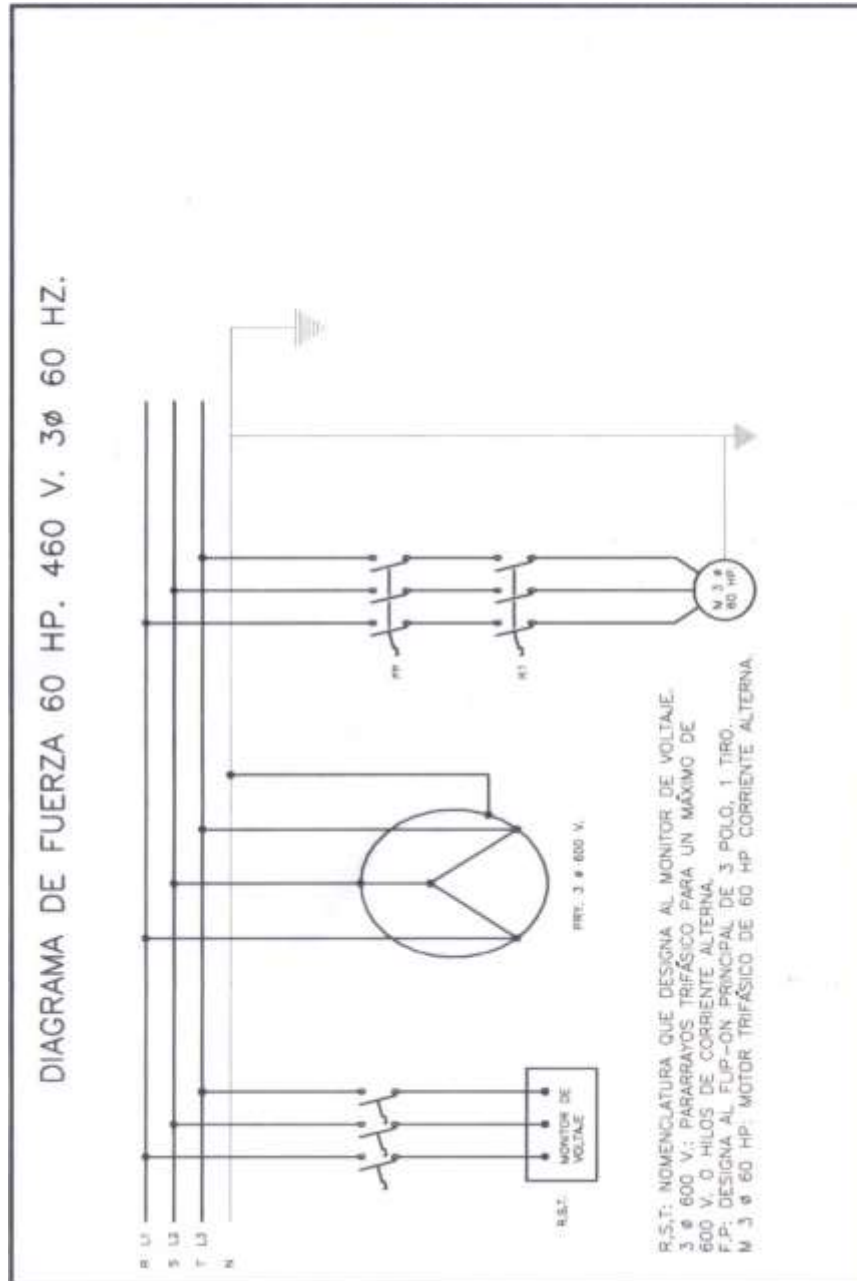


Fuente: ITUGS.

El pozo mecánico también está constituido por un circuito de fuerza que consiste en 3 fusibles que están conectados en forma independiente a cada una de las líneas (L1; L2; L3), de aquí se conectan a la entrada de los contactos principales del arrancador magnético y la salida de los mismos a la protección térmica y de aquí al motor, cuya función es la de suministrar energía al motor de la bomba el cual hace que funcione y realice el bombeo del agua potable para dirigirlo al tanque de abastecimiento, para que luego, por medio de gravedad, el agua se distribuya a cada uno de los módulos del ITUGS.

A continuación se presenta el diagrama de fuerza, el cual representa el funcionamiento de fuerza en la configuración que representa al pozo mecánico (ver figura 10).

Figura 10. Diagrama de fuerza del pozo mecánico del ITUGS



Fuente: ITUGS.

2.3.2.1.1. Correctivo

En junio 2012 el pozo mecánico sufrió una falla que dejó sin agua el tanque de abastecimiento, lo cual provocó una situación de crisis para la administración del ITUGS, quien tuvo que solicitar los servicios de tercerización de dos empresas para que se determinara qué parte de la configuración que compone el pozo mecánico había fallado.

Fue la empresa Hidrotecnia S. A., quien realizó los diagnósticos correspondientes de la bomba sumergible, motor eléctrico y al panel de control que compone la configuración del pozo mecánico. Con base en los análisis de laboratorio realizados determinaron que el motor eléctrico había sufrido daño.

Hidrotecnia S. A. determinó que el motor eléctrico sumergible contaba con las siguientes características, (ver tabla VII):

Tabla VII. **Especificaciones técnicas del motor eléctrico sumergible que tenía el pozo mecánico**

Especificaciones	Datos
Marca	Hitachi
Número de serie	G25721E
Tipo	V C T I
Clase	K K
Fase	3
Polos	2
Clasificación	S 1
Aumento de temperatura	120 K
Temperatura ambiente	25 °C

Continuación de la tabla VII.

HP	60
Voltios	460
Hertz	60
RPM	3370
Amperios	82
Código	G
Factor de seguridad	1,15
S.F.A	94
Fecha de fabricación	2005

Fuente: Hidrotecnia, S. A.

Durante el diagnóstico el motor eléctrico fue sometido a mediciones eléctricas para determinar el estado del mismo, cuyos resultados se detalla a continuación, (ver tabla VIII):

Tabla VIII. **Mediciones eléctricas tomadas al motor eléctrico**

Medición	Datos
Mediciones de resistencia eléctrica	0,0 ohmios
Mediciones de aislamiento sin coleta	0,0 Mega ohmios

Fuente: Hidrotecnia, S. A.

Después de que Hidrotecnia S. A. realizó las mediciones en el motor eléctrico detalladas en la tabla VII, determinó que el motor se encontraba fuera los rangos establecidos, razón por la cual recomendaron el reemplazo del mismo.

En el subcapítulo 2.5 se hace el análisis de los costos que implicaron la compra y la instalación del motor eléctrico en referencia, así como las repercusiones económicas que tuvo el ITUGS.

2.3.2.2. Sistema mecánico

El pozo mecánico también está constituido por una configuración mecánica la cual está integrada por una bomba sumergible y la tubería mediante la cual se hace la extracción del agua potable que, posteriormente, se distribuye dentro del Tecnológico.

El pozo mecánico cuenta actualmente con una bomba sumergible marca Grundfos, la cual tiene la función de succionar el agua del manto freático. En la tabla IX se puede observar las principales características que posee la referida bomba.

Tabla IX. **Especificaciones técnicas de la bomba sumergible que posee el pozo mecánico**

Especificaciones	Datos
Marca	Grundfos
Modelo	2305600-17
HP	60

Fuente: Hidrotecnia, S. A.

La tubería que esta introducida dentro del pozo mecánico es galvanizada y tiene un diámetro de 0,10 metros (4 pulgadas), con una longitud de 6,10 metros (20 pies) por cada tubo; dentro del pozo se tienen introducidos actualmente 28 tubos, cantidad que puede variar según sea el nivel del agua dentro del pozo.

En el capítulo 3 de este trabajo se hace referencia más profunda de cada uno de los equipos que constituyen el pozo mecánico y del mantenimiento que se le debe proporcionar en determinados períodos de tiempo.

2.3.2.2.1. Correctivo

Cuando se originó el problema en el pozo mecánico, la empresa Hidrotecnia, S. A. hizo un análisis, tanto de la parte eléctrica como parte mecánica del motor eléctrico. De la parte mecánica se realizaron las siguientes mediciones, (ver tabla X):

Tabla X. **Mediciones realizadas a la parte mecánica del motor eléctrico del pozo mecánico**

Parte evaluada	Resultado
Juego axial	Anormal
Giro de eje	Atrancado
Rotor	Malo
Estator	Con explosiones
Sello mecánico	Con daño
Cojinete de empuje	Malo
Diafragma	Mal estado
Embobinado	Quemado
Líquido de refrigerante interno	Cuenta con 0% dentro del motor

Fuente: Hidrotecnia, S. A.

Estas mediciones determinaron daños irreparables del motor, razón por la cual, posteriormente fue reemplazo.

La misma empresa Hidrotecnia, S. A. hizo un análisis de la bomba sumergible, marca Grundfos, con fines de determinar las condiciones mecánicas de la misma, cuyos resultados se detallan a continuación (ver tabla XI):

Tabla XI. **Mediciones realizadas a la bomba sumergible del pozo mecánico**

Parte evaluada	Resultado
Juego axial	Normal
Juego radial	Normal
Columna de impulsores	Libre con mínimo desgaste
Columna de difusores	Rayado funcional
Cojinetes	Buen estado
Funda de acero	Condiciones óptimas

Fuente: Hidrotecnia, S. A.

Después de este análisis se realizaron pruebas en la fosa para medir el grado de eficiencia de la bomba, acoplándose a un motor eléctrico de las mismas características, determinándose que la bomba se encuentra dentro del rango de operación, según la curva de eficiencia de la bomba.

Es importante indicar que, anteriormente, solo se han mencionado las características y los funcionamientos básicos de cada uno de los equipos que componen el pozo mecánico; en el siguiente capítulo se hará referencia al funcionamiento y el tipo de mantenimiento que se debe dar a cada uno de ellos para su óptimo funcionamiento.

2.3.2.3. Condiciones de la ubicación

El buen funcionamiento del equipo está condicionado a que debe estar instalado en un lugar que cumpla con los requisitos especificados por el fabricante. El equipo que constituye la configuración del pozo mecánico del ITUGS, está instalado dentro de las instalaciones del mismo, el cual está ubicado en el municipio de Palín, Escuintla, con características climatológicas propias de la región.

Palín por lo general posee clima cálido y lluvioso en unas etapas específicas del año. El clima de Palín, Escuintla, puede clasificarse como templado, aunque el mismo tiene variaciones de acuerdo a la época del año. El ITUGS está ubicado dentro de la demarcación del Cañón de Palín, lo cual hace que el viento fuerte y constante sea fenómeno característico del lugar, especialmente en los meses de noviembre a febrero.

La cabecera municipal de Palín se encuentra ubicada a una altura aproximadamente de 1 147 metros sobre el nivel del mar, tiene una latitud de 14° 24' 14" y una longitud de 90° 41' 55". El promedio de lluvia en 130 días es 1,5 milímetros, distribuidos entre los meses de mayo a octubre.

La temperatura media anual es de 20 grados Celsius. En el año puede obtenerse una temperatura máxima de 30 grados Celsius y una mínima de hasta 8 grados Celsius. El área que comprende el municipio es bastante húmeda, registrándose niveles de hasta 80 por ciento de humedad relativa.

Otro aspecto importante es la actividad electroatmosférica de la región, la cual representa un riesgo serio para el funcionamiento de los equipos.

2.3.3. Planta de tratamiento

El tratamiento de las aguas residuales consiste en una serie de procesos químicos, biológicos y físicos que tiene como función principal la eliminación de los contaminantes del agua a tratar.

Dentro del ITUGS se encuentra instalada una planta de tratamiento, cuyo fin es el tratamiento de las aguas residuales que se generan dentro de los módulos y oficinas del ITUGS. La planta de tratamiento con la que se cuenta es tipo aeróbica, la cual funciona principalmente con aire para realizar el proceso de tratamiento de las aguas residuales.

El tratamiento comienza por la separación física de sólidos grandes a través de sistema de rejillas que se encuentra en la parte inicial de la planta de tratamiento. Posteriormente, el agua se dirige a un tanque de aireación en el que el agua residual y el lodo biológico, constituido por enzimas digestivas, son mezclados y aireados.

En el proceso de lodos activados, los microorganismos son mezclados con materia orgánica en el agua residual, de tal forma que esta les sirve de sustrato alimenticio. Es importante indicar que la mezcla o agitación se efectúa por medio de difusores de burbuja fina, los cuales tienen la función de producir mezcla completa y agregar oxígeno al medio para que el proceso se desarrolle.

Los flóculos biológicos formados durante el proceso de lodos activados en el tanque de aireación, se sedimentan en un tanque denominado clarificador, de donde son recirculados nuevamente al tanque aireador o reactor.

Luego que se ha realizado la recirculación de los lodos por un determinado período de tiempo, estos son extraídos por una bomba de lodos hacia el patio de lodos para que puedan ser utilizados como abono en la plantación de árboles y áreas verdes del ITUGS.

Cumplido el proceso del tratamiento de aguas residuales, estas son transferidas a un pozo dentro del ITUGS, donde son llevadas al río Michatoya, contribuyendo de esta forma a la protección del medio ambiente en el país.

2.3.3.1. Sistema eléctrico

La planta de tratamiento cuenta con un motor eléctrico para hacer funcionar el *blower*, cuya actividad principal es la de generar aire que, posteriormente, es llevado al tanque de aireación. A continuación se presentan las especificaciones técnicas del motor eléctrico (ver tabla XII).

Tabla XII. **Especificaciones técnicas del motor eléctrico que posee la planta de tratamiento del ITUGS**

Especificaciones	Datos
Marca	AEGSA
Tipo	Y ₂ 132S-4
HP	7,5
Fase	3
Voltios	220/440
Hertz	60
Amperios	20,4/40,2
Clase	F
Fecha de fabricación	2007

Fuente: ITUGS.

Dentro del clarificador está ubicada una bomba de lodos sumergible, la cual cuenta con un motor eléctrico incorporado, que posee las siguientes especificaciones técnicas, (ver tabla XIII).

Tabla XIII. **Especificaciones técnicas del motor eléctrico sumergible que posee la bomba de lodos**

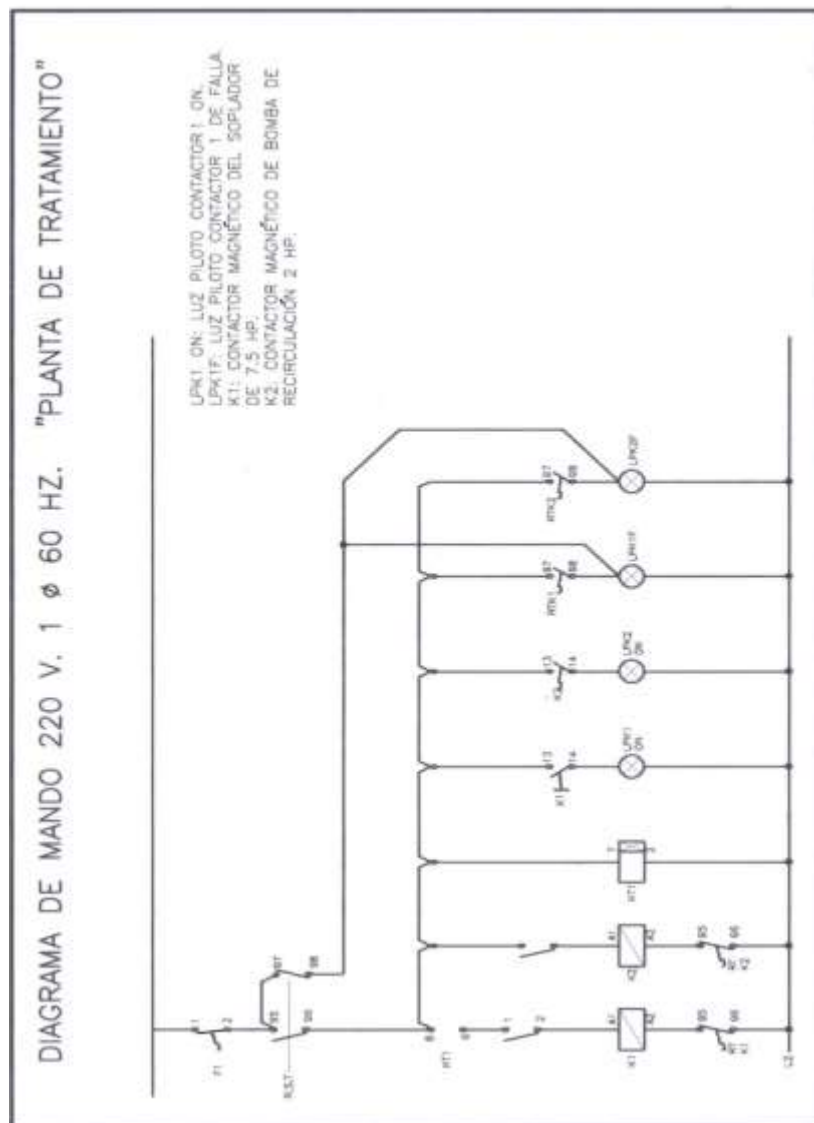
Especificaciones	Datos
Marca	Barnes.
Eje	Acero inoxidable 416
Diseño	Nema B. Lleno de aceite. Inducción jaula de ardilla
Aislamiento	Clase F
Factor de servicio	1,5
Frecuencia	60Hz
Refrigeración	Aceite dieléctrico 37 kva <i>luber</i> no inhibido tipo I

Fuente: Barnes de México. *Manual para bombas sumergibles Barnes*, p. 2.

La planta de tratamiento también cuenta con un panel de control, compuesto por un circuito de mando, donde F_1 es un pulsador cerrado, se encarga de desenergizar la planta de tratamiento, con lo cual alimentan las bobinas de los contactores y entra a trabajar la planta de tratamiento; también cuenta con un sistema de línea L1, L2 y L3 que se encarga de energizar la planta de tratamiento que, cuando está abierto, no alimenta por lo cual no trabaja la planta de tratamiento.

A continuación se presenta el diagrama de mando de la planta de tratamiento. También se describe el significado de cada una de las nomenclaturas que aparecen en el diagrama, (ver figura 11):

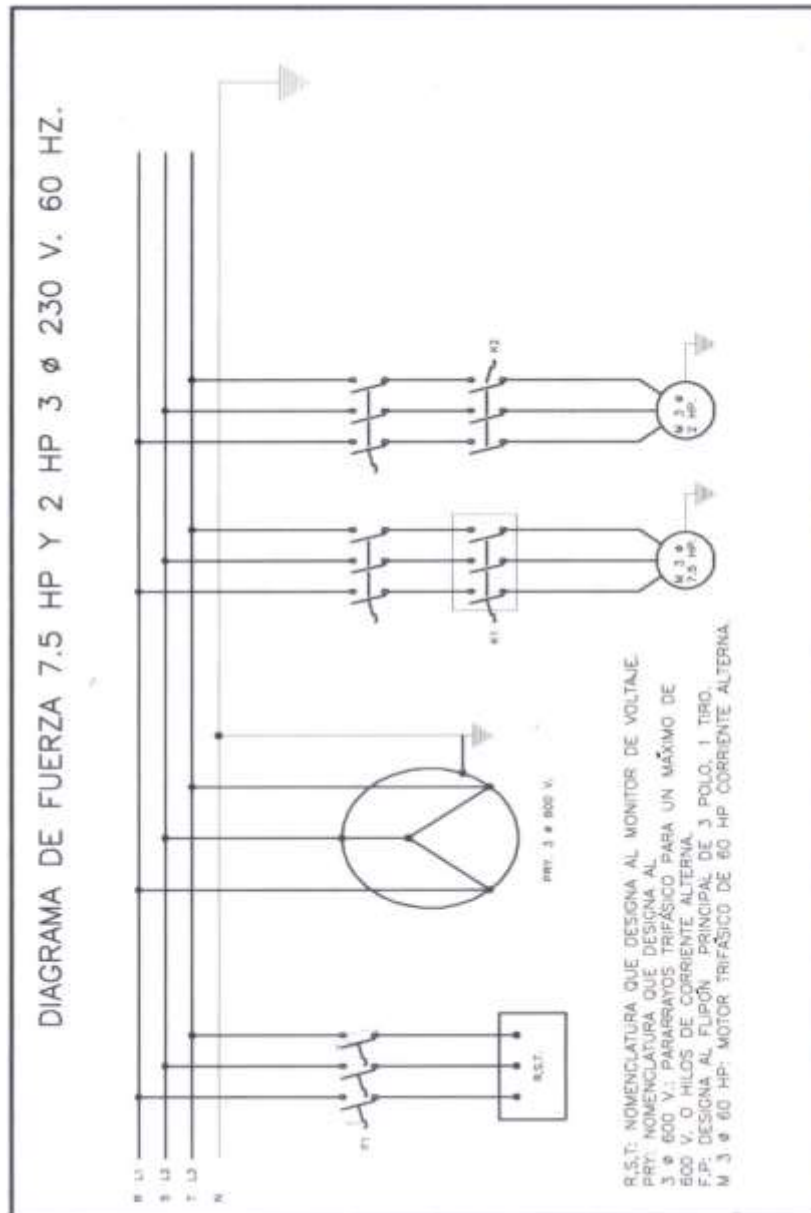
Figura 11. **Diagrama de mando de la planta de tratamiento de aguas residuales de ITUGS**



Fuente: ITUGS.

Como el circuito de fuerza está diseñado con base en la señal que transmite el circuito de mando, la entrada va directo a la bobina, esperando que se mande la señal para que empiece a funcionar la planta de tratamiento. Las luminarias indican cuándo está en funcionamiento y cuándo hay fallas. A continuación se presenta el diagrama de fuerza con su nomenclatura correspondiente, (ver figura 12).

Figura 12. Diagrama de fuerza de la planta de tratamiento de aguas residuales de ITUGS



Fuente: ITUGS.

2.3.3.1.1. Correctivo

Desde el 2009 la planta de tratamiento no ha funcionado, lo cual ha generado que el agua residual del ITUGS no sea tratada. Probablemente esta falta de funcionamiento podría haber marcado daño a los equipos de la planta. Este año se hicieron gestiones para lograr su reactivación, razón por la cual se ha empezado a realizar un mantenimiento correctivo en los diferentes equipos que componen esta planta de tratamiento.

Para realizar el mantenimiento correctivo del panel de control se contrató a la empresa Pinesa Ingeniería Total, quien determinó una serie de problemas en el cableado del sistema eléctrico que conducen a los equipos.

Entre los problemas detectados estaba que el flipón principal que alimenta el transformador tipo seco, 480/240 voltios trifásicos, mostraba falla en una de las fases, razón por la cual se procedió al cambio del mismo. También que el cableado de la acometida eléctrica no era lo suficientemente largo para realizar la conexión dentro del panel de control para el funcionamiento de la planta de tratamiento, procediéndose a cambiar esta sección.

También se estableció que la bomba de lodos que se encuentra en el clarificador se encontraba atorada, razón por la que fue extraída. La empresa Electric Power Supply de Guatemala realizó un análisis de la misma determinando que al motor se le tendría que realizar un rebobinado, cambio de sello mecánico, cambio de cojinete y aceite dieléctrico.

Hasta la presente fecha solo se ha realizado el mantenimiento correctivo del panel eléctrico, se espera contar con fondos suficientes para realizar las demás reparaciones y poner en marcha, nuevamente, la planta de tratamiento.

2.3.3.2. Sistema mecánico

La parte mecánica que comprende la planta de tratamiento está constituida por un *blower*, una bomba de lodos sumergible, difusores de burbuja fina, tubería que conduce el aire hacia el tanque de aireación y tubería que hace la recirculación de lodos y la extracción de los mismos hacia el patio de lodos.

El *blower* es utilizado para inyectar aire a los difusores de burbuja y lograr la degradación de los desechos a tratarse dentro de la planta. Mediante este mecanismo se logra que los microorganismos hagan su trabajo correspondiente en el período que se encuentran en el tanque de aireación. A continuación se presenta las especificaciones técnicas (ver tabla XIV) del *blower* instalado en la planta de tratamiento:

Tabla XIV. **Especificaciones técnicas del *blower***

Especificaciones	Datos
Marca	Dresser
Modelo	45 U-RAI
Serie	0806970012
Parte No.	6510902L

Fuente: ITUGS.

La bomba de lodos sumergible tiene la función de hacer la recirculación de los lodos y la extracción de los mismos hacia el patio de lodos, dependiendo del período de tiempo a trabajar en cada uno de ellos. En la siguiente tabla se podrá observar las especificaciones técnicas de la bomba de lodos, (ver tabla XV).

Tabla XV. **Especificaciones técnicas de la bomba de lodos**

Especificaciones	Datos
Marca	Barnes
Tipo de bomba	Centrífuga
Tipo de acoplamiento	Monobloque
Tipo de impulsor	Semi abierto, balanceado
Cantidad de impulsores	1
Tipo de cierre de eje	Mecánico 1" tipo 6
Temperatura máxima del líquido	40 °C
Sólidos en suspensión	1" de diámetro

Fuente: ITUGS.

Los 72 difusores de burbuja fina que posee la planta de tratamiento tienen la función de generar las burbujas por el aire que es inyectado a través del *blower*. Tanto la tubería que hace el transporte del aire como el de los lodos varía en tamaño dependiendo de la función que tengan que realizar dentro de la actividad que se realiza en la planta de tratamiento.

2.3.3.2.1. Correctivo

Por falta de recursos económicos, a la fecha no se ha realizado ningún tipo de reparación en la parte mecánica de la planta de tratamiento, lo cual supone un deterioro de la misma, sin contar que no cumple con la función por la cual fue creada.

Con cotizaciones hechas con diversas empresas, se tienen estimaciones sobre costos para el mantenimiento correctivo de cada uno de los componentes de la planta de tratamiento, tanto eléctricos como mecánicos. Posteriormente se hace un análisis sobre costos de inversión y las repercusiones económicas en el ITUGS.

Es importante mencionar que, anteriormente, solo se ha indicado las características y funcionamientos básicos de cada uno de los equipos que componen la planta de tratamiento. En el siguiente capítulo se hará referencia del funcionamiento y tipo de mantenimiento que se debe dar a cada uno de ellos para su óptimo desempeño.

2.3.3.3. Condiciones de la ubicación

Tal como se había señalado anteriormente, Palín es un lugar que cuenta con un clima que ayuda a mantener los equipos a temperaturas adecuadas en el rango que el fabricante solita que se deben mantener, aunque no puede desestimarse su humedad relativa, que puede llegar a ser hasta de un 80 por ciento.

Esta humedad obliga a una revisión constante para evitar los daños que la misma pueda ocasionar a los equipos. Actualmente, la planta de tratamiento se encuentra inhabilitada y las aguas residuales del ITUGS sin ser tratadas desfogan hacia el río Michatoya, lo cual contribuye al deterioro del medio ambiente.

2.4. Repercusiones de la falta de mantenimiento preventivo

Simultáneamente al incremento de las actividades industriales, la deficiencia, ausencia y repercusiones de programas de mantenimiento preventivo, han sido temas de estudio de diversos autores. Independientemente del tipo de industria, las repercusiones parecen ser comunes y genéricas.

Conviene indicar que el ITUGS no lleva a cabo ningún proceso industrial o actividad comercial; sin embargo, el equipo que emplea para sus actividades diarias, está sujeto a las repercusiones de un inexistente programa de mantenimiento preventivo.

El presente trabajo está enfocado al análisis de los equipos utilizados para el abastecimiento de agua potable y tratamiento de aguas residuales del ITUGS, tanto del pozo mecánico como de la planta de tratamiento. Todas las actividades del Tecnológico se verán gravemente comprometidas si se dan fallas en los equipos, derivadas de una deficiente planificación de actividades de mantenimiento preventivo.

La falta de un programa de mantenimiento preventivo para el pozo mecánico y la planta de tratamiento, puede provocar:

- Interrupción en el suministro de agua potable.
- Inadecuado tratamiento de aguas residuales.
- Daños al medio ambiente.
- Condiciones operativas antihigiénicas.
- Surgimiento de plagas de insectos y focos de contaminación.
- Costos altos de mantenimiento correctivo.
- Períodos prolongados de paros de actividades.
- Alta frecuencia de fallas.
- Fallas mayores.
- Dificultades para la adquisición de repuestos.
- Complejas actividades de extracción y diagnóstico de las fallas del equipo.
- Condiciones inseguras.
- Endeudamiento del ITUGS.
- Necesidad de equipo y mano de obra especializada para el mantenimiento correctivo.
- Suspensión de actividades en el ITUGS.
- Interrupción de los *pensa* de estudios de las carreras del ITUGS.

Evidentemente, la ausencia de un programa de mantenimiento preventivo afecta las actividades e influye en el presupuesto económico del ITUGS.

2.5. Análisis de los costos del mantenimiento correctivo

Cualquier solución a una problemática, para implementarla debe conllevar mejoras sustanciales en procesos, equipos, herramientas, métodos, procedimientos, tiempos, sin embargo, no puede dejar de considerarse la determinante del factor económico.

Con el fin de exponer las desventajas económicas del mantenimiento correctivo a continuación, se presenta el siguiente análisis de costos.

El día 22 de junio de 2012, se presentó una falla mayor en el pozo mecánico, específicamente en el motor eléctrico de dicha configuración. Derivado de dicha falla, el pozo mecánico estuvo fuera de servicio durante 14 días, tiempo durante el cual el suministro de agua potable fue interrumpido.

Dada la complejidad del diagnóstico y de las actividades de mantenimiento correctivo, fue necesaria la contratación de los servicios especializados de dos empresas las cuales fueron: Hidrotecnia, S. A. y Aquatecnia, S. A. Hidrotecnia, S. A. proporcionó los servicios de limpieza del pozo mecánico, mientras que la empresa Aquatecnia, S. A. se encargó de proveer e instalar los repuestos pertinentes. El costo total por las labores de mantenimiento correctivo, asciende a Q. 66 000,00, que incluye el precio de los repuestos, mano de obra, transporte, insumos y otros.

Este costo, al que debe sumarse el efecto inflacionario, impactaron considerablemente los estados financieros del ITUGS.

La inflación refleja la disminución del poder adquisitivo de la moneda, significando que, lo que vale hoy una x cantidad de dinero, por el efecto inflacionario mañana bien podría valer una $x + i*x$ cantidad de dinero, en donde i se le conoce como inflación. Desde un punto de vista financiero, los costos en los que se incurrió por el mantenimiento correctivo, no escapan al efecto de la inflación.

Para el período comprendido del 1 de enero al 31 de diciembre de 2012, se obtuvo una tasa de inflación anual del 4,45 por ciento, esta tasa se calculó en base al promedio de los doce meses del 2012, esta información fue obtenida de la página del Banco de Guatemala y del Instituto Nacional de Estadística. Si se considera la técnica de evaluación financiera de Valor Futuro dado Presente VFP, se puede obtener los siguientes datos:

$$F = P(1 + i)^n$$

$$F = Q. 66 000,00(1 + 0,0445)^1$$

$$F = Q. 68 937,00$$

Donde:

P = Valor Presente Neto (costo del mantenimiento correctivo)

i = tasa de interés de inflación promedio de los doce meses del año 2012

n = número de períodos del análisis, en este caso, 1 año

Con fines didácticos y prácticos, se asume que $n=0$, tomando en cuenta que la falla se presentó en el mes de enero 2012, el punto de referencia del análisis, corresponderá al mes donde se presentó la falla.

De esta cuenta, el valor de Q. 68 937,00, es el verdadero costo de la reparación del equipo. La diferencia de Q. 2 937,00 se considera como costos ocultos, los cuales son derivados de la inflación. La cantidad real del costo de la reparación, es mayor que la cantidad inicial la cual bien se hubiera asignado a otras necesidades primarias del ITUGS, tales como: adquisición de nuevo equipo para módulos, actividades de mantenimiento preventivo, inversiones varias, mantenimiento de instalaciones, adquisición de herramientas, insumos, mobiliario, equipo de computación, otros.

Del costo real de Q. 68 937,00 utilizados en mantenimiento correctivo, puede deducirse la erogación mensual que del presupuesto del ITUGS, debe hacerse, por mantener una cultura de mantenimiento correctivo. Para este propósito, se procede a calcular las mensualidades de corrección de fallas, sin la contemplación de un mantenimiento preventivo.

$$A = P \left(\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right)$$

$$A = Q.66\ 000,00 \left(\frac{0,0037(1+0,0037)^{12}}{(1+0,0037)^{12} - 1} \right)$$

$$A = Q.5\ 633,17$$

La falta de un adecuado y eficiente programa de mantenimiento preventivo, significa una erogación mensual de Q 5 633,17, el cual fue el valor obtenido mediante el factor de mensualidad.

La situación previamente descrita se agravaría dramáticamente si el ITUGS tuviera necesidad de recurrir a un financiamiento bancario, para poder llevar a final, únicamente, actividades correctivas.

Tal como se indicó anteriormente el análisis de costos realizados fue, específicamente, para el pozo mecánico y el mantenimiento correctivo que se realizó al mismo. A continuación se hace el análisis de costos por la reactivación de la planta de tratamiento. Las cantidades se presentarán en base a una serie de cotizaciones realizadas, que contemplan el mantenimiento correctivo que se dará a cada uno de los equipos de la planta de tratamiento.

El costo total por las labores de mantenimiento correctivo para la reactivación de la planta de tratamiento asciende a Q. 35 000,00, que incluye el precio de los repuestos, mano de obra, transporte e insumos.

El análisis del costo del mantenimiento correctivo de la planta de tratamiento se hizo utilizando el mismo método de evaluación que se utilizó en el pozo mecánico, razón por la cual se hace uso del período comprendido del 1 de enero al 31 de diciembre de 2012, donde la tasa promedio de inflación anual para el 2012 fue de 4,45 por ciento. Por tanto si se considera la técnica de evaluación financiera de Valor Futuro dado Presente VFP, se puede obtener los siguientes datos:

$$F = P(1 + i)^n$$

$$F = Q. 35 000,00(1 + 0,0445)^1$$

$$F = Q. 36 557,50$$

Donde:

P = Valor Presente Neto (costo del mantenimiento correctivo)

i = tasa de interés, de inflación promedio de los doce meses del año 2012

n = número de períodos del análisis, en este caso, 1 año

Con fines didácticos y prácticos se asume que $n= 0$, tomando en cuenta que la falla se presentó en el mes de enero del 2012.

El costo real de la reparación del equipo es de Q. 36 557,50. La diferencia de Q. 1 557,50 de costos ocultos es derivada por la inflación.

Del costo real de Q. 36 557,50 utilizados en mantenimiento correctivo, puede deducirse la erogación mensual que del presupuesto del ITUGS debe hacerse por mantener una cultura de mantenimiento correctivo.

Para este propósito se procede a calcular las mensualidades de corrección de fallas, sin la contemplación de un mantenimiento preventivo.

$$A = P \left(\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right)$$

$$A = Q. 35\ 000,00 \left(\frac{0,0037(1 + 0,0037)^{12}}{(1 + 0,0037)^{12} - 1} \right)$$

$$A = Q. 2\ 987,25$$

La falta de un adecuado y eficiente programa de mantenimiento preventivo, le significa al ITUGS una erogación mensual de su presupuesto la cantidad de Q 2 987,25, el cual fue el valor obtenido mediante el factor de mensualidad.

Aún cuando se considera el impacto en el presupuesto económico del ITUGS, es urgente realizar el mantenimiento correctivo para poner en marcha nuevamente, la planta de tratamiento, la cual permitirá la reducción de costos de mantenimiento y mejor control de equipos.

Luego de realizar los análisis de costos del mantenimiento correctivo, darle mantenimiento correctivo al pozo mecánico y la planta de tratamiento le representa al ITUGS un costo anual de Q. 105, 494,50, pagando mensualmente la cantidad de Q. 8 620,42.

2.6. Análisis final de la problemática

Luego de determinar los dos problemas principales que están afectando al Tecnológico, los cuales se derivan en: interrupción de agua potable y la contaminación del medio ambiente, se realizó un análisis con base en el diagrama Causa-Efecto, se determinó que la causa raíz es la falta de un programa de mantenimiento preventivo para el pozo mecánico y la planta de tratamiento.

Con base en todo lo analizado, se ha detectado que el ITUGS actualmente no cuenta con un programa de mantenimiento, lo que provoca que los equipos que conforman la configuración del pozo y la planta no reciban un mantenimiento planificado, además existen otros factores que generan daños en los equipos, tales como: carencia de herramientas, personal escaso, falta de documentación de los equipos, entre otros.

Luego de revisar cada uno de los diagramas se determinó que lo más apropiado y recomendado es la implantación de un programa de mantenimiento preventivo para el pozo mecánico y la planta de tratamiento, además debe crearse un departamento de mantenimiento para que se pueda realizar una planificación para cada equipo, infraestructura y demás elementos que existan en el ITUGS.

Para tener un mejor control de cada una de las actividades que se deben realizar en el ITUGS el factor administrativo debe tener incidencia en la planificación, ejecución, control, eficiencia y mejora de un programa de mantenimiento tomando en cuenta que constituye el texto que norma y rige las actividades que se consideren pertinentes para mantener los equipos, mediante la infraestructura, herramientas, estructura organizacional y personal, que son las armas de las que se vale el programa de mantenimiento preventivo para materializarse.

Planificación, estructura organizacional, autoridad encargada de gestionar el mantenimiento, falta de un departamento de mantenimiento, carencia de personal para actividades de mantenimiento, instalaciones, equipo y herramientas, equipo de protección personal e instrumentación de medición, son factores que actúan en contra de las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo, que requieren de medidas correctivas por parte del nivel administrativo para poder materializar la propuesta contenida en el presente trabajo.

La capacitación del personal combina el factor técnico y administrativo, pues el ITUGS no cuenta con el equipo necesario ni con programas de capacitación para que el personal pueda ser adiestrado para realizar de forma eficiente rutinas diarias, semanales, mensuales y anuales de inspección.

Si se toma en cuenta que es a través del recurso humano que optimiza todos los recursos de los cuales dispone una organización, se recomienda especial atención en el diseño, estructuración y normativo del futuro departamento de mantenimiento.

Independientemente de la actividad a la cual se dedica ninguna organización puede permitirse una mala o dudosa gestión financiera especialmente aquellas organizaciones cuyo fin no es el del lucro, sino que, la formación de técnicos universitarios, como el ITUGS. Como se ejemplificó en el análisis de costos del presente capítulo, actualmente se han gastado realmente Q. 105 494,50 bajo concepto de mantenimiento correctivo, subdivididos en pagos de Q. 68 937,00 del pozo mecánico y Q. 36 557,50 de la planta de tratamiento. Para una organización cuyo presupuesto anual es limitado y con ingresos muy reducidos, estas pueden impactar de manera muy significativa su presupuesto, e incluso determinar el éxito o fracaso de la organización.

A estos Q. 105 494,50 debe sumarse costos de útiles, enseres, horas extras y otros costos que son sumamente difíciles de cuantificar, como el costo de oportunidad. Esto último también impacta al ITUGS, pues esos recursos pudieran ser empleados en infraestructura, maquinaria, equipos, mobiliario, vehículos, que contribuyan a la productividad de la organización.

La propuesta contenida en este trabajo persigue que el ITUGS reduzca las inversiones que se tengan que hacer por mantenimiento preventivo y minimizar cualquier repercusión colateral derivada del paro de los equipos.

La magnitud de las fallas del pozo mecánico y planta de tratamiento han hecho que los tiempos de paros de los equipos hayan sido excesivos, razón por la cual se han maximizado también las repercusiones.

Las repercusiones han sido financieras, antihigiénicas y ambientales. En las dos últimas se infringen las disposiciones legales contempladas en la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente (Decreto No. 68-86), Código de Trabajo (Decreto 1441) y Reglamento General sobre Higiene y Seguridad en el Trabajo, del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social (IGSS).

Todas aquellas repercusiones antihigiénicas están derivadas de un paro del sistema de suministro de agua que, en este caso, corresponde al pozo mecánico. Entre estas repercusiones se pueden mencionar: malos olores, falta de agua para servicios sanitarios, falta de agua para higiene personal, focos de plagas y focos de enfermedades infecciosas.

Las repercusiones más dramáticas son las que impactan al medio ambiente. El agua residual que emana del ITUGS contiene, aparte de desechos fisiológicos, grasas, aceites, thinner, solventes minerales, sólidos en suspensión, pinturas, entre otros. Derivado de un paro en la operación de la planta de tratamiento, todas estas sustancias han sido trasladadas al río y al subsuelo del ITUGS, lo cual genera una degradación ambiental.

Del análisis exhaustivo de la situación se desprende que la solución factible es el establecimiento de un programa de mantenimiento preventivo, que encuentra su justificación en cada uno de los aspectos mencionados en el presente capítulo.

3. PROPUESTA DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL POZO MECÁNICO Y LA PLANTA TRATAMIENTO

3.1. Mantenimiento

Mantenimiento es la serie de trabajos que se deben ejecutar en algún equipo, herramienta o planta a fin de corregir oportunamente las fallas que lleguen a presentarse en sus estructuras y conseguir que estas se encuentren en condiciones adecuadas para poder operar apropiadamente.

El mantenimiento no solamente se basa en el control y funcionamiento óptimo del equipo y maquinaria, sino también debe contar con un recurso humano ideal y capacitado.

La finalidad del mantenimiento es conseguir el máximo nivel de efectividad en el funcionamiento, tanto del sistema productivo y de servicios, como también conservar la seguridad del personal y obtener índices bajos de contaminación en el medio ambiente, al menor costo posible.

Para comprender la naturaleza y funcionamiento del mantenimiento es necesario conocer las distintas variables que repercuten en el desempeño de los equipos y herramientas. Las variables del mantenimiento más conocidas son: fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad, calidad, seguridad y costo.

La variable de fiabilidad es la probabilidad de que un equipo, herramienta o instalación se desempeñen satisfactoriamente sin tener ningún tipo de falla, durante un período de tiempo determinado. La probabilidad de falla es inherente a la fiabilidad que el equipo o herramienta presenta, el cual es estipulado por el fabricante.

La disponibilidad corresponde al tiempo en el cual un equipo estuvo en operación, en las condiciones ideales de uso, por ende, la disponibilidad depende de la frecuencia de las fallas y el tiempo que demanda la reanudación del servicio. Los problemas que se producen por huelgas o suspensión de la producción dentro de una empresa, no afecta el parámetro de disponibilidad expuesto.

La mantenibilidad es la característica que posee una máquina, herramienta o instalación, para poder realizarle un mantenimiento; evidentemente, la mantenibilidad, dependerá del diseño del equipo, pudiéndose expresar en términos de duración y costos.

En términos de calidad el mantenimiento no es ninguna excepción. Por lo general, la calidad del mantenimiento está en función de los parámetros establecidos para su ejecución y evitar paros excesivos de la maquinaria.

La seguridad está enfocada principalmente al personal, pero también a elementos, tales como: instalaciones, equipos, herramientas y sistemas. Sabiendo que el ser humano es el recurso más importante dentro de una empresa, se deben establecer, especialmente, programas de seguridad industrial y capacitaciones constantes para lograr la reducción de costos por accidentes o incidentes

El costo del mantenimiento está enfocado a reducir todos aquellos costos derivados de fallas mayores, así mismo, busca evitar: paros en los equipos, pérdida de tiempo y contratación de *outsourcing*.

A continuación se presentan los objetivos que deben considerarse para un mantenimiento idóneo:

- Una máxima operación asegura una óptima disponibilidad de los equipos y herramientas, y repara las averías presentadas en el menor tiempo posible.
- El costo mínimo aumenta la vida útil de las maquinas e instalaciones, así como establece una planificación para manejarse dentro de los costos anuales.
- La conservación del medio ambiente mantiene la protección de los equipos que puedan producir fugas contaminantes.
- La higiene y seguridad mantiene las medidas de seguridad en los equipos para evitar accidentes y capacitar al personal sobre normas para evitarlos.
- La participación del personal, lo involucra en las técnicas de calidad y actividades de mantenimiento.

En una empresa, las personas encargadas del mantenimiento no pueden conformarse solo con detectar y reparar una falla, es también, de suma importancia descubrir el origen del desperfecto y prever que no se repita en el futuro. El mantenimiento es una tarea de aprendizaje progresivo, ya que conforme se conoce el equipo, el período de tiempo de trabajo y las especificaciones del fabricante, se permite predecir cualquier inconveniente en la operación de la maquinaria.

Históricamente se ha demostrado que no existen instalaciones, máquinas o equipos que estén libres de fallas a lo largo de su vida útil, pero también se ha demostrado que con una adecuada gestión del mantenimiento es posible reducir a un mínimo los perjuicios que ocasiona algún desperfecto.

En la industria se considera como avería a cualquier anomalía que impide mantener los niveles óptimos de operación, máquina o equipo. Una avería puede deberse a dos tipos de factores: internos y externos. Dentro de los internos se pueden mencionar: mal diseño, altas cargas dinámicas, rutinas y regímenes de lubricación. Mientras que los factores externos obedecen a: mala operación, operación fuera de los parámetros permisibles, aplicación de operación inadecuada, poca capacitación del personal.

Los distintos aspectos de una actividad productiva nos permiten clasificar las fallas de la siguiente manera:

- Fallas que dañan a la producción de bienes o servicios
- Fallas que comprometen la calidad del servicio
- Fallas que ponen en riesgo la seguridad de las personas
- Fallas que degradan el ambiente

Las dos primeras fallas afectan de manera directa un servicio en su calidad. Las otras dos fallas afectan al entorno y a las personas.

Conocida la clasificación de las fallas conviene analizar el origen de las mismas; las cuales son:

- Mal diseño o error en la sincronización de los equipos: error propio del fabricante originado por poca comprensión de la aplicación, condiciones de operación del equipo, incurriendo en un diseño inadecuado. Se estima que este tipo de error abarca un 12 por ciento del total de las fallas. Este tipo de falla es muy difícil de revertir, por lo cual, es muy probable que se tengan que asumir un alto índice de desperfectos.
- Desperfectos en la fabricación de la maquinaria o equipo: provocado por un deficiente control de la calidad de los materiales o de los procesos de fabricación de los componentes. Estos desperfectos pueden ser solucionados por medio del cambio de piezas incurriendo en costos por reemplazo. Este tipo de error se puede contabilizar en un 10,45 por ciento del total de las fallas.
- Mal uso de la maquinaria o equipo: este tipo de falla es el más frecuente y se produce por la falta de conocimiento de la forma apropiada de operación o por emplearse en aplicaciones para la cual no fue diseñada. Este tipo de falla abarca un 40 por ciento del total de las fallas.
- Desgaste natural o deterioro por el uso: debido al paso del tiempo, condiciones de operación y el trabajo cíclico de la maquinaria o equipos, estos sufren desgastes, tales como: abrasión, corrosión, adhesión y fatiga. Este tipo de falla se estima en un 10,45 por ciento.
- Fenómenos naturales y otras causas: las condiciones atmosféricas pueden llegar a influir en el funcionamiento normal de la maquinaria o equipo y junto a otro tipo de fallas pueden ocasionar roturas y paradas espontáneas en la operación. Este tipo de falla representa un 27 por ciento de las fallas totales.

Esta clasificación es importante desde el punto de mantenimiento, ya que cuando se realiza un servicio se debe tomar en cuenta los tipos de falla que se registran.

Una de esas clasificaciones son aquellas que se hacen:

- En función de la capacidad del trabajo de la instalación
- En función de la forma de aparecer la falla

Cuando ocurre una falla es importante que la solución llegue de inmediato por lo cual, se debe realizar un análisis de la prioridad de reparación. Esto demanda establecer la importancia entre los diferentes equipos y poder determinar la prioridad que será requerida por cada máquina.

Este análisis conviene realizarlo en base a los siguientes factores:

- Producción
- Calidad
- Mantenimiento
- Medio ambiente
- Seguridad

3.2. Conceptos teóricos

Para fines de la propuesta del programa de mantenimiento preventivo del pozo mecánico y la planta de tratamiento de aguas residuales del ITUGS, se proporcionaran los conceptos de los mantenimientos que se realizarán en el programa y las definiciones de los equipos más importantes.

3.2.1. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo está basado en la reparación de averías a medida que se vayan suscitando. En muchos de los casos cuando surge un problema en las máquinas y/o equipos, el propio operario es quien se percata del problema y realiza las reparaciones del mantenimiento correctivo.

El mayor problema que provoca este tipo de mantenimiento es que al momento de que un operario empieza a utilizar el equipo, detecta la avería, generando pérdida de tiempo en la producción o servicio que se realice.

El mantenimiento correctivo posee ciertas características, las cuales se presentan a continuación:

- Se basa en la reparación rápida, después de haber ocurrido la avería.
- Genera una discontinuidad en los procesos de producción y logística.
- El mantenimiento correctivo genera altos costos de mantenimiento por producción o servicio no efectuado.
- No posee una organización para un plan de mantenimiento.
- Es denominado mantenimiento accidental.

El mantenimiento correctivo se basa en dos tipos de intervenciones correctivas:

- **Mantenimiento paliativo:** está basado en un conjunto de actividades de mantenimiento correctivo destinadas a permitir que un equipo cumpla con las actividades requeridas. En muchos casos suele llamarse chapús a un mantenimiento parcial e informal, el mantenimiento paliativo se compone, principalmente, de una serie de actividades de carácter

provisional, a lo cual posteriormente deben de seguirle una serie de acciones definitivas para el óptimo funcionamiento del equipo.

- Mantenimiento curativo: consiste en una serie de actividades de mantenimiento correctivo que tienen por objetivo restablecer un equipo de manera inmediata para que pueda cumplir con la función requerida. El resultado del mantenimiento que se realice debe ser de carácter permanente, pudiendo tratarse de:
 - Reparaciones
 - Mejoras que tengan por objeto eliminar la avería

Cuando se realiza un mantenimiento correctivo en algún equipo se deben seguir una serie de procedimientos, mismo que son expuestos a continuación:

- Efectuar un diagnóstico para determinar la causa que generó los daños en el equipo y que hay que cambiar.
- Establecer la cantidad de operarios, medios y herramientas para reparar la avería.
- Gestionar los repuestos si hubiese *stock* en la empresa o de lo contrario, efectuar su compra o construcción.

El objetivo de toda organización es llegar a disminuir al máximo las intervenciones del mantenimiento correctivo, puesto que este tipo de mantenimiento se realiza cuando la falla se ha producido y, generalmente, se llegan a dañar más piezas en el equipo, en contraste con las piezas dañadas si se hubiese detectado la falla con anticipación. Una forma de evitar que el costo de mantenimiento correctivo sea tan elevado y afecte una producción o servicio es la implementación de un programa de mantenimiento preventivo.

3.2.2. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo es una serie planificada de un conjunto de operaciones, con base en un sistema de inspecciones periódicas y un conjunto de trabajos de mantenimiento aplicables a todas las instalaciones, máquinas o equipos, con el fin de disminuir o erradicar fallas y permitir un mayor tiempo de operación en forma continua.

El mantenimiento preventivo tiene como principal objetivo el reducir al mínimo la probabilidad de falla y evitar la degradación de las instalaciones, máquinas y equipos.

En el mantenimiento preventivo siempre se realiza una intervención prevista, preparada y programada a las instalaciones, máquinas y equipos antes de la fecha probable de la aparición de una falla.

En definitiva, se trata de dotar a la empresa de un programa de mantenimiento que le permita detectar y corregir el origen de las posibles fallas técnicas y no reparar las consecuencias de las mismas, una vez que estas se han producido.

Detección precoz = Corrección preventiva

Cualquiera que sea el grado de mantenimiento preventivo aplicado hacia un equipo, siempre subsistirán sin duda alguna fallas residuales de carácter aleatorio.

Es importante que siempre se realice un programa de mantenimiento preventivo eficaz, es decir, que no se debe realizar un programa de mantenimiento sin un análisis de costos que cuantificará los gastos del mantenimiento, que a su vez nos permitirá:

- La gestión de documentación técnica
- Preparar intervenciones preventivas
- Programar con producción paradas continuas

Al momento de desarrollar un programa de mantenimiento preventivo, se elabora una serie de actividades que consiste en las revisiones rutinarias y periódicas sobre componentes de diferentes equipos. El siguiente paso consiste en coordinar con los departamentos afines, la verificación de la disponibilidad de repuestos y materiales a utilizar para realizar un mantenimiento preventivo, de tal manera, que el tiempo en que un equipo este fuera de servicio por mantenimiento sea mínimo, o bien, que no afecte el funcionamiento del equipo.

Para llevar a cabo un buen programa de mantenimiento, es indispensable contar con la colaboración del personal del departamento de mantenimiento, puesto que, es el personal quien físicamente ejecutará las tareas propuestas. Los factores que a continuación se presentan son los que intervienen en el desarrollo del mantenimiento programado y determinan su correcta aplicación:

- Inspección visual y auditiva de los equipos.
- Limpieza de los cuartos de máquinas.
- Limpieza de cada uno de los dispositivos que componen un equipo.
- Uso de paños adecuados para realizar la limpieza de los dispositivos.

- Verificación de los manuales de los equipos cuando se realice el mantenimiento.
- La utilización correcta de las herramientas cuando se realice el mantenimiento.
- Uso de los lubricantes y grasas recomendadas por el fabricante.
- Seguridad del personal.
- Usar equipo industrial; botas punta de acero, casco, ropa adecuada, cuando se realice el mantenimiento.

Un buen desarrollo de un programa de mantenimiento preventivo lleva a que el programa cuente con las siguientes ventajas:

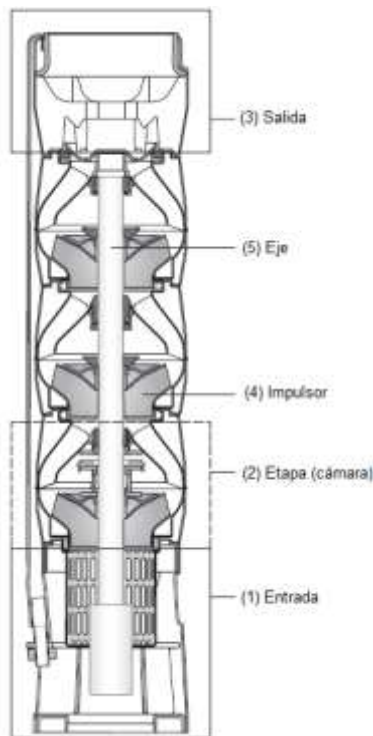
- Los equipos serán confiables ya que operarán en condiciones seguras.
- Se reduce el tiempo muerto, tiempo de parada de equipos/máquinas.
- Mayor vida útil de los equipos e instalaciones.
- Se estabiliza la carga de trabajo para el personal de mantenimiento debido a que existe una programación de actividades.
- Menor costo de las reparaciones.

3.2.3. Bomba sumergible

Una bomba sumergible es un tipo de bomba hidráulica que posee un impulsor sellado en la parte inferior de la misma. La bomba sumergible, al igual que los otros tipos de bombas, transforman la energía mecánica del impulsor en energía de flujo, la cual posibilita la altura piezométrica del fluido.

En el caso del ITUGS, la bomba que posee el pozo mecánico es de marca Grundfos. La configuración de la bomba consta de una entrada (1), un número de etapas de la bomba (2) y una salida (3) (ver figura 13). Cada etapa de la bomba crea un diferencial de presión y, cuanta más presión se requiera, más etapas deberán incluirse.

Figura 13. **Bomba sumergible marca Grundfos del pozo mecánico del ITUGS**



Fuente: GRUNDFOS. *Manual de Ingeniería SP*, p. 27.

Cada etapa de la bomba incluye un impulsor (4); los alabes del impulsor transfieren energía al agua en términos de velocidad y presión. Cada impulsor está fijo al eje de la bomba (5), mediante una conexión acanalada o una conexión de cono dividido.

Existen dos tipos de diseño general para las bombas sumergibles:

- Radial
- Semiaxial

El diseño radial se caracteriza por una gran diferencia entre el diámetro del impulsor de entrada y el diámetro de salida del impulsor. Resulta adecuado el uso de una bomba radial cuando se requiere una carga elevada.

El diseño semiaxial es más adecuado para las bombas de mayor caudal. El anillo de estanqueidad existente entre la entrada del impulsor y la cámara garantiza que cualquier reflujo sea limitado. La cámara de la bomba incluye un distribuidor que conduce el agua a la siguiente fase. Asimismo, hace la conversión de la presión dinámica a presión estática.

Además de guiar el agua hacia los primeros impulsores, la entrada de la bomba también actúa como interconector del motor. En la mayoría de las bombas, las dimensiones cumplen la norma National Electrical Manufacturer Association (NEMA) para bombas sumergibles de 8 pulgadas de diámetro.

La entrada de la bomba debe estar diseñada para conducir agua al primer impulsor de una manera efectiva y, por lo tanto, minimizar las pérdidas. En algunos impulsores de diseño radial, la entrada también lleva un tornillo que posee una arandela de goma, cuya finalidad es garantizar la entrada de agua y evitar el funcionamiento en vacío de la bomba.

La salida de la bomba sumergible generalmente incluye una válvula de no retorno, que evita el reflujo en la tubería fabricada, cuando se detiene la bomba. Se obtienen así diversas ventajas:

- Se evita la pérdida de energía como consecuencia del reflujo.
- Se garantiza la contrapresión al arrancar de nuevo la bomba.
- Se limitan los daños en la bomba como resultado de los golpes de ariete.
- Se limita la contaminación del agua subterránea como resultado del reflujo.

Dependiendo del fluido bombeado y del número de años que la bomba haya permanecido en funcionamiento, es recomendable realizar una inspección de mantenimiento. Esta incluye la sustitución de todas las piezas desgastadas.

Las piezas para las que se recomienda realizar el mantenimiento son:

- Cojinetes radiales
- Asiento de válvulas
- Anillos de desgaste
- Juntas tóricas
- Junta de empuje vertical

Si la bomba sufre un considerable desgaste por la existencia de arena, es posible que también sea necesario cambiar el eje y los impulsores de la bomba.

Es fundamental cambiar las piezas desgastadas durante las actividades de mantenimiento para mantener un elevado rendimiento de la bomba y un bajo costo operativo de funcionamiento.

Las bombas sumergibles también reciben el nombre de bombas de pozo profundo ya que se encuentran instaladas por dentro del pozo, a cierta profundidad por debajo de su extremo superior.

Las bombas sumergibles poseen un motor eléctrico sellado que está empalmado por medio de cables especiales con recubrimientos que los hacen resistentes al agua, por medio de estos cables se imprime energía a la bomba sumergible para poder utilizar el agua, ya sea por conducción directa o por almacenamiento. Si el agua es almacenada, esta podría ser llevada a un nivel más elevado para dejarla fluir luego por gravedad. Cualquiera de estos procedimientos almacena energía para la extracción.

Los pasos básicos para la elección de cualquier tipo de bomba son:

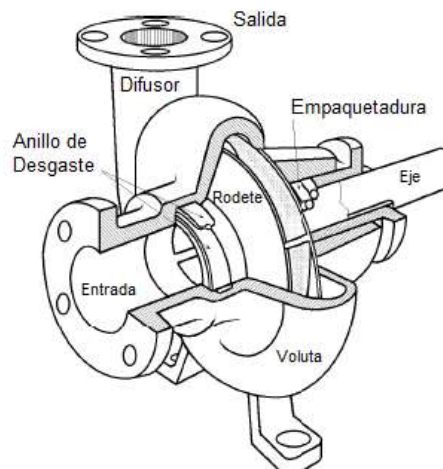
- Determinar el caudal de bombeo
- Velocidad específica
- Calcular la altura manométrica total
- Estudiar las condiciones del líquido
 - Temperatura del líquido
 - Gravedad específica
 - Viscosidad
 - pH (potencial de Hidrógeno)
 - Sólidos en suspensión
- Elegir la clase y tipo de bomba

3.2.4. Bomba centrífuga

Una bomba centrífuga tiene como función transformar la energía mecánica de un motor y la convierte en energía que un fluido obtiene en forma de presión, de posición o de velocidad.

Una bomba centrífuga es un dispositivo constituido por un conjunto de paletas rotatorias perfectamente encajadas dentro de una cubierta metálica, de manera que son capaces de impulsar al líquido que esté contenido dentro de la cubierta, gracias a la acción de la fuerza centrífuga que se genera con el giro de las paletas.

Figura 14. Bomba centrífuga



Fuente: <http://www.tutomundi.org/2012/12/bombas-centrifugas-pdf.html>. Consulta: 28 de noviembre de 2013.

Los elementos principales de toda bomba centrífuga son:

- Un elemento estático conformado por chumaceras, estopero y cubierta.
- Un elemento dinámico-giratorio conformado por un impulsor y una flecha.

En los últimos años, gracias a las facilidades que se han venido dando en el suministro de la energía eléctrica, el uso de las bombas se ha extendido en gran manera. Dado que la mayoría de las bombas son impulsadas con motores eléctricos, esta mejora en el flujo de la electricidad ha permitido que los diseñadores y fabricantes de motores eléctricos puedan proveer motores poderosos y confiables.

Las bombas centrífugas tienen cientos de aplicaciones. Estos dispositivos son empleados en usos que van desde el simple desagüe de sótanos hasta la alimentación de aguas blancas para una ciudad.

Las bombas centrífugas son adecuadas para el bombeo de agua desde la superficie del pozo hacia un tanque elevado o depósitos subterráneos o para la redistribución de agua hacia todos los servicios. A continuación se presentan las siguientes características:

- Construcción simple y de fácil mantenimiento.
- Facilidad de instalación, operación y mantenimiento.
- Economía en su adquisición y mantenimiento.
- Pueden ser utilizadas para el bombeo de considerables caudales a elevadas alturas.

3.2.5. Motor eléctrico

Los motores eléctricos son equipos motrices empleados para poner en funcionamiento de manera eficiente equipos como *blowers* y bombas, como las utilizadas en la extracción de agua potable. Sus ventajas radican en su reducido tamaño y peso en comparación con otros sistemas motrices; en su limpieza, no contaminan el medio ambiente y producen menos ruido; con facilidad de operación y finalmente en menor costo, en comparación a sus similares de combustión interna. Su principal desventaja es que no pueden ser utilizadas en lugares donde se carece de energía eléctrica.

Los tipos de motores eléctricos usualmente utilizados en los sistemas de agua potable son: síncronos de velocidad constante y asíncrona o de inducción, el cual admite una ligera variación de la velocidad en función del valor obtenido de la carga. Por su economía y fiabilidad se eligen motores de inducción para las bombas de velocidad constante. Motores síncronos pueden resultar económicos para bombas de gran potencia y baja velocidad.

En general, los motores eléctricos económicamente empleados son los trifásicos de 60 Hertz de corriente alterna.

La potencia del motor debe ser mayor a la potencia requerida por la bomba en un 10 a 15 por ciento, lo que permitirá absorber las pérdidas por disipación de calor.

Para que un motor eléctrico tenga una vida prolongada debe contar con los siguientes requisitos:

- Un ambiente de operación apropiado
- Un suministro de electricidad adecuado
- Un flujo adecuado de agua refrigerante para el motor
- Una carga apropiada de la bomba

Los motores eléctricos sumergibles son diseñados para lubricarse mediante el uso de agua. La solución de llenado es una mezcla de agua desionizada y glicol propileno (anticongelante no tóxico). La solución previene el daño por congelamiento en temperaturas de hasta -40 grados Celsius (-40°F); los motores deben ser almacenados en áreas donde no se presente esta temperatura. La solución se puede congelar parcialmente debajo de -3 grados Celsius (27°F), sin ocurrir daño alguno. Se debe evitar el congelamiento y descongelamiento constante para prevenir la posible pérdida de la solución de llenado.

Se puede dar un intercambio de solución con el agua del pozo durante la operación. Debe tenerse especial cuidado con los motores removidos de los pozos durante condiciones de congelamiento para evitar daños.

Cuando la temperatura de almacenamiento no sobrepase los 37 grados Celsius (100°F), el tiempo de almacenamiento debe limitarse a dos años. Cuando las temperaturas lleguen de 100 grados Celsius a 54 grados Celsius (212 °F a 130°F), el tiempo de almacenamiento debe limitarse a un año. La pérdida del líquido en pequeñas gotas no daña el motor, a menos que sea una cantidad mayor. La válvula de retención del filtro permite que se reemplace el líquido perdido con agua del pozo en la instalación. Si hay razón para creer que existe una cantidad considerable de fuga, debe consultarse con la fábrica los procedimientos de revisión.

3.3. Elaboración de programa

Son descritas a continuación todas aquellas actividades, calendarizaciones, directrices y demás aspectos que regirán el mantenimiento preventivo del pozo mecánico y planta de tratamiento del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur (ITUGS). Conviene aclarar que, al establecimiento de un Programa de Mantenimiento General del ITUGS, todo el contenido del presente trabajo deberá ser efectivamente integrado al mismo.

3.3.1. Propósito y alcance del programa

En función del objetivo que se persigue, el propósito del programa es: determinar y reunir todos los recursos físicos, humanos e intelectuales, que permitan la planeación, organización, dirección y control de las actividades de mantenimiento preventivo del pozo mecánico y planta de tratamiento, con el fin de preservar los equipos y minimizar las repercusiones de sus respectivos paros.

El alcance del presente programa de mantenimiento preventivo, queda limitado a todos los componentes del pozo mecánico y planta de tratamiento del ITUGS, así como también, a todos aquellos equipos y/o sistemas complementarios o auxiliares.

Organizacionalmente, quedan adheridos a lo estipulado en el presente trabajo, las siguientes partes: administración, personal encargado de mantenimiento y tesorería.

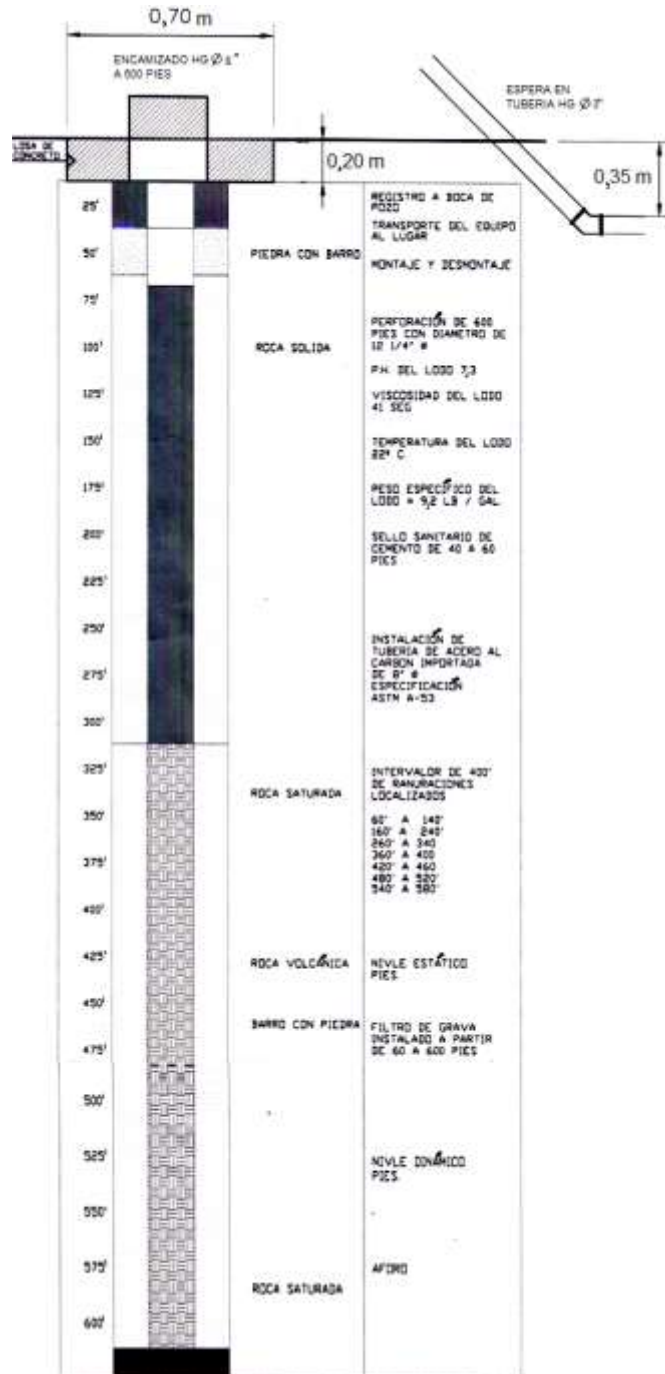
3.3.2. Planos de ubicación

Para fines de ilustración y documentación, en las figuras 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22 y 23 se ejemplifica la ubicación de los equipos para los cuales se diseña el presente programa de mantenimiento.

3.3.2.1. Pozo mecánico

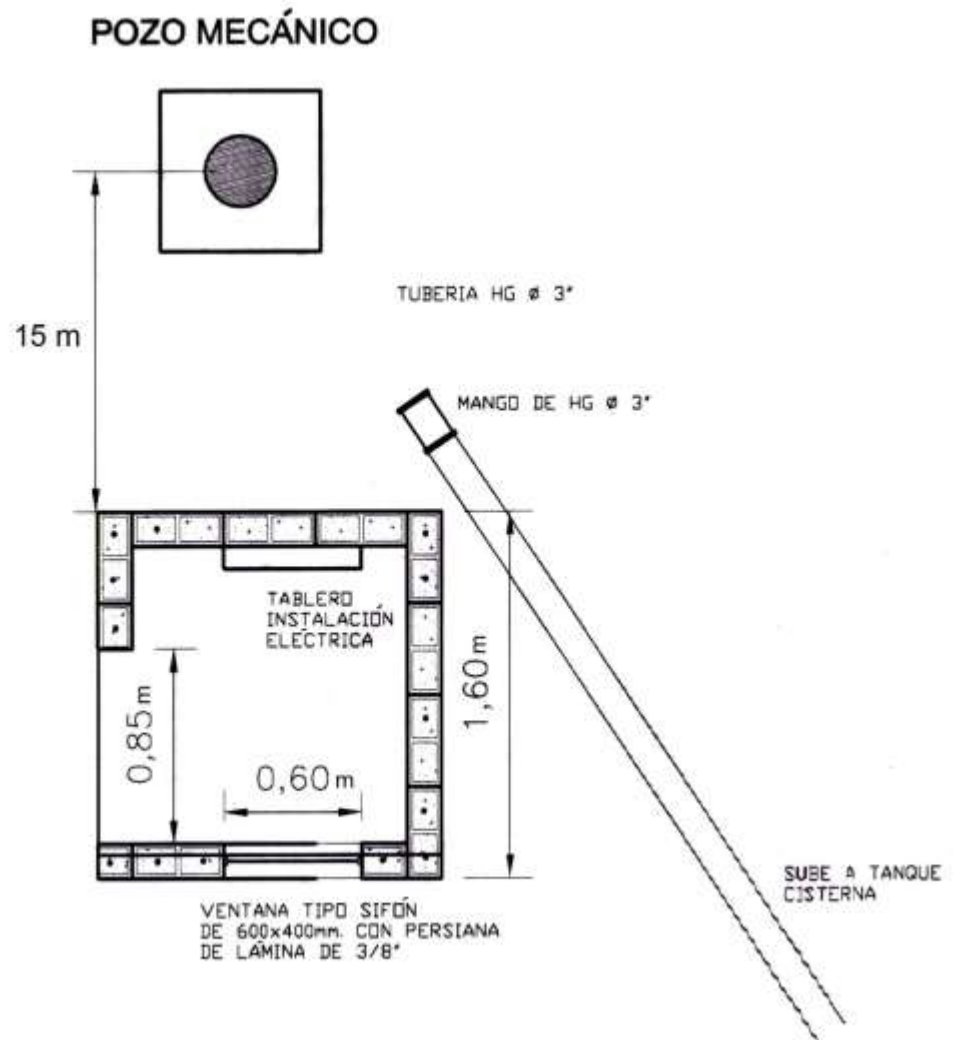
La figura 15 ejemplifica la vista lateral del pozo mecánico y sus dimensiones respectivas. En la figura 16 se representa la vista de planta del pozo mecánico y cuarto de máquinas.

Figura 15. Vista lateral del pozo mecánico del ITUGS



Fuente: ITUGS.

Figura 16. Vista de planta del pozo mecánico y cuarto de máquinas

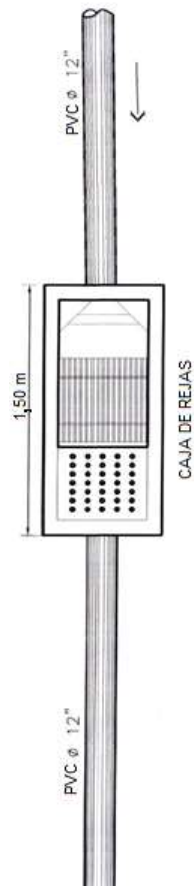


Fuente: ITUGS.

3.3.2.2. Planta de tratamiento

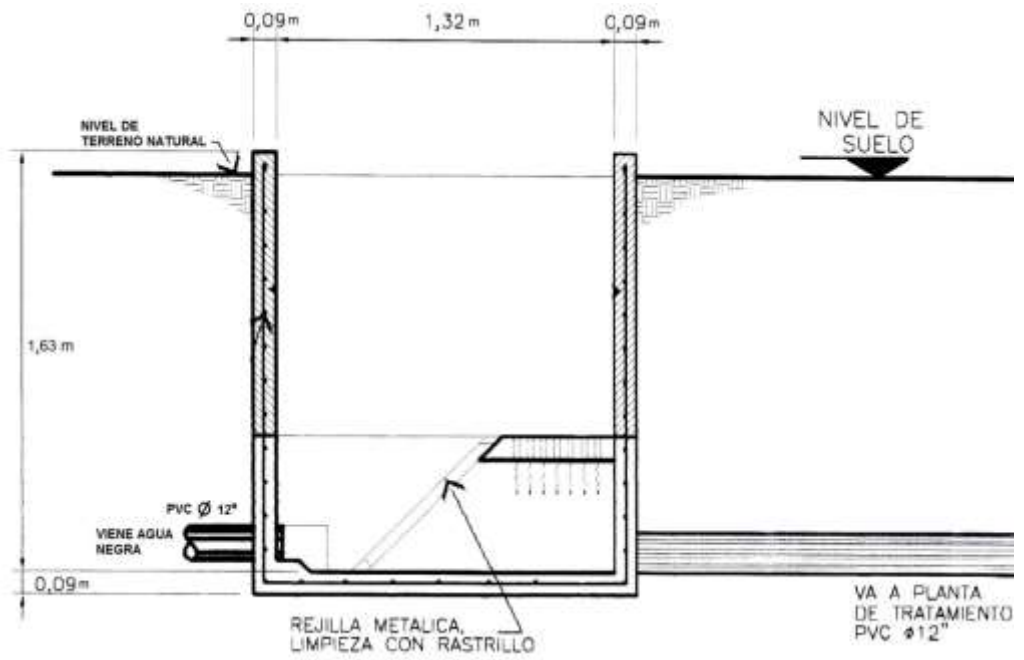
Las figuras 17, 18, 19, 20, 21, 22 y 23 ejemplifican diversas vistas de los componentes de la planta de tratamiento de aguas residuales del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur.

Figura 17. Vista de planta de la caja de rejillas de la planta de tratamiento



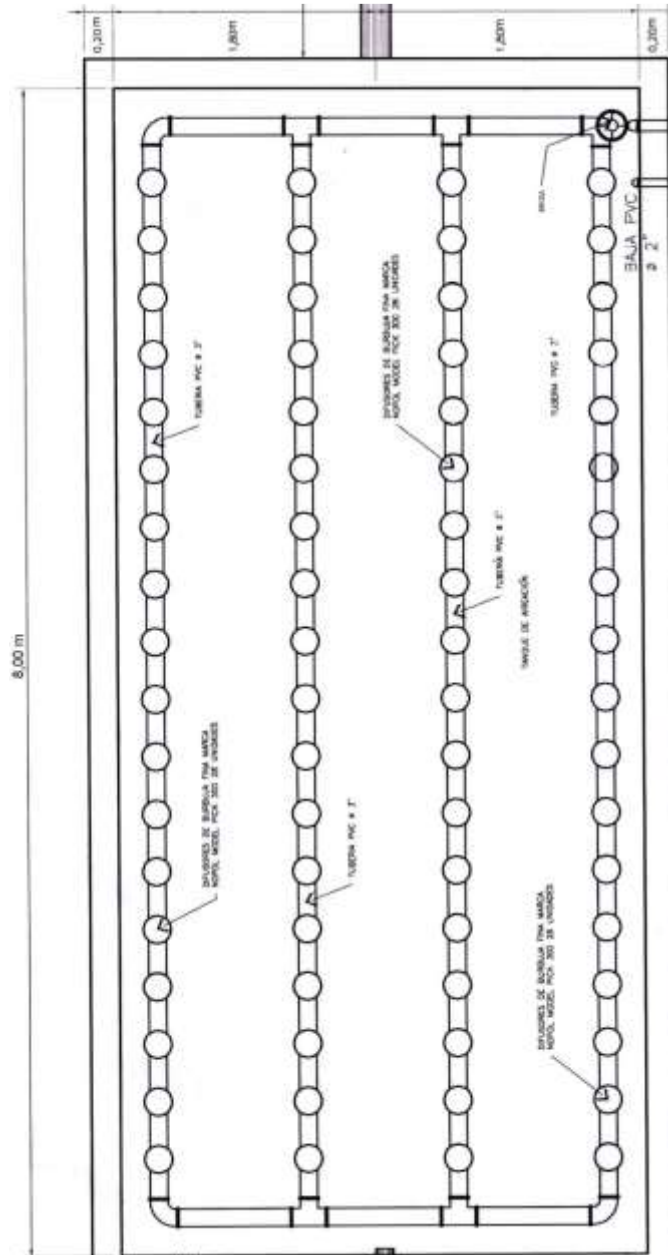
Fuente: ITUGS.

Figura 18. Vista lateral de la caja de rejas de la planta de tratamiento



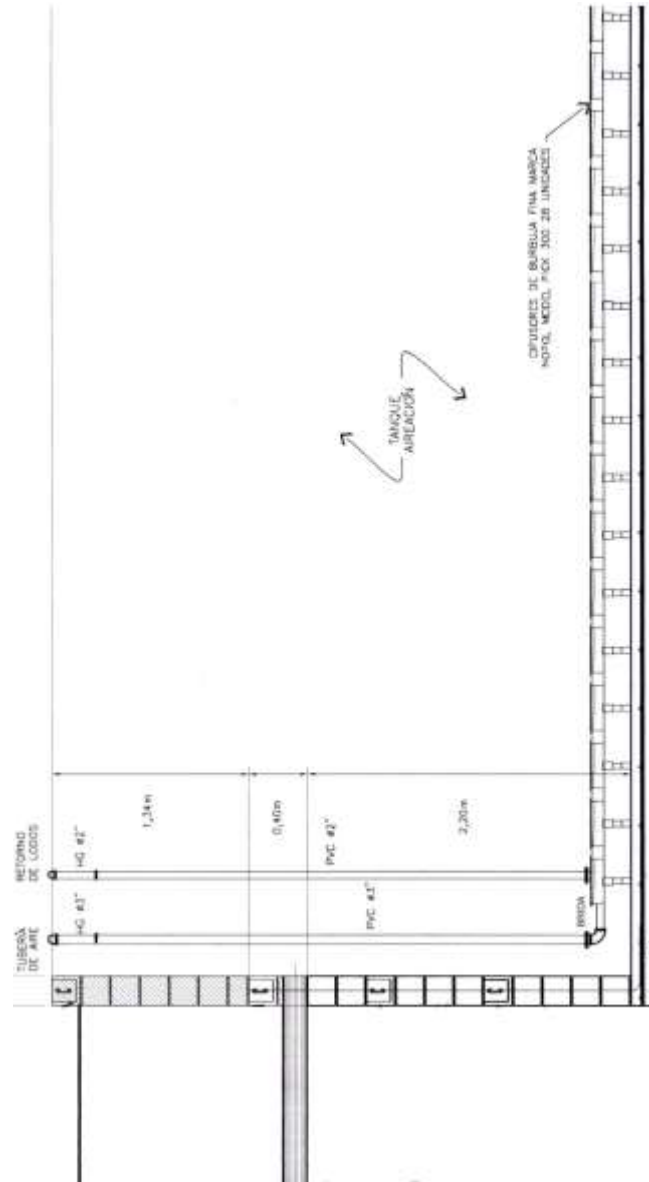
Fuente: ITUGS.

Figura 19. Vista de planta del tanque de aireación de la planta de tratamiento



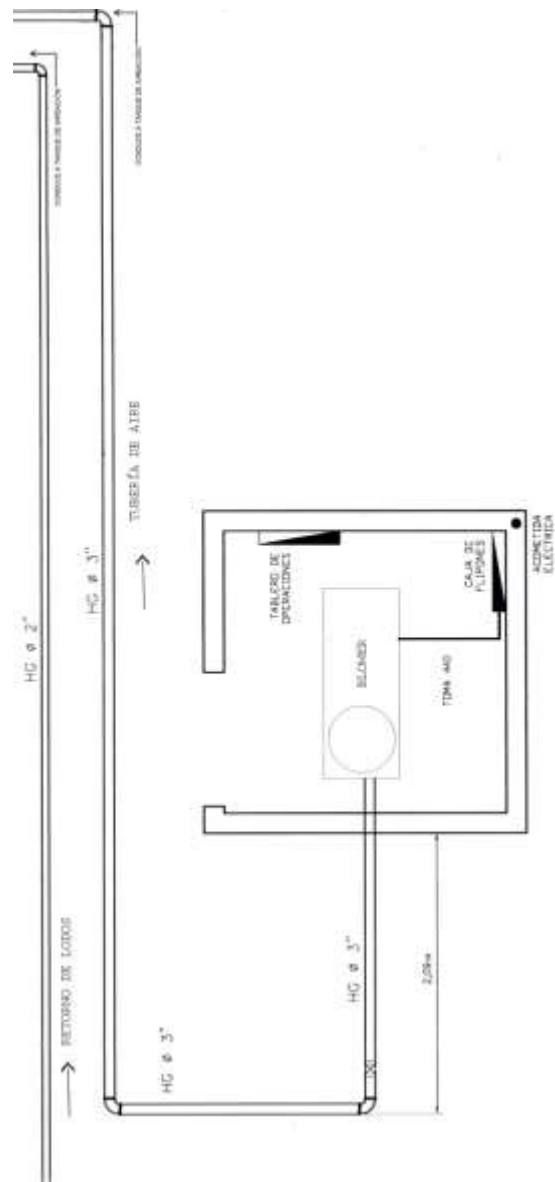
Fuente: ITUGS.

Figura 20. Vista lateral del tanque de aireación de la planta de tratamiento



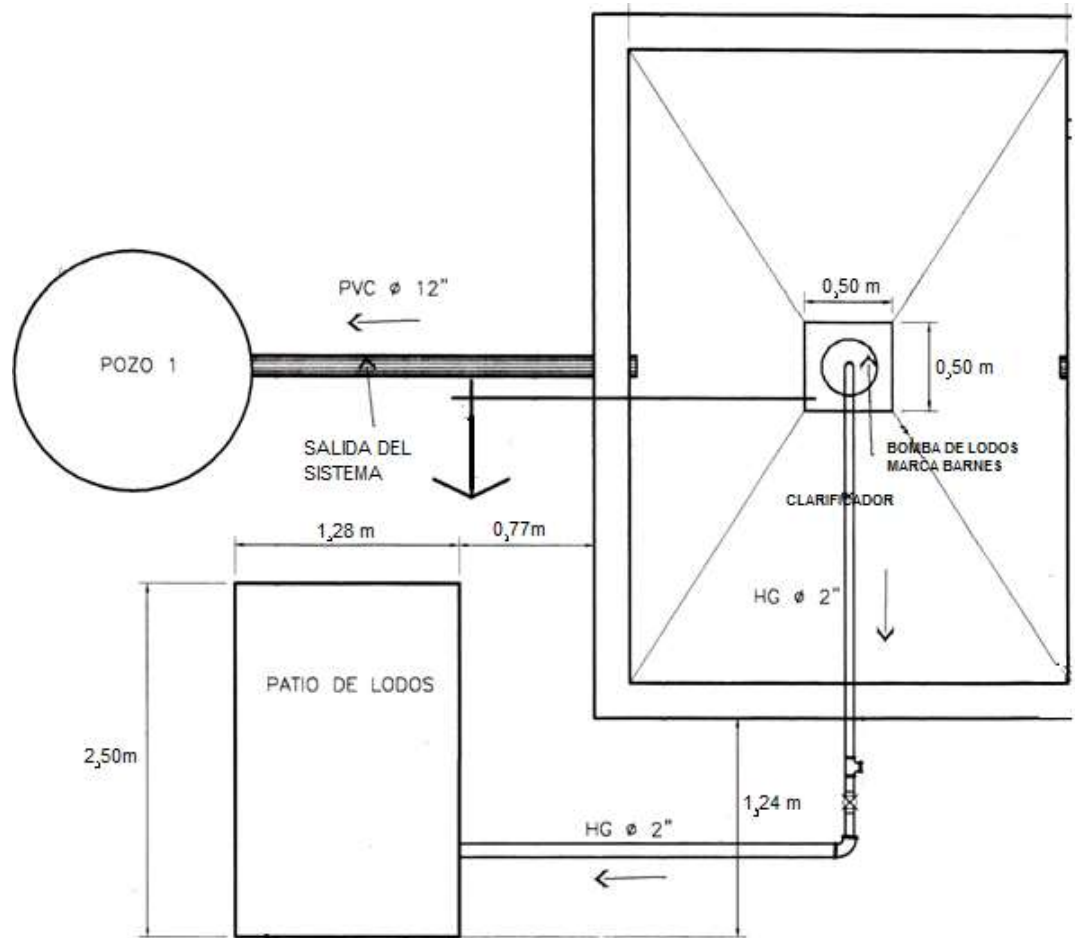
Fuente: ITUGS.

Figura 21. Vista de planta del cuarto de máquinas, tubería de aire y tubería de lodos de la planta de tratamiento



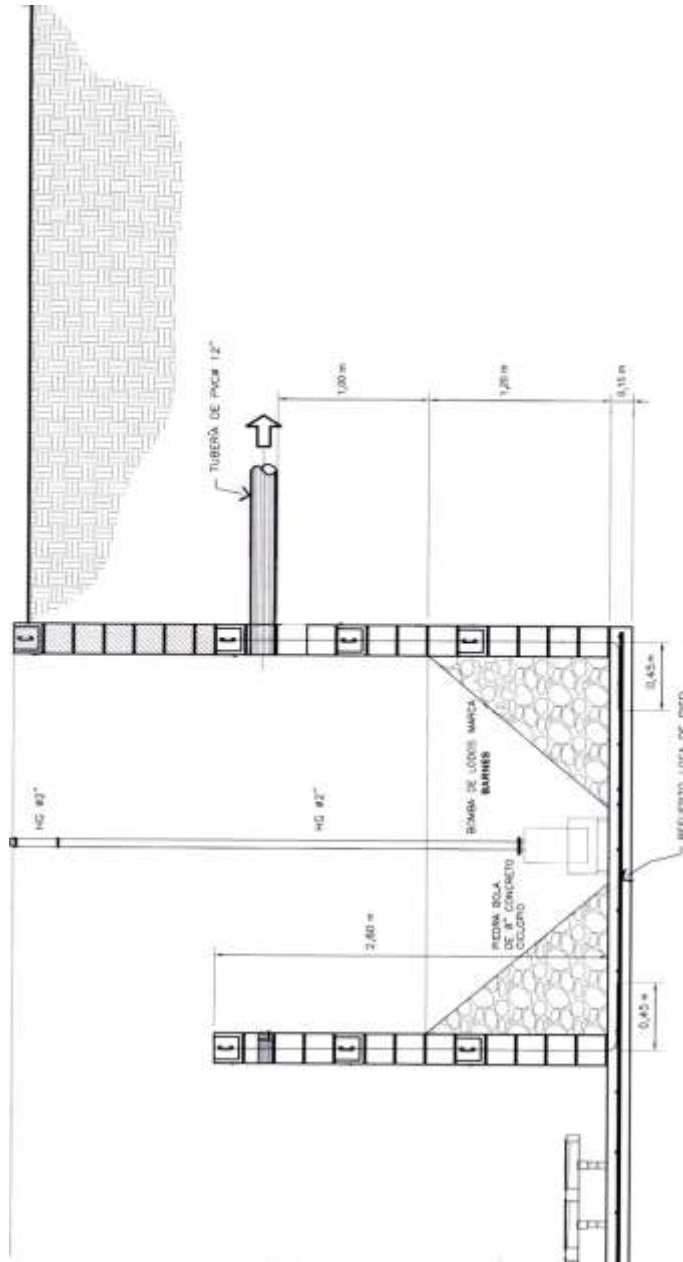
Fuente: ITUGS.

Figura 22. Vista de planta del clarificador, patio de lodos y pozo de descarga de la planta de tratamiento



Fuente: ITUGS.

Figura 23. Vista lateral del clarificador de la planta de tratamiento



Fuente: ITUGS.

3.3.3. Identificación de los equipos

Con el objetivo de identificar partes y/o equipos, en los cuales debe hacerse un especial énfasis al momento de la ejecución de las actividades de mantenimiento propuestas, se procede a identificar aquellos equipos críticos y auxiliares.

La diferenciación en la clasificación de equipos como críticos y auxiliares, no debe dar lugar a la mal interpretación en la cantidad y calidad de las actividades de mantenimiento preventivo por parte del personal asignado a dichas tareas. Es más bien, un intento por generar una idea precisa en el personal, acerca de la importancia de cada uno de los elementos dentro del sistema del pozo mecánico y planta de tratamiento.

3.3.3.1. Críticos

Los equipos descritos en las tablas XVI y XVII son considerados como críticos dentro de la configuración del pozo mecánico y planta de tratamiento de aguas residuales, respectivamente.

Tabla XVI. **Listado de los equipos críticos que componen la configuración del pozo mecánico**

Descripción	Tipo de equipo
Bomba sumergible, marca Grundfos de 60 HP	Crítico
Motor eléctrico, marca Franklin Electric de 60 HP	Crítico
Tablero eléctrico	Crítico
Caja de flipones	Crítico
Tanque de abastecimiento	Crítico

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Listado de los equipos críticos que componen la configuración de la planta de tratamiento**

Descripción	Tipo de equipo
Tanque de aireación	Crítico
<i>Blower</i> , marca Dresser	Crítico
Motor eléctrico, marca AEGSA de 7.5 HP	Crítico
Clarificador	Crítico
Bomba de lodos, marca Barnes	Crítico
Tablero eléctrico	Crítico
Caja de flipones	Crítico

Fuente: elaboración propia.

3.3.3.2. Auxiliares

Los equipos descritos en las tablas XVIII y XIX son considerados como auxiliares dentro de la configuración del pozo mecánico y planta de tratamiento de aguas residuales, respectivamente.

Tabla XVIII. **Listado de los componentes auxiliares de la configuración del pozo mecánico**

Descripción	Tipo de equipo
Tubería de acero al carbón, Ø= 0,20 metros (8")	Auxiliar
Tubería de Hierro Galvanizado, Ø= 0,10 metros (4")	Auxiliar
Línea de aire	Auxiliar
Válvulas de cheque	Auxiliar
<i>Kit</i> de amarres y empalmes	Auxiliar
Manómetros	Auxiliar
Niples	Auxiliar
Collarín	Auxiliar
Válvula de compuerta	Auxiliar
Reducidores	Auxiliar
Cables eléctricos	Auxiliar

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Listado de los componentes auxiliares de la configuración de la planta de tratamiento de aguas residuales**

Descripción	Tipo de equipo
Tubería de PVC, Ø= 0,30 metros (12")	Auxiliar
Caja de rejillas	Auxiliar
Difusores de burbuja fina, marca Nopol	Auxiliar
Tubería PVC, Ø= 0,08 metros (3")	Auxiliar
Brida	Auxiliar
Tubería de Hierro Galvanizado, Ø= 0,05 metros (2")	Auxiliar
Tubería de Hierro Galvanizado, Ø= 0,08 metros (3")	Auxiliar
Llaves de paso	Auxiliar
Uniones de PVC	Auxiliar
Cables eléctricos	Auxiliar
Patio de lodos	Auxiliar
Pozos	Auxiliar

Fuente: elaboración propia.

3.3.4. Calendarización de las actividades

La calendarización de las actividades de mantenimiento preventivo está exclusivamente contemplada para aquellas actividades consideradas como mantenimiento mayor, para tal efecto, se establece la siguiente calendarización. Conviene aclarar que se considerará como mantenimiento mayor a aquel mantenimiento en donde se pare y se extraiga el equipo de su configuración y ubicación.

3.3.4.1. Pozo mecánico

Tanto para el pozo mecánico como para la planta de tratamiento, se han identificado períodos para la ejecución de las actividades de mantenimiento propuestas: 1. durante el mes de junio y 2. durante el período comprendido del 1 al 15 de diciembre y del 15 al 31 de enero. Dichos períodos coinciden con el receso académico del ITUGS.

El tiempo establecido para realizar el mantenimiento preventivo anual del pozo mecánico está comprendido para un período de 24 horas de trabajo, aproximadamente. A partir de una jornada laboral de 8 horas diarias, sería necesario un período de tres días para la realización de la rutina de mantenimiento anual.

Como se podrá inferir, cuando se ejecuten las actividades de mantenimiento preventivo del pozo mecánico, el servicio de agua potable se verá interrumpido en las instalaciones del ITUGS. Para evitar las consecuencias de la falta de agua potable, se podrá solicitar la asistencia de los bomberos voluntarios de Palín Escuintla, consistente en el reabastecimiento del nivel de agua potable en la cisterna.

3.3.4.2. Planta de tratamiento

El tiempo establecido para realizar el mantenimiento preventivo anual de la planta de tratamiento de aguas residuales está comprendido para un período de 32 horas de trabajo aproximadamente. Partiendo de una jornada laboral de 8 horas diarias, serían necesarios cuatro días para la realización de la rutina de mantenimiento anual.

Como norma general, al momento de ejecutar el mantenimiento preventivo anual de la planta de tratamiento, debe realizarse el cambio de conexión de la tubería con la del pozo de desembocadura. Dicha acción, permitirá el desvío de las aguas residuales y la inhabilitación de la planta de tratamiento.

3.4. Mantenimiento preventivo

Como parte integral del programa de mantenimiento preventivo propuesto, se procede a definir las siguientes directrices de documentación, rutinas, verificaciones, entre otras, las cuales deberán regir efectivamente.

3.4.1. Creación de fichas técnicas

Una ficha técnica es un documento que permite el registro, control y análisis detallado de los datos más importantes de un equipo. Para que una ficha técnica sea óptima y represente una herramienta de ayuda para el departamento de mantenimiento, debe incluir, como mínimo, la siguiente información:

- Nombre del equipo
- Formato: ficha técnica o ficha de control
- Código
- Versión
- Tipo de equipo: auxiliar o crítico
- Página
- Número de serie
- Modelo
- Marca

- Año de fabricación
- Fabricante
- Proveedor de repuestos
- Especificaciones del equipo
- Planos de referencia
- Manuales/catálogos
- Historia de reparaciones

El formato de la ficha técnica propuesta para los equipos del pozo mecánico y la planta de tratamiento, estará integrado de seis secciones; la primera sección estará constituido por el encabezado el cual debe incluir: nombre del equipo código, versión, tipo de equipo, critico/auxiliar. La segunda sección incluirá el nombre del equipo, el número de serie del equipo, modelo, marca, fabricante y año de fabricación. La tercera sección establecerá los datos del proveedor. La cuarta sección las especificaciones del equipo. En la quinta sección se establecerá si el equipo posee planos y manuales. En la sexta sección se detallará la historia de reparaciones que se han realizado al equipo.

3.4.2. Elaboración de las rutinas de mantenimiento

En las tablas XX, XXI y XXII, se presenta las rutinas de mantenimiento para el pozo mecánico. En la tabla XXIII se presentan las pruebas preliminares para el motor eléctrico sumergible.

Tabla XX. Rutina de mantenimiento preventivo de la cisterna del pozo mecánico

Actividad	Frecuencia	Útiles / Enseres
Controlar el nivel de agua en la cisterna	Diario	Sensor de nivel
Controlar el cloro residual del agua que sale de la cisterna (la muestra será tomada desde una válvula de globo)	Diario	Pipeta y probeta plástica para almacenar la muestra
Verificar el almacenamiento de cloro	Diario	-
Inspeccionar el estado de la cámara de válvulas: puertas, accesos, daños, etc.	Quincenal	-
Limpiar las válvulas y tuberías	Quincenal	Wipe y solvente mineral
Inspeccionar la condición del concreto de la cisterna (externamente): rotura, visibilidad del refuerzo, daños	Mensual	Sellador para concreto 4000 Builders base
Accesorios: Revisar presencia de alguna pérdida de agua en todas bridas/uniones. Realizar los remplazos de los accesorios	Mensual	Brida
Limpiar la maleza en el contorno de la cisterna	Mensual	Desmalezadora stihl FS 85 R
Limpiar y desinfectar el interior de la cisterna	Cada 6 meses	Escobas, jabón en polvo y cloro
Pintar elementos metálicos de la cisterna	Cada 6 meses	Pintura anticorrosiva

Continuación de la tabla XX.

Verificar la estructura de la unidad en forma integral y reparar daños existentes	Anual	Soldadura oxiacetilénica, concreto, sellador
Reparación interior de la cisterna (simultáneamente con limpieza)	Anual	Sellador para concreto 4000 Builders base
Pintar los elementos metálicos interiores y exteriores de la cisterna	Anual	Pintura anticorrosiva

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Rutina de mantenimiento preventivo del sistema eléctrico del pozo mecánico**

Actividad	Frecuencia	Útiles / Enseres
Tomar lectura diariamente del amperaje y voltaje	Diaria	Multímetro y amperímetro de gancho
Inspeccionar que el panel de control no tenga filtración de agua	Diaria	-
Verificar que no exista corto circuito en el panel de control	Diaria	Multímetro
Limpieza del cuarto de máquinas	Diaria	Escoba, paño seco, desinfectantes
Verificar la libertad de movimiento de las piezas móviles tales como: flipón	Semanal	-

Continuación de la tabla XXI.

Asegurar que no exista conexiones flojas	Semanal	Pinzas y alicates
Presionar los contactares para verificar que están bien asegurados	Semanal	Pinzas y alicates
Limpieza del panel eléctrico con aire comprimido para eliminar polvo acumulado	Semanal	Compresor, mangueras, boquilla, brochas pincel
Verificar que no exista corrosión en piezas metálicas	Mensual	-
Revisión de los empalmes realizados. Si estuvieran descubiertos, se debe cubrirlos	Mensual	Cinta de aislar
Revisión de los contactos del circuito de mando	Mensual	Linterna
Verificar los contactores	Cada 6 meses	-
Limpiar el polvo acumulado del equipo	Cada 6 meses	Compresor, mangueras, boquilla, brochas pincel
Pintar cuarto de máquinas	Cada 6 meses	Pintura de aceite
Desmontar los fusibles y limpiar las superficies de contacto	Anual	Pincel, paño seco y líquido dieléctrico
Revisión general de acometida eléctrica	Anual	Linterna
Inspeccionar el cableado eléctrico que conecta el motor sumergible y la bomba del pozo mecánico	Anual	-

Continuación de la tabla XXI.

Revisar las conexiones a tierra	Anual	-
Verificar si el flipón que suministra energía está en óptimas condiciones. En caso contrario deberá remplazarse	Anual	Flipón
Limpieza del panel de control e inspeccionar que no tenga filtraciones	Anual	-

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Rutina de mantenimiento preventivo para el pozo mecánico**

Actividad	Frecuencia	Útiles / Enseres
Inspección visual de los alrededores del pozo mecánico para asegurar que no haya piezas metálicas o derrame de algún contenido para que no exista penetración hacia el pozo	Diaria	-
Verificar acoples y conexiones que salgan del interior del pozo mecánico	Semanal	-
Limpiar la maleza en el contorno del perímetro en el cual está ubicado el pozo mecánico	Mensual	Desmalezadora stihl FS 85 R
Verificar que no existan ruidos extraños en tuberías e interior del pozo mecánico	Mensual	-
Montaje de grúa móvil	Anual	Equipo de herramientas mecánicas manuales

Continuación de la tabla XXII.

Extracción de tubería, Hierro Galvanizado, Ø= 0,10 metros (4")	Anual	Cables, sogas y poleas
Medición de profundidad total del pozo y nivel estático del agua	Anual	Equipo especializado que usara la empresa que hará el <i>outsourcing</i>
Limpieza mecánica del pozo y tubos (cepillado, extracción de relleno, succión y cubeteado)	Anual	Limas, cepillo de alambre, lijas, cubetas
Revisión de equipo sumergible en laboratorio (bomba sumergible y motor sumergible)	Anual	Equipo de laboratorio
Conexión del motor eléctrico con bomba sumergible y cables eléctricos	Anual	Cables y sogas
pruebas preliminares en el motor eléctrico	-	Ver tabla XVII
Reinstalación del equipo de bombeo	Anual	Cables, sogas y poleas

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Pruebas preliminares al motor eléctrico sumergible**

Prueba	Procedimiento	Significado
<p>Resistencia del Aislamiento</p>	<p>1. Abrir el interruptor principal y desconectar todas las líneas de la caja de control o del interruptor de presión (control tipo QD, remover la tapa) para evitar el peligro de electrocución daño al medidor.</p> <p>2. Ajustar la perilla de la escala a R X 100K y ajustar el ohmímetro en cero.</p> <p>3. Conectar una línea del ohmímetro a una de las líneas del motor y la otra línea a la tubería sumergible de metal. Si la tubería es de plástico, conectar la línea del ohmímetro a tierra.</p>	<p>1. Si el valor en ohms es normal, el motor no está ido a tierra y el aislamiento del cable no está dañado.</p> <p>2. Si el valor en ohms está por debajo del normal es porque o los devanados están conectados a tierra o el aislamiento del cable está dañado. Revisar el cable en el sello del pozo ya que en ocasiones el aislamiento puede dañarse al estar apretado.</p>

Continuación de la tabla XXIII.

<p>Resistencia del Devanado</p>	<p>1. Abrir el interruptor principal y desconectar todas las líneas de las cajas de control o del interruptor de presión (control tipo QD, remover la tapa) para evitar el peligro de electrocución o daño al medidor.</p> <p>2. Ajustar la perilla de la escala a $R \times 1$ para valores debajo de 10 ohms. Para valores arriba de 10 ohms, ajustar la perilla de la escala a $R \times 10$. El ohmímetro debe ser ajustado a cero.</p> <p>3. En motores de tres hilos medir la resistencia del amarillo a negro (devanado principal) y de amarillo a rojo (devanado de arranque). En motores de dos hilos medir la resistencia de línea a línea. En los motores trifásicos medir la resistencia de línea a línea para las tres combinaciones.</p>	<p>1. Si todos los valores en ohms son normales, ninguno de los devanados del motor está abierto o tiene corto circuito, y los colores del cable son correctos.</p> <p>2. Si algún valor es menor del normal, el motor tiene un corto circuito.</p> <p>3. Si algún valor es mayor del normal, el devanado o cable están abiertos, o existe una conexión o junta de cable defectuosa.</p> <p>4. Si algunos de los valores en ohms son mayores del normal y algunos son menores en los motores monofásicos las líneas están cambiadas.</p>
--	--	--

Fuente: Franklin Electric 2010 AIM. *Manual Motores Sumergibles* p. 46.

En las tablas XXIV, XXV, XXVI, XXVII, XXVIII, XXIX, XXX y XXXI se presenta las rutinas de mantenimiento para la planta de tratamiento de aguas residuales.

Tabla XXIV. Rutina de mantenimiento preventivo de la caja de rejas de la planta de tratamiento

Actividad	Frecuencia	Útiles / Enseres
Limpiar la malla que cubre la caja de rejas	Diario	Rastrillo
Limpiar caja de rejas; retirar desechos presentes	Semanal	Guantes de látex
Retirar la maleza en el contorno de la caja de rejas	Mensual	Desmalezadora stihl FS 85 R
Pintar estructura metálica de caja de rejas	Cada 6 meses	Pintura anticorrosiva
Desmontar caja de rejas, limpieza y aplicar pintura.	Anual	Guantes de látex, rastrillo, pala, pintura anticorrosiva

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. Rutina de mantenimiento preventivo del sistema eléctrico de la planta de tratamiento

Actividad	Frecuencia	Útiles / Enseres
Tomar lectura diariamente del amperaje y voltaje del mecánico.	Diaria	Multímetro y amperímetro de gancho
Inspeccionar que el panel de control no tenga filtración de agua	Diaria	-
Verificar que no exista corto circuito en el panel de control	Diaria	Multímetro
Limpieza del cuarto de máquinas	Diaria	Escoba, paño seco, desinfectantes
Verificar la libertad de movimiento de las piezas móviles tales como: flipón	Semanal	-
Asegurar que no exista conexiones flojas	Semanal	Pinzas y alicates
Presionar los contactares para verificar que están bien asegurados	Semanal	Pinzas y alicates
Limpieza del panel eléctrico con aire comprimido para eliminar polvo acumulado	Semanal	Compresor, mangueras, boquilla, brocha y pincel
Verificar que no exista corrosión en piezas metálicas	Mensual	-

Continuación de la tabla XXV.

Revisión de los empalmes realizados. Si estuvieran descubiertos , se debe cubrirlos	Mensual	Cinta de aislar
Revisión de los contactos del circuito de mando	Mensual	Uso de linterna
Verificar los contactores para ofrecer protección en caso de emergencia	Cada 6 meses	-
Limpiar el polvo acumulado del equipo	Cada 6 meses	Compresor, mangueras, boquilla, brocha y pincel
Pintar cuarto de maquinas	Cada 6 meses	Pintura de aceite
Desmontar los fusibles y limpiar las superficies de contacto	Anual	Pincel, paño seco y líquido dieléctrico
Revisión general de acometida eléctrica	Anual	Uso de linterna
Inspeccionar el cableado eléctrico que conecta el motor sumergible y la bomba del pozo mecánico	Anual	-
Revisar las conexiones a tierra	Anual	Multímetro y amperímetro de gancho

Continuación de la tabla XXV.

Verificar si el flipón que suministra energía está en óptimas condiciones. En caso contrario deberá remplazarse	Anual	Flipón
Limpieza del panel de control e inspeccionar que no tenga filtraciones	Anual	-

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Rutina de mantenimiento preventivo del *blower* de planta de tratamiento**

Actividad	Frecuencia	Útiles / Enseres
Verificar y mantener nivel de aceite; agregar tanto como sea necesario	Diario	Aceite sintético pneulube ISO 100
Verificar si existe ruido o vibración en el <i>blower</i>	Diario	-
Limpiar el filtro de aire	Semanal	Compresor, mangueras y boquilla
Verificar la válvula de alivio para que funcione correctamente	Semanal	-
Inspeccionar el <i>blower</i> para determinar que no existan fugas	Mensual	-

Continuación de la tabla XXVI.

Verificar el estado del filtro de aire. Si en un caso está muy deteriorado hay que cambiarlo	Mensual	Filtro
Verificar la tensión de las correas, apretarlas si es necesario	Cada 6 meses	Herramientas especiales
Inspeccionar los engranajes para verificar que no exista: dientes rotos, dientes raspados, desgaste no uniforme, desgaste no excesivo. Si en un caso existe algún engranaje dañado se debe reparar o realizar cambio.	Anual	Herramientas especiales

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Rutina de mantenimiento preventivo del motor eléctrico de la planta de tratamiento**

Actividad	Frecuencia	Útiles / Enseres
Limpieza del cuarto de máquinas	Diaria	Escoba, paño seco y desinfectantes
Limpieza del motor eléctrico (parte externa)	Diaria	Paño suave y brocha de 2"
Inspeccionar que no exista vibración en el motor	Diaria	-

Continuación de la tabla XXVII.

Tensión de red y carga del motor	mensual	Multímetro y amperímetro
Reengrase de rodamientos	Cada 6 meses	Grasa ALTIS EM2, ISO 6743-9: L-XBFEA 2
Auscultación de los rodamientos	Cada 6 meses	-
Medición de la resistencia de la bobina del motor	Anual	Multímetro digital
Revisión del rotor	Anual	Equipo de laboratorio
Pruebas de arranque	Anual	-

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Rutina de mantenimiento preventivo del tanque de aireación de la planta de tratamiento**

Actividad	Frecuencia	Útiles / Enseres
Limpieza superficial del tanque de aireación	Diaria	Red para limpieza de tanques
Verificar tuberías HG de Ø=2" que conduce aire y retorno de lodos	Diaria	-
Inspeccionar llave de paso que este abierta para retorno de lodos	Diaria	-

Continuación de la tabla XXVIII.

Remover maleza alrededor de tanque de aireación	Mensual	Desmalezadora stihl FS 85 R
Análisis de laboratorio del agua residual antes de tratar	Mensual	Pipeta y probeta plástica para almacenar la muestra
Pintar estructura externa de tanque de aireación	Cada 6 meses	Pintura de aceite
Extracción de agua residual para verificar componentes del tanque de aireación	Anual	Camión cisterna, bomba centrifuga, manguera
Verificar tubería de aire PVC de Ø=3"	Anual	-
Inspeccionar difusores de burbuja fina, cambiar si es necesario	Anual	Difusores de burbuja fina marca nopol
Revisión de brida, cambiar si es necesario	Anual	Brida
Inspección y reparación de parte interna del tanque de aireación	Anual	Sellador para concreto 4 000 Builders base

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. Rutina de mantenimiento preventivo del clarificador de la planta de tratamiento

Actividad	Frecuencia	Útiles / Enseres
Limpieza superficial del clarificador	Diaria	Red para limpieza de tanques
Verificar tubería HG de Ø= 2" que conduce lodos al tanque de aireación y patio de lodos	Diaria	-
Inspeccionar llave de paso que este abierta para retorno de lodos	Diaria	-
Remover maleza alrededor del clarificador	Mensual	Desmalezadora stihl FS 85 R
Análisis de laboratorio del agua residual tratada	Mensual	Pipeta y probeta plástica para almacenar la muestra
Pintar estructura externa del clarificador	Cada 6 meses	Pintura de aceite
Extracción de agua tratada para verificar componentes del clarificador	Anual	Camión cisterna, bomba centrifuga, manguera
Verificar tubería HG de Ø= 2" que extrae los lodos del interior del clarificador	Anual	-

Continuación de la tabla XXIX.

Extracción de bomba de lodos del clarificador para inspección	Anual	Equipo de llaves y destornilladores
Inspección y reparación de parte interna del clarificador	Anual	Sellador para concreto 4 000 Builders base

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Rutina de mantenimiento preventivo para la bomba y motor de lodos del clarificador de la planta de tratamiento**

Actividad	Frecuencia	Útiles / Enseres
Cambio de sello mecánico de la bomba sumergible marca Barnes	Anual	Sello mecánico de 1" tipo 6
Inspección de empaques, si se encuentran dañados cambiarlos	Anual	Empaques
Cambio de cojinetes	Anual	Cojinetes
Rebobinado de motor eléctrico de 2HP	Anual	Equipo de laboratorio
Cambio de aceite dieléctrico	Anual	Aceite dieléctrico 37kva <i>luber</i> no inhibido tipo I

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Rutina de mantenimiento preventivo para el patio de lodos de la planta de tratamiento**

Actividad	Frecuencia	Útiles / Enseres
Limpieza del patio de lodos	Diaria	Escoba y pala
Extracción de los lodos del patio de lodos	Quincenal	Guantes de látex, mascarilla, pala y carreta
Remover maleza alrededor del patio de lodos	Mensual	Desmalezadora stihl FS 85 R
Pintar estructura externa del patio de lodos	Cada 6 meses	Pintura de aceite
Inspección y reparación de parte interna del patio de lodos	Anual	Sellador para concreto 4 000 Builders base

Fuente: elaboración propia.

3.4.3. Uso de lubricantes

La lubricación es una operación que tiene por objeto anular o disminuir la fricción y reducir el desgaste y la corrosión, y ayuda a proteger los componentes de un equipo contra la contaminación de sólidos y líquidos.

Los aceites que se recomiendan para el uso en los equipos son: el aceite sintético pneulube para el *blower*, el aceite Altis EM2 para el motor eléctrico que se encuentra en el cuarto de máquinas de la planta de tratamiento, y el Aceite dieléctrico 37kva *luber* no inhibido tipo I para el motor que posee la bomba de lodos ubicada en el clarificador de la planta de tratamiento. A continuación se presentan las características de cada uno de los aceites:

Tabla XXXII. **Características que posee el aceite sintético pneulube**

Grado de viscosidad	ISO 100
Gravedad específica a 16° C (62° F)	0.859
Viscosidad a 40° C (104° F)	91,8 cSt
Viscosidad a 100° C (212° F)	13,1 cSt
Índice de Viscosidad	142
Punto de Fluidez	-51° C (-60° F)
Punto de Burbujeo	246° C (475° F)

Fuente: <http://vacuum.tuthill.com>. Consulta 30 de noviembre de 2013.

Tabla XXXIII. **Características que posee el aceite Altis EM2**

Características	ALTIS EM 2
Color	Verde cobalto
Apariencia	Lisa
Rango de uso de temperaturas	- 20 a 180 ° C
<i>Test</i> de rodamiento 10.000 vueltas/149 °C	>1300 horas
Viscosidad cinemática del aceite base a 40 °C	110 mm ² /s

Fuente: www.es.total.com. Consulta 30 de noviembre de 2013.

Tabla XXXIV. **Características que posee el aceite dieléctrico 37kva *luber* no inhibido tipo I**

Características	ALTIS EM 2
Apariencia	Brillante
Viscosidad a 40° C	10.4 cSt
Densidad relativa 15.6° C	0,843 a 0,893
Temperatura de fluidez	-26° C

Fuente: www.luberoil.com. Consulta 30 de noviembre de 2013.

3.4.4. Instrucciones de como verificar el panel de control

El panel de control es una parte fundamental de la configuración tanto del pozo mecánico como de la planta de tratamiento de aguas residuales del ITUGS, por ello es importante tener el conocimiento del diagrama de mando y fuerza de cada uno de los equipos mostrados en las figuras 9, 10, 11 y 12 donde se muestran los diagramas tanto del pozo mecánico como de la planta de tratamiento. Es importante que cuando el técnico verifique tanto el amperaje como el voltaje en el panel de control tenga cuidado de no generar un corto circuito y dañe los equipos, por ello, a continuación se presenta como se debe realizar la medición:

- Mediciones del voltaje

Paso 1. Motor apagado

- Medir el voltaje en L1 y L2 del interruptor de presión o del contactor en línea.
- Lectura del voltaje: debe ser $\pm 10\%$ de la capacidad del motor.

Paso 2. Motor en operación

- Medir el voltaje del lado de la carga del interruptor de presión o del contactor en línea con la bomba en operación.
- Lectura del voltaje: debe permanecer igual excepto por una leve disminución en el arranque.
- La caída excesiva de voltaje puede deberse a conexiones sueltas, malos contactos, fallas de tierra o suministro de energía inadecuado.

- La vibración en el relevador es causada por el bajo voltaje o por las fallas en tierra.
- Mediciones de la corriente (amperaje)
 - Medir la corriente en todas las líneas del motor.
 - Lectura del amperaje: la corriente de la línea roja debe ser momentáneamente alta, después disminuye en un segundo.
 - Las fallas en el relevador o interruptor pueden causar que la corriente en la línea roja permanezca alta y disparos de las sobrecargas.
 - El condensador de operación abierto puede causar que el amperaje sea más alto de lo normal en las líneas negra y amarilla del motor y más bajo en la línea roja.
 - Una bomba trabada puede provocar amperaje a rotor bloqueado y desconexión por sobrecarga.
 - Un amperaje bajo puede ser causado por interrupción, desgaste o ranuras en la bomba.
 - Si la corriente de la línea roja no es momentáneamente alta en el arranque, se indicara falla en el condensador de arranque o que el interruptor/relevador está abierto.

3.4.5. Fichas de control

Una ficha de control sirve para colocar la información de los trabajos realizados en los equipos, dicha información interesa al encargado de mantenimiento para establecer si se están cumpliendo con los objetivos trazados en el programa de mantenimiento preventivo.

3.4.6. Inventario de repuestos

Para el cumplimiento del mantenimiento preventivo de los equipos anteriormente descritos se debe considerar un inventario de repuestos mínimos con el fin de minimizar los tiempos de reparaciones, por tal razón, se debe considerar el siguiente inventario mínimo de repuestos:

- Aceites y solvente mineral especificados en la sección de rutinas de mantenimiento
- 2 juegos de filtros para polvos
- 10 tubos de HG de $\text{Ø}=2''$
- 10 tubos de HG de $\text{Ø}= 4''$
- 1 sensor de nivel
- 25 metros de cable de calibre #8 para planta de tratamiento
- 2 flipones trifásicos de 480 voltios
- 1 brida
- 2 sellos mecánicos de 1" tipo 6
- 2 empaques para la bomba de lodos marca Barnes modelo SEH205-3
- 1 galón de pintura anticorrosiva y 1 galón de pintura de aceite
- 2 válvulas de cheque vertical de 4"
- 2 niples tipo pesado de 4x6
- 1 collarín de 4"

- 2 uniones universales de HG de 4"
- 100 pies de línea de aire de 1/4"

Será función del encargado de mantenimiento el velar por la existencia de los repuestos contemplados; se recomienda una frecuencia trimestral de la auditoria del inventario. El almacenaje de los repuestos estará a cargo de bodega.

4. IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

4.1. Departamento de Mantenimiento

Con el fin de regular funciones, jerarquía, selección de personal, capacitaciones del personal, servicios de tercerización (*outsourcing*), herramientas y equipo del departamento de mantenimiento del ITUGS, son propuestas las siguientes directrices respectivas.

4.1.1. Funciones del Departamento de Mantenimiento del ITUGS

Son funciones principales del Departamento de Mantenimiento del ITUGS, las descritas a continuación. Pueden ser añadidas otras funciones al mismo, si la Dirección del ITUGS lo considerase pertinente.

- Planificar y programar todas las actividades de mantenimiento de los equipos, maquinaria e instalaciones del ITUGS.
- Ejecutar las actividades de mantenimiento preventivo estipuladas en los programas de mantenimiento general y específicos.
- Ejecutar las actividades de mantenimiento correctivo pertinentes.
- Contactar, coordinar y supervisar los servicios de tercerización para actividades de mantenimiento.
- Contactar y presupuestar repuestos de partes dañadas de los equipos o maquinaria.

- Participar activamente en el diseño, montaje e implementación de nuevos equipos, maquinaria y/o instalaciones.
- Almacenar apropiadamente equipos, herramientas, útiles y enseres destinados a las actividades de mantenimiento.
- Optimizar y hacer uso adecuado de los recursos físicos, humanos y económicos asignados.
- Diseñar e implementar un programa de capacitación continuo para el personal antiguo y de nuevo ingreso del departamento de mantenimiento.
- Apoyar, según se le solicite, con otras tareas delegadas por la Dirección y Coordinación Administrativa del ITUGS.

4.1.2. Elaboración del perfil

Los perfiles del personal del Departamento de Mantenimiento que a continuación se exponen, están elaborados desde un punto de vista técnico. En caso de que la Dirección y/o Coordinación Administrativa del ITUGS, lo considere pertinente, pueden añadirse otros requisitos para el puesto específico.

4.1.2.1. Encargado del Departamento de Mantenimiento

Para la selección y contratación de personal que se desempeñe en el cargo de encargado de mantenimiento, deberá de considerarse como mínimo, los siguientes requisitos. También deberá considerarse lo estipulado en los reglamentos de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

- Requisitos
 - Licenciatura en Ingeniería Mecánica Industrial o Mecánica.
 - Colegiado activo.
 - Experiencia mínima de 3 años en el área de mantenimiento.
 - Sólidos conocimientos en el área electrónica y eléctrica.
 - Deseables conocimientos en: mantenimiento de instalaciones, instalaciones eléctricas, máquinas-herramientas, equipos neumáticos, motores de combustión interna, pozos mecánicos y plantas de tratamiento de aguas residuales.
 - Experiencia en administración de personal.
 - Experiencia en gestión y evaluación de programas de mantenimiento preventivo.
 - Amplios conocimientos de seguridad industrial.
 - Entre 28 a 40 años de edad.
 - Género masculino.
 - Estado civil indiferente.
 - Disponibilidad de horario.
 - Poseer vehículo (deseable).
 - Residir en sector cercano o dispuesto a laborar en Palín, Escuintla.
 - Competencias: análisis, responsabilidad, organización, planificación, programación, liderazgo, motivación, orientación al logro, relaciones interpersonales, sentido de urgencia, trabajo en equipo y disciplina.

4.1.2.2. Técnico

Así como en el caso del encargado de mantenimiento, se proporcionan las directrices técnicas de selección de personal de nivel técnico. También deberá considerarse lo estipulado en los reglamentos de la Universidad de San Carlos de Guatemala y lo considerado por la Dirección del ITUGS.

4.1.2.2.1. Mecánico

Para la selección y contratación de personal que se desempeñe en el cargo de técnico mecánico, deberá de considerarse como mínimo los siguientes requisitos.

- Requisitos
 - Bachiller Industrial, Técnico Industrial o carrera a fin.
 - 4to. Año aprobado de la carrera de Ingeniería Mecánica.
 - Experiencia mínima de 1 año en el área de mantenimiento.
 - Deseables conocimientos en: máquinas herramientas, equipos neumáticos, motores de combustión interna, pozos mecánicos y plantas de tratamiento de aguas residuales.
 - Experiencia en el uso de instrumentos de medición, herramientas y equipos de taller.
 - Conocimientos de seguridad industrial.
 - Entre 23 a 30 años de edad.
 - Género masculino.
 - Estado civil indiferente.
 - Disponibilidad de horario.

- Residir en sector cercano o dispuesto a laborar en Palín, Escuintla.
- Competencias: análisis, organización, liderazgo, motivación, orientación al logro, relaciones interpersonales, sentido de urgencia, trabajo en equipo y disciplina.

4.1.2.2.2. Electricista

Para la selección y contratación de personal que se desempeñe en el cargo de técnico electricista, deberá de considerarse como mínimo, los siguientes requisitos.

- Requisitos
 - Bachiller, Perito o Técnico en Electricidad o carrera a fin.
 - 4to. Año aprobado de la carrera de Ingeniería Eléctrica o Mecánica Eléctrica.
 - Experiencia mínima de 1 año en el área de mantenimiento.
 - Deseables conocimientos en: máquinas-herramientas, equipos neumáticos, pozos mecánicos y plantas de tratamiento de aguas residuales.
 - Experiencia en el uso de instrumentos de medición, herramientas y equipos de taller.
 - Conocimientos de seguridad industrial.
 - Entre 23 a 30 años de edad.
 - Género masculino.
 - Estado civil indiferente.
 - Disponibilidad de horario.

- Residir en sector cercano o dispuesto a laborar en Palín, Escuintla.
- Competencias: análisis, organización, liderazgo, motivación, orientación al logro, relaciones interpersonales, sentido de urgencia, trabajo en equipo y disciplina.

4.1.2.2.3. Electrónico

Para la selección y contratación de personal que se desempeñe en el cargo de técnico electrónico, deberá de considerarse, como mínimo, los siguientes requisitos.

- Requisitos
 - Bachiller, Perito o Técnico en Electrónica o carrera a fin.
 - 4to. Año aprobado de la carrera de Ingeniería Electrónica.
 - Experiencia mínima de 1 año en el área de mantenimiento.
 - Deseables conocimientos en: máquinas-herramientas, equipos neumáticos, pozos mecánicos y plantas de tratamiento de aguas residuales.
 - Experiencia en el uso de instrumentos de medición, herramientas y equipos de taller.
 - Conocimientos de seguridad industrial.
 - Entre 23 a 30 años de edad.
 - Género masculino.
 - Estado civil indiferente.
 - Disponibilidad de horario.
 - Residir en sector cercano o dispuesto a laborar en Palín, Escuintla.

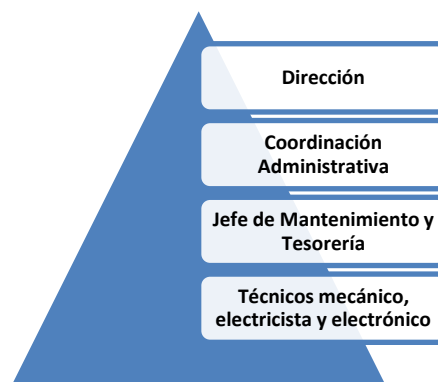
- Competencias: análisis, organización, liderazgo, motivación, orientación al logro, relaciones interpersonales, sentido de urgencia, trabajo en equipo y disciplina.

Conviene aclarar que la retribución salarial de los puestos expuestos, quedará a criterio de la dirección y Coordinación Administrativa del ITUGS, asimismo, todos los beneficios y prestaciones laborales estarán sujetas a lo contemplado en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

4.1.3. Jerarquía del Departamento de Mantenimiento

En la figura 24 se ilustran todos los entes involucrados en el proceso administrativo del nuevo departamento de mantenimiento del ITUGS. Aquellas actividades propias de la operación del departamento de mantenimiento, están exclusivamente a cargo del jefe del departamento.

Figura 24. **Jerarquía de operaciones del Departamento de Mantenimiento**



Fuente: elaboración propia.

4.1.4. Administración

Las directrices para el Departamento de Mantenimiento que a continuación se exponen, son de carácter administrativas y no deben confundirse con las directrices operativas que serán proporcionadas en el subcapítulo 4.2.

4.1.4.1. Planificación

La planificación de las actividades de mantenimiento preventivo para el pozo mecánico y planta de tratamiento estará a cargo del jefe de Mantenimiento, Coordinación Administrativa, Dirección y, en caso de afectar las actividades académicas, Coordinación Académica del ITUGS. Desde el punto de vista económico, sería recomendable incluir en la planificación al departamento de Tesorería, para que este informado de los costos del respectivo programa.

La programación resultante de la planificación de las actividades de mantenimiento, en la medida de lo posible, deberá ser efectuada en los meses de menor actividad académica del ITUGS. Los períodos recomendados para la programación, son: junio o primera quincena de diciembre o segunda quincena del mes de enero.

4.1.4.2. Supervisión

Para las actividades comprendidas en la presente propuesta, la supervisión es función exclusiva del jefe de Mantenimiento.

En caso de la instalación de nuevos equipos, construcción de nuevas instalaciones o expansión de instalaciones y/o sistemas, la supervisión será función conjunta del jefe de Mantenimiento, Coordinación Administrativa y dirección del ITUGS.

4.1.4.3. Control

El control de las actividades expuestas en la presente propuesta, es función conjunta del Jefe de Mantenimiento y Coordinación Administrativa. Asimismo, debe de considerarse toda opinión de la Dirección del ITUGS.

4.2. Funciones del personal

Las funciones descritas a continuación para el personal del Departamento de Mantenimiento son de índole operativa, especialmente, las del jefe de Mantenimiento. Dichas directrices pueden ser modificadas, si así lo considera, por parte de la dirección y Coordinación Administrativa.

4.2.1. Funciones del encargado del Departamento de Mantenimiento

Las funciones operativas de la persona que desempeñe el puesto de encargado del Departamento de Mantenimiento, pudiendo variar en cantidad y forma, si así lo considerase la dirección del ITUGS, son:

- Gestionar adecuadamente los programas de mantenimiento establecidos por el ITUGS.
- Planificar y programar las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo.

- Administrar y supervisar al personal bajo su cargo.
- Supervisar efectivamente todas las tareas de mantenimiento.
- Establecer parámetros para las actividades de mantenimiento.
- Mantener un inventario apropiado de equipo, útiles, herramientas y enseres para las actividades de mantenimiento.
- Contactar y presupuestar los servicios tercerizados de mantenimiento.
- Contactar y presupuestar con comercializadoras de repuestos.
- Llevar un control documental de las actividades de mantenimiento realizadas.
- Realizar un análisis estadístico de fallas en los equipos.
- Velar por la seguridad industrial en las actividades de mantenimiento.
- Evaluar, anualmente, la eficiencia del programa de mantenimiento.
- Participar activamente en las tareas de diseño, construcción, montaje e implementación de nuevas instalaciones, sistemas y/o equipos.
- Reportar a Coordinación Administrativa acerca de fallas mayores en los equipos.
- Reportar la ejecución presupuestaria del Departamento, de forma mensual y anual, a la Dirección y Coordinación Administrativa.
- Procesar órdenes de compra respectivas.
- Planificar capacitaciones para el personal bajo su cargo.
- Evaluar, anualmente, el desempeño del personal bajo su cargo.
- Cooperar con otras tareas asignadas por la Dirección, Coordinación Administrativa o Coordinación Académica del ITUGS.

4.2.2. Funciones del técnico mecánico

Las funciones operativas de la persona que desempeñe el puesto de técnico mecánico pueden variar en cantidad y forma, si así lo considerase la dirección del ITUGS y el encargado del Departamento de Mantenimiento, pero son básicamente:

- Ejecutar los trabajos mecánicos correspondientes a las actividades de mantenimiento asignadas.
- Efectuar las rutinas de verificación e inspección asignadas.
- Llevar la documentación respectiva de los trabajos de mantenimiento efectuados.
- Reportar al jefe de Mantenimiento acerca de alguna anomalía detectada en los equipos y/o máquinas.
- Hacer uso adecuado y eficiente de los útiles y enseres provistos.
- Hacer uso adecuado de los equipos y herramientas asignadas.
- Cuidar y usar el equipo de protección personal asignado.
- Reportar al jefe de Mantenimiento la carencia de algún útil, enseres y/o equipo necesario para desempeñar sus funciones.
- Cooperar con otras actividades asignadas por el jefe de Mantenimiento.

4.2.3. Funciones del técnico electricista

Las funciones operativas de la persona que desempeñe el puesto de técnico electricista pueden variar en cantidad y forma, si así lo considerase la dirección del ITUGS y el encargado del Departamento de Mantenimiento, pero son básicamente:

- Ejecutar los trabajos eléctricos correspondientes a las actividades de mantenimiento asignadas.
- Efectuar las rutinas de verificación e inspección asignadas.
- Llevar la documentación respectiva de los trabajos de mantenimiento efectuados.
- Reportar al jefe de Mantenimiento acerca de alguna anomalía detectada en las instalaciones, estación eléctrica, equipos y/o máquinas.
- Hacer uso adecuado y eficiente de los útiles y enseres provistos.
- Hacer uso adecuado de los equipos y herramientas asignadas.
- Cuidar y usar el equipo de protección personal asignado.
- Reportar al jefe de Mantenimiento la carencia de algún útil, enser y/o equipo necesario para desempeñar sus funciones.
- Cooperar con otras actividades asignadas por el jefe de Mantenimiento.

4.2.4. Funciones del técnico electrónico

Las funciones operativas de la persona que desempeñe el puesto de técnico electrónico pueden variar en cantidad y forma, si así lo considerase la dirección del ITUGS y el encargado del Departamento de Mantenimiento, pero son básicamente:

- Ejecutar los trabajos electrónicos correspondientes a las actividades de mantenimiento asignadas.
- Efectuar las rutinas de verificación e inspección asignadas.
- Llevar la documentación respectiva de los trabajos de mantenimiento efectuados.
- Reportar al jefe de Mantenimiento acerca de alguna anomalía detectada en los sistemas, equipos y/o máquinas.
- Hacer uso adecuado y eficiente de los útiles y enseres provistos.

- Hacer uso adecuado de los equipos y herramientas asignadas.
- Cuidar y usar el equipo de protección personal asignado.
- Reportar al jefe de Mantenimiento la carencia de algún útil, enser y/o equipo necesario para desempeñar sus funciones.
- Cooperar con otras actividades asignadas por el jefe de Mantenimiento.

4.3. Capacitaciones del personal

Con el objetivo de proporcionar conocimientos y destrezas al personal del departamento de mantenimiento del ITUGS, mismas que son necesarias para la eficiente ejecución de sus funciones, son propuestas las siguientes directrices que deben regir la capacitación del personal.

4.3.1. Objetivos de la capacitación

Toda capacitación está orientada a aumentar o refinar los conocimientos y destrezas del personal. Los objetivos específicos que persigue la capacitación propuesta son:

- Dotar al personal con conocimiento técnico especializado en maquinaria y actividades de mantenimiento.
- Desarrollar habilidades y destrezas del personal en actividades de mantenimiento.
- Actualizar constantemente el conocimiento del personal de mantenimiento.
- Contribuir a la eficiente ejecución de las actividades del programa de mantenimiento.
- Garantizar una metodología correcta para realizar una o varias actividades de mantenimiento.

4.3.2. Empresas y/o instituciones para capacitación

En la ciudad de Guatemala existen diversas instituciones y empresas que prestan los servicios de capacitación del personal del área de mantenimiento. Después de un cuidadoso análisis y con base en las necesidades de capacitación del personal, las empresas y/o instituciones a considerar, son:

- Instituto Técnico de Capacitación y Productividad.
Cursos: Electricista de Mantenimiento Industrial, Electrónica Aplicada y Técnico en Mantenimiento.
- Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur (ITUGS).
Cursos: Procesos de Manufactura, Metal Mecánica y Electrónica.
- ISA / ATIGUA, S. A.
Cursos: Tecnologías en el mantenimiento predictivo, Mantenimiento Industrial, Rutinas de mantenimiento, Seguridad industrial general. Se recomienda el curso de Administración del Mantenimiento para el Jefe de Seguridad Industrial.
- Hidrotecnia, S. A.
Cursos: Funcionamiento y mantenimiento de pozos mecánicos y plantas de tratamiento de agua residuales.

4.3.3. Frecuencia de capacitación

Al momento de la implementación del Departamento de Mantenimiento del ITUGS, los cursos expuestos, así como otros cursos que hayan sido encontrados y contratados, deberán ser impartidos en un período no mayor a 1 año.

Cada uno de los técnicos deberá recibir, como mínimo, las siguientes capacitaciones:

- Capacitación específica para su carrera (mecánica, electrónica y eléctrica).
- Capacitación específica para mantenimiento.
- Capacitación específica para mantenimiento del pozo mecánico y planta de tratamiento.

En el caso del jefe de Mantenimiento, se recomienda el curso de Administración del Mantenimiento impartido por ISA/ATIGUA, S. A. Asimismo, todo personal de nuevo ingreso al Departamento de Mantenimiento deberá estar sujeto a los cursos de capacitación y, de ser posible, estos deberán ser impartidos en el período de prueba de 2 meses estipulado en el Artículo 81 del Código de Trabajo.

Cuando la capacitación del personal haya sido completada, el jefe de Mantenimiento, como parte de sus funciones, deberá seguir en búsqueda de cursos de capacitación apropiados para el personal bajo su cargo. Deberá de completarse, como mínimo, 2 cursos de capacitación por operario al año.

De preferencia, los cursos deberán programarse en los meses de menor carga de trabajo o fines de semana; en este último caso, deberá considerarse el pago de horas extras para los técnicos. En caso de que las capacitaciones no se realicen en la ciudad de Guatemala, deberá considerarse el pago de viáticos y subsidio de alimentación. Complementariamente, deberá de apoyarse económicamente al técnico en todo lo relativo a la adquisición de instrumentos, documentos, herramientas, para completar satisfactoriamente los cursos de capacitación.

4.4. Tercerización

Se entiende por *outsourcing* o tercerización como el proceso empresarial en donde una organización confía y delega recursos a otra organización externa, con el fin de cumplir con ciertas actividades específicas.

4.4.1. Empresas dedicadas al *outsourcing*

En la ciudad de Guatemala, existen diversas empresas que prestan servicios de *outsourcing* o tercerización, dichos servicios se extienden al interior de la República. Departamentalmente también existen empresas con estos servicios. A continuación se detalla el nombre de algunas empresas que prestan los servicios necesarios para el mantenimiento del equipo descrito en el presente trabajo.

- Hidrotecnia S. A.
Avenida La Castellana 39-36 zona 8.
Teléfonos: (502) 2384-8400, (502) 2472-1013.
www.aquacorp.com.

- **Hidromaster**
 Avenida La Castellana 5-00 zona 9.
 Teléfono: 2417-9696.
 Correo: info@hidromaster.com.gt.

- **Electric Power Supply de Guatemala**
 Boulevard Liberación 2-62 zona 13.
 Teléfonos: 2472-0735, 5294-7414.
 Correo: epsalopez@gmail.com

- **Multiservicios Industriales Padilla**
 1era. Avenida 4-61 B zona 1, Escuintla, Escuintla.
 Teléfono: 7889-8062.
 orpadilla@hotmail.com

- **Pinesa Ingeniería Total**
 18 avenida 2-25, zona 1.
 Teléfono: 5065932.

- **MAPRECO**
 7a. Avenida 2-42 zona 9.
 Teléfono: 2389-1010.
 contactenos@grupomapreco.com

- **Ambiotec**
 1a Calle 38-16 zona 11 Colonia Toledo.
 Teléfono: 2485-6620.
 www.ambiotec-sa.com

4.4.2. Servicios prestados por empresas

Hasta la conclusión del presente trabajo de graduación, los servicios que se detallan a continuación eran los ofrecidos por las diversas empresas dedicadas a la tercerización del servicio de mantenimiento para pozos mecánicos y plantas de tratamiento de aguas residuales.

- Hidrotecnia S. A.
 - Servicios prestados
 - Perforación de pozos
 - Sistemas de bombeo de agua residual
 - Tratamiento de agua
 - Mantenimiento correctivo para pozo mecánico
 - Mantenimiento preventivo para pozo mecánico
 - Laboratorio de análisis

- Hidromaster
 - Servicios prestados
 - Perforación de pozos mecánicos de 6" a 12" hasta 1200'
 - Perforación de pozos para agua en todo territorio nacional
 - Limpieza de pozos mecánicos
 - Extracción de equipos sumergibles
 - Reparación y mantenimiento de motores eléctricos
 - Reparación de bombas de agua
 - Laboratorio de análisis

- Electric Power Supply de Guatemala
 - Servicios prestados
 - Mantenimiento correctivo bomba sumergible de lodos
 - Mantenimiento preventivo bomba sumergible de lodos
 - Reparación y mantenimiento de motores eléctricos
 - Instalaciones eléctricas
 - Reparación de generadores y transformadores

- Multiservicios Industriales Padilla
 - Servicios prestados
 - Reconstrucción de maquinaria eléctrica industrial
 - Rebobinado de motores eléctricos, generadores y transformadores
 - Instalaciones eléctricas

- Pinesa Ingeniería Total
 - Servicios prestados
 - Mantenimiento correctivo de bombas sumergibles
 - Mantenimiento preventivo de bombas sumergibles
 - Mantenimiento de *blower*
 - Limpieza de pozos mecánicos
 - Extracción de equipos sumergibles
 - Mantenimiento eléctrico de paneles de control

- Instalaciones eléctricas
- MAPRECO
 - Servicios prestados
 - Instalación de cajas de registro
 - Fosas sépticas
 - Trampas de grasa
 - Reparación de tuberías
 - Diseño y mantenimiento de plantas de tratamiento
- Ambiotec
 - Servicios prestados
 - Succión de fosas sépticas y cajas de trampa de grasa
 - Aplicación de enzimas digestivas
 - Diseño, construcción y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales

4.4.3. Servicios adicionales de las empresas

De igual forma, a la conclusión del presente trabajo, los servicios detallados eran los ofrecidos por el mercado tercerizador de servicios de mantenimiento preventivo correspondientes a la aplicación.

- Hidrotecnia S. A.
 - Servicios adicionales
 - Sistemas de bombeo de agua para piscinas, fuentes, hidroterapia
 - Sistema de riego para la industria agrícola
 - Venta de bombas para piscina y filtros para piscina
 - Cursos: funcionamiento y mantenimiento de pozos mecánicos y plantas de tratamiento de agua residuales

- Hidromaster
 - Servicios adicionales
 - Venta de bombas centrifugas, bombas *jet*, filtros para piscina, bombas para piscina y bombas axiales

- MAPRECO
 - Servicios adicionales
 - Alquiler de baños portátiles

- Alquiler de lavamanos doble
 - Venta de desinfectantes
- Ambiotec
 - Servicios adicionales
 - Equipo de video inspección
 - Venta de químico desincrustante
 - Alquiler de mingitorios
 - Renta de sanitarios portátiles para minusválidos

4.4.4. Área de cobertura

Las empresas Hidrotecnia S. A., Hidromaster, Mapreco, Pinesa Ingeniería Total y Ambiotec tienen cobertura en toda la ciudad capital y departamentos. Dependiendo de la ubicación de la empresa donde se deba realizar el servicio y/o trabajo se proporciona una cotización del costo de envío de la maquinaria y equipo.

Las empresas Multiservicios Industriales Padilla y Electric Power Supply de Guatemala, no tienen cobertura para la ciudad capital y departamentos. Se debe llevar el equipo a las empresas para la reparación pertinente.

4.5. Costos del programa de mantenimiento

La implementación del presente programa de mantenimiento para el pozo mecánico y planta de tratamiento requerirá de una inversión económica, la cual, en comparación con la inversión de un mantenimiento correctivo, es notoriamente inferior.

4.5.1. Personal del Departamento de Mantenimiento

En la tabla XXXV se pueden observar los costos mensuales y anuales de la planilla del personal del departamento de mantenimiento propuesto del ITUGS. Conviene aclarar que el total anual ya incluye los 14 salarios anuales estipulados por el Código de Trabajo, los cuales corresponden a 12 salarios, bono 14 y aguinaldo.

Tabla XXXV. **Costos de la planilla del personal del Departamento de Mantenimiento**

Personal	Salario Base	Bonificación Decreto 37-2001	Total Mensual	Total Anual (Prestaciones incluidas)
Jefe de Mantenimiento	Q. 6 750,00	Q. 250,00	Q. 7 000,00	Q. 97 500,00
Técnico mecánico	Q. 2 750,00	Q. 250,00	Q. 3 000,00	Q. 41 500,00
Técnico eléctrico	Q. 3 000,00	Q. 250,00	Q. 3 250,00	Q. 45 000,00

Continuación de la tabla XXXV.

Técnico electrónico	Q. 3 250,00	Q. 250,00	Q 3 500,00	Q. 48 500,00
COSTOS T O T A L E S			Q. 16 750,00	Q. 232 500,00

Fuente: elaboración propia.

Los salarios bases de los diferentes puestos propuestos, estarán sujetos a la evaluación y aprobación de la Dirección y Coordinación Administrativa del ITUGS.

4.5.2. Útiles y enseres

En la tabla XXXVI se presentan los útiles y enseres básicos para la implementación del departamento de mantenimiento del ITUGS. Los elementos expuestos están en función de las actividades que deben ser llevadas a cabo para el pozo mecánico y planta de tratamiento; sin embargo, también son aplicables a algunas otras actividades de mantenimiento general.

Es necesario aclarar que la lista expuesta está sujeta a modificaciones, especialmente, al momento de asignar otras actividades de mantenimiento al personal del respectivo departamento.

Tabla XXXVI. **Costos de los útiles y enseres**

Útil / Enser	Cantidad	Precio Unitario	Costo Total
Grasas	2	Q. 75,00	Q. 150
Aceites	3	Q. 180,00	Q. 540
Solventes minerales	2	Q. 85,00	Q. 170
<i>Wipe</i>	20	Q. 5,00	Q. 100,00
Químicos para limpieza	5	Q. 65,00	Q. 325,00
Pintura de aceite	1	Q. 65,00	Q. 65,00
Pintura anticorrosiva	1	Q. 95,00	Q. 95,00
C O S T O T O T A L			Q. 1 445,00

Fuente: elaboración propia.

4.5.3. Equipos e instrumentos de medición

Para poder ejecutar las actividades de mantenimiento, especialmente aquellas consideradas como rutinas de inspección, es necesario dotar al personal con equipos e instrumentos de medición adecuados. Debe hacerse especial énfasis en que un equipo o instrumento de calidad aumentará la precisión y exactitud de cualquier medición, contribuyendo así con una adecuada supervisión de la operación normal de los equipos.

Tabla XXXVII. **Costos de equipos e instrumentos de medición**

Equipo / Instrumento	Cantidad	Precio Unitario	Costo Total
Multímetro	2	Q. 100,00	Q. 200,00
Cinta métrica	2	Q. 80,00	Q. 160,00
Vernier	2	Q. 175,00	Q. 350,00
Micrómetro	2	Q. 225,00	Q. 450,00
Torquímetro	2	Q. 200,00	Q. 400,00
Amperímetro de gancho	2	Q. 280,00	Q. 560,00
Barreno	1	Q. 550,00	Q. 550,00
Set de herramientas (copas y accesorios)	1	Q. 100,00	Q. 100,00
Set de herramientas varias (100 piezas)	1	Q. 450,00	Q. 450,00
COSTO TOTAL			Q. 3 220,00

Fuente: elaboración propia.

Los equipos e instrumentos descritos en la tabla XXXVII pueden ser empleados en diversas tareas de mantenimiento, mismas que pueden ser asignadas a criterio de la Dirección o Coordinación Administrativa del ITUGS.

4.5.4. Equipo de seguridad

Con el fin de proteger la integridad física del personal del Departamento de Mantenimiento durante la ejecución de sus actividades, en la tabla XXXVIII son expuestos los equipos de protección personal mínimo a usar. La dotación de dicho equipo es responsabilidad del ITUGS y, según lo estipulado en el Código de Trabajo y Reglamento de Seguridad e Higiene del IGSS, no debe de cobrarse ningún monto a los empleados.

Tabla XXXVIII. **Costos de equipo de protección personal**

Equipo / Instrumento	Cantidad	Precio Unitario	Costo Total
Cinturones de fuerza lumbar	4	Q. 125,00	Q. 500,00
Guantes de látex	4 cajas	Q. 50,00	Q. 200,00
Mascarillas	3 cajas	Q. 35,00	Q. 105,00
Guantes para soldar	2 pares	Q. 75,00	Q. 150,00
Careta para soldadura	2	Q. 160,00	Q. 320,00
Gafas industriales	4	Q. 70,00	Q. 280,00
Cinturón portaherramientas	3	Q. 130	Q. 390,00
Tapones auditivos	10	Q. 12,00	Q. 120,00
Casco industrial	4	Q. 60,00	Q. 240,00

Continuación de la tabla XXXVIII.

Bata industrial	4	Q. 30,00	Q. 120,00
Botas de punta de acero	3 pares	Q. 400,00	Q. 1 200,00
COSTO TOTAL			Q. 3 625,00

Fuente: elaboración propia.

Ante la asignación de cualquier actividad de mantenimiento no contemplada en el presente trabajo, debe considerarse la adquisición de equipos, herramientas y equipos de protección personal adecuados, así como la capacitación respectiva.

De ser económicamente viable, debe gestionarse la adquisición de zapatos industriales con puntera de acero para el personal del Departamento de Mantenimiento; en caso contrario, podría gestionarse la adquisición por parte del personal a precios favorables.

También debe considerarse la implementación de un botiquín de primeros auxilios. Para poder obtener las directrices del contenido de dicho botiquín, se debe de considerar lo estipulado en el Acuerdo 1414 aprobado por la Junta Directiva del IGSS.

4.5.5. Operativas

Definidos los elementos que serán necesarios para la implementación del Departamento de Mantenimiento, es necesario definir también los servicios con los cuales se deben contar para su funcionamiento. En la tabla XXXVIII se detallan los servicios a considerar, así como un estimado de los costos.

Tabla XXXIX. **Costos de servicios**

Servicio	Cantidad	Precio Unitario	Costo Total
Radio comunicador	4	Q. 250,00	Q. 1 000,00
Gasolina	4 galones	Q. 37,00	Q. 148,00
Oxígeno / Acetileno	2 servicios	Q. 700,00	Q. 1 400,00
Electrodos	4 cajas	Q. 500,00	Q. 2 000,00
COSTO TOTAL			Q. 4 548,00

Fuente: elaboración propia.

4.5.6. **Outsourcing**

Como se ha explicado, el ITUGS no tiene capacidad de realizar ciertas tareas de mantenimiento, especialmente de aquellas tareas preventivas. Las causas de dicha condición se deben principalmente a la falta de equipo especializado, conocimientos e infraestructura, por ello, es necesaria la contratación de varios servicios de mantenimiento tercerizado con varias empresas especializadas en el ramo.

En la tabla XL se detalla la información de las empresas que se proponen para prestar los servicios de *outsourcing* para el mantenimiento preventivo de los equipos y el costo del mismo, conviene mencionar que dichos servicios son exclusivamente para el pozo mecánico y planta de tratamiento.

Tabla XL. **Costos de servicios de *outsourcing***

Empresa	Descripción del servicio	Costo Total
Hidromaster	Extracción de tubería, limpieza de tubería, cubeteado y cepillado, traslado de maquinaria a Palín, mano de obra por instalación y revisión eléctrica.	Q. 12 000,00

Continuación tabla XL.

MAPRECO	3 servicios de mantenimiento preventivo al año: 2 revisiones consisten en; mantenimiento de panel eléctrico, revisión de motor electico, <i>blower</i> . 1 Revisión profunda donde se procede a dar mantenimiento y se extrae el agua residual del tanque de aireación para revisar la brida, toda la tubería de HG, los difusores de burbuja, se revisa la bomba de lodos del clarificador, y todo el cableado del panel de control.	Q. 6 500,00
C O S T O T O T A L		Q. 18 500,00

Fuente: elaboración propia.

Los costos establecidos en las tablas XXXV, XXXVI, XXXVII, XXXVIII, XXXIX y XL fueron consultados entre los meses de octubre, noviembre y diciembre del 2013, cada uno de los costos pueden variar conforme el tiempo avanza.

4.5.7. Análisis de los costos del mantenimiento preventivo

En el sub capítulo 2.5, se estableció que un mantenimiento correctivo para el pozo mecánico y la planta de tratamiento en el ITUGS tiene un costo anual de Q. 105 494,50, lo que representa mensualidades de Q. 8 620, 42. Con el fin de demostrar una mejora sustancial entre el mantenimiento preventivo sobre el correctivo, se presenta un análisis de los costos y relación de beneficio/costo.

Si se considera la técnica de evaluación financiera de Valor Futuro dado Presente VFP para el mantenimiento preventivo de los equipos, se puede obtener los siguientes datos:

$$F = P(1 + i)^n$$
$$F = Q. 18 500,00(1 + 0,0445)^1$$
$$F = Q. 19 323,25$$

Donde:

P = Valor Presente Neto (costo del mantenimiento correctivo)

i = tasa de interés de inflación promedio de los doce meses del año 2012

n = número de períodos del análisis, en este caso, 1 año

El cálculo de las mensualidades del mantenimiento preventivo, sería el siguiente:

$$A = P \left(\frac{i(1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \right)$$
$$A = Q. 18 500,00 \left(\frac{0,0037(1 + 0,0037)^{12}}{(1 + 0,0037)^{12} - 1} \right)$$
$$A = Q. 1 578,98$$

Anualmente, un mantenimiento preventivo, tanto para el pozo mecánico como para la planta de tratamiento, tendría un costo de Q. 19 323,25. Estos datos se traducen en mensualidades de Q. 1 578,98. En comparación con los costos de Q. 105 494,50 y Q. 8 620, 42, correspondientes a los valores anuales y mensuales de mantenimiento correctivo, respectivamente, existe una visible diferencia.

Si se asume una relación beneficio – costo de la siguiente forma:

- Mantenimiento preventivo= beneficio
- Mantenimiento correctivo= costo

R.B.C. = Costo de mantenimiento preventivo / costo de mantenimiento correctivo

$$\text{R.B.C.} = \frac{\text{Q. } 19\,323,25}{\text{Q. } 105\,494,50} = 0,1832$$

Esta relación determina que, por cada Q. 1,00 invertido en mantenimiento correctivo se estarían invirtiendo únicamente Q. 0,18 en mantenimiento preventivo. Significando una pérdida de Q. 0,82 por cada Quetzal invertido actualmente. Con los datos obtenidos, se puede asegurar que el mantenimiento correctivo del ITUGS es 5,46 veces más caro que los costos de mantenimiento preventivo.

Para la implementación del Departamento de Mantenimiento se presentan los costos de inversión:

Tabla XLI. **Costos de inversión del Departamento de Mantenimiento**

Descripción	Costo
Costos de la planilla del personal del departamento de mantenimiento.	Q. 232 500,00
Costos de los útiles y enseres	Q. 1 445,00
Costos de equipos e instrumentación de medición	Q. 3 220,00
Costos de equipo de protección personal	Q. 3 625,00
Costos de servicios	Q. 4 548,00
Costos de servicios de <i>outsourcing</i>	Q. 18 500,00
COSTO TOTAL	Q. 263 838,00

Fuente: elaboración propia.

El costo total para la implementación del nuevo Departamento de Mantenimiento del ITUGS sería de Q. 263 838,00, aproximadamente. Con la implantación del Departamento de Mantenimiento, se estará dando un mantenimiento preventivo al pozo mecánico y la planta de tratamiento para ello se hará uso del 40 por ciento de las actividades de mantenimiento preventivo, también se dará mantenimiento a cada uno de los equipos que se encuentran en los módulos, así como a la infraestructura del ITUGS, utilizando el 60 por ciento de las actividades de mantenimiento preventivo.

Quedará a criterio del director, administrador y Tesorería, el evaluar si se hace efectiva la implementación del nuevo departamento.

4.6. Herramientas y equipo

Con el propósito de proveer al personal del equipo necesario y por medidas de seguridad industrial, es indicado el equipo de taller, medición, de protección y uniforme mínimo, a utilizar dentro del Departamento de Mantenimiento y sus labores.

4.6.1. Herramientas de taller

Para el Departamento de Mantenimiento del ITUGS se propone tener las siguientes herramientas básicas de taller. Se debe de aclarar que este equipo es de índole mínima y debe de ser aumentado proporcionalmente a las actividades del departamento.

- Alicates
- Barreno
- Cuchilla de electricista
- Juego de brocas para concreto de 1/4", 3/8" y 3/4"
- Juego de brocas para metal de 1/2", 3/8" y 5/4"
- Juego de destornilladores:
 - Destornillador punta plana de 15/64" de ancho y 9 27/32" de largo
 - Destornillador punta plana de 13/64" de ancho y 9 29/64" de largo
 - Destornillador punta plana de 15/64" de ancho y 7 7/8" de largo
 - Destornillador punta plana de 13/64" de ancho y 6 11/16" de largo
 - Destornillador punta estría (cruz) de 7 7/8" de largo

- Juego de llaves fija
- Juego de machuelos para roscar
- Lima plana
- Linterna recargable
- Llave de cangrejo de 14" y 18"
- Manguera para aire comprimido
- Martillo de bola, oreja y caucho de ½ y ¾ de libra
- Pinza
- Prensa de banco de 450 libras de capacidad
- Punzón
- Remachadora manual
- Set de copas y accesorios
- Set de llaves Allen

4.6.2. Instrumentos de medición

Para el Departamento de Mantenimiento del ITUGS se propone tener los siguientes instrumentos de medición básicos de taller. En caso de ser posible, cada técnico deberá de contar con un kit que contenga el equipo descrito.

- Amperímetro de gancho
- Cinta métrica de 10 metros
- Medidor de nivel de burbuja
- Micrómetro
- Multímetro
- Torquímetro
- Vernier

4.6.3. Equipo de protección

Para el Departamento de Mantenimiento del ITUGS se propone tener los siguientes equipos de protección personal. Cada técnico y el encargado de seguridad, deberá contar con el equipo descrito, así como toda persona que colabore con cualquier actividad de mantenimiento. Quedará estrictamente prohibido prestar cualquier equipo de protección personal.

- Cinturón de fuerza lumbar
- Guantes de látex
- Guantes para soldar
- Colete
- Careta de soldadura
- Gafas industriales
- Cinturón portaherramientas
- Tapones auditivos
- Casco industrial
- Bata industrial
- Botas de punta de acero
- Mascarilla

4.6.4. Uniforme

El tipo de uniforme propuesto para los técnicos del Departamento de Mantenimiento del ITUGS debe estar constituido de la manera siguiente: un pantalón de lona, camisa de gabardina y botas de punta de acero. Quedará a criterio del director, administrador y encargado del Departamento de Mantenimiento dar la aprobación.

5. EVALUACIÓN Y MEJORA CONTINUA DEL PROGRAMA

5.1. Metodología de la evaluación

Con el propósito de evaluar periódicamente el rendimiento del programa de mantenimiento y mejorarlo se propone la siguiente metodología de evaluación, así como sus respectivas directrices.

5.1.1. Propósito de la evaluación

El propósito de la evaluación consiste en supervisar que se cumpla el mantenimiento preventivo de cada uno de los equipos que conforman la configuración del pozo mecánico y la planta de tratamiento de aguas residuales del ITUGS, velar para que cada uno de las fichas técnicas contengan la información solicitada, además, cumplir con cada una de las rutinas de mantenimiento que fueron establecidas en el sub inciso 3.4.2., del presente trabajo y reducir al máximo los costos del mantenimiento.

5.1.2. Encargado de la evaluación del programa

La persona encargada de evaluar el cumplimiento del programa de mantenimiento preventivo será el encargado del Departamento de Mantenimiento, así mismo, participará el director y administrador para corroborar el cumplimiento de cada una de las rutinas del programa de mantenimiento preventivo.

5.1.3. Frecuencia de la evaluación

Será función del jefe de Mantenimiento la evaluación al azar de todas las rutinas de mantenimiento que se hayan llevado a cabo, deberá de llevar su *check list* y revisar si se cumplieron con las rutinas de mantenimiento, además consistirá en que por lo menos dos veces al mes, se evalúen todas las actividades de mantenimiento que se hayan realizado de manera diaria, semanal, quincenal y mensual, además debe evaluar inmediatamente, todas las actividades de mantenimiento trimestral, semestral y anual.

5.1.4. Formatos de evaluación

Para el cumplimiento del programa de mantenimiento preventivo tanto para el pozo mecánico como para la planta de tratamiento, es importante contar con formatos de evaluación, para ello, se propone un formato de evaluación el cual verificará si se cumplieron con las actividades descritas en las rutinas de mantenimiento y evaluar el uso de útiles y enseres, tiempo de trabajo, limpieza, orden, entre otros.

5.1.5. Archivos de formatos de evaluación

Para tener un control del registro de las evaluaciones que se realizarán en las actividades de mantenimiento preventivo se propone establecer una base de datos para sacar estadística de condiciones, cada evaluación que se realice será documentada en un *leitz* y el mismo deberá tener impresa la información del equipo al cual se le realizó la evaluación. Para la documentación de las evaluaciones de manera digital debe de crearse una base de datos en MS Excel o MS Access con el número de registro de la evaluación para futuras revisiones.

5.2. Análisis de falla

Para poder mejorar la efectividad del programa de mantenimiento preventivo, debe de analizarse toda falla presentada en los equipos, pues de dicha forma, paulatinamente, se creará una base de datos que permitirá una transición de prevención a predicción.

5.2.1. Identificar tipos de falla

Es importante identificar aquellas fallas que inhabilitan ya sea parcial o totalmente un elemento mecánico, pues dicha identificación, supone el primer paso dentro del proceso de ejecución de actividades preventivas.

Para un formato propuesto para análisis de fallas, debe de constatarse el tipo de falla que origino el desperfecto en el equipo. La clasificación de fallas propuesta, es la siguiente:

- Falla eléctrica
- Falla electrónica
- Falla por fatiga
- Desgaste por corrosión
- Desgaste por abrasión
- Desgaste por adhesión
- Falla por tensión / compresión
- Falla por fatiga superficial
- Falla por fractura
- Entre otros

De ser posible, la identificación del tipo de falla deberá de ser acompañada con fotografías, y la pieza dañada, la cual debe ser identificada. La cámara la proporcionará tesorería en el momento que se vaya a tomar la fotografía.

5.2.2. Análisis estadístico de la frecuencia del tipo de falla

Un análisis estadístico de fallas tiene tres objetivos principales: 1. identificar los tipos de fallas que se presentan en los equipos, 2. identificar los elementos de las máquinas propensos a fallas y 3. inferir la frecuencia de las fallas. Para poder reunir todo este tipo de información es necesaria la implementación de un formato de registro de fallas.

El análisis estadístico no se da precisamente en el formato de registro de fallas, para ello, debe crearse una base de datos en MS Excel o MS Access, donde el encargado de dicha información, puede realizar el análisis respectivo.

Conviene aclarar que al momento de la implementación de una metodología de análisis de fallas, los resultados inmediatos del mismo, parecerán carecer de sentido o lógica; sin embargo, conforme avance la base de datos y la capacidad de análisis, se convertirá paulatinamente en una poderosa herramienta que incluso permitirá la predicción de futuras fallas en elementos específicos.

Si al momento de una falla, el diagnóstico de la misma es realizado por una empresa tercerizadora, debe adjuntarse cualquier tipo de informe de la misma al formato de registro de fallas.

Toda pieza dañada deberá ser almacenada apropiadamente con una etiqueta de identificación que tenga el número de registro de falla respectivo.

5.2.3. Acciones correctivas y preventivas

Al momento de determinar una potencial falla en algún elemento o equipo, deberá procederse de la siguiente forma. También debe notificarse al encargado del Departamento de Mantenimiento.

Tabla XLII. **Localización de problemas en el sistema del motor eléctrico del pozo mecánico y su acción correctiva**

EI MOTOR NO ARRANCA		
Posible causa	Procedimientos de revisión	Acción correctiva
A. No hay energía o el voltaje es incorrecto.	Revisar el voltaje en las terminales de la línea. El voltaje debe estar a $\pm 10\%$ del voltaje nominal.	Contactar a la compañía de energía si el voltaje es incorrecto.
B. Fusibles quemados o interruptor automático desconectado.	Revisar que los fusibles sean del tamaño indicado y revisar que las conexiones del recipiente de fusibles no estén flojas, sucias u oxidadas. Revisar que los circuitos automáticos, no estén desconectados o exista un falso contacto.	Reemplazar con fusibles adecuados o restablecer los interruptores automáticos.

Continuación de la tabla XLII.

<p>C. Interruptor de presión defectuoso.</p>	<p>Revisar el voltaje en los puntos de contacto. El contacto inadecuado de los puntos del interruptor puede provocar menor voltaje que el voltaje de la línea.</p>	<p>Reemplazar el interruptor de presión o limpiar puntos</p>
<p>D. Falla en la caja de control.</p>	<p>Ver cables, sistema de control del panel eléctrico</p>	<p>Reparar o reemplazar.</p>
<p>E. Alambrado defectuoso.</p>	<p>Revisar que las conexiones no estén flojas u oxidadas o que el alambrado no esté defectuoso.</p>	<p>Corregir las fallas de conexiones o alambrado.</p>
<p>F. Bomba trabada.</p>	<p>Revisar que la bomba y el motor estén alineados o que la bomba este trabada con arena. Las lecturas del amperaje. Deben ser de 3 a 6 veces mayores que lo normal hasta que se interrumpa la sobrecarga.</p>	<p>Sacar la bomba y corregir el problema. Operar la nueva instalación hasta que se disperse el agua.</p>
<p>G. Cable o motor defectuosos.</p>	<p>Revisar cable y partes del motor en busca de quemadura o cables sueltos.</p>	<p>Reparar o reemplazar.</p>

Continuación de la tabla XLII.

EL MOTOR ARRANCA CON FRECUENCIA		
Posible causa	Procedimientos de revisión	Acción correctiva
A. Interruptor de presión.	Revisar el ajuste del interruptor de presión y examinar si existen defectos.	Restablecer el límite o reemplazar el interruptor.
B. Válvula de retención atascada.	Una válvula de retención dañada o defectuosa no mantendrá la presión.	Reparar o reemplazar.
C. Tanque inundado	Revisar la carga de aire.	Reparar o reemplazar.
D. Fuga en el sistema	Revisar que el sistema no tenga fugas.	Reemplazar las tuberías dañadas o reparar las fugas.
EL MOTOR ARRANCA CONTINUAMENTE		
Posible causa	Procedimientos de revisión	Acción correctiva
A. Interruptor de presión.	Revisar que los contactos del interruptor no estén soldados. Revisar la instalación del interruptor.	Limpiar los contactos, reemplazar el interruptor o ajustar la instalación.

Continuación de la tabla XLII.

<p>B. Bajo nivel de agua en el pozo.</p>	<p>La bomba excede la capacidad del pozo. Apagar la bomba y esperar a que el pozo se recupere. Revisar el nivel estático y el dinámico desde el cabezal del pozo.</p>	<p>Estrangular la salida de la bomba o restablecer la bomba a un nivel bajo. No bajar el equipo si la arena atasca la bomba.</p>
<p>C. Fuga en el sistema.</p>	<p>Revise que el sistema no tenga fugas.</p>	<p>Reemplazar tuberías dañadas o reparar las fugas.</p>
<p>D. Bomba deteriorada.</p>	<p>Los síntomas de una bomba deteriorada son similares a los de una fuga en la tubería sumergible o al bajo nivel de agua en el pozo. Reducir el ajuste del interruptor de presión.</p>	<p>Sacar la bomba y reemplazar las partes gastadas.</p>
<p>E. Cople flojo o eje del motor roto.</p>	<p>Revisar si el cople está flojo o el eje dañado.</p>	<p>Reemplazar las partes gastadas o dañadas.</p>
<p>F. Colador de la bomba tapado.</p>	<p>Revisar si el colador de admisión está atascado.</p>	<p>Limpiar el colador y restablecer la profundidad de la bomba.</p>

Continuación de la tabla XLII.

G. Válvula de retención atascada.	Revisar el funcionamiento de la válvula de retención.	Reemplazar si esta defectuosa.
H. Falla en la caja de control.	Ver el panel de control para reparar la falla ya sea en cables o flipones.	Reparar o reemplazar.
EL MOTOR ARRANCA PERO EL PROTECTOR DE SOBRECARGA SE DISPARA		
Posible causa	Procedimientos de revisión	Acción correctiva
A. Voltaje incorrecto.	Usando un voltímetro, revisar las terminales de línea. El voltaje debe ser de $\pm 10\%$ del voltaje indicado.	Contactar a la compañía de energía si el voltaje es incorrecto.
B. Protectores sobrecalentados.	La luz directa de sol o de otra fuente de calor puede aumentar la temperatura de la caja de control provocando la desconexión de los protectores. La caja no debe estar caliente al tacto.	Poner la caja en sombra, proporcionar ventilación o alejar la caja de la fuente de calor.
C. Caja de control defectuosa.	Supervisar configuración de caja.	Reparar o reemplazar.
D. Motor o cable defectuosos.	Revisar motor y cables.	Reparar o reemplazar.
E. Bomba o motor deteriorados.	Revisar la corriente de operación.	Reemplazar bomba y/o motor.

Fuente: Franklin Electric 2010 AIM. *Manual Motores Sumergibles*, p. 44-45.

Tabla XLIII. **Localización de problemas en la bomba sumergible del pozo mecánico y su acción correctiva**

Falla	Causa	Posible causa que se puede presentar	Solución que se debe dar a la falla
Bomba no arranca	Falta de tensión	Fusible (s) fundido (s)	Cambiar el/los fusible (s)
		Cable (s) de acometida defectuoso (s)	Cambiar el/los cables de acometida
		Protección del motor se ha disparado	Buscar el motivo del disparo y reactivar el interruptor de protección del motor
	Bomba bloqueada	Suciedad en la bomba	Desmontar y limpiar la bomba
Caudal demasiado reducido	Sentido de giro falso	Sentido de giro no ha sido verificado	Modificar el sentido del giro
	Estrecheces en la tubería de presión	Las válvulas de cierre no se han abierto por completo	Abrir la válvula de cierre por completo

Continuación de la tabla XLIII.

Caudal demasiado reducido	Estrecheces en la tubería de presión	Tubería de presión obstruida	Limpiar la tubería de presión
		Cuerpos extraños en la tubería	Limpiar la tubería
		Filtro de poso obstruido	Desmontar el equipo y regenera el poso
	Fuga en la tubería de presión	Tubería defectuosa	Verificar la tubería
	Rodetes gastados	Gran contenido de arena en el medio a transportar	Desmontar la bomba y repararla (verificar la elección del material de acuerdo con un análisis del agua)
		Agresividad del medio a transportar	Verificar las condiciones de servicio
		Cavitación	

Continuación de la tabla XLIII.

Caudal demasiado reducido	Régimen de revoluciones demasiado reducido	Tensión demasiado baja o frecuencia falsa	Verificar la tensión y frecuencia de la red
		El motor marcha con una fase	Verificar los fusibles
		Deterioro de rodamientos	Desmontar el equipo y repararlo
Equipo se pone en marcha pero no succiona	Altura de presión demasiado elevada	La altura total de presión del sistema no corresponde a la curva característica de la bomba	Disminuir la altura de presión
	Equipo no está siempre sumergido en el medio que transporta	Profundidad de instalación demasiado reducida	Verificar el nivel del pozo y/o suspender el equipo más profundamente
	Tubería de presión no está libre	Válvula de cierre cerrada	Verificar los depósitos de Cierre

Continuación de la tabla XLIII.

Equipo se pone en marcha pero no succiona	El motor marcha pero la bomba no gira	Acoplamiento defectuoso entre la bomba y el motor	Desmontar y reparar el equipo
	Filtro de aspiración obstruido	Cuerpos extraños en el pozo	Desmontar el equipo y limpiar el filtro de aspiración

Fuente: Papantonatos. Manual de servicio para bombas sumergibles de pozo profundo, páginas 25 y 26.

Tabla XLIV. **Localización de problemas en el *blower* y su acción correctiva**

Síntomas	Causa probable	Solución
Pérdida de aceite.	<p>La caja del engranaje no está bien apretada.</p> <p>El sello del labio ha fallado.</p> <p>Falla en sello de labio, sellado insuficiente.</p> <p>El tapón de desagüe es demasiado flojo</p>	<p>Apriete los tornillos de la caja del engranaje.</p> <p>Reemplace el sello de labio.</p> <p>Retire la caja de engranajes y cambie el sellador.</p> <p>Desensamble e inspección.</p> <p>Apriete el tapón de drenado.</p>

Continuación de la tabla XLIV.

<p>Desgaste excesivo de los rodamientos o engranajes.</p>	<p>Lubricación no apropiada. Tensión excesiva en la correa. Acoplamiento desalineado.</p>	<p>Corrija el nivel de aceite. Cambie el aceite en los engranajes. Revise las especificaciones del fabricante de la correa referentes a la tensión y ajústela de acuerdo con ellas. Revise con cuidado y vuelva a hacer la alineación si es necesario.</p>
<p>Pérdida de volumen de aire.</p>	<p>Correa patinándose. Separación de los lóbulos por desgaste. Velocidad demasiado baja. Obstrucción en la tubería.</p>	<p>Revise las especificaciones del fabricante de la correa sobre la tensión y el ajuste. Revise que las separaciones de los lóbulos sean las correctas. Aumente la velocidad del <i>blower</i> dentro de los límites. Revise el sistema para garantizar una trayectoria libre para el flujo.</p>

Continuación de la tabla XLIV.

<p>Golpeteo.</p>	<p>Unidad fuera de tiempo. Deformación debido a un montaje incorrecto de las tuberías. Excesiva presión diferencial. Engranajes desgastados.</p>	<p>Vuelva a poner a tiempo la unidad. Revise la alineación del montaje y elimine los esfuerzos en las tuberías. Disminuya la presión al nivel recomendado por el fabricante. Examine la válvula de alivio. Si es necesario, reajústela. Cambie los engranajes de sincronización.</p>
<p>Temperatura excesiva en el <i>blower</i>.</p>	<p>Demasiado o muy poco aceite en depósito de engranes. Velocidad de funcionamiento muy baja. Filtro o silenciador obstruido. Excesiva diferencia de presiones. Temperatura elevada en la succión. Demasiada separación de los lóbulos.</p>	<p>Revise el nivel de aceite. Aumente la velocidad del <i>blower</i> dentro de los límites. Retire lo que causa la obstrucción. Disminuya la diferencial de presión a través del <i>blower</i>. Reduzca la temperatura de succión. Revise que los claros de los lóbulos estén correctos.</p>

Continuación de la tabla XLIV.

<p>Rozamiento del extremo o punta del rotor.</p>	<p>Tolerancias insuficientes en el ensamble. Deformación de la carcasa o armazón. Presión excesiva de funcionamiento. Temperatura excesiva de entrada.</p>	<p>Corrija las tolerancias. Revise el alineamiento del montaje y elimine esfuerzos en tuberías. Reduzca la presión diferencial. Reduzca la temperatura en la succión.</p>
<p>Vibración.</p>	<p>Alineación inadecuada en poleas o acople. Rozamiento de los lóbulos.</p>	<p>Revise con cuidado y, si es necesario, vuelva a alinear. Revise la máquina y busque puntos calientes, luego revise si los lóbulos entran en contacto en dichos puntos. Corrija los claros. Rodamientos y engranajes desgastados. Revise las condiciones de los engranajes y rodamientos y si es necesario, cámbielos.</p>

Continuación de la tabla XLIV.

<p>Vibración</p>	<p>Rodamientos y engranajes desgastados. Lóbulos desbalanceados o que rozan. Motor o Soplador flojos. Resonancia en la tubería.</p>	<p>Lóbulos desbalanceados o que rozan. Posible obstrucción en la carcasa, en los lóbulos o en el interior de los lóbulos. Elimine la obstrucción y restablezca los claros entre los lóbulos. Revise el montaje y si es necesario, apriete. Revise soportes de la tubería, verifique resonancia de algún equipo cercano, verifique la cimentación de la base.</p>
------------------	--	--

Fuente: Delta *Blower*. Manual para *blower* de desplazamiento positivo para aire & gas, p. 9.

5.3. Biblioteca técnica

El mantenimiento, especialmente el preventivo; no solo se vale de mano de obra, insumos, repuestos, recursos económicos, entre otros, también es indispensable la información. Es por ello, que se recomienda enfáticamente el establecimiento de una biblioteca técnica, para ello, se proporcionan las siguientes guía.

5.3.1. Manual del equipo

Es importante poseer los manuales de cada uno de los equipos ya que con ellos se define los pasos que el Departamento de Mantenimiento tiene que seguir para poder planificar un mantenimiento adecuado. Se proporcionará al ITUGS de manera impresa y digital los manuales de los equipos críticos que conforman la configuración del pozo mecánico y la planta de tratamiento ya que actualmente no se cuenta con ningún manual de los mismos.

5.3.2. Textos relativos del equipo

Para el enriquecimiento de la biblioteca técnica que se implementará en el departamento de mantenimiento del ITUGS, se contará con libros tales como: Máquinas Eléctricas, Mecánica de Fluidos, Principios Básicos de Mantenimiento, entre otros.

5.3.3. Documentos de apoyo

Entre los documentos de apoyo se contarán con tesis relacionadas a: construcción y mantenimiento de pozos mecánicos, construcción y mantenimiento de plantas de tratamiento, contenidos de los diferentes lubricantes utilizados para los equipos y también se contará con el presente trabajo de graduación como un documento de apoyo.

5.3.4. Documentación del mantenimiento del equipo

La documentación del mantenimiento se hará en base al código y versión que posea cada formato, ya sea ficha técnica, ficha de control, registro de falla o evaluación del programa, luego se incorporará a una base de datos tanto de manera impresa como digital y estará a disposición del personal para su consulta.

5.4. Reclutamiento del personal

El reclutamiento de personal es hacer de las personas extrañas o de la misma organización, candidatos a ocupar un puesto en ella. La finalidad del reclutamiento consiste en conseguir la cantidad necesaria de candidatos, que permita seleccionar a los empleados calificados necesarios para la organización.

5.4.1. Fuentes de reclutamiento

Las fuentes de reclutamiento establecen donde localizar o encontrar candidatos adecuados al puesto que se requiere. Existen dos fuentes de reclutamiento las cuales son:

- Fuentes internas: significa darle el empleo a un trabajador mediante la promoción o transferencia de puesto. Este tipo de fuente ayudará al ITUGS ya que muchos empleados están familiarizados con las políticas y procedimientos establecidos dentro del ITUGS, además los costos por el proceso de reclutamiento son bajos.

- Fuentes externas: significa contratar personal que este fuera del ITUGS y se hace mediante la solicitud por medio de: archivos de candidatos, publicidad (periódicos, radio, televisión), empresas reclutadoras o recomendaciones de personas, en este caso el costo por el proceso de reclutamiento es elevado.

5.4.2. Pruebas escritas

Las pruebas escritas forman parte importante en procesos de selección para determinar a los candidatos ideales para una organización. En muchos casos estas pruebas son realizadas previas a la entrevista. El objetivo de las pruebas escritas es averiguar en qué medida una persona se adecúa a un puesto de trabajo.

Se proponen cuatro grupos de pruebas para la selección del personal para el nuevo departamento de mantenimiento del ITUGS:

- Test proyectivos: este tiene como finalidad predecir el comportamiento futuro de una persona. Trata de revelar los aspectos más escondidos de la personalidad del candidato.
- Test de nivel: valora el nivel intelectual del candidato. Para ello se somete al candidato a una serie de preguntas contra el tiempo, donde se le pide resolver problemas matemáticos o hacer secuencias lógicas.
- Test de aptitudes: valoran los requisitos específicos del candidato para un determinado puesto. Este tipo de test se encarga de medir la velocidad de reacción y coordinación del candidato.
- Test de personalidad: mide las características personales del candidato como es: autocontrol, emocionalidad, iniciativa.

Quedará a criterio del director y administrador del ITUGS realizar los *test* que fueron propuestos anteriormente para cada candidato a optar por las plazas para el nuevo departamento de mantenimiento.

5.4.3. Pruebas prácticas

También son conocidas como pruebas de trabajo, estas pruebas estarán supervisadas por el director, administrador y el futuro encargado del departamento de mantenimiento. Las pruebas de práctica no pueden pasarse desapercibidas ya que son útiles para determinar a la persona adecuada para el puesto.

5.4.4. Pruebas médicas

Es una prueba de alta importancia, pues describirá las posibilidades físicas y fisiológicas del candidato, lo que influirá considerablemente en su desempeño. El realizar una prueba médica tiene como finalidad:

- Comprobar la idoneidad física del candidato para el puesto al que ha de ser destinado después de su ingreso al ITUGS.
- Comprobar el estado general de salud y las eventuales enfermedades.
- Obtener datos útiles para asignar al candidato el tipo de trabajo para el cual esté más dotado físicamente.

Las pruebas médicas que se proponen son las siguientes:

- Prueba de sangre: para determinar si usa alguna droga, detección de alguna enfermedad venérea, entre otros.

- Prueba de orina: para determinar si tiene diabetes, enfermedad renal, anemia, infecciones urinarias, entre otros.
- Prueba de electrocardiograma: para determinar si tiene algún daño el corazón, verificar las pulsaciones del corazón.

CONCLUSIONES

1. El énfasis del mantenimiento dentro del ITUGS es de índole correctivo, contemplándose poco el mantenimiento preventivo. Durante la elaboración del trabajo, ambos equipos, pozo mecánico y planta de tratamiento, presentaron fallas y períodos de inactividad, desencadenando una serie de repercusiones operativas y financieras. Finalmente, la omisión del mantenimiento preventivo ha repercutido fuertemente las finanzas de la institución. Las reparaciones pertinentes derivadas de las fallas, representan una erogación de Q. 105 494,50, aproximadamente.

Operativamente, la falla del pozo mecánico genera la interrupción del suministro de agua potable, lo que supone conllevar actividades administrativas y académicas poco favorables y recomendables. La falla de la planta de tratamiento impide el tratamiento de aguas residuales, lo que a su vez, genera un impacto ambiental considerable en el río Michatoya. Dentro del organigrama del ITUGS, está contemplado una figura encargada del mantenimiento pero para fines prácticos, esta figura no está contratada dentro del personal. Asimismo, el ITUGS carece de un departamento, instalaciones y personal de mantenimiento. Finalmente, la problemática se agudiza ya que no existen manuales de operación de los equipos en general.

2. A la conclusión del trabajo, no se halló evidencia concluyente de eventos mecánicos mayores; sin embargo si se nota una pobre rutina de lubricación para ambos sistemas, lo que puede contribuir al desgaste de elementos mecánicos con movimiento relativo. La gran mayoría de fallas, son provocadas en el sistema eléctrico de ambos sistemas, especialmente por sobretensiones originadas por actividad electroatmosférica. De forma general, tanto para el pozo mecánico como para la planta de tratamiento, la falla en el sistema eléctrico ha impactado considerablemente elementos, tales como: motores eléctricos, cableado eléctrico.

Por tratarse de sistemas, las fallas en los elementos expuestos han provocado períodos de inactividad en otros componentes, que conlleva atascamientos y deterioro de los mismos. Una falla en ambos sistemas es agudizada por el mal diseño de la configuración de los mismos, para lo cual es necesario la contemplación de un rediseño de los sistemas y, en el caso de las fallas eléctricas, es necesario la implantación de una tierra física o pararrayos de sobretensiones originadas por actividad electroatmosférica.

3. La creación de fichas técnicas, fichas de control y ficha para fallas contribuirán a la recopilación de información imprescindible de los equipos, actividades de mantenimiento y fallas, respectivamente. Con esta información se dan directrices para la elaboración de una base de datos que permita no solo el análisis, sino también el diagnóstico, evaluación, rendimiento y mejora continua del programa de mantenimiento preventivo propuesto.

4. Los procedimientos generales para la implementación de la presente propuesta de mantenimiento preventivo fueron desarrollados bajo los ejes administrativos, operativos y de planificación. Administrativamente, fueron considerados los aspectos de seguridad industrial, capacitación de personal, costos y tercerización de servicios. Operativamente fueron considerados todos los equipos, útiles, herramientas, instalaciones y enseres necesarios para ejecutar las actividades de mantenimiento respectivas. En el aspecto de planificación fueron claramente definidas rutinas, frecuencias y calendarizaciones de las actividades de mantenimiento específicas sujetas a revisiones constantes.

5. De igual forma que en la documentación de las actividades de mantenimiento, fueron elaboradas fichas de evaluación del programa de mantenimiento preventivo propuesto. Será función del jefe de Mantenimiento la evaluación al azar, por lo menos dos veces al mes, de todas las actividades diarias, semanales, quincenales y mensuales e inmediatamente, de todas las actividades trimestrales, semestrales y anuales.

En contraste con la documentación de fallas obtenida, será posible tener una idea del rendimiento del programa de mantenimiento propuesto, así como la evaluación de la calidad de las tareas de mantenimiento ejecutadas. Por razones de infraestructura, personal, tecnología, equipo y conocimientos del pozo mecánico y planta de tratamiento, será necesaria la contratación de los servicios de las empresas Hidromaster S. A. y MAPRECO, para los servicios respectivos.

6. Al término del tercer mes de la implementación del programa de mantenimiento preventivo expuesto, deben existir en la base de datos propuesta un mínimo de 1 914 registros de control para rutinas diarias, 144 para rutinas semanales, 18 para rutinas quincenales y 60 para rutinas mensuales, totalizando 2 136 registros de control.

Deben contrastarse los registros de falla contra los registros de control obtenidos de la base de datos, con el fin de identificar fallas que buscan ser prevenidas en el presente trabajo y fallas que puedan surgir y que son propias del contexto operativo de la aplicación, además se debe realizar un *mack up* en cada máquina, con respecto a las anomalías que se registran con frecuencia. Se considerará el parámetro de ausencia de fallas conocidas y no conocidas en la operación del pozo mecánico y la planta de tratamiento, como un signo de la eficiencia del programa.

7. El sistema de mejora continua está estrechamente vinculado con la metodología de evaluación del programa de mantenimiento preventivo. Al momento de realizar la evaluación del programa, el encargado del análisis, puede obtener dos escenarios distintos: la presencia de fallas conocidas y desconocidas.

Dada una falla conocida y contemplada en el presente trabajo, deberá evaluarse a través de la ficha de control, las actividades de mantenimiento respectivas, en caso de ser necesario, deberá rediseñarse y ajustarse la actividad de mantenimiento respectivo, así como su frecuencia, equipos, útiles y enseres aplicables.

Al momento de surgir fallas que no hayan sido contempladas en el presente trabajo, debe sucederle una investigación de la falla y de todas las actividades preventivas pertinentes, así como su inclusión dentro de las directrices proporcionadas en el presente documento.

RECOMENDACIONES

1. Instalar un dispositivo protector (tierra física) contra sobretensiones para el sistema eléctrico del ITGUS.
2. Cotizar y reparar a la brevedad el clorinador del pozo mecánico, con el objetivo de eliminar bacterias, virus y microorganismos dañinos para el ser humano.
3. Instalar un panel digital de instrumentación, para el pozo mecánico y planta de tratamiento, que permita el control y la supervisión de los parámetros de operación de los equipos respectivos.
4. Implementar señalización preventiva en las áreas donde se encuentran ubicados los equipos, especialmente de advertencia de alto voltaje.
5. Delimitar perimetralmente la planta de tratamiento, así como cubrir la superficie de la misma con un material apropiado para la aplicación.
6. Rediseñar la cimentación del patio de lodos, mediante el cambio de material de *block* a ladrillo.
7. Recotizar anualmente los costos ofrecidos por las empresas tercerizadoras del servicio de mantenimiento preventivo.

8. Construir y mantener una vía de acceso establecido fuera de la vía de personal (estudiantes, docentes y administrativos), para acceso de maquinaria pesada hacia la planta de tratamiento.
9. Reportar semestralmente, por parte del departamento de mantenimiento, a la dirección del ITUGS, los resultados de las actividades de mantenimiento preventivo ejecutadas en el periodo respectivo, así como las necesidades del departamento.
10. Supervisión por parte de la dirección del ITUGS, acerca de las actividades y operaciones llevadas a cabo por el Departamento de Mantenimiento.
11. Asignar tareas de mantenimiento preventivo y correctivo del resto de equipo, infraestructura, e instalaciones del ITUGS al nuevo departamento de mantenimiento.
12. Ejecutar en un período de tiempo breve la propuesta.

BIBLIOGRAFÍA

1. AZEVEDO y ACOSTA, Ed. Harla. *Manual de Hidráulica*. 6a ed. México: Harla, 1976. 578 p.
2. CHAPMAN, Stephen J. *Máquinas Eléctricas*. 3a ed. España: Mc Graw Hill, 2000. 250 p.
3. DOUNCE VILLANUEVA, Enrique. *Manual de la Administración del Mantenimiento*. México: CECSA. 2000. 180 p.
4. HELLRIEGEL DON, E Susan. Jackson, W. Slocum John. *Administración, un enfoque basado en competencias*. 10ma ed. México: Jr. International Thompson editores. 2005. 300 p.
5. HERNÁNDEZ SAMPIERI, Fernández Collado, Baptista Lucio, *Metodología de la investigación*. 4ta ed. México: McGraw Hill. 2005. 210 p.
6. HOFFMAN, G Edward. *Manual del taller para estudiantes y operarios*. 2 ed. México: Limusa, 2006. 175 p.
7. LEIVA GONZÁLEZ, Erick Eduardo. *Programa de Mantenimiento Preventivo para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la Lavandería Industrial, de la "Empresa Industrial Doble "B", S.A."* Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 1997. 195 p.

8. MALEVSKI, Yoram. *El camino y la meta*. Guatemala: Editorial Piedra Santa. 1998. 280 p.
9. Manual Grundfos. *Manual de Ingeniería SP*. 90 p.
10. Manual Franklin Electric. *Motores Sumergibles*. 2010. 76 p.
11. McGRAW, Hill. *Manual de bombas, válvulas y compresores*. México. 2003. 250 p.
12. MONROY, Fredy. *Principios básicos de mantenimiento*. Guatemala, 2003. 30 p.
13. R. WAYNE, Mondy. *Administración de recursos humanos*. 11 ed. México: Pearson educación. 2010. 225 p.
14. STRETER V, McGraw-Hill. *Mecánica de Fluidos*. 6a ed. México: McGraw Hill. 2010. 582 p.
15. TORRES, Sergio. *Ingeniería de Plantas*. Guatemala, 2011. 180 p.
16. WILLIAM B. Wether jr. Hetih Davis. *Administración de personal y recursos humanos*. 4ta edición, México: editorial McGraw hill. 1996. 98 p.

ANEXOS

Figura 25. Formato de ficha técnica

	NOMBRE DEL EQUIPO FORMATO: FICHA TÉCNICA		Código:				
			Versión:				
Equipo crítico.	<input type="checkbox"/>	Fecha de elaboración			No. de registro de la ficha técnica:		
Equipo auxiliar.	<input type="checkbox"/>	Día/mes/año					
Nombre del equipo:							
No. de serie:				Modelo:			
Marca:		Fabricante:			Año de fabricación:		
					Año de compra:		
Proveedor de repuestos:							
Email:		Dirección:			Tel:		
Especificaciones del equipo:							
Planos de referencia, ubicación:				Manuales/catálogos, ubicación:			
Historia de reparaciones							
Observaciones:							
Tipo de reparación	Fecha	Tiempo de reparación	Personal que intervino	Quien supervisó	Útiles y enseres usados	Herramientas y equipo utilizados	Costos del mantenimiento
_____				_____			
Técnico				Encargado de mantenimiento			

Fuente: elaboración propia.

Figura 26. Formato de ficha de control

	NOMBRE DEL EQUIPO FORMATO: FICHA DE CONTROL		Código:
			Versión:
Equipo crítico. <input type="checkbox"/>	Fecha de elaboración Día/Mes/Año	No. de registro de la ficha de control:	
Equipo auxiliar. <input type="checkbox"/>			
Nombre del equipo:			
No. de serie:		Modelo:	
Marca:	Fabricante:	Año de fabricación:	
Tipo de trabajo realizado:			
Duración: _____ hrs.			
Repuestos e insumos utilizados			
Técnico que realizó el trabajo:			
Observaciones:			
_____		_____	
Técnico		Encargado de mantenimiento	


Fuente: elaboración propia.

Figura 27. Formato de registro de fallas

	NOMBRE DEL EQUIPO FORMATO: REGISTRO DE FALLAS		Código:
			Versión:
Elaborado por:	Fecha de elaboración: Día/Mes/Año	No. De Registro de Falla:	
Nombre del equipo:			
No. De serie:		Modelo:	
Marca:	Fabricante:	Año de fabricación:	
INFORMACIÓN DE LA FALLA			
Tipo de Falla:			
Fecha de Falla:		Hora de Falla:	
Fecha de última reparación:			
Elementos dañados:			
Observaciones:			
_____		_____	
Técnico		Encargado de mantenimiento	

Fuente: elaboración propia.

Figura 28. Formato de registro de evaluación

	NOMBRE DEL EQUIPO FORMATO: REGISTRO DE EVALUACIÓN		Código:		
			Versión:		
Elaborado por:	Fecha de elaboración: Día/mes/año		No. de registro de la evaluación:		
Nombre del equipo:					
No. de serie:			Modelo:		
Marca:	Fabricante:		Año de fabricación:		
PUNTOS A EVALUAR			Pts.	SI	NO
Se realizó la rutina de mantenimiento del equipo			2		
La ficha técnica del equipo posee toda la información			2		
La ficha de control posee toda la información requerida			2		
Se utilizaron los útiles y enseres adecuados			0,5		
Se utilizaron los instrumentos de medición debidos			1		
El tiempo de la rutina de mantenimiento fue apropiado			0,5		
El técnico utilizo equipo de protección personal			1		
Se trabajó con orden y limpieza			1		
PONDERACIÓN DE LA EVALUACIÓN: _____ (0-10 puntos)					
_____ Técnico			_____ Encargado de mantenimiento		

Fuente: elaboración propia.