

# **UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS AMÉRICAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR  
POR EL GRADO DE BACHILLER EN INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**“OPTIMIZACIÓN DE SISTEMA DE BOMBEO EN TANQUE DE VACIADOS DE  
LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES LOS TAJOS DE AYA”**

**AUTOR:**

**DAVID ORTEGA MUÑOZ**

**SAN JOSÉ, DICIEMBRE, 2022**

# CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS .....	7
DEDICATORIA.....	9
AGRADECIMIENTOS .....	9
RESUMEN.....	15
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....	18
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	18
OBJETIVOS GENERALES.....	19
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
JUSTIFICACIÓN.....	20
ANTECEDENTES.....	21
INTERNACIONALES .....	21
NACIONALES .....	25
ALCANCE.....	30
LIMITACIONES.....	30
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	32
1. PRETRATAMIENTO Y CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA PTAR. ....	32
1.1 <i>Introducción a las bases del proyecto.</i> .....	32
1.1 <i>El Pretratamiento</i> .....	34
1.2 <i>Área del Proyecto</i> .....	36
1.3 <i>Caudales de diseño</i> .....	37
1.4 <i>Red de vaciados y sobrenadantes</i> .....	37
2. ORIGEN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	38
2.1 <i>Contaminación hídrica.</i> .....	38
3. CARACTERÍSTICAS FISCOQUÍMICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	39
3.1 <i>Materia orgánica:</i> .....	39
3.2 <i>El Nitrógeno y su relación en aguas residuales.</i> .....	40
4. MONITORIZACIÓN Y CONTROL DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	42
4.1 <i>Clasificación de los sistemas de control:</i> .....	43
4.2 <i>Controladores Automáticos.</i> .....	44
5. CONTROLADOR DE BOMBAS GAMA ABS PC 441.....	45
5.1 <i>Ventajas</i> .....	45
5.2 <i>Aplicaciones</i> .....	45
6. EQUIPOS DE BOMBEO HABITUALES EN AGUAS RESIDUALES .....	47
6.1 <i>Bombas de achique.</i> .....	47
6.2 <i>Bombas de aguas residuales.</i> .....	48
7. BOMBA SUMERGIBLE PARA AGUAS RESIDUALES GAMA ABS XFP INSTALADAS EN LA PTAR LOS TAJOS. ....	50
7.1 <i>Comentarios sobre el uso de bombas antideflagrantes en zonas con riesgo de explosión.</i> .....	51
7.2 <i>Placas de características</i> .....	52
7.3 <i>Características generales de diseño</i> .....	53
7.4 <i>Ejemplo de instalación, sumergida en pozo de hormigón.</i> .....	54
7.5 <i>Ajuste de placa base (CB &amp; CP)</i> .....	55
7.5 <i>Guía de detección de averías y características:</i> .....	55
7.6 <i>Especificaciones técnicas particulares</i> .....	56
8. GENERALIDADES DE AGITADORES DE FONDO.....	57

8.1 Clases de agitadores.....	57
8.2 Acelerador de corriente Gama ABS SB .....	59
8.3 Acelerador de corriente Gama ABS XSB 900 a 2750.....	61
8.4 Agitador sumergible Gama ABS RW.....	62
8.5 Agitador sumergible Gama ABS XRW 210 a 900 .....	64
9. OPCIÓN DE AGITADOR PARA PROYECTO EN TANQUE VACIADOS DE LA PTAR LOS TAJOS .....	65
9.1 Beneficios de los RW 200 Y RW 280.....	67
9.2 Depósitos rectangulares.....	68
10. PAUTAS REALIZADAS PARA EL DISEÑO. ....	69
10.1 De agitador a mezclador sumergible .....	69
10.2 Diferencias en los principales dispositivos de mezcla.....	71
10.3 Facilidad y rapidez de las operaciones de mantenimiento .....	72
10.4 Parámetros fundamentales en el proceso de mezcla .....	73
10.5 Número de Reynolds y Número de Poder .....	76
10.6 La geometría del tanque y el volumen a mezclar.....	78
10.7 Tiempo medio entre fallos y tiempo medio de reparación (MTBF Y MTTR).....	78
10.8 Analizador de motor y de calidad eléctrica Fluke 438-II.....	80
11. DEFINICIONES SOBRE ANÁLISIS FINANCIERO. ....	82
11.1 Finanzas públicas .....	82
11.2 Ingreso público .....	83
11.3 Gasto público .....	83
11.4 Tasa Interna de Retorno. (TIR) .....	83
11.5 Criterio de selección de proyectos según la Tasa interna de retorno.....	85
11.6 Tasa de descuento .....	86
11.7 Valor actual neto (VAN).....	87
11.8 Ventajas e inconvenientes del VAN .....	88
<b>CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO: .....</b>	<b>89</b>
<b>CAPÍTULO IV: DESARROLLO Y ANÁLISIS FINANCIERO .....</b>	<b>93</b>
1.Análisis realizados en tanque de vaciados y su sistema de bombeo .....	93
2.Tiempo medio entre fallos y tiempo medio de reparación. (MTBF Y MTTR).....	100
3.Características del rediseño.....	106
4.Análisis financiero.....	117
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>126</b>
Conclusiones.....	126
Recomendaciones .....	127
<b>CAPÍTULO VI: PROPUESTA.....</b>	<b>130</b>
Descripción .....	130
Objetivos de propuesta.....	130
Glosario de propuesta.....	131
Propuesta .....	131
<b>GLOSARIO .....</b>	<b>133</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>135</b>
<b>APÉNDICE.....</b>	<b>136</b>
Apéndice A. Plan de ejecución y horas de trabajo para desarrollo de proyecto .....	136
Apéndice B. Consumo de bombas sumergibles según analizador .....	137
Apéndice C. Estudio financiero en Microsoft Excel. ....	138
<b>ANEXOS .....</b>	<b>139</b>
Cotización de un agitador y controlador únicamente sin costos de instalación ni mano de obra. ....	139
Cotización para verificación de flujo no invasivo del sistema de bombeo del tanque .....	140

<i>Ficha técnica del agitador Sulzer XRW 400</i> .....	141
<i>Diagrama de velocidad del agitador Gama ABS XRW 400.</i> .....	142
<i>Política Ambiental Institucional.</i> .....	143
<i>Permiso Sanitario de Funcionamiento del Ministerio de Salud</i> .....	144

## ÍNDICE DE TABLAS.

TABLA 1.....	89
<i>MATRIZ DE CONCEPTUALIZACIÓN: INVESTIGACIONES CON ENFOQUE CUANTITATIVO.....</i>	89
TABLA 2.....	93
<i>DATOS DE DISEÑO.....</i>	93
TABLA 3.....	101
<i>FALLOS PRODUCIDOS POR BOMBA BCS 530 001. ....</i>	101
TABLA 4.....	101
<i>FALLOS PRODUCIDOS POR BOMBA BCS 530 002. ....</i>	101
TABLA 5.....	102
<i>FALLOS PRODUCIDOS POR BOMBA BCS 530 003. ....</i>	102
TABLA 6.....	102
<i>FALLOS PRODUCIDOS POR BOMBA BCS 530 004. ....</i>	102
TABLA 7.....	104
<i>CÁLCULO DE MTBF PARA BCS 530 001. ....</i>	104
TABLA 8.....	104
<i>CÁLCULO DE MTBF PARA BCS 530 002.....</i>	104
TABLA 9.....	104
<i>CÁLCULO DE MTBF PARA BCS 530 003.....</i>	104
TABLA 10.....	105
<i>CÁLCULO DE MTTR DE BCS 530 001.....</i>	105
TABLA 11.....	105
<i>CÁLCULO DE MTTR DE BCS 530 002.....</i>	105
TABLA 12.....	105
<i>CÁLCULO DE MTTR DE BCS 530 003.....</i>	105
TABLA 13.....	115
<i>CAÍDA DE TENSIÓN.....</i>	115
TABLA 14.....	118
<i>CONSUMO ANUAL DEL EQUIPO AGITADOR CON TARIFA PROMEDIO. ....</i>	118
TABLA 15.....	118
<i>CONSUMO ELÉCTRICO AGITADOR XRW 400, CON TARIFAS DE LA CNFL Y TIEMPO DE OPERACIÓN GRACIAS AL ANALIZADOR DE ENERGÍA IMPLEMENTADO. ....</i>	118
TABLA 16.....	119
<i>MANTENIMIENTO PREVENTIVO SEGÚN MANUAL DE OPERACIÓN DEL AGITADOR XRW 400.....</i>	119
TABLA 17.....	121
<i>PAROS POR OBSTRUCCIÓN EN VÁLVULA DE RETENCIÓN TIPO CHECK BOMBA SUMERGIBLE Y SENSORES DE NIVEL ....</i>	121
TABLA 18.....	122

<b>AÑOS VIDA ÚTIL ACTIVOS DECRETO 18455-H.</b> .....	<b>122</b>
<b>TABLA 19.</b> .....	<b>124</b>
<b>RESUMEN DE COSTOS.</b> .....	<b>124</b>
<b>TABLA 20.</b> .....	<b>125</b>
<b>VAN DEL PROYECTO Y TIR.</b> .....	<b>125</b>
<b>TABLA 21.</b> .....	<b>125</b>
<b>TIEMPO DE RECUPERACIÓN.</b> .....	<b>125</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b>	<b>POZO DE GRUESOS O CABECERA DE PLANTA .....</b>	<b>34</b>
<b>FIGURA 2.</b>	<b>DIAGRAMA DE FLUJOS DE PROCESOS EN PLANTA .....</b>	<b>36</b>
<b>FIGURA 3.</b>	<b>ÁREA DE PROYECTO PTAR LOS TAJOS.....</b>	<b>37</b>
<b>FIGURA 4.</b>	<b>CAUDALES DE DISEÑO DOCUMENTOS PTAR LOS TAJOS ACCIONA AGUA (2016) .....</b>	<b>37</b>
<b>FIGURA 5.</b>	<b>TIPOS DE MATERIA ORGÁNICA PRESENTE EN LAS AGUAS RESIDUALES. ....</b>	<b>39</b>
<b>FIGURA 6.</b>	<b>TIPOS DE SOLIDOS PRESENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES. ....</b>	<b>40</b>
<b>FIGURA 7.</b>	<b>FORMAS EN LAS QUE SE ENCUENTRA EL NITRÓGENO EN LAS AGUAS RESIDUALES. ....</b>	<b>41</b>
<b>FIGURA 8.</b>	<b>CONTROLADOR SULZER DE LA GAMA ABS MODELO PC 411. ....</b>	<b>47</b>
<b>FIGURA 9.</b>	<b>BOMBA DE ACHIQUE.....</b>	<b>48</b>
<b>FIGURA 10.</b>	<b>TIPO DE BOMBA UTILIZADA EN AGUAS RESIDUALES.....</b>	<b>49</b>
<b>FIGURA 11.</b>	<b>PLACA DE CARACTERÍSTICAS .....</b>	<b>52</b>
<b>FIGURA 12.</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO DE LAS BOMBAS INSTALADAS EN TANQUE DE VACIADOS.....</b>	<b>53</b>
<b>FIGURA 13.</b>	<b>EJEMPLO DE INSTALACIÓN DE BOMBAS.....</b>	<b>54</b>
<b>FIGURA 14.</b>	<b>GUÍA DE DETECCIÓN DE AVERÍAS DE BOMBAS SUMERGIBLES PRESENTES EN TANQUE VACIADOS.....</b>	<b>56</b>
<b>FIGURA 15.</b>	<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARTICULARES DE LAS BOMBAS INSTALADAS EN TANQUE VACIADOS. ..</b>	<b>57</b>
<b>FIGURA 16.</b>	<b>AGITADOR TIPO HÉLICE DE TRES ASPAS. ....</b>	<b>58</b>
<b>FIGURA 17.</b>	<b>CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE AGITADOR CON HÉLICE.....</b>	<b>59</b>
<b>FIGURA 18.</b>	<b>ACELERADOR DE CORRIENTE GAMA ABS SB.....</b>	<b>60</b>
<b>FIGURA 19.</b>	<b>ACELERADOR DE CORRIENTE GAMA ABS XSB 900 A 2750. ....</b>	<b>62</b>
<b>FIGURA 20.</b>	<b>AGITADOR SUMERGIBLE GAMA ABS RW.....</b>	<b>63</b>
<b>FIGURA 21.</b>	<b>AGITADOR SUMERGIBLE GAMA ABS XRW 210 A 900. ....</b>	<b>64</b>
<b>FIGURA 22.</b>	<b>UNA DE LAS OPCIONES PARA PROYECTO AGITADOR RW 200-280 .....</b>	<b>65</b>
<b>FIGURA 23.</b>	<b>AGITADOR EN TANQUE CIRCULAR. ....</b>	<b>67</b>
<b>FIGURA 24.</b>	<b>CATÁLOGO AGITADOR RW SULZER (2021, P.6).....</b>	<b>68</b>
<b>FIGURA 25.</b>	<b>GRUNDFOS EN SU CATÁLOGO DE DISEÑO PARA MEZCLADO. ....</b>	<b>70</b>
<b>FIGURA 26.</b>	<b>GRUNDFOS EN SU CATÁLOGO DE DISEÑO PARA MEZCLADO. ....</b>	<b>70</b>
<b>FIGURA 27.</b>	<b>GRUNDFOS EN SU CATÁLOGO DE DISEÑO PARA MEZCLADO. ....</b>	<b>71</b>
<b>FIGURA 28.</b>	<b>GRUNDFOS TIPOS DE FLUJOS. ....</b>	<b>72</b>
<b>FIGURA 29.</b>	<b>GRUNDFOS PARÁMETROS FUNDAMENTALES EN EL PROCESO DE MEZCLA. ....</b>	<b>73</b>
<b>FIGURA 30.</b>	<b>GRUNDFOS DIFERENCIA ENTRE UN AGITADOR Y UNA BOMBA. ....</b>	<b>74</b>
<b>FIGURA 31.</b>	<b>GRUNDFOS EL PODER Y LA CABEZA.....</b>	<b>75</b>
<b>FIGURA 32.</b>	<b>GRUNDFOS POTENCIAS.....</b>	<b>76</b>
<b>FIGURA 33.</b>	<b>GRUNDFOS NUMERO DE REYNOLDS Y NUMERO DE PODER.....</b>	<b>76</b>
<b>FIGURA 34.</b>	<b>GRUNDFOS DISEÑOS DE HÉLICES. ....</b>	<b>77</b>
<b>FIGURA 35.</b>	<b>GRUNDFOS GEOMETRÍA DE TANQUE Y VOLUMEN.....</b>	<b>78</b>

<b>FIGURA 36.</b>	<b>ANALIZADOR DE ENERGÍA FLUKE 438-II. ....</b>	<b>82</b>
<b>FIGURA 37.</b>	<b>GRAFICA TASA INTERNA DE RETORNO .....</b>	<b>85</b>
<b>FIGURA 38.</b>	<b>ESTRUCTURA DE TRABAJO. ....</b>	<b>92</b>
<b>FIGURA 39.</b>	<b>FIGURA DESARROLLO 1. EXCESO DE FLOTANTES EN TANQUE DE VACIADOS.....</b>	<b>94</b>
<b>FIGURA 40.</b>	<b>FIGURA DESARROLLO 2. ENTRADA DE VACIADOS AL POZO.....</b>	<b>95</b>
<b>FIGURA 41.</b>	<b>FIGURA DESARROLLO 3. OBSTRUCCIÓN EN VÁLVULAS ANTIRRETORNO (CHECK) POR EXCESOS DE ARENAS EN TANQUE DE VACIADOS.....</b>	<b>96</b>
<b>FIGURA 42.</b>	<b>FIGURA DESARROLLO 4. EQUIPOS DE BOMBEO PRESENTES EN EL TANQUE DE VACIADOS. ....</b>	<b>97</b>
<b>FIGURA 43.</b>	<b>FIGURA DESARROLLO 5. GRÁFICA DE CONSUMO DE BOMBA BCS 530 001.....</b>	<b>98</b>
<b>FIGURA 44.</b>	<b>FIGURA DESARROLLO 6. GRÁFICA DE CONSUMO DE BOMBA BCS 530 002.....</b>	<b>98</b>
<b>FIGURA 45.</b>	<b>FIGURA DESARROLLO 7. GRÁFICA DE CONSUMO DE BOMBA BCS 530 003.....</b>	<b>98</b>
<b>FIGURA 46.</b>	<b>FIGURA DESARROLLO 8. VISUALIZACIÓN DE TANQUE DE VACIADOS EN SISTEMA SCADA. ....</b>	<b>100</b>
<b>FIGURA 47.</b>	<b>FIGURA DESARROLLO 9. BOYA SERIE FSW2. ....</b>	<b>100</b>
<b>FIGURA 48.</b>	<b>FIGURA DESARROLLO 10. LUGAR DE POTENCIA Y CONTROL DEL EQUIPO CCM 12/21. ....</b>	<b>107</b>
<b>FIGURA 49.</b>	<b>FIGURA DESARROLLO 11. GUARDA MOTOR SIEMENS DE CORRIENTE NOMINAL 10 AMPERIOS Y DISPARADOR 130 AMPERIOS MODELO 3RV2311-1JC10 O SIMILAR.....</b>	<b>108</b>
<b>FIGURA 50.</b>	<b>FIGURA DESARROLLO 12. TRANSFORMADOR DIFERENCIAL PARA VIGILANCIA DE CORRIENTE SIEMENS 3UL2302-1 A. ....</b>	<b>108</b>
<b>FIGURA 51.</b>	<b>FIGURA DESARROLLO 13. RELÉ DE SOBRECARGA SIEMENS 3RU2126-1JB1 REGULABLE DE 7 A 10 AMPERIOS. ....</b>	<b>109</b>
<b>FIGURA 52.</b>	<b>FIGURA DESARROLLO 14. RELÉ DE VIGILANCIA DIGITAL DE CORRIENTE DE DEFECTO SIEMENS 3UG4625-CW30 CON AJUSTE DIGITAL.....</b>	<b>109</b>
<b>FIGURA 53.</b>	<b>FIGURA DESARROLLO 15. BOTONERA E ILUMINACIÓN PARA UTILIZAR EN CCM 21.....</b>	<b>110</b>
<b>FIGURA 54.</b>	<b>FIGURA DESARROLLO 16. HDMI PRESENTE EN CCM 12/21.....</b>	<b>110</b>
<b>FIGURA 55.</b>	<b>FIGURA DESARROLLO 17. PLANO ELÉCTRICO PARA AGITADOR SULZER GAMA ABS XRW 400. ....</b>	<b>112</b>
<b>FIGURA 56.</b>	<b>FIGURA DESARROLLO 18. FÓRMULA PARA CAÍDAS DE TENSIÓN DE SISTEMAS TRIFÁSICOS. ....</b>	<b>112</b>
<b>FIGURA 57.</b>	<b>FIGURA DESARROLLO 19. TABLA 310.15 (B) 16 AMPACIDADES PERMISIBLES.....</b>	<b>113</b>
<b>FIGURA 58.</b>	<b>FIGURA DESARROLLO 20. TABLA CONDUCTO PVC TIPO A CAPÍTULO 9.....</b>	<b>114</b>
<b>FIGURA 59.</b>	<b>FIGURA DESARROLLO 21. TABLA 5 DIMENSIONES DE CONDUCTORES AISLADOS Y DE CABLES ARTEFACTOS CAPÍTULO 9.....</b>	<b>114</b>
<b>FIGURA 60.</b>	<b>FIGURA DESARROLLO 22. TABLA 8 PROPIEDADES CONDUCTORES. ....</b>	<b>115</b>
<b>FIGURA 61.</b>	<b>FIGURA DESARROLLO 23. EJEMPLO DE ESTRUCTURA PARA EQUIPO. ....</b>	<b>116</b>
<b>FIGURA 62.</b>	<b>FIGURA DESARROLLO 24. LONGITUD DE LOS TUBOS GUÍAS PARA XRW 400. ....</b>	<b>117</b>
<b>FIGURA 63.</b>	<b>FIGURA DESARROLLO 25. TARIFA MEDIA TENSIÓN CNFL. ....</b>	<b>119</b>
<b>FIGURA 64.</b>	<b>FIGURA DESARROLLO 26. MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE AGITADOR A IMPLEMENTAR. ....</b>	<b>120</b>
<b>FIGURA 65.</b>	<b>FIGURA DESARROLLO 27. BOLETA DE PAGO AGOSTO 2022.....</b>	<b>122</b>
<b>FIGURA 66.</b>	<b>FIGURA DESARROLLO 28. COTIZACIÓN UTILIZADA PARA ANÁLISIS FINANCIERO.....</b>	<b>124</b>

## RESUMEN

En la actualidad, según fuentes internas del AyA, la cobertura de agua potable es del 95.2% y de un 99.0% de saneamiento, de este porcentaje de agua potable, el AyA abastece el 46.7%, que por política nacional debe dar trato a esta agua por medio del saneamiento, sin embargo, solo cerca de un 21.4% de la población cuentan con un sistema de tratamiento de aguas residuales, el restante debe de hacerlo por medio de tanque séptico, letrinas u otros.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales evitan que se dé una contaminación de las cuencas, mantos acuíferos y aguas superficiales, con esto protegiendo la salud pública por medio del tratamiento especializados de acuerdo con las cargas orgánicas y tipos de contaminantes.

Muchas personas no tienen acceso a el saneamiento básico de sus aguas residuales que son aquellas aguas de desecho que contienen una gran cantidad de sustancias contaminantes y que han sido empleadas en alguna actividad humana ya sea doméstica, industrial, pecuaria, agrícola o recreativa, las cuales deben ser tratadas por un tanque séptico correctamente instalado o vertidas en una planta de tratamiento para su debido proceso, es importante valorar y recalcar que existen millones de personas que carecen de abastecimiento de agua potable en el planeta para su uso regular. Cabe decir que es de suma importancia el trabajo que realiza una planta de tratamiento, más en un lugar como lo es la Gran Área Metropolitana de nuestro país, donde la población ha aumentado exponencialmente en el transcurso de los años, trayendo consigo una gran cantidad de desechos y aguas residuales.

Parte de la problemática investigada, relacionada con el aumento de la población, es la correcta canalización de las aguas pluviales, su capacidad de poder afectar un proceso donde no deberían de estar involucradas y como intervienen directamente en el problema expuesto en el tanque de vaciados donde se realiza el diseño, ya que durante las lluvias, los caudales de ingreso a la planta de tratamiento aumenta de 5 y hasta 10 veces el caudal promedio, produciendo un arrastre de los fondo de los tanques de tratamiento y así, como las grandes cantidades de tierra y otros sedimentos encontrados en la naturaleza y dentro de la planta, dañando sus procesos poco a poco. Para todos estos excesos del caudal de diseño hidráulico, se han dispuesto arquetas de manejo de excedentes de todos los procesos de tratamiento, que retornaron a cabezal de planta para que sean tratados adecuadamente.

La agitación y la mezcla son operaciones básicas utilizadas en la ingeniería de procesos, por lo tanto, la carencia de un sistema de agitación en un tanque de vaciados donde la función es

recibir los excedentes de los procesos de la planta, purgas realizadas por operación como también los derrames que se puedan producir ya sean por algún fallo operativo o electromecánico de algún sistema, la agitación y la mezcla benefician al estado de este. Esta recolección de vaciados se logra gracias a que la planta cuenta con un sistema de alcantarillado interno donde todas las aguas derramadas por limpieza o mantenimiento que se producen dentro de la misma, son captadas y depositadas en este tanque de vaciados para que así las bombas que se encuentran sumergidas en él, las trasieguen nuevamente a cabecera de planta a ser tratadas y luego depositadas correctamente en el afluente del río Torres, que de no ser por el funcionamiento constante de este sistema, estas aguas se depositarían directamente a las alcantarillas de aguas pluviales e irían junto con estas un alto grado de contaminación a ser vertidas en el río Torres.

Todas estas aguas y sedimentos recogidos dentro y fuera de la planta están provocando daños irreversibles en el hormigón, estructura metálica, instalación eléctrica y por supuesto las bombas que se encuentran sumergidas realizando el trabajo dentro del tanque, es por esto que se piensa en desarrollar un diseño de agitación de fondo para dicho tanque, siendo esto un beneficio directo sobre los equipos instalados, como para la sociedad y medio ambiente ya que con este sistema operando correctamente y reduciendo los paros no programados se puede asegurar que los derrames, purgas y excedentes de procesos sean vertidos dentro de las redes anteriormente habladas y así ser enviados nuevamente a cabecera de planta para su debido proceso.

Una de las recomendaciones de la investigación, es poder monitorear los equipos instalados dentro del pozo, con un sistema de control existente en el mercado que me permite visualizar datos de motor de bomba como lo es la corriente (I) en amperios y voltajes de línea (V) en voltios sin la necesidad de tener que utilizar herramientas de instrumentación para poder visualizar estos datos, además de alarmas predeterminadas para los equipos instalados, temperaturas y otros valores en determinadas partes de la bomba. Además, con este controlador existe la posibilidad de invertir el giro de la bomba por un período corto si detecta un alza en su corriente (I) de consumo nominal calibrada por personal capacitado, ayudando al equipo en caso de un atasco con algún material, pueda liberarse y seguir su trabajo de manera óptima. Estos sistemas darían a la estación de bombeo mayor control e inteligencia que es lo que se quiere lograr con el constante avance tecnológico en los equipos electromecánicos, para así reducir paros no programados y excesiva compra de repuestos por daños.

Finalmente, además de mostrar historial y análisis de fallos producidos por los equipos actualmente, con indicadores de mantenimiento de tipo KPI se logra determinar luego para el análisis financiero mediante cotizaciones de personal competente en el mercado, miembros de

SICOP, siendo estos habituales clientes del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, el impacto financiero del proyecto y su rentabilidad para que así la institución, si así lo requiriere tomar como base esta investigación para su implementación.

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la actualidad, el país no alcanza la cobertura total del territorio para el tratamiento de las aguas residuales, siendo esto la causa por la cual en algunas zonas del país los ríos se ven tan contaminados por estas, es por esto, por lo que la planta de tratamiento de aguas residuales es un proyecto país, desarrollado como decreto de emergencia nacional en temas de la salud pública y que tienen como finalidad bajo un esquema de gradualidad solventar esta problemática en una de las áreas de mayor concentración de población que existe en Costa Rica, como lo es la Gran Área Metropolitana.

Debido al bajo caudal que está ingresando a la planta de tratamiento de aguas residuales hace ya más de seis años, rondando este el 25% del total al 2022, subiendo paulatinamente provocando problemas de sedimentación y flotantes en todas sus áreas de procesos, por el alto el tiempo de retención que han tenido esas aguas, lo que se piensa con este proyecto, es optimizar una de las zonas más afectadas de la planta debido a esta problemática, la cual es un tanque de vaciados que se encuentra en la zona de sedimentación de la planta y recibe los excedentes de agua de varios procesos, como lo son los procesos desarenado y decantación de lodos, para ser trasegados nuevamente a cabecera de planta y repetir el proceso de tratamiento, donde se encuentran cuatro bombas sumergibles que realizan dicho trabajo, estas están directamente afectadas por los sedimentos ya que sus propulsores sufren desgaste por el material abrasivo bombeado, siendo este un agua con alta carga de lodos y arenas, produciendo atascos excesivos y disparos en protecciones por picos de corriente en los motores de las bombas.

Lo que se pretende con este proyecto es poder homogenizar estos residuos dentro del tanque, mantenerlos en suspensión evitando su sedimentación, colocando un agitador de fondo, el cual además de ayudar a los equipos presentes encargados del bombeo de esas aguas residuales y su sistema de detección de nivel, evitaría la formación de gases corrosivos y tóxicos protegiendo aún más esos equipos presentes en el tanque, las estructuras metálicas presentes en el lugar, los componentes eléctricos e incluso el hormigón de la estructura.

## **OBJETIVOS GENERALES**

- Optimizar el tanque de vaciados intermedios, por medio del diseño de un sistema de agitación mecánica en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Los Tajos del Instituto Costarricense Acueductos y Alcantarillados ubicada en San José la Uruca, para solventar problemas producidos por sedimentos, arenas y solidos suspendidos.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar las problemáticas que provocan excesos de arenas, sedimentos y flotantes en los equipos de bombeo a través de un estudio de los indicadores de mantenimiento actuales de la planta e información recolectada sobre plantas de tratamiento de aguas residuales y sus subproductos para definir las acciones de mejora a implementar.
- Recopilar la información técnica de los equipos que se encuentran instalados en el tanque de vaciados por medio de los manuales técnicos para conocer sus características técnicas y funcionalidad.
- Determinar los requerimientos básicos del agitador de fondo a utilizar dentro del tanque de vaciados mediante la revisión de tecnologías existentes en el mercado, tomando en cuenta sus dimensiones y características del agua.
- Rediseñar la estructura, carga y alimentación eléctrica a través del análisis técnico para dicho proyecto utilizando varios de los recursos ya existentes en la planta.
- Cuantificar el impacto financiero del proyecto mediante cotizaciones en el mercado para validar la rentabilidad del proyecto.

## JUSTIFICACIÓN

Desde su puesta en marcha por parte de Acciona Agua, ya hace siete años, la planta de tratamiento de aguas residuales es operada por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados la cual está operando de manera ininterrumpida durante las veinticuatro horas del día, los siete días de la semana, recibiendo en su primera etapa aguas residuales de gran parte de la gran área metropolitana a la misma, significando estos, apenas un 25% por ciento de su capacidad total de diseño a la fecha, ya que durante los años anteriores por la concepción de gradualidad en el caudal no ha recibido más del 20%. Durante estos años la problemática producida por el bajo caudal en tiempos de verano, arrastre de sedimentos en épocas de lluvia y derrames accidentales por falta de control de aguas debajo de planta de tratamiento, ha aumentado notoriamente, ya que esta al ser diseñada para un caudal y al tener que recibir picos de aguas de lluvias, que se van a las alcantarillas, sus procesos y los equipos presentes en ellos, están viéndose afectados por sedimentos, arenas y otros materiales en tanques y procesos donde no deberían de producirse.

Es conveniente pensar en la mejora del tanque de vaciados de la planta ya que es uno de los lugares donde más se están acumulando arenas y otros sedimentos. Esta arqueta o pozo recibe aguas de todos los procesos de planta provocando fallos algunas veces graves en los equipos sumergidos, produciendo paros no programados, derrames de estas aguas al ambiente, compras para cambios de equipos o rebobinados del motor, grandes cantidades de horas hombre involucrados en mantenimientos correctivos e insumos económicos, siendo esto de suma importancia si se llegara a alivianar esta carga para que así la planta se fortalezca en sus otras áreas de trabajo operación - mantenimiento y seguir dando un tratamiento a estas aguas bombeadas nuevamente a cabecera de planta, las cuales de no ser así, irían directamente a ser depositadas en el río Torres o en terreno aledaño de la planta por paros en este sistema produciendo un impacto negativo en el ambiente.

Se pretende también con la implementación de este proyecto, investigar sistemas de control que puedan ser instalados en estos tipo de estaciones de bombeo, donde se encuentran bombas para trasegar algún líquido, ya que las bombas no son todo lo que puede existir en una estación de bombeo, sino que también estos pequeños equipamientos adicionales pueden proponer una impresionante ayuda para incrementar la fiabilidad, visualización y recolección de datos de los equipos presentes en la estación de bombeo.

A la hora de desarrollar este proyecto, se espera llenar los vacíos de conocimiento existentes en mi persona, muchos pertenecientes a temas como los de implementar la estructura, carga y alimentación eléctrica del equipo ya que sería la primera vez que se realiza algo de esta envergadura, lo cual, con el apoyo de personas profesionales en esta rama, se piensa desarrollar de manera correcta y siguiendo las normas pertinentes para así poder expandir el conocimiento y práctica en este tema ingenieril.

## **ANTECEDENTES INTERNACIONALES**

**Título:** Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales.

**Autor:** William Antonio Lozano Rivas.

**Año:** 2012.

**Institución:** Universidad Piloto de Colombia.

Esta investigación colaboro a conceptualizar aún más los procesos e importancias de una planta de tratamiento de aguas residuales desde el punto de vista de diseño del autor, donde los caudales totales de ingreso son las bases para generar su parte final del diseño, además de conocer a fondo el proceso primario de una planta, el cual es el que actualmente la PTAR Los tajos aplica.

Se logra conocer como es el proceso de desinfección del agua, los componentes químicos creados en cada uno de esos procesos, para que gracias a los mismos el agua tratada tenga una calidad aceptable para su vertido en los cauces de ríos, siendo este un dato brindado por la institución rectora autorizada en cada país.

**Título:** Estudio del proceso de nitrificación y desnitrificación vía nitrito para el tratamiento biológico de corrientes de agua residual con alta carga de nitrógeno amoniacal.

**Autor:** Javier Alfonso Claros Bedoya.

**Año:** 2012.

**Institución:** Universidad Politécnica de Valencia, España.

Se pueden identificar en esta investigación, variables importantes generadas en un tanque de almacenamiento de aguas residuales, ya sea para su trasiego, sedimentación o desarenado estos tanques pueden presentar un proceso de nitrificación debido a corrientes de agua residual con elevada concentración de amonio, como es el caso de la corriente de los flotantes deshidratados procedentes de la digestión anaerobia de lodos, cómo es posible ver dentro del tanque de vaciados de la planta, ya que estos son purgados directamente de los digestores para muestreo en laboratorio. Al estar este tanque sin agitación, colabora con la creación de este tipo de gas dañando la estructura, hormigón, equipo eléctrico y por supuesto los equipos sumergidos, problemática que se desea eliminar con la agitación dentro del tanque. Además, cabe recalcar que el autor de la tesis logra identificar e investigar sobre los tipos de control que se pueden llevar a cabo en una planta, cuáles son esas variables de medición y los algoritmos presentes para que el personal puede leer los datos expuestos por el controlador, punto importante para la implementación de mi proyecto y el controlador en estudio que va a tomar datos y variables de las bombas beneficiadas.

**Título:** Diseño de un tanque agitador de concentrado de Zinc para optimizar la producción.

**Autor:** Esteban Cárdenas, Franklin Cenicio.

**Año:** 2018.

**Institución:** Universidad Tecnológica del Perú.

Este trabajo de diseño logro hablar y dar a conocer algunos de los equipos verticales de agitación que son utilizados en procesos de trasiego o contención de líquidos y químicos. Este trabajo está enfocado en el diseño de un tanque agitador que alimenta un concentrado de zinc hacia un nuevo filtro para proceso, donde el tanque agitador servirá como un acondicionador y reserva para la alimentación del filtro, siendo esta agitación beneficiosa para el filtro, ya que la misma logra homogenizar los componentes del concentrado y así alargar la vida útil del filtro.

Esto puede verse reflejado en el proyecto expuesto, ya que el homogeneizar el material para trasiego, siempre va a ayudar a los equipos encargados de realizar el trabajo como se ve expuesto en la tesis, o beneficiando a los tanques que contienen el líquido disminuyendo los fallos o paros repentinos asociados a esta problemática, además que mantener homogeneizado el material ayuda a futuro a dar mantenimiento a los dispositivos de almacenamiento, como se logra ver en esta tesis ya que las estructuras mantienen una suciedad superficial y no tan concreta, facilitando las limpiezas y mantenimientos preventivos que se pueda realizar a futuro dentro del tanque.

**Título:** Proyecto ejecutivo para el mantenimiento correctivo y preventivo a los sistemas de bombeo de agua residual.

**Autor:** Jorge Flores Rubio.

**Año:** 2008.

**Institución:** Instituto Politécnico Nacional, México.

Con este proyecto de investigación realizado en México, se pudo comparar los mantenimientos realizados a los equipos de bombeo presentes en los cárcamos donde en dicho país colectan las aguas residuales y pluviales para su trasiego. Estos sistemas de bombeo son similares a los vistos en el proyecto de estudio, ya que cuentan con la misma implementación estructural, su válvula de retención ya sea de bola o plaqueta y su alimentación eléctrica trifásica, tanto su potencia como su parte de control, donde en este proyecto expuesto por el autor el señor Jorge Flores Rubio habla de las protecciones de interruptor electromagnéticas y otra instrumentación utilizada para el monitoreo y control de los equipos instalados.

Para la implementación del proyecto, fue importante ver la perspectiva del mantenimiento de los equipos instalados en una estación de bombeo, siendo los principales actores las bombas y lo importante que es tener un plan de mantenimiento para que estos equipos trabajen con mayor continuidad y eficiencia.

**Título:** Diseño y cálculo de un agitador de fluidos.

**Autor:** Vladimir Castillo Uribe.

**Año:** 2013.

**Institución:** Universidad del Bío-Bío, Perú.

En el trabajo realizado por Vladimir Castillo se logran determinar conceptos como lo es la agitación y su importancia en sí, que en este trabajo lo refiere principalmente al movimiento que se genera en un material de una manera específica, principalmente con un equipo que genera movimiento circulatorio dentro de algún tipo de contenedor o tanque el cual puede ser cerrado o también abierto.

Con este trabajo se logró reconocer las variables o criterios importantes a la hora de seleccionar un agitador de fondo las cuales pueden llegar a ser:

- Según el modelo de flujo producido (axial, radial, tangencial).
- Dependiendo de la viscosidad del fluido.
- La relación que existe entre el diámetro del agitador y el del tanque.
- La velocidad inducida en el fluido.
- El tipo de régimen al que está sometido el fluido (laminar o turbulento)
- La geometría del fondo del estanque o su forma en general.

Esto ha servido de gran ayuda para extender la información e investigación necesaria a la hora de la selección del agitador de fondo a utilizar en el proyecto, los tipos existentes y la variedad de aplicaciones e impulsores existentes en la industria tanto internacional como la industria nacional.

**Título:** Diseño y cálculo de un sistema de agitación para un fluido viscoso.

**Autor:** Ane Gutiérrez Vázquez.

**Año:** 2019.

**Institución:** Universidad del país Vasco Escuela de Ingeniería de Bilbao. España.

Siendo este un trabajo de diseño y calculo para un sistema de agitación, una de las operaciones básicas utilizadas en la ingeniería de procesos, pude comparar lo realizado por Ane Gutiérrez Vázquez contra el proceso realizado en mi proyecto. El tipo de agitador diseñado en este trabajo hecho por Ane Gutiérrez es un agitador tipo vertical, donde para implementar un agitador de este tipo, se necesita cómo fue visto en su investigación saber con más claridad cual van a ser los tamaños del tanque y tamaño de las aspas ya que esto va depender del flujo al que por diseño se quiere ver sometido el líquido (Flujos Radial, Axial, tangencial), el tamaño del eje realizando cálculos matemáticos, el tipo, tamaño y relación del reductor y por supuesto la potencia para el motor eléctrico del agitador.

A la hora de realizar los cálculos del agitador en esta investigación, se logran reconocer variables que van a ser examinadas en mi proyecto de diseño como lo son la densidad del líquido,

su capacidad calorífica y conductividad térmica, además de la viscosidad, esto para encontrar el equipo idóneo de agitación.

## NACIONALES

**Título:** Propuesta de diseño de un sistema de tratamiento de las aguas residuales especiales generadas en las plantas de concreto del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón del Instituto Costarricense de Electricidad, Siquirres, Limón, Costa Rica.

**Autor:** Melissa Castillo León e Ignacio Laurent Lostalo.

**Año:** 2016.

**Institución:** Universidad Nacional, Costa Rica.

En esta investigación realizada por estudiantes de Gestión Ambiental de la Universidad Nacional, se plantea una propuesta de diseño de una planta de tratamiento de aguas, para las plantas de concreto, las mismas que debido al proyecto de la estación Hidroeléctrica Reventazón, se vieron en la necesidad de ampliar su producción para satisfacer tan enorme proyecto. El concreto es utilizado ampliamente como uno de los materiales claves para la construcción de infraestructura, tales como edificios, viviendas, puentes, proyectos hidroeléctricos, carreteras, tanques para diversos usos y demás estructuras, siendo su consumo el segundo más grande del planeta después del agua.

Lo expuesto en el proyecto con respecto a las aguas especiales y cómo estas deberían ser tratadas, llama mucho la atención para entender la importancia de un tratamiento especial para las mismas, como analizan los autores de este proyecto parámetros como lo son pH, temperatura, turbidez, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Sólidos Suspendidos (SS), Sólidos Sedimentables, Grasas y Aceites que de igual manera son analizados en la planta Los tajos por el departamento de laboratorio ubicado en las instalaciones de la misma, análisis que son de suma importancia para cumplir a cabalidad con la normativa de vertido que se encuentra vigente en el país.

Además de utilizar jerga común en lo que es tratamiento de aguas, habla de la importancia de mantener el hormigón o concreto en buen estado, y como los gases contaminantes y sedimentos, afectan el estado de este, que, con el estudio de mi proyecto, lo que se piensa también es ayudar a mantener en buen estado el concreto del tanque de vaciados a el que se le diseña el agitador.

**Título:** Evaluación de una planta piloto para el tratamiento de aguas residuales ordinarias por medio de un filtro percolador con relleno de esponjas colgantes de flujo descendente (DHS) como postratamiento de un efluente de sedimentador primario.

**Autor:** Erick Centeno Mora.

**Año:** 2017.

**Institución:** Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Civil.

A la hora de investigar este proyecto, se notó que fue realizado en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Los Tajos, donde de igual manera se trabaja el diseño en cuestión, cabe recalcar que a la hora de la realización de este proyecto por parte de Erick Centeno, se plantean problemas por bajo caudal en el periodo de implementación, siendo esto uno de los factores por los cuales los equipos y procesos dentro de la planta se están viendo afectados y a su vez se piensa implementar el equipo de agitación para el tanque de vaciados, donde no solo se ve afectado por este efecto de bajo caudal, si no por aguas de limpiezas en general, derrames de lodos, arrastres por lluvias, eventualidades que puedan ocurrir dentro de la planta y ser estas aguas colectadas hacia este tanque para que las bombas trasieguen nuevamente a cabecera de planta.

Como dato expuesto en esta investigación y de interés común, se espera que en los próximos 30 años el desarrollo en infraestructura de alcantarillado sanitario y sistemas de tratamiento de aguas residuales se acelere significativamente en Costa Rica para mejorar la situación del país en esta materia ambiental la cual nos compete a todos, esto con la puesta en marcha de plantas como la planteada para el proyecto.

**Título:** Análisis comparativo entre tanques de concreto, mampostería y plástico reforzado para agua potable.

**Autor:** Alfonso Gerardo Chávez Sánchez.

**Año:** 2016.

**Institución:** Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Civil.

En el estudio realizado por el autor Alfonso Gerardo Chávez, se puede entender el por qué muchas de las instituciones gubernamentales como los son AyA, Municipalidades, SPH y otros que brindan servicios de agua, han migrado de utilizar tanques de captación de agua potable que

fueran metálicos, hacia utilizar tanques de concreto el cual es un material de menor costo. Se logra entender mediante el estudio de los materiales realizado por el autor, como inclusive el concreto pueden dañarse en ambientes no aptos, dejando claro que más bien el concreto con un buen mantenimiento y uso, sus características con el transcurso del tiempo deben mejorar en vez de empeorar.

Con esta investigación se logra relacionar información sobre las propiedades de los materiales, siendo uno de ellos de mayor interés como lo es el concreto y los agregados que pueda utilizar para su función, el cual es el más utilizado por su versatilidad en tamaño y almacenaje de grandes cantidades de agua, además de la capacidad amplia de construcción para hacer tanques elevados, superficiales semienterrados o enterrados como lo es el caso de mi proyecto. Además, se logra identificar la manera en que el autor plantea como debe ser la realización de un proyecto de diseño donde involucre planos y especificaciones técnicas, más la realización de un estudio de rentabilidad lo cual va a ser de ayuda para la realización de mi proyecto.

**Título:** Determinación de una correlación para estimar el coeficiente de película externo para serpentines en tanques agitados.

**Autor:** Barbara Miranda Morales.

**Año:** 2013.

**Institución:** Revista de la Universidad de Costa Rica.

En esta revista se pudo diferenciar y entender terminología asociada a los procesos de agitación de los materiales, ya que muchas operaciones de procesos dependen para su éxito de la agitación y el mezclado efectivo de los fluidos. Aunque los confundimos a menudo, la agitación y el mezclado no son sinónimos. La agitación se refiere según lo leído en la revista al movimiento inducido de un material de una manera específica, usualmente en un patrón circular dentro de algún tipo de contenedor. El mezclado es la distribución al azar dentro y a través de una en otra, de dos o más fases inicialmente separadas. Se conoce además en el estudio realizado por Barbara Miranda, los tipos de impulsores y sus clases, que, dependiendo de estas variables, así van a ser sus corrientes para la agitación.

En la conclusión, de la revista, queda claro que, entre mayor velocidad de agitación y tamaño de agitador, mayor turbulencia y mayor es el coeficiente de película obtenido con líquidos Newtonianos, ya que la Autora estudia siete tipos de agitadores con sus tipos de propela, más

propiedades físicas del agua, con los cuales calcula el coeficiente utilizando los cálculos pertinentes.

**Título:** Dimensionamiento, conceptualización y propuesta de un sistema de tratamiento de aguas residuales del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos.

**Autor:** David Chavarría Barrantes.

**Año:** 2014.

**Institución:** Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Química.

Siendo este proyecto planteado por el autor David Chavarría, una propuesta de diseño de una planta de tratamiento de aguas para un centro como el CITA, se pueden obtener conceptos importantes de los procesos que se generan en una planta, como más adelante se verán explicados relacionándolos con la problemática expuesta en el proyecto realizado por mi persona, donde una vez conociendo un poco de estos procesos de tratamiento, se podrá ver con claridad como se afectan con un bajo caudal, un arrastre de sedimentos por lluvias, derrames imprevistos etc.

Además, se logran ver características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales, de las cuales se deben tener en cuenta a la hora de seleccionar el agitador y lo que las mismas provocan sin un tratamiento debido o por estar estancadas en tanques a los equipos y estructuras cercanas a estas.

**Título:** Diseño y construcción de una interfaz de control de nivel, temperatura y flujo de agua en un tanque para uso en prácticas de laboratorio.

**Autor:** Esteban Richmond Salazar.

**Año:** 2009.

**Institución:** Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Química.

En el trabajo realizado por Esteban Richmond sobre la implementación de un sistema de control automático, se nos brinda datos interesantes de la historia del control automático, estrategias de control, etc. realizando en su caso el proyecto con un sistema operativo MS WINDOWS XP dado que fue en el año 2009 la implementación, el autor debió dar comunicación entre las variables brindadas por la instrumentación instalada en campo, mediante el computador que trabajando en

conjunto con el sistema operativo logra cumplir la función de controlador. Al ser parte del proyecto que se piensa implementar por mi persona, un sistema de control trabajando en conjunto con las bombas instaladas y el agitador, se pueden tomar como base las variables tomadas por el autor para la selección de su control y así poder tener más certeza en el proceso de selección dentro del proyecto, ya que se ven temas como tipos de sensores y transductores para uso del controlador y otras estrategias de selección.

En el caso del proyecto planteado por mi persona, puedo comparar lo realizado por el autor, aun así, teniendo en cuenta la gran brecha tecnológica que existe, ya que los controladores que se fabrican hoy en día vienen a simplificar el trabajo e implementación de un sistema de control, como lo es de manera de ejemplo el controlador de la Gama ABS Modelo PC441 que es uno de los planteados para este proyecto.

## **ALCANCE**

Uno de los alcances de este proyecto es poder identificar el agitador idóneo para solventar la problemática expuesta e investigada en el tanque de vaciados, tomando en cuenta las dimensiones del tanque, además de poder identificar la estructura necesaria para su instalación en campo, la alimentación y diseño eléctrico necesario para este, además de realizar un estudio de fallos mediante el SCADA en el sistema de bombeo para valorarlos con indicadores de mantenimiento claves de desempeño.

Otro de los alcances de este proyecto es colocar un analizador de energía en los equipos de bombeo presentes en el tanque de vaciados para determinar las horas de trabajo que pueda tener eventualmente el agitador a utilizar en el tanque.

Cabe recalcar que se encuentra dentro del alcance realizar un estudio financiero tomando como base datos de consumo eléctrico del agitador gracias a el análisis realizado en las bombas sumergibles, cotizaciones realizadas por contratistas, análisis de fallos y horas hombre dedicadas a la problemática producida en este tanque de vaciados para así probar la rentabilidad del proyecto en un periodo de diez años.

## **LIMITACIONES**

Una de las limitantes presentes en este proyecto, es el eventual incremento en el caudal de ingreso a la planta, el cual para el año dos mil veinte dos ha venido incrementando paulatinamente, actualmente se encuentra en un veinticinco por ciento de su total el cual es de 2,8 metros cúbicos por segundo, se pretende a futuro por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, conectar el resto de los colectores urbanos de aguas residuales y aumentar este caudal para que así la planta realice sus procesos y tratamiento de la manera más eficiente. Cabe mencionar que aun así el caudal de entrada a planta incrementa, el problema disminuye, pero no desaparece por completo, ya que los derrames dentro de planta, purgas de procesos y arrastre de sedimentos en épocas de lluvia seguirán perjudicando el tanque de vaciados donde se piensa implementar el agitador de fondo.

Otra limitante es a la hora de identificar el tipo de agitador idóneo a utilizar en el tanque de vaciados de la planta de tratamiento de aguas residuales, se realizan cotizaciones únicamente en

empresas o instituciones pertenecientes al Sistema Integrado de Compras Públicas (SICOP) y que se encuentren en contratos por demanda o anuales actualmente por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 1. Pretratamiento y características generales de la PTAR.

#### 1.1 Introducción a las bases del proyecto.

El pretratamiento, control automático y equipos electromecánicos presentes en una planta de tratamiento, son aspectos que se irán estudiando y relacionando poco a poco en este marco teórico para tener la información suficiente y justificada para lograr el desarrollo final del proyecto.

De acuerdo con La Nación (2022) en su página web con información recopilada con personal PAPS (Programa de Agua Potable y Saneamiento) de Acueductos y Alcantarillados se pueden comentar aspectos de historia del proyecto de mejora ambiental de la Gran Área Metropolitana de San José, información actualizada a la fecha:

Acueductos y Alcantarillados mediante la aprobación de la ley 8559 inicia la implementación del Proyecto de Mejoramiento Ambiental del Área Metropolitana de San José a través de un préstamo con el Banco Japonés para la Cooperación Internacional (JBIC) y es partir de marzo de 2007 que se consolida la Unidad Ejecutora AyA-JBIC con un equipo profesional, y así atender el problema de saneamiento urbano en el Área Metropolitana de San José. En la actualidad solamente el 45% de la población de esta área (700 mil habitantes) tiene acceso al sistema de alcantarillado sanitario, por lo que con la rehabilitación y extensión de este y la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales, se lograra que el beneficio se amplié a un 65%, es decir 1.070.000 habitantes, de manera que a nivel nacional las aguas de alcantarillado sanitario sin tratamiento disminuiría de un 20,1% a un 0,5%, y por el contrario las aguas residuales con tratamiento por medio de una planta pasara de un 4,5% a un 26,8%. Actualmente AyA de manera permanente trabaja en el mejoramiento de tuberías, colectores y redes, a fin de reducir la contaminación, mejorar al ambiente y las condiciones de salud de las comunidades.

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Los Tajos, ubicada en La Uruca, impide el desecho diario de diez toneladas de materia fecal, grasas y aguas jabonosas en los ríos donde van a parar aguas residuales de San José, Curridabat, Tibás, Goicoechea, Montes de Oca y Moravia.

La planta procesa unos 56 millones de litros de agua al día, pero el proyecto de interconexión de tuberías está pensado para dar servicio a más de 1.070.000 habitantes de 11 cantones, y está a tres cuartas partes de su ejecución total.

El freno, como suele ocurrir en el desarrollo de obras públicas, se relaciona con la falta de consideración de los imprevistos. El costo total pasó de \$250 millones a \$600 millones, y al final el proyecto estuvo a punto de la parálisis por \$140 millones.

No obstante, el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) actualizó el presupuesto general y ahora estima el costo final en \$506 millones.

Un préstamo tramitado con el Banco Nacional para responder al supuesto faltante de \$140 millones será utilizado para obras relacionadas, pero todavía no licitadas, dice Gabriel Naranjo, subgerente del proyecto. La conclusión del trabajo está prevista para el 2024.

“El avance general de todo el proyecto supera el 76% y ahora los trabajos se centran en la instalación de las tuberías principales y nuevas conexiones en sitios donde no existía red de alcantarillado sanitario, así como recuperación de tuberías existentes para conectar con Los Tajos”, añadió.

La planta de tratamiento está lista, desde hace años, para recibir las aguas residuales consideradas en el plan inicial. También están en su lugar buena parte de las tuberías necesarias. Sin embargo, Los Tajos operó durante años al 16% de capacidad.

La planta fue construida con apoyo financiero de la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA) y su inoperancia constituía un desperdicio de valiosa cooperación internacional.

La parálisis del proyecto no ocurrió al grado temido hace apenas un año, cuando la presidencia del AyA informó del faltante de fondos y, pese a los retrasos, los encargados tienen confianza en la posibilidad de concluirlo en la nueva fecha fijada.

Es una muy buena noticia, no solo por la urgencia de tratar la mayor cantidad posible de aguas residuales, sino también por los previsible daños a la infraestructura no utilizada y el encarecimiento todavía mayor de las obras, cuyo costo será de todas formas el doble de lo presupuestado al principio.

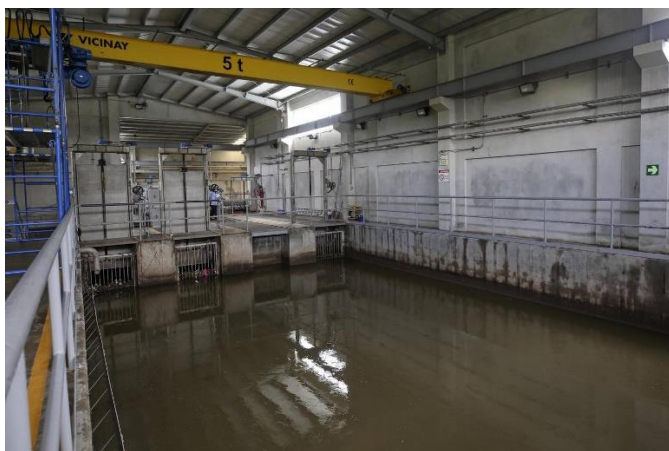
Los Tajos y la infraestructura necesaria para alimentar la planta son tan solo un primer paso para solucionar uno de los retos ambientales más apremiantes del país.

Los 361 kilómetros de tuberías, redes secundarias, colectores y redes de aguas negras salvarán de una parte de la contaminación a los ríos de la Gran Área Metropolitana, cuyos caudales contribuyen a crear una de las cuencas más contaminadas de Centroamérica: la del río Tárcoles.

Esa cuenca hidrográfica abarca 2.121 kilómetros cuadrados. La conclusión de las obras de recolección y tratamiento no resolverá el problema, pero será un significativo avance. Contribuirá, además, a recuperar los ríos de la capital y, con ellos, un elemento significativo para la calidad de vida en la ciudad.

La planta Los Tajos es un progreso trascendental. Falta mucho por hacer y ojalá las lecciones aprendidas en la ejecución del proyecto sirvan para agilizar otros en el porvenir.

Imprevistos como las diferencias en los tipos de pavimentos y grosores del asfalto, conexiones ilegales, piedras y tanques sépticos bajo la vía pública no deben representar peligro para instalaciones futuras. Ahora son factores conocidos y es posible anticiparse. (<https://www.nacion.com>)



*Figura 1.* Pozo de gruesos o cabecera de planta

*Fuente:* <https://www.nacion.com/opinion/editorial/editorial-paso-adelante-en-el-tratamiento-de-aguas> 2022.

De acuerdo con ACCIONA AGUA Documentación Técnica (2016) en su descripción de procesos e intercambio tecnológico para personal AyA, un elemento de importancia de la evaluación del rigor metodológico es:

## 1.1 El Pretratamiento

Es el primer proceso al que se somete el agua residual a la entrada en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Los Tajos. (PTAR)

El colector de llegada a la planta desemboca en el pozo de gruesos, al cual llega a su vez la red de vaciados, reboses y escurridos de diferentes equipos de la planta desde el depósito intermedio de vaciados.

El agua residual llega a la planta a través del colector de captación en el cual se encuentra instalado un (1) caudalímetro por ultrasonidos en tubería para indicación del caudal que llega al tratamiento. En la obra de llegada existen dos compuertas que permiten la entrada a planta.

Del pozo de gruesos el agua pasa directamente a los canales de desbaste de a través de rejas de impacto situadas en la sección de entrada de cada canal y previas a las compuertas de entrada. En los canales de desbaste están situadas las rejas automáticas para tratamiento de sólidos gruesos, y a continuación los sólidos finos, el desecho retenido es descargado a través de tornillos transportadores hasta un contenedor de residuos.

Los residuos retenidos en el pozo de gruesos se retirarán mediante cuchara bivalva. La cuchara bivalva está suspendida del puente grúa. Los dos equipos se operan únicamente de forma manual local mediante una botonera común de ocho pulsadores de mando y uno de emergencia.

A la salida del desbaste de finos el agua residual pasa a tres (3) canales de desarenado – desengrasado, de 5,7 m de ancho y 40 m de largo, para eliminar las arenas finas y las grasas emulsionadas. Cada línea de desarenado está equipada con un (1) puente rodante con rasqueta de superficie para la retirada de grasas y una (1) bomba centrífuga de 20 m<sup>3</sup>/h y 6 m.c.a para la retirada de arenas. Además, en el interior van dispuestos dos colectores con 136 difusores y dos (2) aireadores de burbuja fina para emulsionar las grasas. Cuatro (4) soplantes de aire de 610 Nm<sup>3</sup>/h de caudal unitario, situadas dentro del edificio de digestión y deshidratación se encargan de suministrar el aire necesario a las membranas situadas en el primer tercio de los desarenadores.

En el canal de reparto se instala una (1) compuerta de aislamiento previo a cada uno de los equipos. Las arenas y las grasas se envían a un clasificador de arena y un separador de grasas respectivamente, para reducir la cantidad de agua en los residuos que se retirara en contenedores.



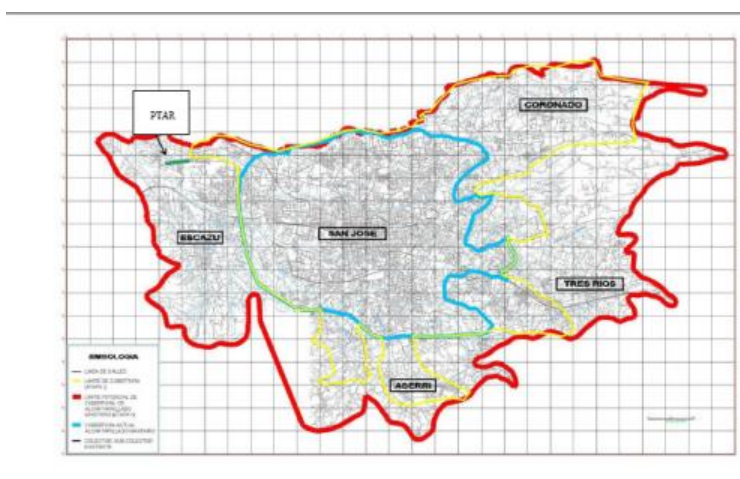


Figura 3. Área de proyecto PTAR Los Tajos.

Fuente: Documentos brindados por ACCIONA AGUA Documentación Técnica, 2016.

### 1.3 Caudales de diseño

Los componentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Los Tajos se han diseñado para un caudal afluente distinto en función de la Etapa de funcionamiento de la planta, tratándose de Etapa I (año 2015), Etapa Intermedia (año 2015) y Etapa II (año 2025).

Caudal	Etapa I	Etapa Intermedia	Etapa II
Caudal promedio diario (m <sup>3</sup> /s)	2.81	2.81	4.26
Caudal máximo diario (m <sup>3</sup> /s)	3.45	3.45	5.22
Caudal máximo horario (m <sup>3</sup> /s)	4.86	4.86	7.35

Figura 4. Caudales de diseño Documentos PTAR Los Tajos ACCIONA AGUA (2016)

Fuente: Documentos brindados por ACCIONA AGUA Documentación Técnica, 2016.

### 1.4 Red de vaciados y sobrenadantes

Todos los aparatos están provistos de vaciados en sus puntos más bajos y controlados mediante las oportunas válvulas manuales, que descargarán en pozo de vaciado, desde donde serán conducidos a cabeza de planta por bombeo (pp. 27-30).

## **2. Origen y Características de las Aguas Residuales.**

Dentro de la PTAR Los Tajos todos los aparatos en procesos y edificios están provistos de vaciados en sus puntos más bajos y controlados mediante nivel o las oportunas válvulas manuales, que descargarán en el pozo de vaciados, desde donde serán conducidos a cabeza de planta por bombeo nuevamente para su debido tratamiento.

De acuerdo con la tesis de Lozano Rivas (2012) un elemento de importancia para su evaluación dentro del proyecto son las siguientes características:

Actualmente, la humanidad en todos los niveles viene mostrando creciente preocupación por la conservación del entorno. Algunos mercados europeos han bloqueado su dinámica transaccional a muchas industrias contaminadoras, obligándolas a adoptar estrategias o políticas de producción más limpia (PML), buenas prácticas de manufactura (BPM) y mejores tecnologías disponibles (BTA, por sus siglas en inglés), entre otras medidas enmarcadas en Planes de Mejoramiento Continuo y de Responsabilidad Socioambiental Empresarial.

### **2.1 Contaminación hídrica.**

Desafortunadamente, las aguas residuales (al igual que los residuos sólidos) son un producto inevitable de la actividad humana. En la antigüedad, diferentes civilizaciones (desarrolladas por obvias razones en las riberas de ríos y lagos) hicieron uso de la capacidad de asimilación o autodepuración del agua, pero con descargas tan pequeñas que sus vertidos no presentaban mayor problema. No obstante, la densificación actual de las ciudades y el crecimiento poblacional e industrial, entre otros aspectos, ha ocasionado que esta capacidad limitada de auto purificación de los cuerpos hídricos haya sido excedida. Por esta razón, se hace necesario “asistir” a la naturaleza mediante la instalación de depuradoras y unidades de tratamiento de las aguas servidas.

Se considera como contaminación hídrica, la presencia de formas de energía, elementos, compuestos (orgánicos o inorgánicos) que, disueltos, dispersos o suspendidos alcanzan una concentración tal, que limita cualquiera de los otros usos del agua (consumo humano, uso agrícola, pecuario, industrial, recreativo, estético, conservación de flora y fauna, etc.). Esta definición deja en evidencia que el uso del agua depende, de manera ineludible, a

sus características físicas, químicas, microbiológicas y organolépticas que definen su calidad en función del uso establecido por una normativa. (pp. 18-20)

### 3. Características fisicoquímicas de las aguas residuales.

De acuerdo con Lozano Rivas (2012) un elemento de importancia para su evaluación dentro del proyecto son las siguientes características de las aguas residuales, las cuales son las bombeadas por el pozo en estudio:

Una cuidadosa y completa caracterización de las aguas residuales que pretenden ser tratadas, es fundamental para asegurar el éxito de la depuradora. El fracaso de la mayor parte de las depuradoras (al menos las conocidas por este autor) incluyendo la PTAR de una de las ciudades más importantes del país, obedece a una mala caracterización de las aguas, ya que impide seleccionar correctamente los tratamientos y aplicar criterios adecuados para el diseño.

#### 3.1 Materia orgánica:

Es la fracción más relevante de los elementos contaminantes en las aguas residuales domésticas y municipales debido a que es la causante del agotamiento de oxígeno de los cuerpos de agua. Está formada principalmente por CHONS (Carbono, Hidrógeno, Oxígeno, Nitrógeno y Azufre) constituyendo las proteínas (restos de origen animal y vegetal), los carbohidratos (restos de origen vegetal), los aceites y grasas (residuos de cocina e industria) y los surfactantes (detergentes). (pp. 25-27)

Tipo de materia orgánica	Tipo de descomposición	
	Aeróbica	Anaeróbica
Nitrogenada	Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ), agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), sulfatos ( $\text{SO}_4^-$ )	Mercaptanos, indoles, escatol, ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), cadaverina y putrescina.
Carbonácea	Anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ), agua ( $\text{H}_2\text{O}$ )	Anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ), gas metano ( $\text{CH}_4$ ), gas hidrógeno ( $\text{H}_2$ ), ácidos, alcoholes y otros.

Figura 5. Tipos de materia orgánica presente en las aguas residuales.

**Sólidos:** La materia orgánica se presenta, a menudo, en forma de sólidos. Estos sólidos pueden ser suspendidos (SS), disueltos (SD), los que también pueden ser volátiles (SV), los cuales se presumen orgánicos, o fijos (SF) que suelen ser inorgánicos. Parte de los sólidos suspendidos pueden ser también sedimentables (SSed). Esta clasificación se muestra en la Imagen 2. Todos ellos se determinan gravimétricamente (por peso). (p. 27)

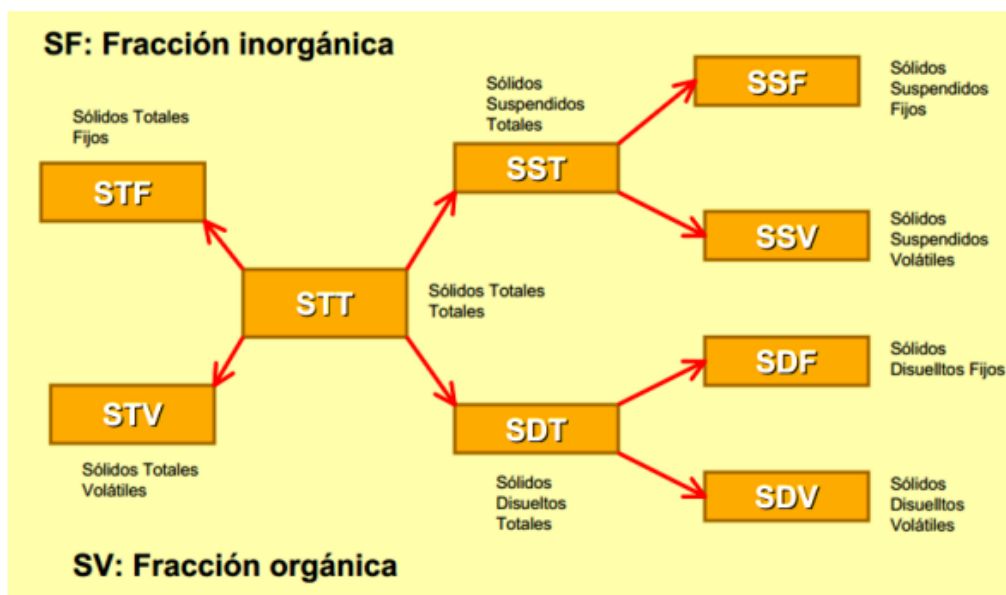


Figura 6. Tipos de sólidos presentes en las aguas residuales.

Fuente: Fundamentos Diseño depuradoras, Lozano Rivas, 2012, p. 29

De acuerdo con Claros Bedoya, Valencia (2012) un elemento de importancia para su evaluación dentro del proyecto son las características del nitrógeno que influyen tanto en las aguas residuales, como en los equipos que se utilizan para trasegar este líquido, el cual, con esta característica, lo convierte en un riesgo para los mismos, más aún cuando este líquido se encuentra sin una correcta agitación o turbulencia, para que así se pueda evitar la creación de gases dentro del pozo:

### 3.2 El Nitrógeno y su relación en aguas residuales.

El nitrógeno es un elemento químico que existe en la naturaleza en forma orgánica e inorgánica, y se encuentra mayoritariamente disponible en la atmósfera principalmente en su forma diatómica (N<sub>2</sub>), representando cerca del 78% (v/v) de la atmósfera terrestre. El nitrógeno forma parte de los ácidos nucleicos (ADN y ARN) y de las proteínas, moléculas esenciales para el desarrollo de la vida.

No obstante, su aprovechamiento por parte de la gran mayoría de los seres vivos depende de su disponibilidad en la naturaleza en formas asimilables, principalmente nitrógeno orgánico amoníaco y nitrato.

El nitrógeno de las aguas residuales urbanas procede principalmente del metabolismo de las proteínas en el cuerpo humano, que constituyen un grupo numeroso de compuestos nitrogenados naturales. Casi todas las proteínas del organismo están en una constante dinámica de síntesis a partir de aminoácidos y de degradación a nuevos aminoácidos. Esta actividad ocasiona una pérdida diaria neta de nitrógeno, en forma de urea, eliminada del organismo mediante la orina. El nitrógeno en las aguas residuales se puede encontrar en diferentes formas (N orgánico,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{NO}_3^-$ ) y en concentraciones variables, siendo las formas orgánica y amoniacal las que predominan en la mayoría de los casos en las aguas residuales urbanas. A la suma del nitrógeno asociado a los compuestos orgánicos y el que se encuentra en forma amoniacal se le denomina N Kjeldahl, y las formas de nitrito y nitrato se les conocen como N-Nítrico. Aproximadamente el 60% del nitrógeno presente en las aguas residuales urbanas se encuentra en forma orgánica, constituido principalmente por aminoácidos, proteínas y urea; mientras que el 40% restante se encuentra en forma inorgánica como amonio. En la Figura se encuentra esquematizado las diversas formas en las que se encuentra el nitrógeno en las aguas residuales. (pp. 25-31)

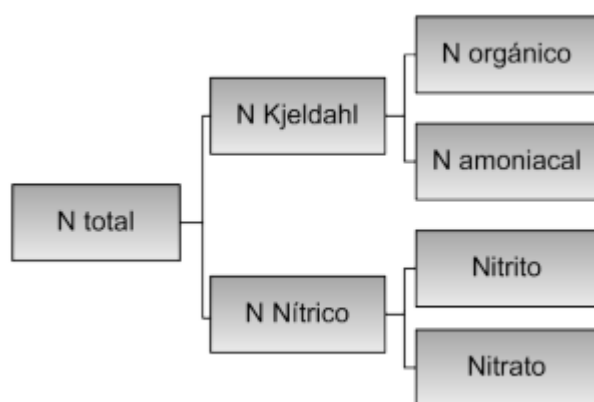


Figura 7. Formas en las que se encuentra el Nitrógeno en las aguas residuales.

Fuente: Claros Bedoya, 2012, p.31

#### **4. Monitorización y control de los procesos de tratamiento de aguas residuales.**

Para la implementación de este proyecto, se necesita hondar en el conocimiento sobre el control automático dentro de una PTAR y la importancia que ha adquirido con el paso del tiempo relacionada a la correcta operación de la planta, como también la vida útil de los equipos electromecánicos presentes.

De acuerdo con Claros Bedoya, Valencia (2012):

Actualmente, en el ámbito industrial se han desarrollado con éxito sistemas automáticos basados en diversos algoritmos de control. En estos sistemas, la producción se realiza mediante una maquinaria que responde a una serie de sensores y consignas que ayudan a reducir los márgenes de error, aumentar la productividad, elevar los estándares de calidad y reducir el impacto ambiental (Rodríguez y Berenguel, 2004).

Las tecnologías de instrumentación, control y automatización (ICA) permiten mejorar las condiciones de operación de los procesos a los que se aplican, y en el caso particular de una EDAR la aplicación de este tipo de tecnologías pretende conseguir una operación eficiente de la misma en lo que respecta al cumplimiento de los requisitos de vertido, minimizando los costes de operación. Por tanto, el diseño de un sistema de control se establece en base a los siguientes factores (Olsson et al., 2005).

- Los requisitos de vertido que vendrán impuestos por la legislación vigente y las características del medio acuático receptor (sensible o no) donde la EDAR vierta su efluente.
- Costes económicos representados principalmente por: consumo energético derivado del sistema de aireación y los equipos de bombeo en planta; consumo de reactivos en procesos tales como coagulación-floculación, eliminación de fósforo por vía química; tratamiento y disposición de fangos.

El control de procesos tiene como objetivo el diseño de algoritmos de control que consigan que el proceso sobre el que se aplican se comporte según unas pautas prefijadas. Para diseñar los algoritmos de control es necesario conocer el estado del proceso a controlar, esta información es obtenida a través de los instrumentos y técnicas de medida, que permitirán monitorizar el estado del proceso en cada instante de operación. La tecnología que se encarga de investigar y desarrollar estos equipos de medición es la

instrumentación. A su vez, el tipo de estructura de control que se puede aplicar sobre un proceso estará determinado por la instrumentación disponible. Finalmente, a través de la automatización, que consigue reducir la intervención humana, se diseñan los equipamientos necesarios para que las mediciones y las acciones de control sean realizadas por medio de sistemas electrónicos e informáticos. (p. 34)

De acuerdo con Rodríguez Mercado, (2013) un elemento de importancia para su evaluación dentro del proyecto son los conceptos de control expuestos en su tesis:

De acuerdo con Rodríguez y Berenguel (2004), podemos definir un sistema como "una combinación de elementos que actúan conjuntamente y cumplen un determinado objetivo. Controlar una variable consiste en mantener su valor dentro de unos límites deseados o preestablecidos. Por tanto, un sistema de control es aquél cuyo objetivo es mantener una o varias variables dentro de unos límites prefijados, con un comportamiento conocido. Cuando se desea controlar un proceso, éste se encuentra sujeto a perturbaciones que tienden a afectar el valor de salida de un sistema. Estas perturbaciones obligan a estar permanentemente observando el proceso y a actuar constantemente sobre el mismo para corregir las desviaciones que se produzcan. Esta misión es el principal objetivo de un sistema de control". Los sistemas de control pueden clasificarse como sistemas de bucle cerrado cuando este actúa en base a las señales de entrada que recibe y corrige errores o de bucle abierto el cual solo actúa en base a la señal de entrada, pero no corrige el error, un sistema de control por lo regular incorpora los siguientes elementos, medidor, controlador y actuadores.

El diseño de un sistema de control para un determinado proceso requiere conocer el comportamiento dinámico del mismo. Para ello hay que planear e implementar un modelo del sistema, que consiste en la descripción matemática de las relaciones dinámicas existentes entre las variables a controlar y las variables de entrada, tanto perturbaciones como variables de control. Disponiendo de un modelo dinámico se pueden analizar y evaluar tres cuestiones claves en el diseño de un sistema de control; emparejamiento de variables para formar lazos de control, límites de la acción de control y evaluación de la dificultad de control (signo y sensibilidad de la respuesta, velocidad de respuesta, forma de la respuesta y sensibilidad a cambios en el proceso).

#### **4.1 Clasificación de los sistemas de control:**

- **Sistema de control en bucle abierto.** La salida del sistema depende de la señal de entrada, pero el sistema no comprueba si la señal real de salida es igual a la señal deseada, lo que significa que el sistema es incapaz de corregir errores no esperados a la salida.
- **Sistema de control en bucle cerrado.** Se comprueba la señal de la salida y decide si el nivel de la señal real corresponde al de la señal deseada, o si el nivel real de la señal ha de ser modificado para conseguir el objetivo fijado. También se les conoce con el nombre de sistemas retroalimentados o realimentados.

Un sistema de control por lo regular incorpora para el control, medidores, controlador y actuadores:

**Medidores:** elementos que realizan una estimación del valor de la variable a controlar y las demás variables que necesite el controlador.

**Controlador:** elemento que examina la medida realizada, compara con el valor deseado y determina la acción a realizar de acuerdo con el algoritmo de control que posea.

**Actuadores:** elementos finales del bucle y que ejercen una influencia directa sobre el proceso y sobre la variable a controlar. Suministra los cambios necesarios para llevar la variable al punto de consigna.

## 4.2 Controladores Automáticos.

Un controlador automático compara el valor real de la salida de una planta con entrada de referencia (valor deseado), determina el error y produce una señal de control que reducirá el error a cero, o a un valor muy pequeño, sin necesidad de supervisión por parte de un humano. La forma por la que el controlador produce la señal de control, se denomina acción de control. Los procesos presentan tres características básicas que deben ser consideradas al automatizarlos:

- Cambios en la variable controlada debidos a alteraciones en las condiciones del proceso. Se pueden producir por dos razones: Cambios en la consigna o perturbaciones.
- Tiempo necesario para que la variable del proceso alcance un nuevo valor al ocurrir un cambio de carga. y

- Estabilidad. (pp. 10-13)

## **5. Controlador de bombas Gama ABS PC 441**

De acuerdo con SULZER (2020) en su página Web un elemento importante a investigar para el proyecto debido al estudio de su implementación en una estación de bombeo dentro de plantas de aguas residuales es:

El PC 441 es un controlador para 1 a 4 bombas, con capacidad de supervisión del estado de estas, diseñado principalmente para ser utilizado en estaciones de bombeo de aguas residuales municipales. El PC 441 tiene numerosas funciones avanzadas para reducir al máximo los costes de explotación de la estación de bombeo e incrementar su disponibilidad a lo largo de todo su ciclo de vida.

### **5.1 Ventajas**

- Puede utilizarse como unidad de monitorización independiente
- Puede conectarse a una pantalla gráfica TFT a color, CA 511, para proporcionar una interfaz de usuario completa con posibilidad de visualizar y configurar todos los parámetros
- Reduce los costes de explotación e incrementa la disponibilidad de la estación de bombeo.
- Puede conectarse a cualquier sistema SCADA (supervisión, control y adquisición de datos) o sistema de telemetría que soporte protocolos de comunicación Modbus o Comli.

### **5.2 Aplicaciones**

- Monitorización y control de estaciones de bombeo de aguas residuales municipales

- Visualización de alarmas, control manual de bombas y modificación de ajustes, bien localmente a través de la interfaz gráfica de usuario (CA 511) o mediante el software de programación AquaProg.
- El software de programación AquaProg puede utilizarse tanto para hacer los ajustes de los controladores como para almacenar copias de seguridad en el disco duro de alarmas, eventos y datos históricos.

Los usuarios pueden utilizar el PC 441 como una unidad de monitorización independiente. Y también pueden utilizar el software de configuración AquaProg en un PC conectado en local directamente a uno de los puertos de comunicación, o en remoto mediante un módem. Los ajustes tienen dos niveles de protección mediante contraseña para evitar cambios accidentales o no autorizados.

Para una monitorización más avanzada, pueden conectarse cinco tipos de módulos adicionales:

- CA 441: Módulo detector de humedad para la conexión de una alarma por bomba para hasta 4 bombas o 3 alarmas independientes para una misma bomba.
- CA 442: Módulo de vigilancia de temperatura para la conexión de 1 alarma por bomba, hasta 4 bombas o 4 alarmas independientes para una misma bomba y una entrada mA independiente para un sensor de vibración.
- CA 443: Módulo de medición y monitorización del suministro eléctrico para toda la estación y/o consumo eléctrico por bomba.
- CA 622: Módulo de comunicación para envío/recepción de información con periféricos vía interfaz RS 485 Modbus.
- CA 781: Módulo de expansión de salidas analógicas y digitales. (<https://www.sulzer.com>)



Figura 8. Controlador SULZER de la gama ABS modelo PC 441.

Fuente: Tomada de <https://www.sulzer.com>

## 6. Equipos de bombeo habituales en aguas residuales

Se deben conocer la variedad de equipos de bombeo sumergibles, utilizados habitualmente en plantas de tratamiento de aguas residuales, como también los equipos en específico que posee la PTAR Los Tajos y que se van a ver beneficiados si el proyecto eventualmente se llegara a implementar por Acueductos y Alcantarillados.

De acuerdo con la empresa GARGIL en su página web (<https://gargil.es> 2021) un elemento de importancia de la evaluación del rigor metodológico:

Las bombas sumergibles de aguas sucias están diseñadas para poder bombear líquidos que contengan partículas sólidas en su interior. Según el tipo de aguas a evacuar, se pueden dividir en dos Tipos de Bombas Sumergibles para aguas sucias.

### 6.1 Bombas de achique.

Estas bombas están pensadas para evacuar agua con sólidos de pequeño tamaño: tierra o piedrecitas que hayan podido arrastrar las aguas pluviales. Se utilizan para evacuar las aguas pluviales, aguas filtradas o para rebajar el nivel freático.

Visualmente se reconocen porque tienen una rejilla exterior en la parte inferior de la bomba. Esta rejilla hace de filtro para que no le entren partículas sólidas de gran tamaño, pues el paso de sólidos de sus rodetes es pequeño.

Sus conexiones suelen ser roscadas para acoplarle una manguera, aunque puede haberlas con brida si la bomba es grande.

Aquí podemos ver una imagen de una bomba de achique:



*Figura 9.* Bomba de achique.

*Fuente:* Tomada de <https://www.gargil.es>

Los materiales de construcción de la bomba pueden variar. Existen estas bombas preparadas para lidiar con aguas químicamente agresivas, siendo habitual utilizar bombas en plástico para ciertas aplicaciones como los fosos de los ascensores o trasiego de algún químico. (Pues el plástico es más resistente para esto que algunos metales).

Estas bombas pueden venir con un interruptor de flotador acoplado o ser gobernadas desde un cuadro.

## **6.2 Bombas de aguas residuales.**

Este tipo de bombas están pensadas para evacuar aguas con materia sólida en suspensión.

Según el tamaño y tipo de la materia que contengan las aguas, utilizaremos una bomba de un determinado paso de sólidos y un tipo de rodete determinado.

Estas bombas suelen estar construidas en hierro fundido, aunque pueden estar hechas en acero inoxidable o en bronce marino para aguas industriales o pozos con agua salina en zonas costeras. También es habitual que los fabricantes proporcionen la opción de

recubrimiento de la bomba en PVC o en cerámica líquida para protegerla contra agentes corrosivos y abrasivos.

Salvo algunos casos en bombas pequeñas estas bombas suelen instalarse por parejas e ir reguladas desde un cuadro de control para bombas de fecales.

A continuación, se puede observar la imagen de una bomba para agua residual:



*Figura 10.* Tipo de bomba utilizada en aguas residuales

*Fuente:* Tomada de <https://www.gargil.es>

Las bombas de aguas residuales llevan uno de estos 4 tipos de rodete o impulsor:

- **Rodete mono canal**

Los rodetes mono canal se utilizan para mover aguas sucias poco cargadas. Tienen un buen rendimiento, pero pueden atascarse si existen materias fibrosas en el agua a bombear.

Cuando los diámetros de descarga de la bomba son pequeños, se ponen en bombas de achique o para bombear aguas pluviales. Para el bombeo de aguas fecales intervienen cuando ya vamos a mover grandes cantidades de agua y tenemos un paso de sólidos grande.

Con el desgaste pierden estabilidad ya que la geometría del rodete no es simétrica.

- **Rodete Multicanal**

Los rodetes multicanal tienen una mejor estabilidad y comportamiento frente atascos que los mono - canal con un rendimiento parecido. Existen diferentes diseños siendo los más

extendidos los de dos, tres y cuatro canales. Generalmente en los catálogos de bombas se pueden encontrar denominados bi - canal (porque tienen dos canales) o simplemente multicanal.

- **Rodete Vortex**

Este tipo de rodete funciona creando un flujo que produce un vórtice en la carcasa de la bomba. Este vórtice aspira la materia prácticamente sin que entre contacto con el impulsor.

Este funcionamiento minimiza la posibilidad de bloqueo del impulsor además tolera muy bien el bombeo con sustancia abrasivas y con fibras. Sin embargo, tiene un mal rendimiento.

Se suelen poner para bombear aguas fecales o muy cargadas para bombas de tamaño pequeño y mediano. Cuando se requiere vehicular grandes caudales, se recurren a rodetes mono canal o multicanal para mejorar el rendimiento.

- **Hélices**

Las bombas sumergibles de hélice tienen un rodete similar a las hélices de un barco. Son las reinas en cuanto a la eficiencia, tienen un comportamiento frente atascos parecido a las mono - canal, pero muy poca resistencia. Se utilizan para mover grandes caudales de agua con muy poca o sin presencia de sólidos. (<https://gargil.es>)

Existen variados tipos de equipos de bombeo para aguas residuales que actualmente se consiguen en el mercado, de los cuales, como se ve en los ejemplos tomados de la empresa GARGIL localizada en Murcia, España, todos manejan una estructura y tipo similar, como se va a visualizar más adelante también cuando se analicen las generalidades de la bomba sumergible para aguas residuales Gama ABS XFP instalada en la PTAR Los tajos.

## **7. Bomba sumergible para aguas residuales Gama ABS XFP instaladas en la PTAR Los tajos.**

Las características técnicas basándose en el manual de Instrucciones de instalación, operación y mantenimiento de la empresa SULZER sobre la bomba sumergible instalada en la PTAR Los tajos, son de suma importancia para poder analizar más adelante su problemática

dentro de la planta. Es importante también conocer a este equipo desde el punto de vista del mantenimiento que necesita para operar correctamente y además de su despiece, esto para conocer los repuestos y partes de mayor desgaste en el equipo, ya que se verá más adelante como el departamento de mantenimiento de la PTAR Los Tajos actualmente ha tenido la necesidad de comprar varios de los repuestos para que la operatividad de los equipos sea lo más continua posible.

De acuerdo con el Manual de Instrucciones de instalación, operación y mantenimiento. (2014) varios elementos importantes a considerar de esta gama de bombas sumergibles:

Las bombas XFP han sido diseñadas para el bombeo económico y fiable de aguas residuales en instalaciones comerciales, industriales y municipales, el nivel de ruido máximo es de  $\leq 70$  dB. Este nivel puede llegar a sobrepasarse en determinadas circunstancias, y son idóneas para bombear los siguientes líquidos:

- Aguas limpias y residuales, con partículas sólidas o fibrosas.
- Aguas fecales.
- La temperatura máxima permitida del fluido bombeado es de 40 °C.

### **7.1 Comentarios sobre el uso de bombas antideflagrantes en zonas con riesgo de explosión.**

- Las bombas sumergibles antideflagrantes sólo deben funcionar con las sondas térmicas conectadas.
- La vigilancia de la temperatura de las bombas sumergibles antideflagrantes deben efectuarla sensores térmicos bimetálicos o termistores según DIN 44 081-150 conectados a un dispositivo de medición adecuado certificado de acuerdo con la norma CE 94/9/EC.
- Si se utilizan reguladores de nivel tipo boya, éstos deben ir conectados a un circuito eléctrico intrínsecamente seguro conforme al tipo de Protección EX (i) según norma VDE 0165.
- El desmontaje y la reparación de los motores sumergibles antideflagrantes sólo puede ser realizado por personal cualificado en talleres autorizados.

- En el caso de que la bomba vaya a trabajar en entornos de riesgo con variador de velocidad, póngase en contacto con Sulzer para obtener asesoramiento técnico en relación con las diferentes certificaciones y normas relativas a la protección contra sobrecarga térmica.
- Los motores antideflagrantes (Ex) únicamente pueden utilizarse, sin excepción, dentro de la frecuencia de red (de 50 a 60 Hz) indicada en la placa de características.

## 7.2 Placas de características

Las bombas XFP están diseñadas de serie en versión antideflagrante para su uso en ambientes potencialmente explosivos (Ex) y van provistas de una segunda placa de características que contiene los datos Ex (ver ilustraciones). Si el mantenimiento o reparación de una bomba XFP se realiza en un taller no autorizado, dicha bomba ya no podrá ser utilizada en ambientes potencialmente explosivos, quedando invalidada su certificación Ex por lo que, por consiguiente, deberá retirarse la placa Ex.

Recomendamos anotar los datos de la placa de características de la bomba en la siguiente reproducción de esta para que esta información se encuentre disponible en todo momento.

En todas las comunicaciones, mencione siempre el tipo de bomba, el número de artículo y el número de serie. (pp. 2-5)

Placa de características

<b>SULZER</b>		CE	xx/xxxx	IP 68
Typ				
Nr	Sn			
Un	In	Cos $\varphi$	n	Ph Hz
P1:				
P2:		Weight		
IEC 60034-30 IE3				
Qmax	Hmax			
DN	Hmin	Ø Imp		
Sulzer Pump Solutions Ireland Ltd.				
Wexford, Ireland.				
Made in Ireland	www.sulzer.com			

### Leyenda

Typ	Tipo de bomba	
Nr	Ref. artículo	
Sn	Núm. de serie	
xx/xxxx	Fecha de fabricación (semana/año)	
Un	Tensión nominal	V
In	Intensidad nominal	A
Ph	Número de fases	
Hz	Frecuencia	Hz
P1	Potencia de entrada nominal	kW
P2	Potencia de salida nominal	kW
n	Velocidad	r/min
Cos $\varphi$	Factor de potencia eléctrica	pf
Weight	Peso	kg
Qmax	Caudal máximo	m <sup>3</sup> /h
Hmax	Altura máxima	m
Hmin	Altura mínima	m
Ø Imp.	Diámetro del impulsor	mm
DN	Diámetro de descarga	mm

Placa Ex PE1 y PE2

Figura 11. Placa de características

### 7.3 Características generales de diseño

La XFP es una bomba sumergible para aguas residuales y servidas con un motor de eficiencia Premium. El motor estanco y encapsulado, totalmente sumergible, forma, junto con la sección de la bomba, una unidad modular robusta y compacta. (2014, pp.4-5)

#### Características de diseño PE1 & PE2

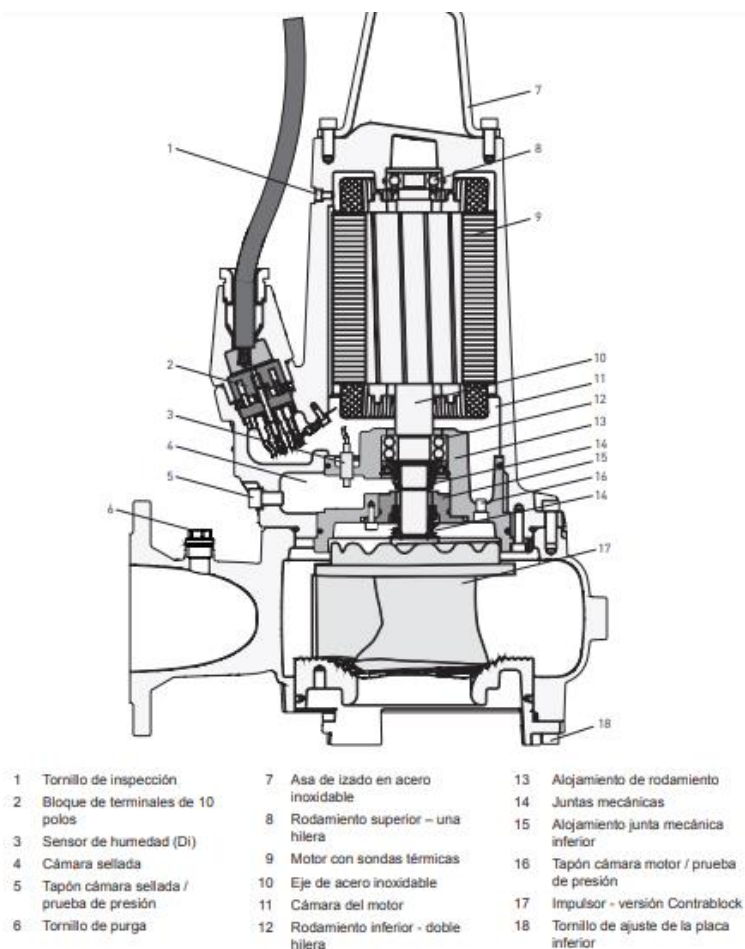


Figura 12. Características de diseño de las bombas instaladas en tanque de vaciados

Fuente: Manual SULZER, 2014, p.4

De acuerdo con el Manual de Instrucciones de instalación, operación y mantenimiento. (2014) podemos observar la configuración en la que se encuentra actualmente la bomba dentro de la PTAR Los Tajos.

## 7.4 Ejemplo de instalación, sumergida en pozo de hormigón.

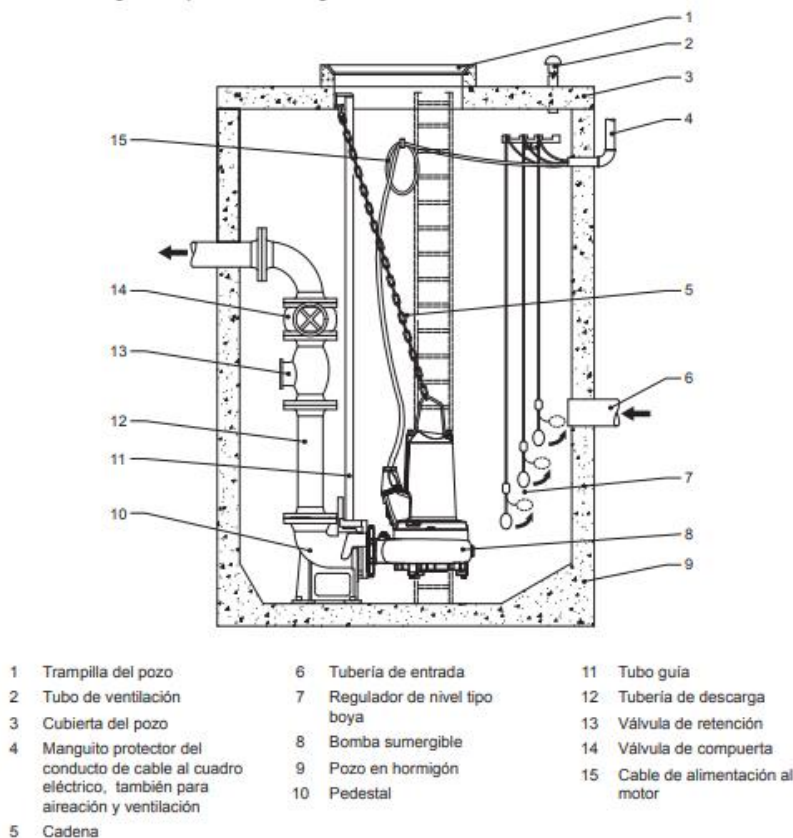


Figura 13. Ejemplo de instalación de bombas.

Fuente: Manual SULZER, 2014, p.10

De acuerdo con el Manual de Instrucciones de instalación, operación y mantenimiento. (2014), se puede conocer los instrumentos de seguridad que poseen estas bombas, y lo importante que es poder visualizar y llevar control de estos:

### Vigilancia de la temperatura

Las sondas térmicas en el bobinado del estátor protegen el motor de sobrecalentamiento.

Los motores XFP están equipados de serie con sensores térmicos bimetálicos o bien, como opción, con un termistor PTC (de acuerdo con la norma DIN 44082). Los PTC por relé que se utilicen en los cuadros eléctricos deben ajustarse también a esta norma.

### Vigilancia de la junta

Las bombas XFP se suministran de serie con un sensor de humedad (DI) para detectar y alertar de la entrada de agua en el motor y en las cámaras selladas (PE1 y PE2), o en el motor y en las cámaras secas (PE3). (p. 12)

De acuerdo con el Manual de Instrucciones de instalación, operación y mantenimiento. Sulzer (2014) para el ajuste de placa producido ya sea por desgaste en la misma o tiempo de uso, maniobra que realiza el departamento de mantenimiento muy a menudo por la problemática de arenas y sedimentos actual del tanque.

### **7.5 Ajuste de placa base (CB & CP)**

Durante la fabricación, la placa base se ajusta a la voluta estableciendo la distancia correcta entre el impulsor y la placa inferior (para un óptimo rendimiento el espacio máximo debe ser de 0,2 mm). (p. 20)

#### **Rodamientos y juntas mecánicas**

Las bombas XFP están equipadas con rodamientos de bolas con lubricación permanente. El sellado del eje se realiza por medio de juntas mecánicas dobles.

Una vez retirados, los rodamientos y las juntas mecánicas no pueden volver a utilizarse y deben sustituirse en un taller autorizado por piezas de repuesto Sulzer originales.

#### **Limpieza**

Si la bomba se utiliza en aplicaciones transportables, es necesario limpiarla después de cada uso haciendo que bombee agua limpia para, de esta manera, evitar la formación de depósitos de suciedad e incrustaciones. En instalaciones fijas, recomendamos verificar regularmente el sistema automático de regulación de nivel. Colocando el interruptor en “HAND”, se vaciará el pozo. Si se observan depósitos de suciedad en las boyas de nivel, proceda a limpiarlas. Posteriormente, enjuague bien la bomba con agua limpia y deje que se realicen varios ciclos de bombeo automático. (pp. 20-21)

De acuerdo con el Manual de Instrucciones de instalación, operación y mantenimiento. (2014) podemos observar la guía de averías que se puedan dar en estos equipos, que causa pudiera estar provocando esa avería, y que acción se puede tomar para solucionarla.

### **7.5 Guía de detección de averías y características:**

Fallo	Causa	Acción
La bomba no funciona	Detector de humedad desconectado.	Compruebe si está flojo o dañado el tapón de aceite o localice y reemplace la junta mecánica defectuosa / las juntas tóricas dañadas. Cambie el aceite. <sup>1)</sup>
	Anulación del control de nivel.	Compruebe si está defectuoso el interruptor de flotador o si está enredado y se ha quedado en la posición de apagado (OFF) en el pozo.
	Impulsor atascado.	Inspeccione y retire el objeto atascado. Verifique la holgura entre el impulsor y la placa inferior, y ajústelo si es necesario.
	Válvula de compuerta cerrada; válvula de retención bloqueada.	Abra la válvula de compuerta, elimine el bloqueo de la válvula de retención.
La bomba se enciende/apaga intermitentemente	Sonda térmica desconectada.	El motor volverá a arrancar automáticamente cuando la bomba se enfríe. Compruebe los ajustes del relé térmico en el panel de control. Compruebe si está bloqueado el impulsor. Si lo anterior no lo resuelve, se requiere inspección técnica. <sup>1)</sup>
Bajo caudal o altura	Sentido de giro erróneo.	Modifique el giro intercambiando dos fases del cable de suministro de alimentación.
	Demasiada holgura entre el impulsor y la placa inferior.	Reduzca la separación (véase la página 20).
	Válvula de compuerta parcialmente abierta.	Abra la válvula totalmente.
Exceso de ruido o vibración	Rodamiento defectuoso.	Reemplace el rodamiento. <sup>1)</sup>
	Impulsor atascado.	Retire y limpie la sección hidráulica.
	Sentido de giro erróneo.	Modifique el giro intercambiando dos fases del cable de suministro de alimentación.
Fallo en prueba de alta tensión	Agua dentro del motor.	Reemplace el estátor. <sup>1)</sup>
	Aislamiento del estátor dañado.	Reemplace el estátor. <sup>1)</sup>
	Cable de alimentación dañado.	Reemplace el cable de alimentación. <sup>1)</sup>
Fallo en prueba de resistencia	Fallo del estátor.	Reemplace el estátor. <sup>1)</sup>

Figura 14. Guía de detección de averías de bombas sumergibles presentes en tanque vaciados

Fuente: Manual SULZER, 2014, p.22

## 7.6 Especificaciones técnicas particulares

De acuerdo con la documentación adjunta por ACCIONA Agua en el manual de las bombas presentes en planta, se pueden visualizar las características específicas de estas instaladas en el pozo de vaciados

### CARACTERÍSTICAS

- Unidades	:	6
- Marca	:	SULZER
- Modelo	:	XFP80C-CB1.5-PE28/4-D*10
- Tipo	:	Centrífuga sumergible, alta eficiencia
- Fluido a bombear	:	Aguas residuales
- Temperatura del fluido	:	Ambiente
- Densidad del fluido	:	1 kg/dm <sup>3</sup>
- Viscosidad del fluido	:	1° E
- Caudal	:	35 m <sup>3</sup> /h
- Altura total de elevación	:	10,2 m.c.a.
- Instalación	:	Sumergible
- Velocidad de la bomba	:	1750 rpm
- Tipo de impulsor	:	CONTRABLOCK PLUS
- Diámetro del impulsor	:	170 mm
- Paso de sólidos	:	76 mm
- Rendimiento	:	60,04 %
- Potencia absorbida	:	2,8 kW (P2)
- Conexión impulsión	:	80 mm
- Tipo cierre	:	Doble junta mecánica independiente
- Punto de funcionamiento	:	A rodete medio
- Protección	:	Sonda de temperatura en bobinado y sonda de humedad en cámara de aceite
- Peso	:	97,5 kg
- NPSH bomba/instalación	:	1,49 m
- Normas a cumplir	:	EN 12050-1 Conforme criterios y requisitos del Instituto de Hidráulica de Estados Unidos
- Ensayos a incluir	:	Curva de operación Curvas desempeño Prueba vibración

*Figura 15.* Especificaciones técnicas particulares de las bombas instaladas en tanque vaciados.

*Fuente:* Manual SULZER, 2014, p.35 Documentación adjunta por ACCIONA.

## **8. Generalidades de agitadores de fondo.**

De acuerdo con Cárdenas y Cenicio (2018) en su trabajo de diseño, varios elementos de importancia para su evaluación dentro del proyecto son las características y tipos de agitadores existentes en la industria desde el punto de vista general, ya que el estudio realizado por los autores esta más enfocado a los agitadores verticales de tanque:

### **8.1 Clases de agitadores**

Los agitadores se dividen en dos clases muy importantes: los que dan como resultado un flujo axial y los que dan como resultado un flujo radial. Existen en la actualidad agitadores que también combinan ambos flujos, y trabajan con flujo axial y radial a la vez.

Los equipos mecánicos que existen en la actualidad son muy variados, comenzando desde una licuadora casera, hasta equipos más complejos como celdas de flotación en las industrias mineras. A continuación, se describe los agitadores más importantes.

### **Agitadores de hélice**

Un agitador de hélice es un agitador de flujo axial, que opera con velocidad elevada y se emplea para líquidos pocos viscosos. Los agitadores de hélice más pequeños giran a toda la velocidad del motor, unas 1150 o 1750 rpm; los mayores giran de 400 a 800 rpm. La dirección de la rotación se elige generalmente para impulsar el líquido a descender, y las corrientes de flujo que salen del impulsor continúan a través del líquido en una dirección determinada hasta que chocan con el fondo del tanque.



*Figura 16.* Agitador tipo hélice de tres aspas.

*Fuente:* Cárdenas y Cenicio, 2018, p.22

En la tabla se muestran las características principales de un agitador de hélice.

<b>Descripción</b>	Generalmente utilizan 3 alabes o paletas.
<b>Campo de flujo generado</b>	Axial
<b>Régimen alcanzado</b>	Turbulento
<b>Velocidad tangencial</b>	3 - 15 m/s
<b>Viscosidad del medio</b>	< 8 Pa s
<b>Aplicaciones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Homogenizar</li> <li>- Suspender</li> <li>- Favorece al intercambio de calor</li> </ul>

*Figura 17.* Características principales de agitador con hélice.

*Fuente:* Cárdenas y Cenicio, 2014, p.22

### **Agitadores de turbina**

El tipo de agitador tipo turbina se aplica en una amplia variedad de impulsores despreciando su diseño, tipo de flujo, o dirección de descarga.

El tipo de agitador turbina se define como un impulsor de aspas constantes en el plano vertical, estas aspas pueden variar de acuerdo con el grado de inclinación con el plano vertical, este ángulo generalmente es menor que 90° con respecto al plano vertical.

En la actualidad existen dos tipos de forma de turbina, la de flujo radial y axial con aspas planas, y la de aspas inclinadas. Todas las demás turbinas se basan en la configuración de éstas con algunas modificaciones para su mejora, y por lo general, el rendimiento de estas se ve afectado en una mínima parte.

Los agitadores tipo turbina trabajan a velocidades elevadas o medias, y las de tipo aspas pueden ser rectas, curvas o angulares. Todo esto depende mucho de la forma del tanque y la densidad del fluido. (pp. 22-23)

De acuerdo con SULZER (2022) en su página web, varios elementos de importancia para su evaluación dentro del proyecto ya que varios de sus equipos son utilizados dentro de la PTAR, son las características y tipos de agitadores sumergibles de los cuales la empresa actualmente miembro de SICOP y en contrato con el AyA, brinda al mercado. Además, se conoce y profundiza el agitador de fondo ideal para implementar en el pozo de vaciados de la planta de tratamiento Los Tajos, del cual se conocerán sus características:

### **Agitadores sumergibles**

Los agitadores sumergibles de alta eficiencia energética de Sulzer son idóneos para una gran variedad de aplicaciones en la industria y plantas de tratamiento municipales. Proporcionan la solución más adecuada para cada necesidad de agitación, mezcla, dilución y suspensión de sólidos en depuradoras municipales y en la industria.

## **8.2 Acelerador de corriente Gama ABS SB**

El acelerador de corriente de baja velocidad es de alta eficiencia energética para múltiples aplicaciones en plantas de tratamiento de aguas residuales. Gama estándar de aceleradores de baja velocidad de Sulzer; económicos y de fiable diseño.



*Figura 18.* Acelerador de corriente Gama ABS SB.

*Fuente:* <https://www.sulzer.com>

### **Ventajas**

- Diseño robusto y compacto.
- Puede utilizarse en depósitos de cualquier forma y tamaño.
- Diseño hidrodinámico para la formación de un flujo de líquido homogéneo.
- Motor optimizado para la agitación.
- Hélice con excelentes propiedades de autolimpieza que asegura un funcionamiento óptimo con bajo consumo energético.
- Pedestal de hormigón con un innovador sistema de acoplamiento que permite bajar y extraer el equipo sin necesidad de vaciar el depósito.
- El pedestal de hormigón absorbe las vibraciones de manera efectiva prolongando la vida útil del equipo.

### **Aplicaciones**

- Suspensión de fangos activados.

- Generación de flujo en canales de oxidación.

### **8.3 Acelerador de corriente Gama ABS XSB 900 a 2750**

La respuesta completa para la agitación sumergible a baja velocidad y con una alta eficiencia energética en una gran variedad de aplicaciones en la industria y en plantas de tratamiento municipales. Este equipo sumergible de baja velocidad está equipado con motores integrados IE3 Premium Efficiency con potencias de 1 a 7,5 kW (7,4 a 10,1 hp) para una suave recirculación y mezcla de fluidos.

- Diseñado para proporcionar una fiabilidad superior en aplicaciones de agitación exigentes.
- Hélice de alto rendimiento de patente propia que ofrece hasta un 20 % de mejora en eficiencia con respecto a diseños estándar.
- Pedestal de hormigón patentado diseñado para absorber las vibraciones de una manera efectiva y mejorar la fiabilidad.
- Sistema de acoplamiento patentado totalmente bloqueable que permite extraer y bajar fácilmente el equipo para su inspección sin necesidad de vaciar el depósito.
- Con funciones inteligentes, como el control de estanqueidad, para una toma de decisiones adecuada en mantenimiento preventivo.
- Los motores Premium Efficiency proporcionan un rendimiento excepcional en recirculación suave, así como en la mezcla de fluidos en plantas de tratamiento de aguas residuales y aplicaciones industriales.



Figura 19. Acelerador de corriente Gama ABS XSB 900 a 2750.

Fuente: <https://www.sulzer.com>

### **Ventajas**

- El más bajo consumo energético.
- Diseño estanco y compacto.
- Capaz de generar grandes empujes y un gran caudal en dirección axial.
- Hélices con efecto de autolimpieza que favorecen un funcionamiento libre de vibraciones.
- Gama completa para cubrir un mayor rango de caudales.
- Fiabilidad superior y larga vida útil.

### **Aplicaciones**

- Formación de un patrón de flujo de líquido homogéneo en grandes depósitos y aguas abiertas en aplicaciones de agitación y mezcla.
- Plantas de tratamiento de aguas residuales y aplicaciones industriales.

## **8.4 Agitador sumergible Gama ABS RW**

Compactos y versátiles agitadores sumergibles

RW la gama estándar de agitadores sumergibles de Sulzer. Estos agitadores sumergibles compactos y versátiles son idóneos para la agitación, mezcla, dilución y suspensión de sólidos en plantas depuradoras municipales, industriales y en la agricultura. Los agitadores RW pueden montarse en tubos guías y sistemas de elevación existentes sin modificaciones, amplia gama de soportes y adaptadores.



*Figura 20.* Agitador sumergible Gama ABS RW.

*Fuente:* <https://www.sulzer.com>

### **Ventajas**

- Diseño estanco y compacto.
- Reducción de los costes energéticos.
- Reducidos tiempos de agitación.
- Riesgo mínimo de sobrecarga del motor.
- Fácil instalación.
- Requiere poco espacio.

### **Aplicaciones**

- Aplicaciones de mezcla y agitación en plantas depuradoras e instalaciones industriales.
- Homogeneización de lodos con alta concentración de sólidos.

Cabe mencionar que los agitadores de Gama ABS XRW, son agitadores que actualmente son utilizados en procesos dentro de la PTAR Los Tajos, para homogeneizar lodos y en un depósito denominado tampón para deshidratar los lodos después de este almacenaje agitado.

### 8.5 Agitador sumergible Gama ABS XRW 210 a 900

De acuerdo con SULZER (2022) en su página web:

Agitadores sumergibles para el tratamiento de aguas residuales XRW gama premium de agitadores sumergibles de fiabilidad superior y con una excelente economía del ciclo de vida. Ofrecen la solución adecuada a cada necesidad de agitación en plantas depuradoras municipales, industriales y en la agricultura.



*Figura 21.* Agitador sumergible Gama ABS XRW 210 a 900.

*Fuente:* <https://www.sulzer.com>

#### **Ventajas**

- El consumo energético más bajo.
- Diseño estanco y compacto.
- Disponibilidad de versión completa en acero inoxidable.
- Reducción de los tiempos de agitación.
- Riesgo mínimo de sobrecarga del motor.
- Fiabilidad superior y larga vida útil.
- Fácil instalación.

- Requieren poco espacio.
- Opción: sistema de triple estanqueidad con doble cámara de aceite que refuerza la protección del motor para una seguridad total.

### Aplicaciones

- Aplicaciones de agitación y mezcla en plantas de tratamiento de aguas residuales e instalaciones industriales.
- Homogeneización de lodos con alta concentración de sólidos.

## 9. Opción de Agitador para proyecto en tanque vaciados de la PTAR Los Tajos

Dentro de la gama de equipos expuestos por la empresa SULZER, los cuales son distribuidos por ALSARA Technologies S.A. dentro del territorio nacional de Costa Rica, se puede encontrar y conocer una buena opción de agitador sumergible para el proyecto planteado, donde este agitador tiene capacidad de prevenir la formación de depósitos y costras flotantes en pozos de bombeo de dimensiones de hasta 5m de diámetro o 24m<sup>2</sup> de área de superficie de agua.

De acuerdo con SULZER (2022) en su catálogo y página web se logran ver las características principales del agitador sumergible Gama ABS RW 200 Y RW 280:



Figura 22. Una de las opciones para proyecto agitador RW 200-280

Fuente: Catálogo agitador RW Sulzer, 2021, p.5

### Diseño

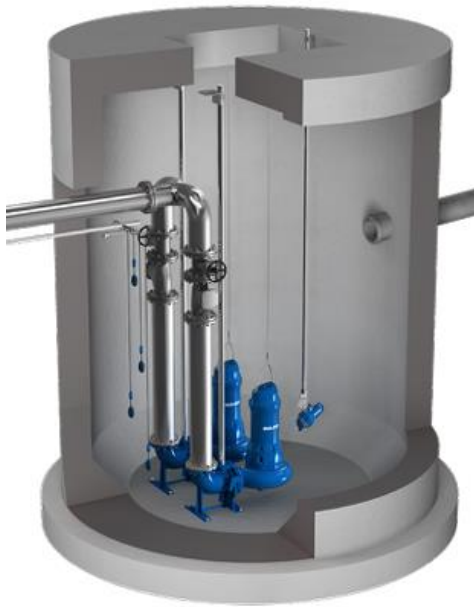
- Anillo deflector de sólidos patentado.
- Hélice diseñada para evitar bloqueos.
- Motores de 1,3 a 13 kW (1,7 - 17,5 CV).
- El RW 200 se utiliza principalmente en la agitación de pozos de bombeo
- Gran variedad de agitadores con accionamiento por engranaje, motores estándar o antideflagrantes.
- El soporte de Sulzer incluye documentación y software para calcular el dimensionamiento y diseño de cada instalación.

### **Características**

- Caudal de agitación máximo: 0,83 m<sup>3</sup>/s (14 600 US gpm)
- Diámetro máximo de la hélice: 650 mm (25,6 pulgadas)

De acuerdo con SULZER (2022) en su catálogo de agitadores sumergibles tipo ABS RW 200 – RW 650 se puede ver más a fondo la aplicación de este equipo y lo relacionado que esta con el proyecto planteado:

Los mezcladores RW 200 / RW 280 se utilizan principalmente para aplicaciones de mezcla en sumideros de bombas. La función de los mezcladores es mezclar completamente el contenido del sumidero antes de que las bombas se pongan en marcha, de modo que después de completar el bombeo solo quede una pequeña cantidad de depósito. Por lo tanto, se evita de forma eficaz el encharcamiento del sumidero de la bomba. En general, el funcionamiento de los mezcladores en el sumidero de la bomba se controla de la siguiente manera: El mezclador es operado por una unidad de control de nivel que lo enciende poco antes de que se enciendan las bombas. En general, un temporizador permite mezclar de 30 a 45 segundos antes de poner en marcha las bombas. Una unidad de control de nivel adicional apaga el mezclador mientras permanece la cobertura de la hélice de 30 a 40 cm.



*Figura 23.* Agitador en tanque circular.

*Fuente:* Catálogo agitador RW Sulzer, 2021, p.5

De acuerdo con SULZER (2022) en su catálogo de agitadores sumergibles tipo ABS RW 200 – RW 650 indica características importantes a conocer:

### **9.1 Beneficios de los RW 200 Y RW 280**

Prevención de depósitos y costras flotantes en los sumideros de las bombas, mantiene limpio el sumidero, limita la acumulación de sólidos y consecuentemente los atascos de las bombas. Servicio intermitente cuando se usa en combinación con las bombas, para reducir el consumo de energía. Eficiente motor trifásico, encapsulado estanco a la presión del agua. Tipo de protección IP 68, aislamiento del estator clase F (155°C). Eje del motor y rotor balanceados dinámicamente

- Diseño económico y confiable Sistema DI
- Monitoreo del sello e indicación de que se debe realizar una inspección Anillo de desviación de sólidos
- Protege el sello mecánico de daños debido a la entrada de sólidos o materia fibrosa Hidráulica optimizada, 2 cuchillas diseño de hélice de flujo axial que funciona a alta velocidad (4 polos)

- Fuerte flujo turbulento giratorio en dirección axial
- Altamente eficiente para la homogeneización de aguas residuales sin tratar y costras flotantes
- Asegura un alto rendimiento de mezcla
- Reduce el mantenimiento a través de TCS (Sistema de Control Termo) auto limpiante
- Proporciona una advertencia o apaga el motor automáticamente antes de que se exceda el límite de temperatura permisible, ya sea debido a la alta temperatura del medio u otra fuente de problemas
- Soporte de montaje versátil para instalación colgante
- Permite ajustar la orientación tanto vertical como horizontal del mezclador para eliminar los sedimentos de las zonas muertas del cárter húmedo
- La instalación colgante permite adaptar el mezclador en estaciones de bombeo críticas incluso cuando están en funcionamiento.
- La huella de instalación es mínima.

## 9.2 Depósitos rectangulares

Máx. tamaño:

- RW 200 = 3 x 5 m
- RW 280 = 4 x 6 m



Figura 24. Catálogo agitador RW Sulzer (2021, P.6)

Fuente: Catálogo agitador RW Sulzer, 2021, p.6

## **10.Pautas realizadas para el diseño.**

De acuerdo con GRUNDFOS en su Catálogo de Diseño para mezclado (2014), indica características importantes a conocer para el diseño de un sistema de agitación:

En términos generales, el concepto de mezcla se refiere mejorar la homogeneización de un fluido y partículas mezcla. Se requiere un conocimiento técnico considerable para resolver esto, comenzando con la mecánica de fluidos. Históricamente hablando, la tecnología de aplicación para la mezcla de varios fluidos y entre fluidos y sólidos se desarrolló por primera vez en el área de procesos industriales.

En la industria, la mezcla es una de las operaciones más básicas. Es fundamental, por ejemplo, para la fabricación de papel, productos químicos, farmacéuticos y mucho más.

La mezcla también es extremadamente importante en el tratamiento de aguas residuales y es una de las operaciones clave para la consecución de los objetivos del tratamiento. Los medios pueden variar mucho, al igual que el objetivo del proceso de mezcla. Por ejemplo, en las industrias químicas, la mezcla suele tratarse de obtener una mezcla homogénea en el líquido en el menor tiempo posible mientras que en algunos de las etapas del tratamiento de aguas residuales a las que se aplica la mezcla evitar la sedimentación con el mínimo consumo de energía.

Para cumplir con los requisitos provenientes de diferentes aplicaciones, los dispositivos de mezcla cada vez más avanzados fueron, y todavía lo son, siendo diseñados.

### **Breve reseña histórica:**

#### **10.1 De agitador a mezclador sumergible**

En el campo de los procesos industriales, el dispositivo mezclador ha sido concebido como conjunto de un motor convencional (no sumergido), una caja de cambios (cuando sea necesario), una disposición de acoplamiento, un eje y una o más hélices que pueden ser del tipo de flujo axial o de flujo radial.

En los pasos de tratamiento de aguas residuales, este tipo de dispositivos de mezcla llamados agitadores se han utilizado durante mucho tiempo.

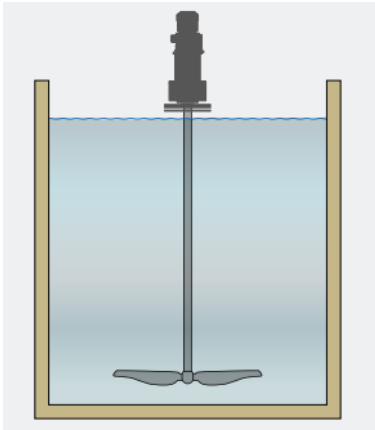


Figura 25. GRUNDFOS en su Catálogo de Diseño para mezclado.

Fuente: Catálogo de diseño para mezclado, 2014, p.9

Hoy en día, su aplicación se refiere principalmente a procesos específicos, por ejemplo, digestión anaeróbica de lodos, pesado homogeneización de lodos, difusión de productos químicos para lodos de espesamiento o para la neutralización de aguas residuales.

En las aplicaciones de tratamiento de aguas residuales, surgieron varios requisitos en relación con las necesidades del proceso de tratamiento y costos de operación, el cumplimiento de tales requisitos se logró utilizando un agitador sumergible, resultado del acoplamiento de un motor sumergible (con o sin reductor) con una hélice.

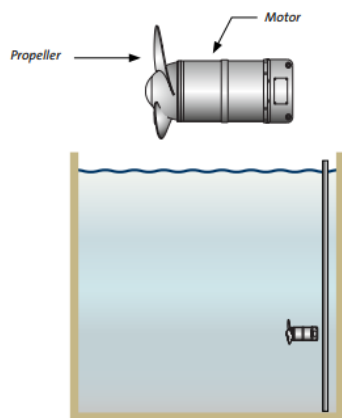


Figura 26. GRUNDFOS en su Catálogo de Diseño para mezclado.

Fuente: Catálogo de diseño para mezclado, 2014, p.9

## 10.2 Diferencias en los principales dispositivos de mezcla

Las diferencias entre los dos dispositivos de mezcla más comunes, agitadores y mezcladores sumergibles, presentan diferentes requisitos para aplicaciones en el proceso del tratamiento de aguas residuales:

### Ajuste libre vertical y horizontal

A diferencia de un agitador donde la posición de la hélice es fija, el mezclador sumergible se puede orientar vertical y horizontalmente de acuerdo con los requisitos del proceso, la geometría del tanque, la profundidad del agua, etc.

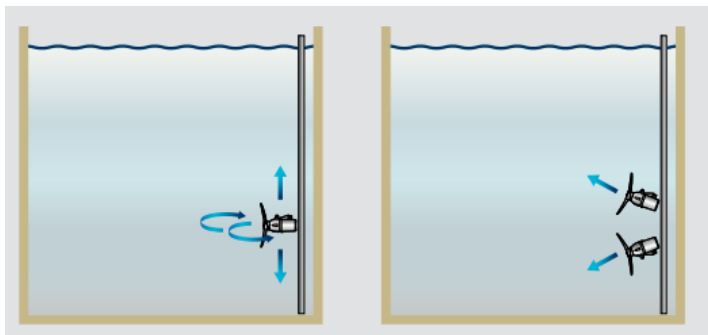


Figura 27. GRUNDFOS en su Catálogo de Diseño para mezclado.

Fuente: Catálogo de diseño para mezclado, 2014, p.13

### Generación de mezcla de flujo a granel altamente eficiente

Mientras que la hélice de un agitador genera una alta concentración de fuerza con una distribución desigual de la velocidad en el volumen de agua y el grado de agitación es medida con referencia a la velocidad de la superficie del agua, el mezclador sumergible genera un flujo masivo que involucra dinámicamente todo el volumen de fluido.

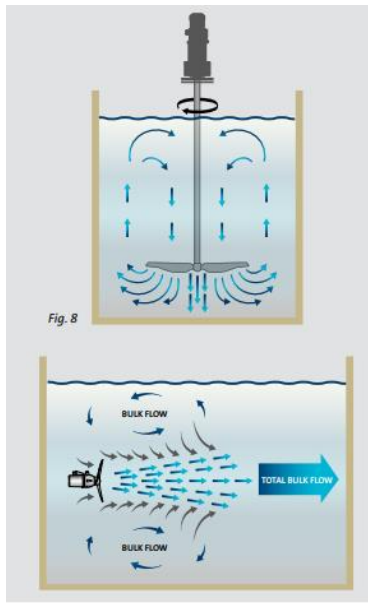


Figura 28. GRUNDFOS tipos de flujos.

Fuente: Catálogo de diseño para mezclado, 2014, p.13

### Silencio

El motor externo/caja de cambios de un agitador es una fuente de ruido mientras que el mezclador sumergible es silencioso, porque está sumergido.

### 10.3 Facilidad y rapidez de las operaciones de mantenimiento

Cualquier operación de mantenimiento, ya sea programado o extraordinario, requiere el desmontaje de uno o más componentes como el motor/caja de cambios, el acoplamiento, el eje o la hélice, y el tiempo necesario para el desmontaje, mantenimiento y volver a montar es alto. El mezclador sumergible puede ser removido, mantenido y reinstalado rápidamente en mucho menos tiempo que un agitador vertical. Por último, pero no menos importante, es más fácil de transportar al taller.

#### Reducción de costes de mantenimiento

Esta es una consecuencia obvia del fácil y rápido mantenimiento descrito anteriormente (pp.8-13).

De acuerdo con GRUNDFROS en su Catálogo de Diseño para mezclado (2014), indica los parámetros y formulas necesarios para diseñar un agitador de fondo:

## 10.4 Parámetros fundamentales en el proceso de mezcla

Los parámetros fundamentales caracterizan la mezcla en el proceso y estos son, por ejemplo:

- Poder
- Caudal
- Esfuerzo cortante
- Empuje

Para un volumen de tanque dado a mezclar, el flujo generado por el dispositivo de mezcla tiene que involucrar tanto como sea posible el líquido volumen, es decir, el flujo a granel. En otras palabras, el flujo total patrón configurado en el tanque generado por el mezclador o el acelerador de corriente tiene que implicar el máximo volumen posible.

Esto asegura la mejor distribución posible de velocidades y de los esfuerzos cortantes en el volumen de agua.

### Que tienen en común los mezcladores y las bombas

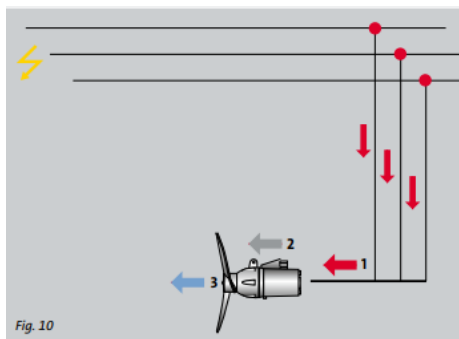


Figura 29. GRUNDFOS Parámetros fundamentales en el proceso de mezcla.

Fuente: Catálogo de diseño para mezclado, 2014, p.14

Cuando se considera la absorción de energía y el uso de energía, el comportamiento de un mezclador es bastante similar al de una bomba porque:

- La energía eléctrica se extrae de la red
- La energía se transforma de eléctrica (1) a mecánica (2)

- La energía se transforma de mecánica a hidráulica (3)
- Esta energía se transfiere al volumen líquido para, en este caso, el propósito de mezclar mientras que en el caso de una bomba el propósito es elevarlo a un cierto nivel mirando el balance de energía (potencial más cinético).

### Un mezclador se diferencia de una bomba porque:

- La cabeza hidrostática  $h$  (geodésica para una bomba) es casi cero.
- La cabeza cinética  $v^2/2g$  (o energía cinética) es dominante en el balance de energía.

Si consideramos la velocidad promedio del líquido  $v_1$  en la sección 1 hacia arriba corriente del mezclador y velocidad promedio del líquido  $v_2$  en la sección 2 aguas abajo del mezclador y aplique la ecuación de Bernoulli (principio de conservación de energía) para líquidos reales e ignore las pérdidas, da la potencia del eje se transforma teóricamente en energía cinética y transferido al líquido, como se muestra en la figura:

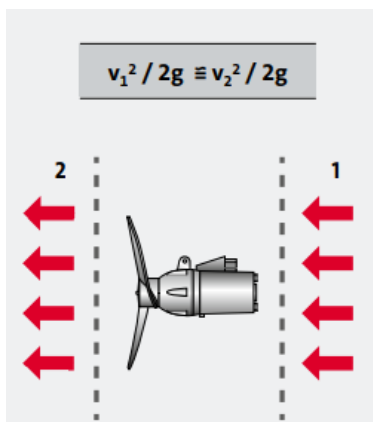


Figura 30. GRUNDFOS Diferencia entre un agitador y una bomba.

Fuente: Catálogo de diseño para mezclado, 2014, p.15

### El poder y la cabeza

En cuanto a una bomba, existe una relación proporcional entre la energía  $P$ , el flujo  $q$  y la cabeza  $H$  (aquí la cabeza dinámica o esfuerzo cortante) para un dispositivo de mezcla sumergible:

$$P \propto qH$$

Formula 1.

La energía transferida desde la red a través de la mezcla producida por el dispositivo (ver figura) al agua resultará en flujo  $q$  y carga dinámica (o esfuerzo cortante)  $H$ . Parte de la voluntad de energía por supuesto, se disipará como pérdidas de calor.

Alta eficiencia de mezcla en homogeneización mezcla y sólidos la suspensión provendrá de la transferencia de energía más efectiva y su transformación a caudal y cabeza dinámica.

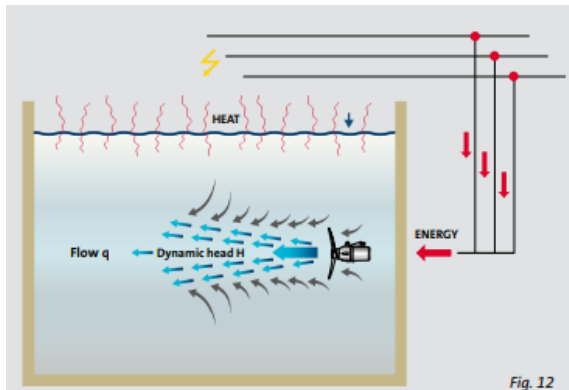


Figura 31. GRUNDFOS El poder y la cabeza.

Fuente: Catálogo de diseño para mezclado, 2014, p.15

La expresión de proporcionalidad antes mencionada entre  $P$  y  $q$   $H$  conduce a la expresión del llamado Número de Potencia  $N_p$ , que se define en la página 22.

El caudal  $q$  se puede considerar  $\propto n \times D^3$  como  $q = \text{velocidad} \times \text{sección transversal } A$ , por tanto,  $n \times D \times D^2 = n \times D^3$ , donde  $n$  es la velocidad en rpm y  $D$  el diámetro de la hélice.

La cabeza dinámica  $H$  es  $\propto v^2$ , por lo tanto,  $H$  es  $\propto n^2 \times D^2$

La potencia  $P$  es entonces  $\propto n \times D^3 \times n^2 \times D = n^3 \times D^5$  y más precisamente:

$P = N_p \times n^3 \times D \times \rho$ , donde  $N_p$  son las dimensiones del número de potencia que conecta la fuerza de resistencia a la fuerza de inercia. Para potencia, se dan las siguientes expresiones diferentes para un mezclador sumergible (ver figura 13):

- $P_1$  nominal = consumo máximo de energía para el motor dado
- $P_1$  real = potencia absorbida en el punto de trabajo dado
- $P_2$  nominal = potencia en el eje (potencia nominal)
- $P_2$  real = potencia en el eje en el punto de trabajo dado
- $P_p$  = potencia de salida de la hélice en el punto de trabajo dado

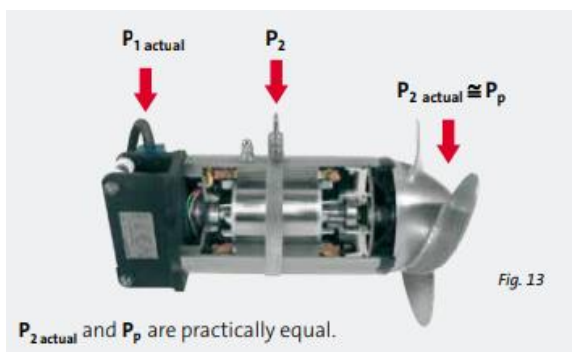


Figura 32. GRUNDFOS Potencias.

Fuente: Catálogo de diseño para mezclado, 2014, p.16

## 10.5 Número de Reynolds y Número de Poder

También hay que tener en cuenta los números adimensionales importantes en la mezcla, y estos incluyen el número de Reynolds y Número de poder.

Reynolds postuló en un experimento en 1883 un número adimensional para determinar si un flujo es laminar o turbulento.



Figura 33. GRUNDFOS Numero de Reynolds y numero de poder.

Fuente: Catálogo de diseño para mezclado, 2014, p.22

Reynolds usó un tubo de vidrio donde se podía regular el flujo de agua y se inyectó colorante a través de una boquilla (ver figura 22). Cuando el tinte fluyó a través de la tubería en línea recta, el flujo era lo que se llama laminar. El flujo se incrementó gradualmente y en cierto punto el patrón de flujo de tinte cambió dramáticamente, el flujo primero se vuelve transitorio y luego turbulento.

Para representar la dinámica del experimento, Reynolds definió un número adimensional usando la relación entre la inercia y las fuerzas viscosas. Este número  $Re$  se denominó número de Reynolds.

Este número viene dado por:

$$R_e = \rho UL/\mu = UL/\nu$$

Formula 2.

donde:

- $U$  = la velocidad media del fluido [m/s]
- $\mu$  = viscosidad dinámica [N x s/m<sup>2</sup>]
- $\nu$  = viscosidad cinemática [m<sup>2</sup>/s]
- $\rho$  = densidad del fluido [N x s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>]
- $L$  = longitud característica [m]

### Requisitos para una configuración hidrodinámica óptima

La configuración hidrodinámica generada por la mezcla de la unidad resulta del diseño de la hélice, la geometría del tanque y el volumen a mezclar, las características del líquido a mezclar y el posicionamiento del equipo de mezcla. Estas se miran a continuación.

El diseño de la hélice, el número de palas, el perfil de la pala, el paso y la velocidad influirá en el volumen de agua bombeado por la hélice, el volumen inducido, los patrones hidráulicos de generación y la formación de flujo a granel.

Diferentes modelos de agitadores sumergibles con diferente número de palas y diferentes perfiles de pala han sido diseñados y disponibles en el mercado, como se muestra en la figura 24



Figura 34. GRUNDFOS Diseños de hélices.

Fuente: Catálogo de diseño para mezclado, 2014, p.24

## 10.6 La geometría del tanque y el volumen a mezclar.

La geometría del tanque puede influir significativamente en la configuración hidrodinámica, en particular con respecto a la presencia de esquinas en tanques cuadrados y rectangulares (ver figura 25) u obstáculos tales como columnas que soportan techos en tanques techados. La principal consecuencia es la generación de pérdidas hidráulicas y por lo tanto desperdiciar la energía transferida desde la hélice al volumen líquido.

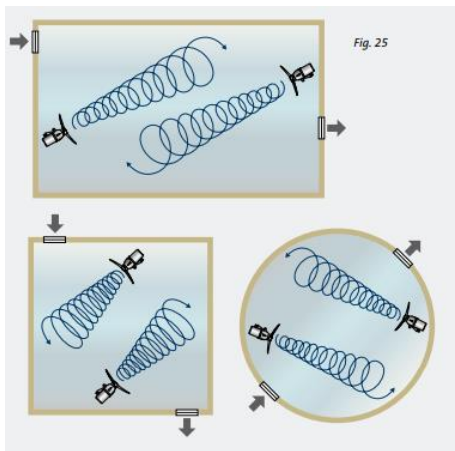


Figura 35. GRUNDFOS Geometría de tanque y volumen.

Fuente: Catálogo de diseño para mezclado, 2014, p.24

Esto puede dar como resultado una mayor potencia de absorción requerida para lograr los propósitos de mezcla.

Para una hidráulica óptima, la configuración ideal del tanque con pérdidas mínimas y mayor rendimiento de mezcla es la de un tanque circular con un diámetro  $D$  y una profundidad de agua de alrededor de  $0,7 D$ .

Sin embargo, en aplicaciones prácticas, el riesgo de formación de vórtices centrales y una distribución desigual significativa de las velocidades puede requerir la instalación de deflectores, a pesar de la posición correcta del mezclador. (pp. 13-24)

## 10.7 Tiempo medio entre fallos y tiempo medio de reparación (MTBF Y MTTR)

De acuerdo con la información recopilada de Emaint en su página web (<https://www.emaint.com/es/mtbf-mttf-mttr-maintenance-kpis/> 2022) un elemento de importancia para el análisis de los equipos instalados en el pozo de vaciados de la planta de tratamiento, utilizando los fallos y tiempos de funcionamiento, se pueden obtener los siguientes indicadores KPI de mantenimiento que se explican a continuación:

### **¿Qué es el tiempo medio entre fallos (MTBF)?**

Todas las máquinas acaban fallando. El tiempo medio entre fallos (MTBF) representa el tiempo esperado entre dos fallos para un sistema reparable. En pocas palabras, el MTBF predice el tiempo que un equipo funciona sin interrupciones. El MTBF es uno de los KPI de mantenimiento más eficaces para analizar la fiabilidad de los activos y prever su rendimiento futuro. Por lo tanto, el objetivo es tratar de mantener el MTBF lo más alto posible haciendo que el sistema sea más fiable.

### **Ventajas del seguimiento del MTBF:**

- Optimizar la programación del mantenimiento preventivo
- Predecir la frecuencia de los fallos durante la producción
- Permite estimar cuándo un activo puede fallar o necesita ser reemplazado
- Mejorar el inventario y la disponibilidad de las piezas

### **¿Cómo se calcula el MTBF?**

Se puede calcular el MTBF tomando el tiempo total de funcionamiento de una máquina (optime) y dividiéndolo por el número de averías durante ese mismo periodo.

$MTBF = \text{Tiempo total de funcionamiento} \div \text{número de fallos.}$

De acuerdo con la información recopilada de Emaint en su página web (<https://www.emaint.com/es/mtbf-mttf-mttr-maintenance-kpis/> 2022) para el análisis del MTTR:

### **¿Qué es el tiempo medio de reparación (MTTR)?**

El tiempo medio de reparación (MTTR) mide la capacidad de mantenimiento de las máquinas y componentes reparables. Calcula el tiempo medio para reparar un activo averiado, incluyendo el tiempo que se tarda en probar y diagnosticar. El MTTR puede ayudar a los responsables de la fiabilidad a ver cuánto tiempo tardan los técnicos en reparar una máquina específica y a examinar por qué una reparación concreta lleva más

tiempo del esperado. El objetivo es mantener el MTTR lo más corto posible para reducir el tiempo de inactividad de los equipos.

Las operaciones de mantenimiento pueden reducir el MTTR analizando sus métricas de mantenimiento y sus procesos de reparación para determinar dónde y cómo reducir los tiempos de reparación y optimizar el proceso estandarizando las tareas de mantenimiento preventivo.

### **¿Cómo se calcula el MTTR?**

Calcule el tiempo medio de reparación sumando el tiempo empleado en una reparación dividido por el número de reparaciones.

$MTTR = \text{Tiempo total dedicado a las reparaciones} \div \text{número de reparaciones}$

### **Ventajas del seguimiento del MTTR**

Comprender la capacidad de reacción de la operación ante los fallos

Identificar los casos frecuentes de reparación y planificar en consecuencia

Medir con respecto al MTTR anterior para acortar el tiempo de inactividad

Para poder calcular estas variables en los equipos de bombeo instalados en el pozo de vaciados se utilizó un analizador de energía FLUKE modelo 438-II, para saber con exactitud el tiempo de funcionamiento de las bombas, esto durante veinticuatro horas, para cada una de las tres bombas que están en funcionamiento automático dentro del tanque. Para el número de fallos los datos fueron tomados del sistema SCADA presente en la planta, además se toma el tiempo de duración de la atención de fallas según datos del departamento de mantenimiento y SCADA esto para el análisis del MTTR.

De acuerdo con la información recopilada de la página [Fluke.com/es-cr/productos](http://Fluke.com/es-cr/productos) se pueden ver las características principales del analizador de energía utilizado en el estudio de los equipos sumergidos en el tanque de vaciados.

## **10.8 Analizador de motor y de calidad eléctrica Fluke 438-II**

### **Características principales**

El analizador de calidad eléctrica y motores Fluke 438-II le ayuda a evaluar de un modo eficaz el rendimiento eléctrico y mecánico simplemente conectando la tensión y midiendo la corriente, proporcionándole así un nivel de información sin precedentes.

- Proporciona parámetros clave para el análisis del motor, como la velocidad, el par y la potencia mecánica, y calcula la eficiencia del motor sin sensores mecánicos.
- Incluye funcionalidad completa de análisis de calidad eléctrica y de energía
- Cuenta con la clasificación de seguridad más alta de la industria: 1000 V CAT III / 600 V CAT IV.

**Otras características útiles:**

- Calcula la potencia y la eficiencia mecánica sin sensores mecánicos Solo tiene que conectar los conductores de entrada
- Mide parámetros de potencia eléctrica como tensión, corriente, potencia, potencia aparente, factor de potencia, distorsión armónica y desequilibrio para identificar características que afectan a la eficiencia del motor
- Puede identificar problemas de calidad eléctrica como caídas, subidas, transitorios, armónicos y desequilibrios
- Utiliza la captura de datos PowerWave para capturar rápidamente datos de verdadero valor eficaz y mostrar medios ciclos y formas de onda para caracterizar la dinámica de los sistemas eléctricos (arranque de generadores, conmutaciones en SAI, etc.)
- Ofrece la función de captura de forma de onda para capturar ciclos de 100/120 ciclos (50/60 Hz) de los eventos detectados en todos los modos sin necesidad de configuración
- Utiliza el modo de transitorio automático para capturar datos de forma de onda a 200 kS/s en todas las fases y de forma simultánea hasta 6 kV
- Calcula automáticamente el factor de desclasificación del motor según las directrices de NEMA/IEC.



Figura 36. Analizador de energía FLUKE 438-II.

Fuente: <https://www.fluke.com>

## 11. Definiciones sobre análisis financiero.

De acuerdo con Economipedia.com (2022) se pueden identificar y explicar conceptos importantes a la hora de realizar un estudio financiero.

### 11.1 Finanzas públicas

Es decir, esta rama de las finanzas se centra en dos frentes que son competencia del Gobierno: la recaudación de impuestos y el gasto público. Dependiendo de ambos, se puede generar un déficit o superávit públicos. Si hay superávit fiscal tendremos ahorro público. Por el contrario, si existe déficit, aumentará la deuda pública.

Las finanzas públicas deben tener como uno de sus objetivos principales un presupuesto público sostenible en el tiempo. Es decir, no debería generarse una deuda pública que en el largo plazo obligue, por ejemplo, a elevar impuestos o a recortar beneficios a los ciudadanos.

En ese sentido, parte de las tareas de las finanzas públicas es definir las herramientas de financiamiento del Estado. Se puede optar, por ejemplo, por la emisión de bonos soberanos.

## **11.2 Ingreso público**

Por un lado, el Gobierno debe gestionar la recaudación de impuestos, tratando de establecer un sistema con equidad impositiva. Es decir, se debe tratar al contribuyente en función a su situación económica.

Para definir el sistema tributario se debe tomar en cuenta que una elevada carga tributaria puede incentivar a que los ciudadanos realicen sus actividades económicas en la informalidad. Esto, para evitar el pago de altos impuestos.

## **11.3 Gasto público**

Por otro lado, las finanzas públicas también se encargan de la definición del presupuesto estatal. Este debe buscar satisfacer, en principio, las necesidades básicas de todos los ciudadanos, como salud, educación y seguridad.

Asimismo, el Estado debe promover proyectos de inversión que eleven la productividad del país en el largo plazo. Esto se da, por ejemplo, con el desarrollo de infraestructura y con la inversión en innovación.

Debe tomarse en cuenta además que los ciudadanos se verán más incentivados a pagar impuestos si perciben que el Estado usa los recursos recaudados en beneficio de la población.

El Gobierno debe tomar entonces todo esto en consideración en la estructuración del presupuesto estatal, que usualmente se hace cada año. Aunque también se pueden desarrollar planes de periodos más largos, como quinquenales.

## **11.4 Tasa Interna de Retorno. (TIR)**

La tasa interna de retorno (TIR) es la rentabilidad que ofrece una inversión. Es decir, es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto.

Es una medida utilizada en la evaluación de proyectos de inversión para comprobar la viabilidad de una inversión. Permite comparar inversiones entre ellas. Cuanto mayor sea la TIR mejor será la inversión.

Está muy relacionada con el valor actualizado neto (VAN). De hecho, la TIR también se define como el valor de la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero, para un proyecto de inversión dado.

La tasa interna de retorno (TIR) nos da una medida relativa de la rentabilidad, es decir, va a venir expresada en tanto por ciento. El principal problema radica en su cálculo, ya que el número de periodos dará el orden de la ecuación a resolver. Para resolver este problema se puede acudir a diversas aproximaciones, utilizar una calculadora financiera o un programa informático.

A la hora de valorar la viabilidad un proyecto de inversión es importante tener en cuenta la tasa de descuento de ese proyecto. Si la tasa de descuento es superior a la TIR, el proyecto no es viable, porque nos cuesta más financiar el proyecto que lo que obtenemos a largo plazo por la inversión, una vez descontados los pagos futuros a su valor presente. Por ejemplo, si la TIR resulta igual al 3%, pero la tasa de descuento es del 5%, el proyecto no será viable.

### ¿Cómo se calcula la TIR?

También se puede definir basándonos en su cálculo, la TIR es la tasa de descuento que iguala, en el momento inicial, la corriente futura de cobros con la de pagos, generando un VAN igual a cero:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1 + TIR)} + \frac{F_2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1 + TIR)^n} = 0$$

*Formula 3.*

Donde:

**F<sub>t</sub>** son los flujos de dinero en cada periodo t

**I<sub>0</sub>** es la inversión que se realiza en el momento inicial (t = 0)

**n** es el número de períodos de tiempo

## 11.5 Criterio de selección de proyectos según la Tasa interna de retorno

El criterio de selección será el siguiente donde “k” es la tasa de descuento de flujos elegida para el cálculo del VAN:

- Si  $TIR > k$ , el proyecto de inversión será aceptado. En este caso, la tasa de rendimiento interno que obtenemos es superior a la tasa mínima de rentabilidad exigida a la inversión.
- Si  $TIR = k$ , estaríamos en una situación similar a la que se producía cuando el VAN era igual a cero. En esta situación, la inversión podrá llevarse a cabo si mejora la posición competitiva de la empresa y no hay alternativas más favorables.
- Si  $TIR < k$ , el proyecto debe rechazarse. No se alcanza la rentabilidad mínima que le pedimos a la inversión.

### Representación gráfica de la TIR

Como hemos comentado anteriormente, la Tasa Interna de Retorno es el punto en el cual el VAN es cero. Por lo que si dibujamos en un gráfico el VAN de una inversión en el eje de ordenadas y una tasa de descuento (rentabilidad) en el eje de abscisas, la inversión será una curva descendente. El TIR será el punto donde esa inversión cruce el eje de abscisas, que es el lugar donde el VAN es igual a cero:

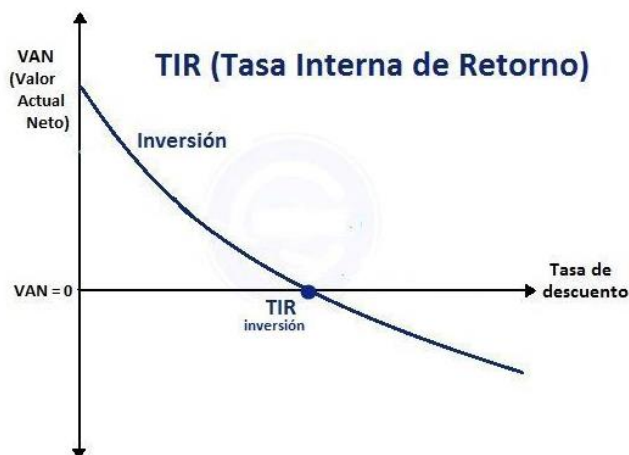


Figura 37. Gráfica Tasa Interna de Retorno

### **Inconvenientes de la Tasa interna de retorno**

Es muy útil para evaluar proyectos de inversión ya que nos dice la rentabilidad de dicho proyecto, sin embargo, tiene algunos inconvenientes:

**Hipótesis de reinversión de los flujos intermedios de caja:** supone que los flujos netos de caja positivos son reinvertidos a “ $r$ ” y que los flujos netos de caja negativos son financiados a “ $r$ ”.

**La inconsistencia de la TIR:** no garantiza asignar una rentabilidad a todos los proyectos de inversión y existen soluciones (resultados) matemáticos que no tienen sentido económico:

- Proyectos con varias  $r$  reales y positivas.
- Proyectos con ninguna  $r$  con sentido económico.

## **11.6 Tasa de descuento**

La tasa de descuento es el coste de capital que se aplica para determinar el valor presente de un pago futuro.

La tasa de descuento es muy utilizada a la hora de evaluar proyectos de inversión. Nos indica cuánto vale ahora el dinero que recibiremos en una fecha posterior.

Cabe precisar que la tasa de interés sirve para aumentar el valor (o añadir intereses) en el dinero actual. La tasa de descuento, por el contrario, resta valor al dinero futuro cuando se traslada al presente, al menos que sea negativa. En caso de que la tasa de descuento fuera negativa, se entendería que, contrario a lo que indica la teoría, el dinero futuro vale más que el actual.

Salvo situaciones excepcionales, la tasa de descuento es positiva porque, aunque exista la promesa de recibir dinero en el futuro, no hay certeza total de que eso sucederá. Esto es porque puede surgir algún problema por parte de quien hará el pago. Por esa razón, cuánto más lejano está el dinero que vamos a recibir, menos valdrá en el presente.

### **Relación de la tasa de descuento y los tipos de interés**

La tasa de descuento es muy útil para conocer cuánto vale el dinero del futuro en la actualidad. Su relación con los tipos de interés es la siguiente:

$$d = i / (1 + i)$$

Siendo «d» la tasa de descuento e «i» los tipos de interés.

La tasa de descuento permite calcular el valor actual neto (VAN) de una inversión y así determinar si un proyecto es rentable o no. A su vez, también permite saber la tasa interna de rendimiento o TIR, que es el tipo de descuento que hace que el VAN sea igual a cero.

### 11.7 Valor actual neto (VAN)

El valor actual neto (VAN) es un criterio de inversión que consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto o inversión para conocer cuánto se va a ganar o perder con esa inversión. También se conoce como valor neto actual (VNA), valor actualizado neto o valor presente neto (VPN).

Para ello trae todos los flujos de caja al momento presente descontándolos a un tipo de interés determinado. El VAN va a expresar una medida de rentabilidad del proyecto en términos absolutos netos, es decir, en número de unidades monetarias. (euros, dólares, pesos, etc.)

#### Fórmula del valor actual neto (VAN)

Se utiliza para la valoración de distintas opciones de inversión. Ya que calculando el VAN de distintas inversiones vamos a conocer con cuál de ellas vamos a obtener una mayor ganancia.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+k)} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+k)^n}$$

*Formula 4.*

Donde:

**F<sub>t</sub>** son los flujos de dinero en cada período t

**I<sub>0</sub>** es la inversión realiza en el momento inicial (t = 0)

**n** es el número de períodos de tiempo

**k** es el tipo de descuento o tipo de interés exigido a la inversión

El VAN sirve para generar dos tipos de decisiones: en primer lugar, ver si las inversiones son efectúales y, en segundo lugar, ver qué inversión es mejor que otra en términos absolutos. Los criterios de decisión van a ser los siguientes:

$VAN > 0$ : El valor actualizado de los cobros y pagos futuros de la inversión, a la tasa de descuento elegida generará beneficios.

$VAN = 0$ : El proyecto de inversión no generará ni beneficios ni pérdidas, siendo su realización, en principio, indiferente.

$VAN < 0$ : El proyecto de inversión generará pérdidas, por lo que deberá ser rechazado.

## 11.8 Ventajas e inconvenientes del VAN

Como cualquier métrica e indicador económico, el valor actual neto presenta unas ventajas y desventajas que se presentan a continuación:

### **Ventajas del valor actual neto**

El VAN tiene varias ventajas a la hora de evaluar proyectos de inversión, principalmente que es un método fácil de calcular y a su vez proporciona útiles predicciones sobre los efectos de los proyectos de inversión sobre el valor de la empresa. Además, presenta la ventaja de tener en cuenta los diferentes vencimientos de los flujos netos de caja.

### **Desventajas del valor actual neto**

Pero a pesar de sus ventajas también tiene algunos inconvenientes como la dificultad de especificar una tasa de descuento la hipótesis de reinversión de los flujos netos de caja (se supone implícitamente que los flujos netos de caja positivos son reinvertidos inmediatamente a una tasa que coincide con el tipo de descuento, y que los flujos netos de caja negativos son financiados con unos recursos cuyo coste también es el tipo de descuento).

### CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO:

Tabla 1.

Objetivo	Variables	Indicador	Definición Conceptual	Definición Operacional	Definición Instrumental
Analizar las problemáticas que provocan excesos de arenas, sedimentos y flotantes en la planta.	Sólidos Suspendidos	SS	Se refieren a pequeñas partículas sólidas que permanecen en suspensión en agua como coloide o debido al movimiento del agua.	Se mide mediante el análisis de fallos del sistema de detección de nivel.	SCADA, visualización en superficie y visualización en sistema de detección de nivel.
	Sólidos Sedimentables	SSed	Los sólidos sedimentables, también abreviado SS, son esas partículas que contribuyen al bloqueo de las tuberías de alcantarillado.	Mediante medición del manto de agua por parte del departamento mantenimiento de la planta.	Tubo PVC 2" transparente de 6 metros Cedula 80 para nivel de manto utilizado en proceso de espesado de la planta.
Recopilar la información técnica de los equipos que se encuentran instalados en el tanque de vaciados.	Detección de averías	Fallos	Se entiende por fallo de una maquina cualquier cambio en la misma que impida que ésta realice la función para la que fue diseñada.	Se busca la información técnica del manual de operación y mantenimiento Sulzer de las bombas modelo XFP.	Manual de Instrucciones de instalación, operación y mantenimiento SULZER bomba sumergible modelo XPP instalada en la PTAR Los Tajos.
	Caudal	$m^3/h$	Cantidad de agua que lleva una corriente o que fluye de un manantial o fuente.		
	Velocidad	rpm	Relación que se establece entre el espacio o la distancia que recorre un objeto y el tiempo que invierte en ello.		
Determinar los requerimientos básicos del agitador de fondo a utilizar.	Potencia	KW	La potencia eléctrica es la proporción por unidad de tiempo, o ritmo, con la cual la energía eléctrica es transferida por un circuito eléctrico.	Se analiza la información técnica en el manual de operación y mantenimiento agitador SULZER modelo XRW 400 además de las pautas de diseño del manual GRUNDFOS	Manual de operación SULZER XRW 300/400/500/650/800.
	Masa	Kg	Magnitud física que expresa la cantidad de materia de un cuerpo, medida por la inercia de este.		
	Diámetro propela	mm	Línea recta que une dos puntos de una circunferencia.		

*Matriz de conceptualización: Investigaciones con Enfoque Cuantitativo.*

Fuente: Elaboración propia, 2022

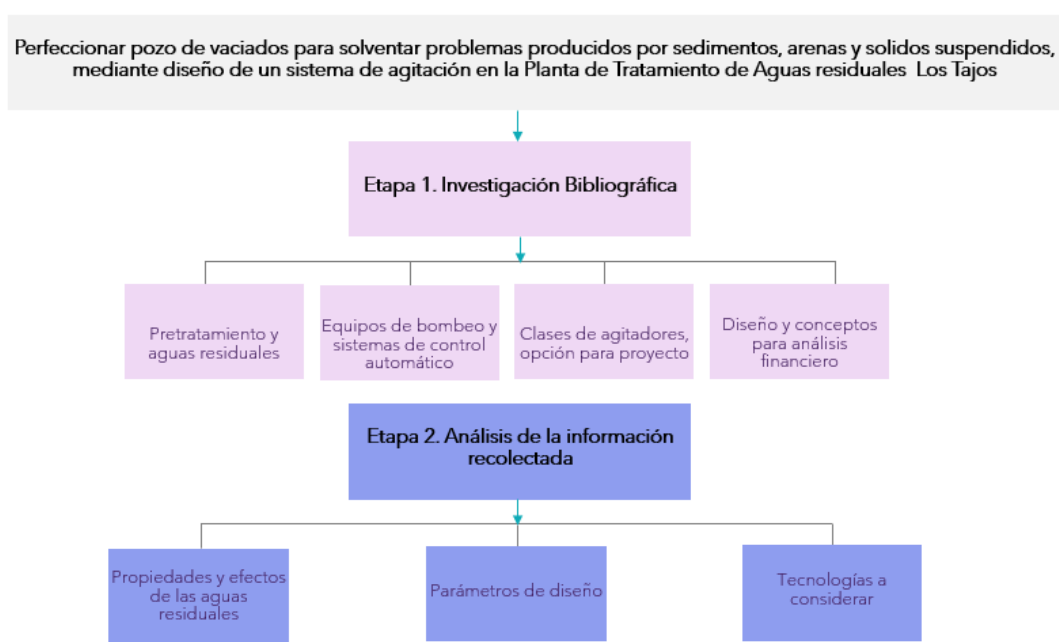
Matriz de conceptualización: Investigaciones con Enfoque Cuantitativo. (Continuación)

Objetivo	Variables	Indicador	Definición Conceptual	Definición Operacional	Definición Instrumental
Diseñar la estructura, carga y alimentación eléctrica para dicho proyecto.	Potencia eléctrica.	KW	La potencia eléctrica es la proporción por unidad de tiempo, o ritmo, con la cual la energía eléctrica es transferida por un circuito eléctrico.	Se tomarán las características del agua, densidad, temperatura y presión de trabajo, y características del tanque para poder dimensionar el agitador.	Datos brindados por manual técnico de operación y mantenimiento Sulzer al igual que el manual de diseño para agitadores Grundfos 2014.
	Corriente eléctrica	Amperios	Flujo de partículas cargadas, como electrones o iones, que se mueven a través de un conductor eléctrico.	Se realizan los cálculos matemáticos utilizando Ley de Ohm para conocer la corriente consumida.	
	Diámetro Cable	AWG	Este grosor será el que determine la cantidad de corriente -medida en amperios- que el cable será capaz de soportar sin provocar un sobrecalentamiento.	Mediante los cálculos matemáticos y utilización del Código Eléctrico Nacional.	Código Eléctrico Nacional. (NEC 2014)
	Masa del agitador	Kg	Magnitud física que expresa la cantidad de materia de un cuerpo, medida por la inercia de este.	Verificación de los datos técnicos de la ficha técnica.	Datos brindados por personal técnico para proyecto de agitación y manual operación del equipo.
Cuantificar el impacto financiero del proyecto.	Costo	Colones.	Cantidad de dinero que cuesta una cosa.	Se realizan cotizaciones en el mercado para conocer el costo del proyecto.	Estudio de mercado de las cotizaciones obtenidas y análisis financiero realizado Microsoft Excel.
	Costo de operación	Colones	Gastos necesarios para mantener un proyecto, línea de procesamiento o un equipo en funcionamiento.	Se realiza un análisis técnico de las gráficas brindadas por el analizador de energía colocado en las bombas sumergibles durante 24h para sacar costos con tarifas de la CNFL.	Analizador de energía FLUKE modelo 438-II.
	Tiempo	Horas	Período determinado durante el que se realiza una acción o se desarrolla un acontecimiento.		Analizador de energía FLUKE modelo 438-II.

	Consumo eléctrico	kW-h	El consumo eléctrico es aquella cantidad de energía consumida en un determinado periodo de facturación por el usuario o equipo.		Factura de mes de agosto año 2022 de la PTAR por parte de la CNFL.
--	-------------------	------	---	--	--

Fuente: Elaboración propia, 2022

En el siguiente gráfico se muestra la metodología seguida a lo largo de este proyecto en cinco etapas, esto en base a sus objetivos.



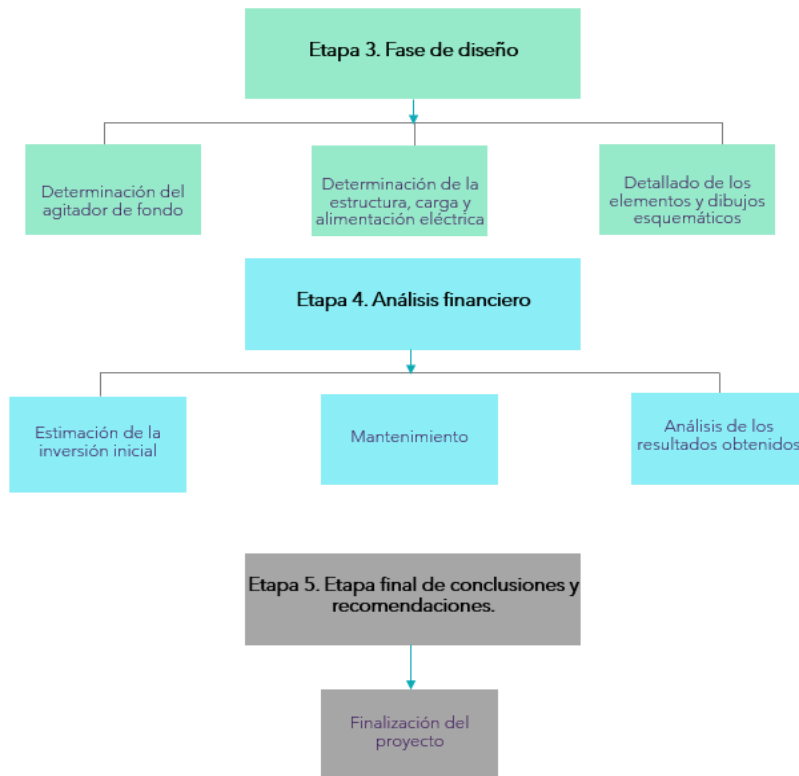


Figura 38. Estructura de trabajo.

Fuente: Elaboración propia, 2022.

## CAPÍTULO IV: DESARROLLO Y ANÁLISIS FINANCIERO

### 1. Análisis realizados en tanque de vaciados y su sistema de bombeo

Un buen diseño de un equipo de agitación aporta a los procesos que se requieran lograr, una reducción de tiempo, una mejora de la efectividad y de calidad del producto final y los equipos presentes.

Son muchas las empresas dentro de territorio nacional de Costa Rica que se dedican a el diseño de equipos de agitación por lo que es muy importante destacar algunos de los aspectos que hacen que un cliente escoja su diseño, y que variables se van a necesitar para el mismo.

La necesidad es lograr una agitación rápida y una mezcla homogénea de agua residual y sus sedimentos. El objetivo es mantener el tanque libre de gases y homogéneo sus componentes. Se desarrollará una propuesta de diseño del agitador en función de los siguientes datos indicados en tabla donde gracias al estudio ingenieril en campo se adjuntan las dimensiones generales del tanque, las características del fluido a agitar, temperatura y presión de trabajo existentes en este como se logra ver en la siguiente tabla:

Tabla 2.

#### *Datos de diseño*

Fluido a agitar	Agua residual
Densidad del fluido	1000 kg/m <sup>3</sup>
Presión de trabajo	2,5m.c. a
Temperatura de trabajo	22-30°C
Largo de tanque	5m
Ancho de tanque	3.5m
Altura de tanque	6m
Nivel de líquido en tanque	2,5m
Volumen de líquido	43.75m <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia, 2022

Posteriormente se procede a analizar la problemática que se presenta en el pozo de vaciados, como se ve expuesto en el marco teórico, los gases producidos por el amonio, las arenas acumuladas en el fondo del tanque y flotantes están provocando oxidación en las estructuras cercanas al pozo, daños en impeler y piezas internas de las bombas sumergibles, además de obstrucciones por arenas en válvulas antirretorno (Check) presentes en el sistema de bombeo como se logra ver en las siguientes imágenes donde se muestra la problemática de solidos suspendidos:



*Figura 39.* Figura Desarrollo 1. Exceso de flotantes en tanque de vaciados.

*Fuente:* Elaboración propia, 2022.

A continuación, se muestra la entrada de aguas residuales de los diferentes procesos de la planta a este tanque de vaciados, donde las características de las mismas son de altos contenidos de lodos y arenas ya que son lixiviados y purgas realizadas en los diferentes procesos de la planta:



*Figura 40.* Figura Desarrollo 2. Entrada de vaciados al pozo.

*Fuente:* Elaboración propia, 2022.

Seguidamente se muestran las válvulas antirretorno presentes en el sistema de bombeo, donde se visualiza la problemática de arenas que provoca que el departamento de operación presente en la planta de tratamiento deba limpiar una vez a la semana estas válvulas para el correcto funcionamiento del sistema:



*Figura 41.* Figura Desarrollo 3. Obstrucción en válvulas antirretorno (Check) por excesos de arenas en tanque de vaciados.

*Fuente:* Elaboración propia, 2022.

También se muestra en la siguiente imagen una de las bombas sumergibles marca SULZER modelo XFP presentes dentro del tanque, una vez fuera de este para realizar mantenimiento y limpieza por parte de los colaboradores de AyA:



*Figura 42.* Figura Desarrollo 4. Equipos de bombeo presentes en el tanque de vaciados.

*Fuente:* Elaboración propia, 2022.

Se analizan las bombas sumergibles presentes dentro del pozo, con sus fichas técnicas y analizador de energía, este último para poder visualizar su consumo, realizando el análisis en un lapso de veinticuatro horas para cada uno de los equipos sumergibles, para así poder sacar un promedio mensual más exacto ya que estos equipos trabajan las veinticuatro horas del día, los siete días de la semana, así que con estos datos se podrá conocer también el tiempo que va a estar trabajando el agitador de fondo que se piensa implementar, ya que el mismo trabajaría al mismo tiempo que lo harían las bombas sumergibles controladas por los sensores de nivel tipo boya presentes en el tanque. Se analiza también el tanque, donde se identifican las dimensiones de este, esto para lograr identificar el equipo necesario que pueda homogenizar el contenido del tanque, que actualmente se encuentra en un mal estado, donde abundan las arenas, gases y flotantes. Cabe recalcar que mucho del estudio de manuales y datos técnicos de las bombas sumergibles se ven reflejados en el marco teórico.

A continuación, se muestran las gráficas de medición eléctrica realizadas por el analizador FLUKE modelo 438-II antes mencionado, en las bombas sumergibles del tanque de vaciados, las

cuales son tres de ellas que se encuentran en funcionamiento automático con TAG de identificación para cada una de BCS 530 001, BCS 530 002 y BCS 530 003, siendo estos datos de gran ayuda para realizar las tablas que más adelante en el desarrollo se logran visualizar, cabe recalcar que existe una cuarta bomba dentro del tanque, que sirve como apoyo para eventuales paros o reparaciones de las tres bombas sumergibles que trabajan continuo, a esta cuarta bomba no se le realiza el análisis ya que la misma permanece apagada, en espera de algún evento inesperado o mantenimiento programado. Se empezará con observar las bombas con su respectivo TAG, donde en la gráfica se puede observar en el plano “X” las horas o tiempo en el que se ejecutó el análisis, los lapsos en que el motor encendió y en el plano “Y” los kilowatts consumidos en esos tiempos por el motor de la bomba sumergible:

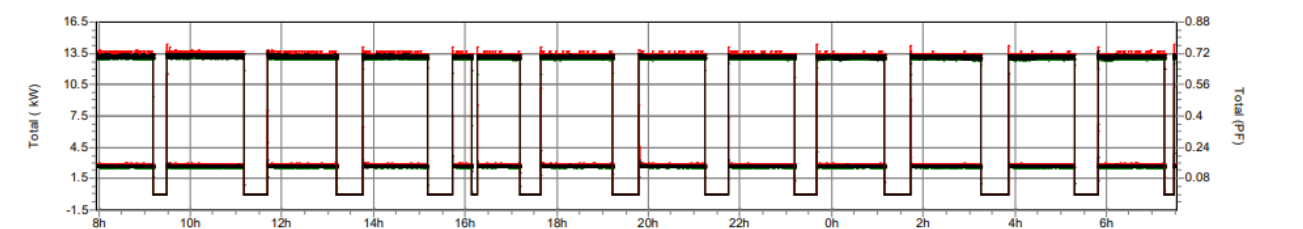


Figura 43. Figura Desarrollo 5. Gráfica de consumo de bomba BCS 530 001.

Fuente: Elaboración propia Software FLUKE, 2022.

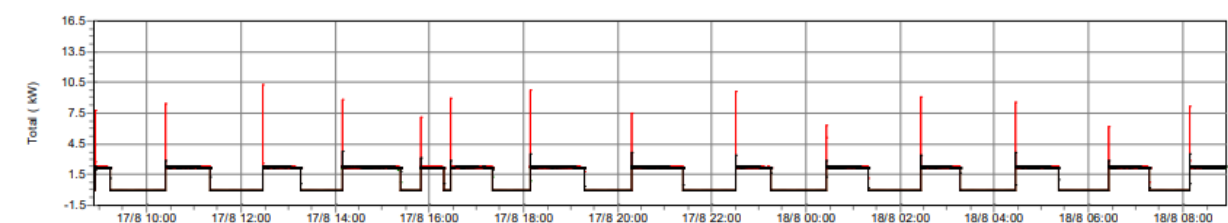


Figura 44. Figura Desarrollo 6. Gráfica de consumo de bomba BCS 530 002.

Fuente: Elaboración propia Software FLUKE, 2022.

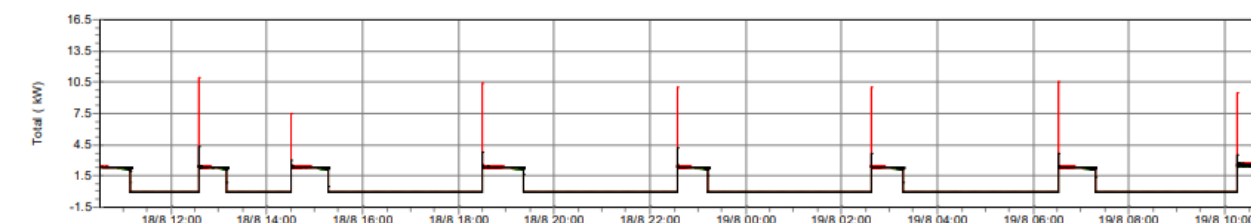


Figura 45. Figura Desarrollo 7. Gráfica de consumo de bomba BCS 530 003.

*Fuente:* Elaboración propia Software FLUKE, 2022.

Como se puede notar en las imágenes de las gráficas realizadas por el software de FLUKE, los consumos de potencia y horas de trabajo en el periodo empleado por el analizador de energía durante 24 horas, se logra identificar para la BCS 530 001 su potencia de 2.625 KW promedio y 1045 minutos (17.4 horas), para la bomba BCS 530 002 es de 2.2 KW promedio con 655 minutos (10.9 horas) y para la bomba BCS 530 003 su consumo de 2.25 KW promedio con 335 minutos (5.6 horas) léase todo estos datos en el momento que las bombas entraban en funcionamiento gracias al detector de nivel tipo boya empleado en el tanque.

Estos tiempos de cada una de las bombas sumergibles tienden a variar entre sí, debido a como está programado el funcionamiento de este sistema de bombeo, que el mismo depende del nivel del tanque detectado por las boyas, las cuales son cuatro unidades de control de nivel que están presentes dentro del tanque, una de nivel bajo, otra de nivel intermedio, una más de nivel alto y por último una de nivel muy alto, dependiendo de su activación, así van a ir encendiendo las bombas sumergibles, las cuales primeramente enciende una de las bombas, en este caso la BCS 530 001 al alcanzar el nivel intermedio, la misma se mantiene encendida conforme se van activando los sensores de nivel tipo boya, si la misma no da abasto se encenderá la segunda bomba BCS 530 002 una vez que la boya de nivel alto se active y por último se activara la tercer bomba BCS 530 003 una vez que la boya de nivel muy alto se active para así poder trasegar los vaciados entrantes a cabecera de planta para su debido proceso y se logre activar la boya de nivel bajo, la cual mantiene detenidas las tres bombas sumergibles que se encuentran en automático dentro del tanque.

A continuación, se muestra cómo se visualiza este sistema de bombeo con todos sus componentes en las pantallas HMI presentes en los Cuartos de Control de Motores (CCM) mediante el sistema SCADA implementado en la planta, además se muestra el tipo de sensores de nivel boyas con la configuración utilizada en este tanque según su boletín de especificaciones técnicas.

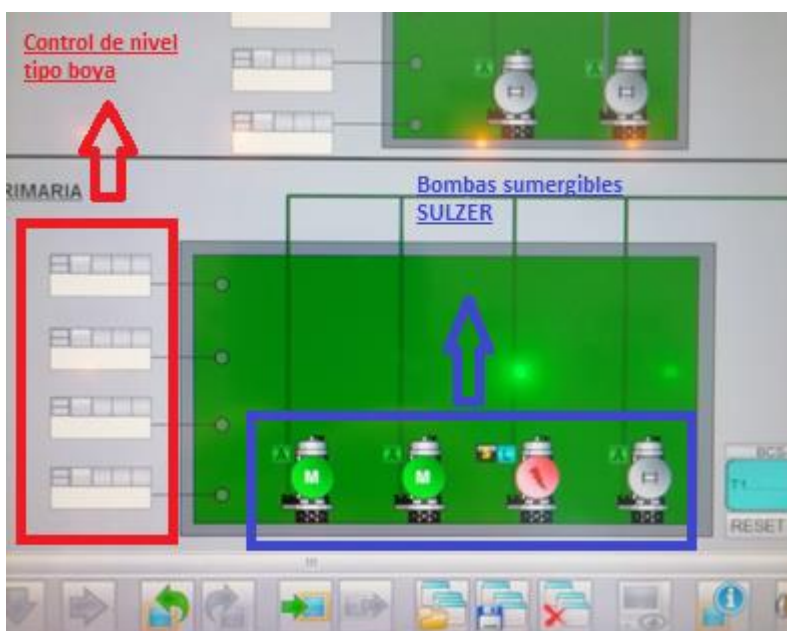


Figura 46. Figura desarrollo 8. Visualización de tanque de vaciados en sistema SCADA.

Fuente: Elaboración propia, 2022.

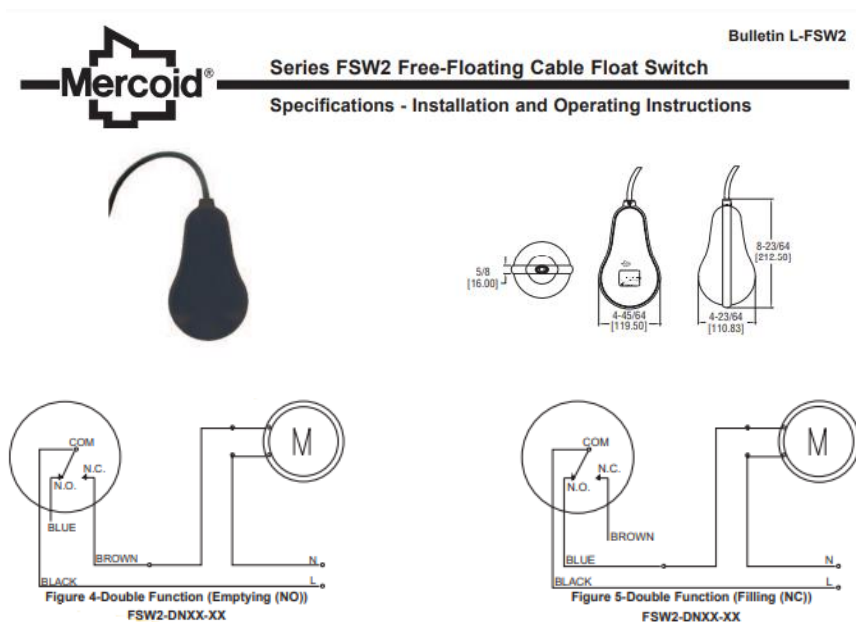


Figura 47. Figura desarrollo 9. Boya Serie FSW2.

Fuente: Boletín MERCROID Series L-FSW2, 2022.

## 2. Tiempo medio entre fallos y tiempo medio de reparación. (MTBF Y MTTR)

Para calcular el medio tiempo entre fallos se necesitó la colaboración del encargado del sistema SCADA, el cual brindó la información de los fallos producidos en un lapso de una semana

para cada una de las bombas sumergibles, a continuación, se muestran los fallos y alarmas producidos en cada una de las bombas sumergibles presentes en el tanque, donde los fallos se ven identificados de color rojo y las alarmas en color amarillo:

Tabla 3.

*Fallos producidos por bomba BCS 530 001.*

Fecha	Hora	Categoría	Estado	Evento	Nombre de lote	Origen	
28/09/22	15:51:27	650	Alarma	Bombas vaciados 1	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-001/MotS	
28/09/22	17:08:06	229	Alarma	Bombas vaciados 1	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-001/MotS	
28/09/22	23:11:55	597	Alarma	Bloqueo	Bombas vaciados 1	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-001/MotS
29/09/22	11:55:49	650	Alarma	Bombas vaciados 1	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-001/MotS	
29/09/22	13:19:19	150	Alarma	Bombas vaciados 1	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-001/MotS	
29/09/22	13:20:52	153	Alarma	Bombas vaciados 1	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-001/MotS	
01/10/22	02:44:27	554	Avisos de control de procesos	AS	Bombas vaciados 1	Fallo Protecciones	BCS-530-001/MotS
01/10/22	02:46:40	052	Avisos de control de procesos	AS	Bombas vaciados 1	Fallo Protecciones	BCS-530-001/MotS
01/10/22	02:54:52	112	Avisos de control de procesos	AS	Bombas vaciados 1	Fallo Protecciones	BCS-530-001/MotS
01/10/22	11:02:02	250	Alarma	Bombas vaciados 1	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-001/MotS	
01/10/22	11:05:25	354	Alarma	Bombas vaciados 1	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-001/MotS	
02/10/22	00:48:32	350	Alarma	Bombas vaciados 1	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-001/MotS	
02/10/22	10:49:41	650	Alarma	Bombas vaciados 1	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-001/MotS	
02/10/22	14:20:45	068	Alarma	Bombas vaciados 1	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-001/MotS	
02/10/22	18:14:16	250	Alarma	Bombas vaciados 1	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-001/MotS	
03/10/22	00:07:06	056	Avisos de control de procesos	AS	Bombas vaciados 1	Fallo Protecciones	BCS-530-001/MotS
03/10/22	00:09:01	350	Avisos de control de procesos	AS	Bombas vaciados 1	Fallo Protecciones	BCS-530-001/MotS
03/10/22	00:10:23	244	Avisos de control de procesos	AS	Bombas vaciados 1	Fallo Protecciones	BCS-530-001/MotS
03/10/22	00:13:06	566	Alarma	Bloqueo	Bombas vaciados 1	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-001/MotS
03/10/22	00:13:07	812	Alarma	Bombas vaciados 1	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-001/MotS	
03/10/22	00:13:07	812	Alarma	Bombas vaciados 1	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-001/MotS	
03/10/22	13:34:46	849	Alarma	Bombas vaciados 1	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-001/MotS	
03/10/22	18:15:37	912	Alarma	Bombas vaciados 1	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-001/MotS	
03/10/22	18:40:50	250	Alarma	Bombas vaciados 1	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-001/MotS	
04/10/22	04:41:32	049	Alarma	Bombas vaciados 1	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-001/MotS	
04/10/22	05:37:01	850	Alarma	Bombas vaciados 1	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-001/MotS	
04/10/22	05:37:06	337	Alarma	Bombas vaciados 1	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-001/MotS	
04/10/22	17:14:33	450	Alarma	Bombas vaciados 1	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-001/MotS	
04/10/22	18:12:19	144	Alarma	Bombas vaciados 1	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-001/MotS	
04/10/22	18:31:08	349	Alarma	Bombas vaciados 1	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-001/MotS	

Fuente: Elaboración propia, 2022

Tabla 4.

*Fallos producidos por bomba BCS 530 002.*

Fecha	Hora	Categoría	Estado	Evento	Nombre de lote	Origen
28/09/22	15:52:04	352	Alarma	Bomba vaciados 2	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-002/MotS
28/09/22	17:12:10	727	Alarma	Bomba vaciados 2	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-002/MotS
28/09/22	23:25:02	241	Alarma	Bloqueo	Bomba vaciados 2	Máximo Tiempo de funcionamiento
29/09/22	12:16:23	249	Alarma	Bomba vaciados 2	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-002/MotS
29/09/22	13:19:24	349	Alarma	Bomba vaciados 2	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-002/MotS
29/09/22	13:20:46	504	Alarma	Bomba vaciados 2	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-002/MotS
01/10/22	02:44:27	555	Avisos de control de procesos	AS	Bomba vaciados 2	Fallo Protecciones
01/10/22	02:46:40	052	Avisos de control de procesos	AS	Bomba vaciados 2	Fallo Protecciones
01/10/22	02:54:52	112	Avisos de control de procesos	AS	Bomba vaciados 2	Fallo Protecciones
01/10/22	11:13:51	150	Alarma	Bomba vaciados 2	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-002/MotS
01/10/22	23:12:05	822	Alarma	Bomba vaciados 2	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-002/MotS
02/10/22	00:48:41	450	Alarma	Bomba vaciados 2	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-002/MotS
02/10/22	10:49:53	052	Alarma	Bomba vaciados 2	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-002/MotS
02/10/22	14:20:45	068	Alarma	Bomba vaciados 2	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-002/MotS
02/10/22	18:14:15	250	Alarma	Bomba vaciados 2	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-002/MotS
03/10/22	00:07:06	154	Avisos de control de procesos	AS	Bomba vaciados 2	Fallo Protecciones
03/10/22	00:09:01	351	Avisos de control de procesos	AS	Bomba vaciados 2	Fallo Protecciones
03/10/22	00:10:23	244	Avisos de control de procesos	AS	Bomba vaciados 2	Fallo Protecciones
03/10/22	13:34:40	250	Alarma	Bomba vaciados 2	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-002/MotS
03/10/22	18:15:37	912	Alarma	Bomba vaciados 2	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-002/MotS
03/10/22	18:40:49	150	Alarma	Bomba vaciados 2	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-002/MotS
04/10/22	04:41:31	050	Alarma	Bomba vaciados 2	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-002/MotS
04/10/22	05:37:24	250	Alarma	Bomba vaciados 2	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-002/MotS
04/10/22	05:37:28	418	Alarma	Bomba vaciados 2	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-002/MotS
04/10/22	17:14:41	150	Alarma	Bomba vaciados 2	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-002/MotS
04/10/22	18:12:19	144	Alarma	Bomba vaciados 2	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-002/MotS
04/10/22	18:31:07	450	Alarma	Bomba vaciados 2	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-002/MotS

002.

Fuente: Elaboración propia, 2022

Tabla 5.

*Fallos producidos por bomba BCS 530 003.*

Fecha	Hora	Categoría	Estado	Evento	Nombre de lote	Origen
30/09/22	06:23:24	051	Avisos de control de procesos	AS	Bomba vaciados 3	Fallo Sondas Motor
30/09/22	06:30:17	992	Avisos de control de procesos	AS	Bomba vaciados 3	Fallo Sondas Motor
30/09/22	06:51:15	350	Avisos de control de procesos	AS	Bomba vaciados 3	Fallo Sondas Motor

Fuente: Elaboración propia, 2022

Tabla 6.

*Fallos producidos por bomba BCS 530 004.*

Fecha	Hora	Categoría	Estado	Evento	Nombre de lote	Origen
28/09/22	15:52:26	750	Alarma	Bomba vaciados 4	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-004/MotS
28/09/22	22:12:53	659	Alarma	Bomba vaciados 4	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-004/MotS
28/09/22	23:25:50	845	Alarma	Bloqueo	Bomba vaciados 4	Máximo Tiempo de funcionamiento
29/09/22	04:16:39	849	Alarma	Bomba vaciados 4	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-004/MotS
29/09/22	04:16:39	949	Alarma	Bomba vaciados 4	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-004/MotS
29/09/22	12:28:20	450	Alarma	Bomba vaciados 4	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-004/MotS
29/09/22	13:19:34	251	Alarma	Bomba vaciados 4	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-004/MotS
29/09/22	13:20:57	629	Alarma	Bomba vaciados 4	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-004/MotS
30/09/22	04:25:21	350	Avisos de control de procesos	ASA	Bomba vaciados 4	Fallo Protecciones
30/09/22	04:48:46	090	Avisos de control de procesos	ASA	Bomba vaciados 4	Fallo Protecciones
30/09/22	06:23:28	650	Avisos de control de procesos	ASD	Bomba vaciados 4	Fallo Protecciones
01/10/22	01:32:25	650	Avisos de control de procesos	ASA	Bomba vaciados 4	Fallo Protecciones
01/10/22	02:54:52	112	Avisos de control de procesos	ASA	Bomba vaciados 4	Fallo Protecciones
01/10/22	06:07:39	350	Avisos de control de procesos	ASD	Bomba vaciados 4	Fallo Protecciones
01/10/22	11:25:23	051	Alarma	Bomba vaciados 4	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-004/MotS
01/10/22	23:12:05	822	Alarma	Bomba vaciados 4	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-004/MotS
02/10/22	00:48:50	851	Alarma	Bomba vaciados 4	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-004/MotS
02/10/22	10:50:00	350	Alarma	Bomba vaciados 4	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-004/MotS
02/10/22	14:20:45	068	Alarma	Bomba vaciados 4	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-004/MotS
02/10/22	18:14:13	950	Alarma	Bomba vaciados 4	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-004/MotS
03/10/22	00:07:06	155	Avisos de control de procesos	ASA	Bomba vaciados 4	Fallo Protecciones
03/10/22	00:09:01	351	Avisos de control de procesos	ASD	Bomba vaciados 4	Fallo Protecciones
03/10/22	00:10:23	244	Avisos de control de procesos	ASA	Bomba vaciados 4	Fallo Protecciones
03/10/22	13:34:31	950	Alarma	Bomba vaciados 4	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-004/MotS
03/10/22	18:15:37	912	Alarma	Bomba vaciados 4	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-004/MotS
03/10/22	18:40:48	050	Alarma	Bomba vaciados 4	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-004/MotS
04/10/22	04:41:29	850	Alarma	Bomba vaciados 4	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-004/MotS
04/10/22	05:37:43	750	Alarma	Bomba vaciados 4	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-004/MotS
04/10/22	05:37:45	614	Alarma	Bomba vaciados 4	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-004/MotS
04/10/22	17:14:47	250	Alarma	Bomba vaciados 4	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-004/MotS
04/10/22	18:12:19	144	Alarma	Bomba vaciados 4	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-004/MotS
04/10/22	18:31:06	255	Alarma	Bomba vaciados 4	Máximo Tiempo de funcionamiento	BCS-530-004/MotS

Fuente: Elaboración propia, 2022

Como se logra ver en la tabla número 5, al momento de realizar el muestreo, la bomba BCS 530 003 se encontraba en fallo por sonda de motor, esto debido a la carga extra que genera el estado del tanque, por lo que se debió tomar los datos brindados por la bomba BCS 530 004 que sirve de respaldo y que trabajó en la semana en donde se toman los datos a evaluar.

A continuación, se muestran los tiempos medios entre fallos de cada una de las bombas en estudio, el MTBF es uno de los KPI de mantenimiento más eficaces para analizar la fiabilidad de los activos y prever su rendimiento futuro, por lo que su objetivo es tratar de mantener el MTBF lo más alto posible haciendo que el sistema sea más fiable. El estudio se realiza tomando como base los datos brindados por el analizador de energía y las tablas de fallos anteriormente expuestas en este desarrollo:

Para la BCS 530 001 se toman las 17.4 horas brindadas por el analizador de energía durante 24 horas del análisis, esto se multiplica por el número de días en los que se contabilizaron los

fallos de la bomba, los cuales fueron un total de seis días, para así poder dividir esta cantidad por el número de fallos vistos en este periodo, donde el tiempo medio entre fallo se ve reflejado en la tabla de color rosado.

Tabla 7.

Cálculo de MTBF para BCS 530 001.

Tiempo Funcionamiento		Fallos	MTBF
Horas al día	17.40	7	14.91
Días	6		

Fuente: Elaboración propia, 2022

Para la BCS 530 002 se toman las 10.9 horas brindadas por el analizador de energía durante 24 horas del análisis, esto se multiplica por el número de días en los que se contabilizaron los fallos de la bomba, los cuales fueron un total de seis días, para así poder dividir esta cantidad por el número de fallos vistos en este período, donde el tiempo medio entre fallo se ve reflejado en la tabla de color rosado.

Tabla 8.

Cálculo de MTBF para BCS 530 002.

Tiempo Funcionamiento		Fallos	MTBF
Horas al día	10.90	7	9.34
Días	6		

Fuente: Elaboración propia, 2022

Para la BCS 530 003 se toman las 5.6 horas brindadas por el analizador de energía durante 24 horas del análisis, esto se multiplica por el número de días en los que se contabilizaron los fallos de la bomba, los cuales fueron un total de seis días, para así poder dividir esta cantidad por el número de fallos vistos en este período, donde el tiempo medio entre fallo se ve reflejado en la tabla de color rosado.

Tabla 9.

Cálculo de MTBF para BCS 530 003.

Tiempo Funcionamiento		Fallos	MTBF
Horas al día	5.60	10	3.36
Días	6		

Fuente: Elaboración propia, 2022

Seguidamente se analiza el tiempo medio de reparación, donde gracias a los tiempos visualizados en las tablas de fallos de las bombas, se puede identificar el tiempo dedicado a las reparaciones y el número de reparaciones realizadas. El objetivo es mantener el tiempo medio de reparación o MTTR lo más corto posible, esto para reducir el tiempo de inactividad de los equipos instalados dentro del tanque.

Para la bomba de vaciados BCS 530 001, como se logró ver en el marco teórico se toman los datos del tiempo total dedicado a las reparaciones, para dividirlo entre el número de reparaciones realizadas, esto tomando en cuenta los tiempos expuestos en las tablas brindadas por el SCADA donde se notan los lapsos en donde la bomba estuvo detenida. A continuación, se muestra el resultado del tiempo medio de reparación dentro de la siguiente tabla en color rosado:

Tabla 10.

Cálculo de MTTR de BCS 530 001.

Reparaciones	Tiempo dedicado a reparar (H)	MTTR
7	6.5	0.93

Fuente: Elaboración propia, 2022

Para la bomba de vaciados BCS 530 002, se toman los datos del tiempo total dedicado a las reparaciones tomado de la tabla 4, para dividirlo entre el número de reparaciones realizadas. A continuación, se muestra el resultado del tiempo medio de reparación dentro de la siguiente tabla en color rosado:

Tabla 11.

Cálculo de MTTR de BCS 530 002.

Reparaciones	Tiempo dedicado a reparar (H)	MTTR
7	16.5	2.36

Fuente: Elaboración propia, 2022

Para la bomba de vaciados BCS 530 003, se toman los datos del tiempo total dedicado a las reparaciones tomado de la tabla 5, para dividirlo entre el número de reparaciones realizadas. A continuación, se muestra el resultado del tiempo medio de reparación dentro de la siguiente tabla en color rosado:

Tabla 12.

Cálculo de MTTR de BCS 530 003.

Reparaciones	Tiempo dedicado a reparar (H)	MTTR
10	13.5	1.35

*Fuente:* Elaboración propia, 2022

### 3.Características del rediseño

Para realizar el rediseño del proyecto, se tuvo que investigar en sitio la capacidad de carga de la planta, la cual es óptima para una eventual implementación del proyecto, debido a que el cuarto de control CCM 12/21 cuenta con espacios de reserva en sus paneles de control y embarrado de fuerza 480V/60Hz previstos para un proyecto como este, además de calcular las protecciones necesarias, instalación eléctrica y ejemplo estructural para el agitador mediante los cálculos matemáticos pertinentes(Ley de Ohm y NEC 2014). A continuación, se muestran figuras del cuarto de control y las protecciones que debe llevar o su equivalente al ser este equipo de una potencia eléctrica igual a 3KW para luego observar cómo se calcularon las mismas.



*Figura 48.* Figura desarrollo 10. Lugar de potencia y control del equipo denominado CCM 12/21.

*Fuente:* Elaboración propia, 2022.



Figura 49. Figura desarrollo 11. Guarda motor SIEMENS de corriente nominal 10 Amperios y disparador 130 Amperios modelo 3RV2311-1JC10 o similar.

Fuente: Elaboración propia, 2022.



Figura 50. Figura desarrollo 12. Transformador diferencial para vigilancia de corriente SIEMENS 3UL2302-1 A.

Fuente: Elaboración propia, 2022.



Figura 51. Figura desarrollo 13. Relé de sobrecarga SIEMENS 3RU2126-1JB1 regulable de 7 a 10 Amperios.

Fuente: Elaboración propia, 2022.



Figura 52. Figura desarrollo 14. Relé de vigilancia digital de corriente de defecto SIEMENS 3UG4625-CW30 con ajuste digital.

Fuente: Elaboración propia, 2022.



Figura 53. Figura desarrollo 15. Botonera e iluminación para utilizar en CCM 21.

Fuente: Elaboración propia, 2022.



Figura 54. Figura desarrollo 16. HDMI presente en CCM 12/21.

Fuente: Elaboración propia, 2022.

A la hora de implementar la investigación de este proyecto, uno de sus objetivos es realizar un rediseño eléctrico del equipo de agitación a utilizar con las protecciones antes vistas y el lugar de la instalación eléctrica para solventar la problemática en el tanque de vaciados, a continuación, se muestra este diseño en formato plano eléctrico para el CCM 21 el cual es el panel donde se

encuentra el espacio disponible para la instalación del agitador Gama ABS XRW 400 con un motor de alta eficiencia IE3, motor de imantación permanente, alta capacidad de sobrecarga de 60 Hz-480Vac con cable para aplicaciones sumergibles y capacidad de uso con variador de frecuencia.

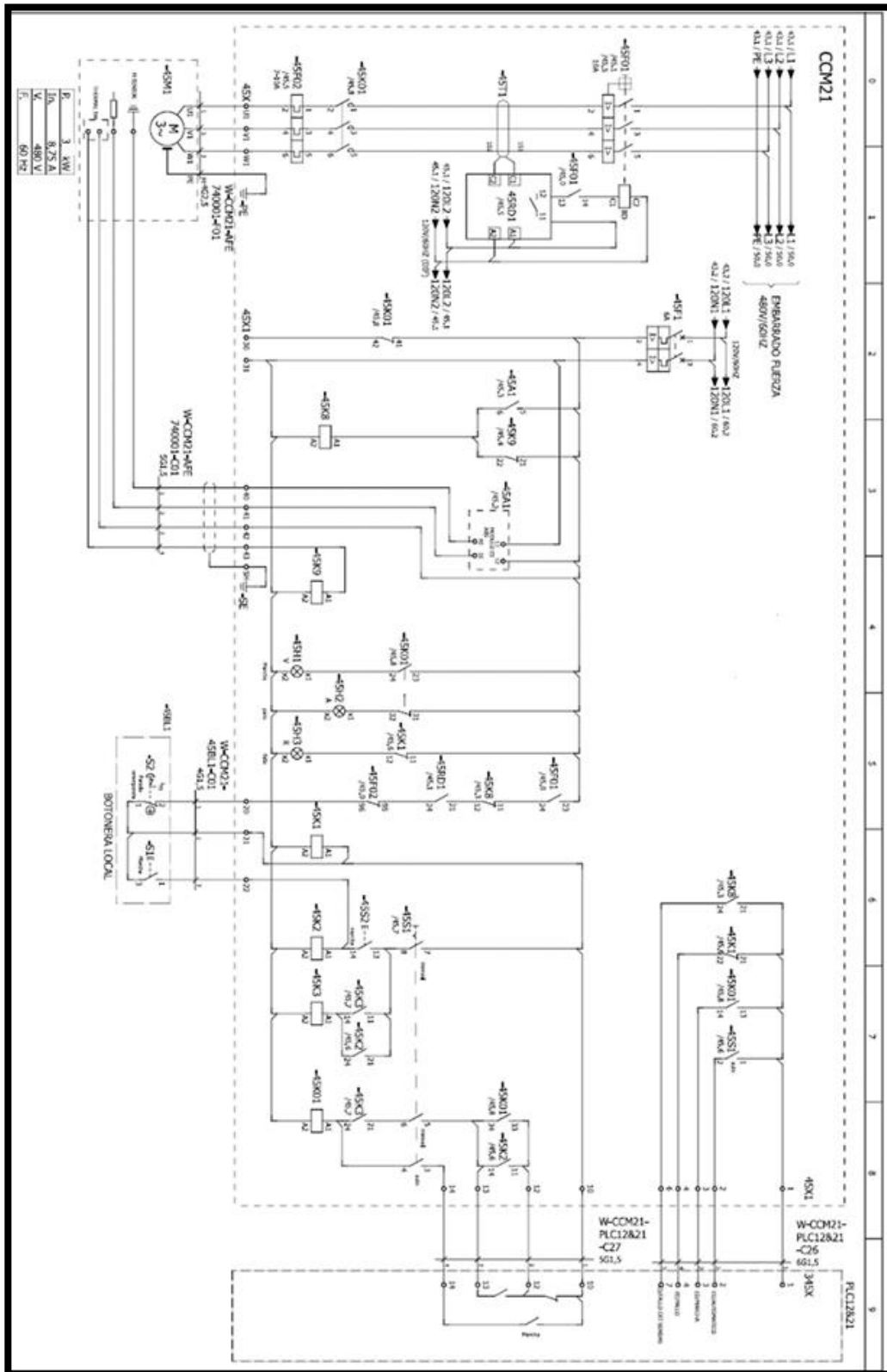


Figura 55. Figura desarrollo 17. Plano eléctrico para agitador SULZER Gama ABS XRW 400.

Fuente: Elaboración propia, 2022.

En el plano expuesto el cual se toma en cuenta lo que es necesario y es utilizado como norma en la Planta de Tratamiento de aguas Residuales Los Tajos, en él se pueden observar cómo conectar las protecciones para el agitador, su orden, además de las especificaciones de placa del agitador a utilizar, el embarrado de fuerza el cual en los paneles presentes en la planta son de 480 Voltios con 60Hz de frecuencia. También se puede visualizar como es la configuración de la botonera que se encontraría en campo, así como las conexiones que se deben hacer al PLC 12/21 para la parte de las señales de control presentes en el equipo, todo esto gracias al estudio ingenieril realizado en campo y tomando como base la estructura ya existente en los Cuartos de Control de Motores de la Planta de Tratamiento.

Ahora se muestran los cálculos pertinentes para averiguar las protecciones, el diámetro del cable de alimentación, la caída de tensión tomando en cuenta la distancia de donde se encuentra el tanque de vaciados, hasta el CCM 12/21, todo esto utilizando como referencia la NEC 2014, Norma Eléctrica Costarricense, además de un ejemplo estructural para la instalación del agitador en el tanque de vaciados a optimizar.

Al ser este un equipo trifásico, se utiliza para el cálculo de la caída de tensión la siguiente fórmula vista en clases de la Universidad Internacional de las Américas:

## Sistemas trifásicos $\Delta V$ 3 $\phi$

$$\Delta V_{3\phi} = ((2 * R * L * I_{3\phi}) / 1000) * 0.866$$

L= distancia de la carga en pies.

R= resistividad del conductor Tabla 8 Nec.

I 3 $\phi$  = corriente trifásica por el cable.

$$\Delta V_{3\phi} \% = (\Delta V_{3\phi} / V_{alim}) * 100\%$$

1 pie = 0.3048 metros o 1 metro = 3.28 pies

Figura 56. Figura desarrollo 18. Fórmula para caídas de tensión de sistemas trifásicos.

Fuente: Curso UIA diseño eléctrico impartido por Ing. Billy Retana.

Sustituyendo las variables por los datos obtenidos para el equipo los cuales fueron los siguientes:

- Para el diámetro del cable contabilizando que es una carga continua del artículo 422.13 del código eléctrico y gracias a los datos brindados por el analizador de energía:  $(3000w/480v) * 1.25\% = 7,8A$  de tabla 310.15 B16 entonces se necesitaría un cable AWG #12 TW de Cobre de 60°C por ser la corriente consumida por el equipo menor a 100 Amperios, esto pensando también en el tramo que existe entre el equipo y su panel de conexión siendo de 100 metros de distancia que deben de ser tomados en cuenta para el cálculo de caída de tensión, a continuación, la tabla de donde se toma el calibre del cable columna 60°:

ARTÍCULO 310 — CONDUCTORES PARA CABLEADO EN GENERAL 310.60

Tabla 310.15(B)(16) (antes Tabla 310.16) Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones nominales de hasta e incluyendo 2000 volts y 60° C a 90° C (140° F a 194° F). No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o tierra (enterrados directamente), basadas en una temperatura ambiente de 30° C (86° F)\*.

Calibre AWG o kcmil	Temperatura nominal del conductor [Ver Tabla 310.104(A).]						Calibre AWG o kcmil
	60° C (140° F)	75° C (167° F)	90° C (194° F)	60° C (140° F)	75° C (167° F)	90° C (194° F)	
	COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			
18**	—	—	14	—	—	—	—
16**	—	—	18	—	—	—	—
14**	—	—	25	—	—	—	—
12**	20	25	30	15	20	25	12**

Figura 57. Figura desarrollo 19. Tabla 310.15 (B) 16 Ampacidades permisibles.

Fuente: NEC 2014.

- Al ser la corriente nominal consumida por el agitador de 7,8 Amperios se considera un guardamotor de 10 Amperios con corriente disparador de 130 Amperios.
- El diámetro de la tubería o conducto para el cable AWG#12 es de ½ pulgada al ser este un solo cable tomando en cuenta el Capítulo 9 Artículo 352, de material PVC tipo A y tabla 5 como se logra ver en las siguientes figuras de tablas tomadas de la NEC 2014, además se debe tomar en cuenta una tubería extra de media pulgada para los cables de control por separado preferiblemente.

## Artículo 352 — Conducto de PVC rígido, de Tipo A (PVC)

Designador métrico	Tamaño comercial	Más de 2 cables								Diámetro interno nominal				Área total 100%	
		40%		60%		1 cable 53%		2 cables 31%							
		mm <sup>2</sup>	pulg. <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	pulg. <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	pulg. <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	pulg. <sup>2</sup>	mm	pulg.	mm <sup>2</sup>	pulg. <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	pulg. <sup>2</sup>
16	½	100	0.154	149	0.231	132	0.204	77	0.119	17.8	0.700	249	0.385		
21	¾	168	0.260	251	0.390	222	0.345	130	0.202	23.1	0.910	419	0.650		
27	1	279	0.434	418	0.651	370	0.575	216	0.336	29.8	1.175	697	1.084		
35	1¼	456	0.707	684	1.060	604	0.937	353	0.548	38.1	1.500	1140	1.767		
41	1½	600	0.929	900	1.394	795	1.231	465	0.720	43.7	1.720	1500	2.324		
53	2	940	1.459	1410	2.188	1245	1.933	728	1.131	54.7	2.155	2350	3.647		

Figura 58. Figura desarrollo 20. Tabla Conducto PVC tipo A capítulo 9.

Fuente: NEC 2014.

Tabla 5 Dimensiones de conductores aislados y de cables de artefactos

Tipo	Calibre (AWG o kcmil)	Área aproximada		Diámetro aproximado	
		mm <sup>2</sup>	pulg. <sup>2</sup>	mm	pulg.
TW, THHW, THW, THW-2	12	11.68	0.0181	3.861	0.152
	10	15.68	0.0243	4.470	0.176
	8	28.19	0.0437	5.994	0.236

Figura 59. Figura desarrollo 21. Tabla 5 Dimensiones de conductores aislados y de cables artefactos capítulo 9.

Fuente: NEC 2014.

Como se logra ver en las tablas anteriores al ser los milímetros cuadrados del cable AWG #12 THHW equivalentes a  $11.68 \text{ mm}^2$ , se puede utilizar esta tubería de media pulgada de capacidad de  $100 \text{ mm}^2$ , con 40% libre para cable de la potencia del agitador y también el cable de control diámetro AWG#12 de las señales que utiliza el equipo si fuese necesario, ya que por recomendación lo ideal sería que fuesen por aparte para evitar problemas con esas señales de control de baja tensión.

A continuación, se muestran los valores utilizados para realizar la caída de tensión, tomando en cuenta el diámetro del cable y la distancia de este hasta su panel de conexión.

- El valor de **R** debido al diámetro del cable y por tabla 8 NEC = **2.05Ω**

Tabla 8 Propiedades de conductores

Calibre (AWG o kcmil)	Área		Conductores						Resistencia en corriente continua a 75°C (167°F)						
			Trenzado			Total			Cobre				Aluminio		
	mm <sup>2</sup>	Mils circulares	Canti- dad	Diámetro		Diámetro		Área		No recubiertos		Recubiertos		ohm/ km	ohm/ kFT
				mm	pulg.	mm	pulg.	mm <sup>2</sup>	pulg. <sup>2</sup>	ohm/ km	ohm/ kFT	ohm/ km	ohm/ kFT		
18	0.823	1620	1	—	—	1.02	0.040	0.823	0.001	25.5	7.77	26.5	8.08	42.0	12.8
18	0.823	1620	7	0.39	0.015	1.16	0.046	1.06	0.002	26.1	7.95	27.7	8.45	42.8	13.1
16	1.31	2580	1	—	—	1.29	0.051	1.31	0.002	16.0	4.89	16.7	5.08	26.4	8.05
16	1.31	2580	7	0.49	0.019	1.46	0.058	1.68	0.003	16.4	4.99	17.3	5.29	26.9	8.21
14	2.08	4110	1	—	—	1.63	0.064	2.08	0.003	10.1	3.07	10.4	3.19	16.6	5.06
14	2.08	4110	7	0.62	0.024	1.85	0.073	2.68	0.004	10.3	3.14	10.7	3.26	16.9	5.17
12	3.31	6530	1	—	—	2.05	0.081	3.31	0.005	6.24	1.93	6.57	2.05	10.45	3.18
12	3.31	6530	7	0.78	0.030	2.32	0.092	4.25	0.006	6.50	1.98	6.73	2.05	10.69	3.25

Figura 60. Figura desarrollo 22. Tabla 8 propiedades conductores.

Fuente: NEC 2014, p. 70-751

- El valor  $\Delta V_{3\theta}$  al ser trifásico es de **277V**.
- El Voltaje de alimentación es de **480V**.

Sustituyendo los valores en la formula expuesta de la figura 56 se obtiene la caída de tensión la cual no debe de exceder el 2% como recomendación para que sea aceptable:

Tabla 13.

Caída de tensión.

Distancia entre punto de instalación y el CCM 12/21	
Distancia (ft)	328
% Caída de tensión	1.89

Fuente: Elaboración propia, 2022

A continuación, se muestra un ejemplo de la estructura para la instalación del agitador de fondo a utilizar de la gama ABS XRW 400 o similar considerando la forma y características del tanque de vaciados ubicado en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Los Tajos se considera que la instalación debe ser de tipo fija independiente para su correcta función.

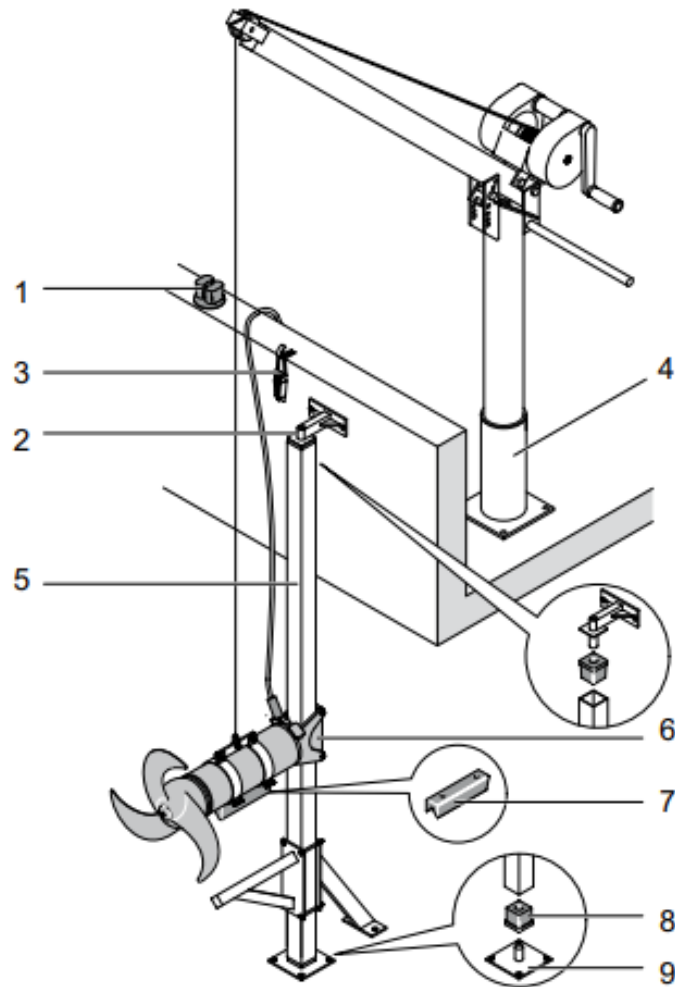


Fig. 20 Ejemplo de instalación fija independiente

- 1 Soporte para enrollar el cable
- 2 Soporte superior del tubo
- 3 Abrazadera y gancho para cable
- 4 Elemento de elevación ABS 5 kN
- 5 Tuo guía cuadrado
- 6 Soporte guía abierto
- 7 Amortiguador de vibraciones (opcional)
- 8 Conector de tubo
- 9 Placa de anclaje

Figura 61. Figura desarrollo 23. Ejemplo de estructura para equipo.

Fuente: Manual de instalación y operación SULZER XRW, p. 19.

También se muestran los diámetros y la longitud máxima de los tubos guía para el agitador estudiado modelo XRW 400, según la flexión máxima permitida, valores que fueron determinados en agua limpia con una densidad de  $1000\text{Kg}/\text{m}^3$  y estos son los valores máximos admisibles enmarcados de color naranja en la siguiente tabla.

### 8.6 Longitud de los tubos guía (forma cuadrada)

En la tabla siguiente se facilita la longitud máxima de los tubos guía según la flexión máxima permitida de 1/300 th. de su longitud. Estos valores se han determinado en agua limpia con una densidad de 1000 kg/m<sup>3</sup> y son los máximos admisibles para el agitador más potente.

**Longitudes máximas del tubo guía (L) en instalaciones con tubo guía cuadrado**

Agitador	Con equipo de elevación encastrable	Con equipo de elevación independiente	Tubo guía con anclaje a muro adicional
XRW 300	□ 2" x 3/16". L ≤ 5 m □ 60 x 60 x 4. L ≤ 5 m	□ 2" x 3/16". L ≤ 5 m □ 60 x 60 x 4. L ≤ 5 m	□ 2" x 3/16". L ≤ 5 m □ 60 x 60 x 4. L ≤ 5 m
<b>XRW 400</b>	□ 2" x 3/16". L ≤ 5 m □ 60 x 60 x 4. L ≤ 4 m □ 100 x 100 x 4. L ≤ 9 m	□ 2" x 3/16". L ≤ 5 m □ 60 x 60 x 4. L ≤ 5 m □ 100 x 100 x 4. L ≤ 10 m	□ 2" x 3/16". L ≤ 5 m □ 60 x 60 x 4. L ≤ 5 m □ 100 x 100 x 4. L ≤ 10 m
XRW 600	□ 100 x 100 x 4. L ≤ 9 m □ 100 x 100 x 6. L ≤ 6 m □ 100 x 100 x 8. L ≤ 7 m	□ 100 x 100 x 4. L ≤ 9 m □ 100 x 100 x 6. L ≤ 7 m □ 100 x 100 x 8. L ≤ 8 m	□ 100 x 100 x 4. L ≤ 6 m □ 100 x 100 x 6. L ≤ 6 m □ 100 x 100 x 4. L ≤ 6 m
XRW 900 ≤ 15 kW	□ 100 x 100 x 6. L ≤ 5 m □ 100 x 100 x 10. L ≤ 7 m	□ 100 x 100 x 6. L ≤ 6 m □ 100 x 100 x 10. L ≤ 7 m	□ 100 x 100 x 6. L ≤ 6 m □ 100 x 100 x 6. L ≤ 6 m
XRW 900 > 15 kW			sólo con la instalación especial

Figura 62. Figura desarrollo 24. Longitud de los tubos guías para XRW 400.

Fuente: Manual de instalación y operación SULZER XRW, p. 23.

## 4. Análisis financiero

Las herramientas necesarias para el análisis económico se consiguen gracias al estudio realizado del personal de mantenimiento presente en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Los Tajos y a la colaboración de personal capacitado a los cuales se les solicitó realizar un estudio en sitio, donde cotizaron los costos del equipo, incluyendo su instalación, alimentación y carga necesarias para la eventual implementación.

A continuación, se muestran las tablas realizadas para elaborar el análisis financiero del proyecto, donde se comienza por el cálculo de consumo eléctrico del equipo cotizado por ALSARA TECHNOLOGIES, S.A. Este cálculo se logra gracias a los datos tomados por el analizador de energía FLUKE 438II, colocado en las bombas sumergibles, los datos de estas bombas presentes en el apéndice B, donde se nota que lo que más trabajan las bombas en un día

son 17 horas, lo que brinda una idea de cuanto trabajara el equipo agitador a instalar, ya que el mismo trabajara únicamente cuando las bombas entren a funcionar gracias a el sistema de detección de nivel de tipo boyas instalado en el tanque de vaciados.

Tabla 14.

*Consumo anual del equipo agitador con tarifa promedio.*

Consumo anual de equipo nuevo promedio de tarifa eléctrica				
Equipo	Horas trabajando	KW Consumidos	Costo energía KW/h	Costo energía por año del agitador
Agitador XRW 400	17.4	3	₡ 1,965.85	₡ 717,535.98

Fuente: Elaboración propia, 2022

Tabla 15.

*Consumo eléctrico Agitador XRW 400, con tarifas de la CNFL y tiempo de operación gracias al Analizador de energía implementado.*

Consumo anual de equipo nuevo promedio de tarifa eléctrica de CNFL				
Equipo Agitador XRW 400	Horas trabajando	KW Consumidos	Costo energía KW/h	Costo energía por año del agitador
Temporada Alta-Punta	4	3	₡ 734.88	₡ 268,231.20
Temporada Alta-Valle	8	3	₡ 734.64	₡ 268,143.60
Temporada Alta-Nocturno	5.4	3	₡ 357.21	₡ 130,381.65
				₡ 666,756.45

Fuente: Elaboración propia, 2022

Se realizan los cálculos de dos maneras, una realizando un promedio de las tres tarifas de media tensión, brindadas por la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (Punta, Valle y Nocturno), ya que el equipo trabaja en el transcurso del día durante 17.4 horas, durante las tres tarifas en cuestión, datos obtenidos gracias al analizador de energía.

En el otro cálculo realizado, se toman las tarifas respectivas dependiendo del horario específico de funcionamiento de la bomba # 1 visualizado mediante el analizador de energía como se logra ver en la figura 43 de la gráfica realizada por el software FLUKE, donde se toman en cuenta las tarifas brindadas por la Compañía Nacional de Fuerza y Luz mostradas en la siguiente imagen, este último dato de tarifas sesgadas gracias al analizador es el que se toma como base para realizar el análisis financiero del proyecto el cual es el más cercano a la realidad que pueda presentar el agitador de fondo a implementar en el proyecto.

<b>FACTURA</b> <b>89245824</b>		<b>Compañía Nacional de Fuerza y Luz, S.A.</b> Cédula Jurídica 3-101-000046-36	<b>NISE</b> 27538806	
<b>TARIFA MEDIA TENSION (T MT)</b>				
<b>RAZÓN ESTIMACIÓN- kWh</b> NO ESTIMADO	<b>DESGLOSE DE TARIFAS</b>			
	<b>CÓDIGO</b>	<b>PERIODO</b>	<b>BLOQUE CONSUMO (kWh)</b>	<b>COSTO</b>
	1	TMT Temporada Alta -Punta	0 a 999999999	¢ 61.24
	1	TMT TEMPORADA ALTA -VALLE	0 a 999999999	¢ 30.61
	1	TMT TEMPORADA ALTA -NOCTURNO	0 a 999999999	¢ 22.05
	2	TMT Temporada Alta -Punta	0 a 999999999	¢ 10,738.13
	2	TMT Temporada Baja -Valle	0 a 999999999	¢ 7,640.53
	2	TMT Temporada Baja -Nocturna	0 a 999999999	¢ 4,850.34
	6	TODOS LOS PERIODOS	50000.0001 a 999999999	¢ 3.15

<b>GLOSARIO</b>	
Periodos horarios establecidos	
Periodos de horas Punta: Abarcar de las 10:01 a.m. a las 12:30 a.m. y de las 5:31 p.m. a las 8:00 p.m. (5 horas al día).	
Periodos de horas Valle: Abarcar de las 6:01 a.m. a las 10:00 a.m. y de las 12:31 p.m. a las 5:30 p.m. (9 horas al día).	
Periodos de horas Nocturno: Abarcar de las 8:01 p.m. a las 6:00 a.m. del día siguiente (10 horas al día).	

Figura 63. Figura desarrollo 25. Tarifa media tensión CNFL.

Fuente: Factura 89245824 PTAR Los Tajos junio 2022

Tanto el consumo eléctrico del equipo, como el mantenimiento preventivo tomado según el manual de operación del agitador SULZER XRW 400, van a ser los flujos negativos en el análisis financiero realizado, a continuación, se muestra la tabla realizada con los costos del mantenimiento preventivo y el apartado del manual de operación de donde se toman los datos para elaborar dicha tabla, también se ven reflejados los tiempos estimados de duración del trabajo por el departamento de mantenimiento de la planta de tratamiento, donde el encargado de mantenimiento y en base al manual de operación-mantenimiento se estiman dichos tiempos:

Tabla 16.

*Mantenimiento preventivo según manual de operación del agitador XRW 400.*

Mantenimiento preventivo de agitador según manual de equipo					
Personal	Cantidad Horas	Cantidad de personas	Costo/hora técnico en colones	Costo por revisión colones	Costo anual colones
Técnico eléctrico	0.25	1	¢ 1,859.80	¢ 464.95	¢ 24,177.40
Técnico operador	1	2	¢ 1,859.80	¢ 3,719.60	¢ 44,635.20
Técnico mecánico	1.5	2	¢ 1,859.80	¢ 5,579.40	¢ 72,532.20
Técnico electrónico	1	1	¢ 1,859.80	¢ 1,859.80	¢ 96,709.60
<b>Total</b>					<b>¢ 238,054.40</b>

Fuente: Elaboración propia, 2022

<b>CUÁNDO:</b>	<b>Recomendación: Una vez al mes</b>
<b>PROCEDIMIENTO:</b>	Comprobación del consumo de corriente.
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	Comprobar el consumo con un amperímetro. En funcionamiento normal, el consumo de corriente debe ser constante. Fluctuaciones de corriente ocasionales pueden ser debidas al tipo de material agitado.
<b>ACCIÓN:</b>	Si durante mucho tiempo, y en funcionamiento normal, el consumo de corriente es demasiado alto, rogamos se pongan en contacto con el Servicio Técnico de Sulzer.
<b>CUÁNDO:</b>	<b>Norma: Cada 3 meses</b>
<b>PROCEDIMIENTO:</b>	Limpieza e inspección de las argollas y el equipo de elevación.
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	Sacar el equipo del depósito y limpiarlo. Elementos como polipastos, argollas, cables, abrazadera, etc. deben someterse a un examen visual con regularidad para detectar posibles signos de desgaste y corrosión.
<b>ACCIÓN:</b>	Sustituir las piezas dañadas o desgastadas. Rogamos se pongan en contacto con el Servicio Técnico de Sulzer.
<b>PROCEDIMIENTO:</b>	Inspección de la hélice y del anillo SD (Anillo deflector de sólidos).
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	Inspeccionar minuciosamente la hélice. En caso de signos de rotura o desgaste provocados por la agitación de materiales muy agresivos o abrasivos. En ambos casos la formación de corriente se reduce considerablemente y es necesario sustituir la hélice. Si se aprecia desgaste por arañazos en el tornillo protector de la hélice, sustituyan éste también.
<b>ACCIÓN:</b>	Si localizan cualquier daño de los descritos anteriormente, pónganse en contacto con el Servicio Técnico de Sulzer.
<b>CUÁNDO:</b>	<b>Recomendación: Cada 6 meses</b>
<b>PROCEDIMIENTO:</b>	Comprobación resistencia del aislamiento.
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	Entre las tareas de mantenimiento, debe comprobarse cada 4.000 horas, y/o al menos una vez al año la resistencia del aislamiento del bobinado del motor. Si el nivel no es el adecuado, es posible que haya entrada agua en el motor.
<b>ACCIÓN:</b>	Desconectar el equipo y NO ponerlo en marcha después. Rogamos se pongan en contacto con el Servicio Técnico de Sulzer.
<b>PROCEDIMIENTO:</b>	Prueba funcional de los sistemas de vigilancia.
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	Cada 4.000 horas y/o al menos una vez al año, debe comprobarse realizarse una prueba funcional de los sistemas de vigilancia. Para efectuar estas pruebas el agitador debe enfriarse a temperatura ambiente. El cable de conexión eléctrica del sistema de vigilancia debe desconectarse del cuadro eléctrico. Las mediciones deben realizarse a través de un ohmímetro en cada uno de los extremos del cable.
<b>ACCIÓN:</b>	En caso de cualquier problema funcional de los sistemas de vigilancia, rogamos se pongan en contacto con el Servicio Técnico de Sulzer.
<b>CUÁNDO:</b>	<b>Recomendación: Una vez al año</b>
<b>PROCEDIMIENTO:</b>	Comprobación de los pares de apriete de tornillos y tuercas.
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	Por motivos de seguridad, recomendamos comprobar una vez al año que los tornillos están bien apretados.
<b>ACCIÓN:</b>	Apretar los tornillos según el par correcto (ver 5.3).

Figura 64. Figura desarrollo 26. Mantenimiento preventivo de agitador a implementar.

Fuente: Manual de operación SULZER XRW 300/400/500/650/800, 2020, p.45

Para realizar el análisis financiero y visualizar los flujos positivos del mismo, se tuvo que contabilizar los paros producidos en los equipos sumergibles, boyas y mantenimientos correctivos que se realizaron en un periodo de un año, debido a la problemática de sedimentos y flotantes presentes en el tanque. Los fallos más comunes presentados en el tanque de vaciados están

directamente relacionados con las bombas sumergibles SULZER, su impeler y su válvula de retención, sufren de constante desgaste y obstrucción debido a el estado del tanque, además de su sistema de detección de nivel, que constantemente se obstruye o no cumple su función correctamente ya que la cantidad de solidos suspendidos producidos en el tanque, impiden que los sensores de nivel tipo boya funcionen correctamente no detectando el nivel real del tanque, produciendo inclusive que las bombas trabajen algunas veces al vacío, lo que perjudica gravemente a estos equipos.

A continuación, y gracias a la problemática expuesta, se presenta la tabla según los fallos con paro del equipo visualizados en el sistema SCADA, también analizados y utilizados en los análisis de tiempo medio entre fallos y tiempo medio de reparación. Estos fallos se promedian a un año para lograr realizar el análisis. Se toma en cuenta que el sistema de agitación que se piensa implementar no va a acabar por completo con los fallos o intervenciones que presentan los equipos, por lo que para realizar el análisis financiero se toma una muestra de las intervenciones reales en una semana (Del 28 de setiembre al 04 de octubre) para poder promediar los costos de estas intervenciones por el departamento de mantenimiento de la planta de tratamiento en el análisis financiero.

Tabla 17.

*Paros por obstrucción en válvula de retención tipo Check bomba sumergible y sensores de nivel.*

Paros por obstrucción en valvulas check e impulsor debido a problemática actual				
Personal	Cantidad Horas	Cantidad de personas	Costo/hora técnico en colones	Costo total colones
Tecnico eléctrico	2	1	₡ 1,859.80	₡ 3,719.60
Tecnico mecánico	2	2	₡ 1,859.80	₡ 7,439.20
Tecnico operador	2	2	₡ 1,859.80	₡ 7,439.20
				₡ 18,598.00
Costo por año según paros				₡ 3,868,384.00

Paros por fallos en boyas debido a problemática actual				
Personal	Cantidad Horas	Cantidad de personas	Costo/hora técnico en colones	Costo total colones
Técnico electrónico	3	2	₡ 1,859.80	₡ 11,158.80
Técnico operador	2	2	₡ 1,859.80	₡ 7,439.20
				₡ 18,598.00
Costo por año según fallos				₡ 2,901,288.00
Costos totales actuales				₡ 6,769,672.00

Estos costos realizados para el análisis financiero se toman como base para implementarlos como los flujos positivos dentro del mismo, esto porque el sistema está generando grandes consumos de horas hombre en intervenir los fallos antes mencionados en el sistema de bombeo presente en el tanque de vaciados. Para lograr realizar las tablas, se toma como referencia la boleta de pago de uno de los técnicos trabajadores de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Los Tajos, del mes de agosto del 2022 como se logra ver en la siguiente figura, cabe recalcar que tanto los operadores de planta como los técnicos de mantenimiento se encuentran bajo el mismo puesto, recibiendo el mismo salario:

INGRESOS		EGRESOS			
Cód.	Descripción	Horas	Monto	Cód.	Des.
001	Salario Base	224.0	416,593.33	510	Ccss
003	Salario Por Antigüedad	224.0	43,629.60	512	Ccss

Figura 65. Figura desarrollo 27. Boleta de pago agosto 2022.

Fuente: Boleta de pago Técnico Especialista AyA agosto 2022.

Con los datos anteriormente reflejados en las tablas de este desarrollo del proyecto, se logra realizar el análisis económico utilizando un tiempo de 10 años para este, ya que el equipo a instalar el cual es un agitador, como se logra ver en la tabla adjunta de años de vida útil activos, Decreto 18455-H:


Tabla 18.

*Años vida útil Activos Decreto 18455-H.*

Años de Vida Útil Activos Decreto 18455-H	
Bien o actividad	Años de vida
Abanicos	10
Afiladoras	15
Agitadores	10

Fuente: Acueductos y Alcantarillados, 2022

A continuación, se muestra la cotización utilizada para el análisis financiero la cual fue realizada por ALSARA TECHNOLOGIES S.A. gracias al estudio ingenieril realizado en campo:

		Cédula: 3101447673 Teléfono: (506) 2452-1213 Correo Electrónico: info@alsaracr.com Apartado Postal: 235-4300		Cotización: CT0822-126 Fecha: 29/08/2022			
<b>Datos del Cliente</b>							
<b>Cliente:</b> INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARIL		<b>Teléfono:</b> 2543-8635					
<b>Contacto:</b> NICOLAS MORA CASTRO		<b>Fax:</b>					
<b>Referencia:</b> AGITADOR POZOS DE VACIADO - LOS TAJOS		<b>Correo:</b> nmora@aya.go.cr					
<b>Condiciones de la Venta</b>							
<b>Moneda:</b> Dólares		<b>Vigencia de la oferta:</b> 15 DIAS					
<b>Suministro:</b> Local		<b>Forma de pago:</b> CREDITO 30 DIAS					
<b>Garantía:</b> UN AÑO CONTRA DEFECTOS DE FABRICA, SEGUN FABRICA		<b>Tiempo de entrega:</b> 18 SEMANAS DEPUÉS DE RECIBIR OC Y ADELANTO					
<b>Detalle de la Cotización</b>							
Item	Código	Descripción	Cantidad	Descuento	Precio	Exento	Gravado
1		<sup>1</sup> MEZCLADOR SUMERGIBLE TYPO ABS XRW 400 Marca: Sulzer. Modelo: XRW4031A-PM30/10-CR-D28-10 Mezclador compacto, diseñado en acero inoxidable. Motor Alta eficiencia IE3, motor de imantación permanente y alto capacidad de sobrecarga. 60 Hz-480Vac Rodamientos para 100 000 horas Sello de Sic-Sic. O-Ring NBR y Sellos de Labio. Sistema de monitoreo de sello, con sensor en cámara de aceite DI-System Sensor de temperatura PTC Termistor en el estator Cable para aplicaciones sumergibles, con Shield y capacidad de uso con VDF Peso Estimado: 90Kg.	1.00	0.00	19,995.00	0.00	19,995.00
2		<sup>2</sup> INSTALACION EN SITIO Incluye instalación en Tanque (previa coordinación de vaciado y limpieza) Materiales de guía en acero inoxidable Botonera de paro de emergencia costado del tanque.	1.00	0.00	21,875.00	0.00	21,875.00

Cableado eléctrico desde tanque hasta Centro de Control		
Integración en centro de carga actual con modificación en tablero, botoneras, integración de protección del mezclador, agregarlo a l HDMI actual.		
	<b>Subtotal:</b>	<b>41,870.00</b>
	<b>Descuento:</b>	<b>0.00</b>
	<b>Impuesto:</b>	<b>5,443.10</b>
	<b>Total:</b>	<b>47,313.10</b>
Atentos a cualquier consulta,		
<b>Notas:</b>		
<hr/>		
JOSE CARLOS MAIRENA ZUMB		
Teléfono: 71061613		
proyectos@alsaracr.com		
<b>Observaciones:</b>		
PRESUPUESTO PRELIMINAR CONSIDERA PUESTA EN MARCHA		

*Figura 66.* Figura desarrollo 28. Cotización utilizada para análisis financiero.

*Fuente:* ALSARA TECHNOLOGIES S.A 29 agosto 2022.

Esta se toma como la inversión inicial del proyecto, donde ya está contemplado la estructura, alimentación, cableado, botonera en sitio e implementación al sistema SCADA, HMI presentes en el cuarto de control 12/21 de la planta de tratamiento de aguas residuales Los Tajos.

A continuación, se muestran los costos del proyecto en colones, al igual que el costo del mantenimiento preventivo del agitador con la tarifa más alta de media tensión bridada por la CNFL y adquirida en la tabla 16 de este desarrollo para la realización del estudio:

Tabla 19.

*Resumen de costos.*

Cambio del dólar al 3/10/22 es de 633 colones	
<b>Costo del proyecto en dólares</b>	\$ 47,313.00
<b>Costo del proyecto en colones</b>	¢ 29,949,129.00
<b>Costo de operación del agitador anualmente en colones</b>	¢ 6,769,772.00

*Fuente:* Elaboración propia, 2022

Una vez realizado el estudio financiero del proyecto, se procede a analizar los resultados gracias a las tablas número 15, 16 y 17 de este desarrollo y utilizando la herramienta de Microsoft Excel con las fórmulas financieras para el cálculo de VAN y TIR.

La tasa de descuento es el coste de capital que se aplica para determinar el valor presente de un pago futuro y la utilizada por Acueductos y Alcantarillados es de un 10%.

A la hora de valorar la viabilidad de un proyecto de inversión es importante tener en cuenta la tasa de descuento de ese proyecto. Si la tasa de descuento es superior a la TIR, el proyecto no es viable, porque nos cuesta más financiar el proyecto que lo que obtenemos a largo plazo por la

inversión, una vez descontados los pagos futuros a su valor presente. Por ejemplo, en este proyecto, la TIR resulto ser igual a un 8%, pero la tasa de descuento es del 10%, el proyecto no es viable. A continuación, se muestra los resultados obtenidos en el análisis financiero.

Tabla 20.

*VAN del proyecto y TIR.*

<b>VAN Ahorro</b>	¢35,963,055.98
<b>VAN Proyecto</b>	¢6,013,926.98
<b>TIR</b>	8%

Fuente: Elaboración propia, 2022

Como el TIR es menor a la tasa de descuento utilizada por Acueductos y Alcantarillados, el proyecto no alcanza la rentabilidad mínima que le pedimos a la inversión. A continuación, se presentan los flujos positivos por año considerando el Valor Actual Neto, para así poder visualizar en que año se recupera la inversión, la cual fue de un costo total de ¢29,949,129.00 por lo que se puede notar que la inversión inicial es recuperada en el octavo año, aun así, se considera que el proyecto no es rentable al ser la tasa interna de retorno menor a la tasa de descuento pero no quiere decir que no se deba tener en cuenta ya que el factor ambiental y la cantidad de fallos producidos en el sistema puede generar considerar aplicar este proyecto.

Tabla 21.

*Tiempo de recuperación.*

Tiempo de recuperación	
Año	Monto
1	¢5,287,823.95
2	¢10,099,663.07
3	¢14,489,333.59
4	¢18,491,232.15
5	¢22,136,985.01
6	¢25,455,669.73
7	¢28,474,019.28
8	¢31,216,609.71
9	¢33,706,032.99
10	¢35,963,055.98

Fuente: Elaboración propia, 2022

## **CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **Conclusiones**

- Se analizaron las problemáticas que provocan los constantes fallos en el sistema de bombeo presente en el tanque de vaciados, esto mediante la recolección de información de plantas de tratamiento y aún más importante el análisis realizado de los indicadores de mantenimiento de tipo KPI, como lo son el tiempo medio entre fallos y tiempo medio de reparación, se concluye que el sistema actualmente está sufriendo de una cantidad muy alta de paros no programados gracias a este análisis, además se nota el impacto negativo generado a el sistema de control de nivel tipo boya el cual es uno de los sistemas más relacionado a los fallos analizados y brindados por el sistema SCADA presente en la planta.
- Una vez recopilada la información relacionada con los equipos presentes en la planta de tratamiento de aguas residuales Los Tajos dentro el tanque de vaciados, se logran identificar las partes de mayor desgaste dentro del equipo, como se pueden cambiar algunas de estas partes como lo es el impulsor por otras de un material más resistente a la abrasión como lo es la cerámica, su capacidad tecnológica y de control automático para una eventual implementación de un sistema de este tipo como el visto con el controlador PC 411 en el tanque de vaciados en sus bombas sumergibles.
- Se establecen los requerimientos básicos del agitador de fondo a utilizar, el cual es un mezclador sumergible tipo ABS XRW 400, siendo este un mezclador compacto, diseñado en acero inoxidable, con una potencia de 3 Kilowatts, todo esto gracias a el estudio ingenieril realizado con los manuales de diseño en campo y con los contratistas, revisión de tecnologías existentes en el mercado con la ayuda de contratistas profesionales en el tema y miembros de SICOP.
- Se rediseña cual va a ser la estructura, carga y alimentación eléctrica del proyecto, su diseño en plano, como iría conectado en el panel de la planta, inclusive la parte de control hacia el PLC, el diámetro de cable el cual sería de tipo AWG #12, la caída de tensión la cual es de 1,8% y las características técnicas de las protecciones como lo son guardamotors, relés de control y componentes necesarios pensando en que esta información puede llegar a ser incluida en el cartel por parte de AyA

para eventualmente solicitar a los contratistas que vayan a participar en la implementación.

- Se establece el impacto financiero gracias a el estudio de mercado realizado, en este análisis financiero no se toma en cuenta el consumo de repuestos de las bombas sumergibles relacionados con la problemática al igual que no se toman en cuenta los eventuales repuestos que pueda necesitar el agitador a implementar, esto para equiparar los costos dentro de este análisis en particular. En el estudio se logra identificar la Tasa Interna de Retorno la cual es inferior a la Tasa de Descuento por un total de 2%, esto lo que indica es que el proyecto puede que no sea viable, pero cabe recalcar que, al ser la vida útil del equipo a diez años por decreto interno de AyA, la inversión inicial se estaría recuperando al octavo año, además con el análisis de los indicadores de mantenimiento KPI antes mencionados se puede concluir debido a esto que el proyecto puede significar una mejora significativa para este sistema ya que los fallos con paro de equipo anualmente rondan los 1248 eventos produciendo muchas de las veces eventos que implican derrames de las aguas no tratadas en zonas aledañas a este tanque de vaciados, siendo esto un riesgo ambiental.

## **Recomendaciones**

Las siguientes recomendaciones van dirigidas a el personal AyA encargado de mantenimiento y operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Los Tajos:

- Se recomienda realizar los estudios y cálculos pertinentes para la instalación y dimensionamiento de una tubería auxiliar del sistema de desodorización presente en la PTAR Los Tajos el cual cuenta con tuberías de extracción de gases instaladas en varios puntos de los cuartos y procesos de la planta, la idea es llevar hasta este tanque de vaciados el cual se ve afectado estructuralmente por la presencia de gases como lo son sulfuro de hidrogeno y metanos un tramo de esta tubería. Debido a esta problemática se puede pensar en diseñar la instalación eléctrica y estructural de un medidor de gas tipo ENDER-HAUSSER o similar dentro del tanque, los cuales se encargan de medir la cantidad de oxígeno, sulfuro de hidrogeno y metanos presentes en la atmosfera, esto porque es de suma importancia la seguridad para el trabajador encargado de limpiezas de boyas, tanque y equipos presentes en el sistema, además de ser de gran utilidad a la hora de realizar

limpiezas en fondo de tanque con hidro vaciador de manera segura por parte del personal de la planta.

- Se recomienda la implementación de una estructura tipo plataforma dentro del tanque de vaciados para que se puedan realizar limpiezas por parte del departamento operativo en las partes internas del tanque, esto sería prudente implementarlo una vez que el sensor de gas este en sitio instalado con su respectiva pantalla de visualización de datos.
- Una vez realizado el estudio financiero se logró identificar la Tasa Interna de Retorno la cual es inferior a la Tasa de Descuento, demostrando con estos datos que el proyecto no es viable, aun así, cabe recalcar que se pueden tomar en cuenta más variables para el estudio, ya que no se toman en cuenta los repuestos consumidos por los equipos de bombeo debido a que tampoco se toman los repuestos que pueda consumir el agitador de fondo a implementar, ambos podrían ser estudiados y tomados en cuenta para un eventual estudio financiero. También se puede recomendar comprar uno de los equipos agitadores cotizados en este estudio con el controlador PC411 investigado y cotizado como se logra ver en el apartado de anexos, pero no utilizados en el actual estudio financiero, todos estos costos se pueden tomar de manera individual como inversión inicial en un nuevo estudio por si Acueductos y Alcantarillados en la planta de tratamiento Los Tajos puede brindar la mano de obra técnica y disponible para la implementación del proyecto minimizando quizás los costos de mano de obra propuestos por ALSARA TECHNOLOGIES S.A. lo que significaría un ahorro en el estudio financiero logrando que el proyecto se convierta aún más viable financieramente.
- De manera ambiental también cabe decir que se recomienda implementar este tipo de proyecto, ya que en muchas ocasiones el sistema de bombeo del tanque de vaciados, debido al mal estado de este y por las obstrucciones presentes en el sistema de control de nivel tipo boya, se han derramado sus aguas residuales, lodo, arenas y grasas en el terreno aledaño al tanque, siendo esto un impacto ambiental grave ya que se pueden llegar a contaminar mantos acuíferos presentes en la zona con estas aguas sin tratamiento, donde Acueductos y Alcantarillados cuenta con una responsabilidad ambiental reconociendo esta responsabilidad como entidad encargada de suministrar el servicio de agua potable y saneamiento, asumiendo este compromiso en procura de una mejora continua de sus procesos institucionales, esto a través de una gestión integral del recurso hídrico y su entorno

ambiental, asegurando la cantidad, la calidad y la continuidad del recurso, evitando la contaminación ambiental por medio de la disminución o eliminación de los impactos ambientales negativos como es el estudiado en este trabajo, originados en las actividades de la institución, como se logra visualizar y referenciar en la Política Ambiental Institucional adjunta en los anexos de este trabajo, al igual que el permiso de funcionamiento brindado por el Ministerio de Salud. Con la implementación del agitador seleccionado se considera que, según las características mecánicas de este, tanto los flotantes, como las arenas y sedimentos presentes en el tanque, se llegarían a homogenizar, logrando una mayor eficiencia en el sistema de bombeo. Como parte de esta recomendación se puede cambiar el sistema de detección de nivel tipo boya, por un sistema de detección de nivel ultrasónico, realizar los estudios pertinentes de diseño ya que ayudaría a disminuir la problemática actual del sistema que opera en el tanque de vaciados, esto siendo implementado una vez que se mejore la problemática de sólidos suspendidos dentro del tanque, que actualmente no permiten la instalación de un sistema como el recomendado.

## CAPÍTULO VI: PROPUESTA

### Descripción

Para la implementación de este proyecto dentro del tanque vaciados ubicado en la planta de tratamiento de aguas residuales Los Tajos en la Uruca, es necesario programar los siguientes trabajos:

1. Limpieza y vaciado de las aguas, flotantes y sedimentos presentes en el tanque de vaciados en coordinación con el departamento de operación de la planta al menos un día antes de los trabajos necesarios para la instalación del agitador.
2. Instalación de la estructura en tanque de vaciados donde se realizaría el montaje del agitador, además de su sistema de elevación para futuros mantenimientos preventivos y correctivos.
3. Instalación del agitador SULZER de la gama ABS modelo XRW 400.
4. Instalación de la botonera de paro de emergencia del agitador al costado del tanque junto al resto de las botoneras de las bombas sumergibles.
5. Cableado eléctrico AWG#12 THHW de 75°C desde tanque de vaciados hasta Centro de Control de Motores 12/21 mediante tubería PVC Tipo A de ½ pulgada.
6. Integración en centro de carga actual con las siguientes modificaciones en tablero de cuarto de control:
  - Botoneras para arranque y paro.
  - Luces indicadoras de funcionamiento manual o automático además de las de arranque y paro.
  - Selector de tres posiciones para local, automático y paro.
7. Integración de protecciones y señales necesarias del mezclador al sistema SCADA, además de agregarlo a HDMI actual presente en el Centro de Control de Motores y PLC (CCM 12/21).

### Objetivos de propuesta

1. Instalar el agitador XRW 400 su estructura, carga y alimentación eléctrica.
2. Homogenizar los componentes sedimentados y flotantes que están produciendo la problemática en el sistema de bombeo.
3. Reducir los fallos y paros no programados producidos en las bombas sumergibles instaladas en el tanque mediante el sistema de agitación.

4. Disminuir los fallos que presenta el sistema actual de detección de nivel tipo boya al eliminar los flotantes o solidos suspendidos presentes dentro del tanque de vaciados mediante la agitación mecánica de las aguas.
5. Valorizar las ventajas que pueda tener el sistema de bombeo presente en el tanque con la implementación del proyecto.

### Glosario de propuesta

**CCM:** Centro de Control de Motores

**HDMI:** De sus siglas en ingles High-Definition Multimedia Interfaz.

**HG:** Iniciales de Hierro Galvanizado

**IE3:** Eficiencia eléctrica Premium (idéntica a “NEMA Premium” en los EE. UU. para 60 Hz).

**PTC:** Positive Temperature Coefficient (coeficiente térmico positivo en inglés), un tipo de termistor denominado posistor.

**NBR:** Siglas para el material de Caucho de nitrilo-butadieno.

**ORING:** Junta de forma toroidal, habitualmente de goma, cuya función es la de asegurar la estanqueidad de fluidos.

**KN:** Kilo Newton.

### Propuesta

A continuación, se detallan los componentes estructurales para la elevación del equipo y elementos eléctricos necesarios para la implementación del proyecto, con sus características técnicas:

Para la parte estructural del agitador:

- Tubos HG de 50x50mm.
- Equipo de elevación ABS 5KN.
- Materiales de guía en acero inoxidable.
- Placa de anclaje de 1 pulgada espesor.

Para la instalación eléctrica se debe de tomar en cuenta que los paneles de la planta ya cuentan con su estructura, la cual debe ser la misma para el agitador a implementar, para esta

estructura de los paneles eléctricos se toma de referencia un equipo de agitación similar instalado en un tanque de homogenización presente en la planta de medio kilowatt mayor al que se estudia en este proyecto:

### **Mezclador sumergible tipo ABS XRW 400**

- Mezclador compacto, diseñado en acero inoxidable.
- Motor Alta eficiencia IE3, motor de imantación permanente y alto capacidad de sobrecarga.
- 60 Hz-480Vac.
- Rodamientos para 100 000 horas.
- Sello mecánico de Silicio-Silicio.
- O-Ring NBR y Sellos de labio.
- Sistema de monitoreo de sello, con sensor en cámara de aceite DI-System.
- Sensor de temperatura PTC Termistor en el estator.
- Cable para aplicaciones sumergibles, con escudo y capacidad de uso con variador de frecuencia.
- Peso estimado de 90Kg.

### **Instalación eléctrica**

- Cableado de lugar de instalación a CCM 12/21 tipo AWG #12 TW de 60°C para la potencia y uno con el mismo diámetro para las señales de control.
- Tubería para cableado de PVC Tipo A de ½ pulgada.
- Al ser la corriente consumida por el agitador de 7,8 A: Guarda motor SIEMENS modelo 3RV2311-1JC10 de 10 Amperios de corriente nominal y de 130 Amperios corriente disparador o similar.
- Transformador diferencial para vigilancia de corriente SIEMENS 3UL2302-1 A o similar.
- Relé de sobrecarga SIEMENS 3RU2126-1JB1 regulable de 7 a 10 Amperios o similar.
- Relé de vigilancia digital de corriente de defecto SIEMENS 3UG4625-CW30 con ajuste digital o similar.
- Paro de emergencia Según la norma EN ISO 13850.
- Luces y botoneras para paneles de control.
- Selector de tres posiciones.

## GLOSARIO

**ACCIONA AGUA:** Empresa encargada del proyecto de saneamiento. Grupo global de desarrollo y gestión de soluciones sostenibles de infraestructura, especialmente de energías renovables. (accionagua.es)

**Antideflagrante:** Adjetivo. Que elimina o reduce el peligro de explosión.

**AyA:** Siglas para Acueductos y Alcantarillados.

**Caudalímetro:** Instrumento de medida para la medición de caudal o gasto volumétrico de un fluido o para la medición del gasto másico y suele colocarse en línea con la tubería que transporta el fluido. (iagua.es)

**Desarenador:** Estructura diseñada para retener la arena que traen las aguas servidas o las aguas superficiales a fin de evitar que ingresen al canal de aducción, a la central hidroeléctrica o al proceso de tratamiento y lo obstaculicen creando serios problemas. (Wikipedia.com)

**Desbaste:** Eliminar las fragmentos más bastos o groseros de aquello que se pretende labrar o perfeccionar.

**GAM:** Siglas para Gran Área Metropolitana.

**JBIC:** Siglas para Japan Bank for International Cooperation encargado de prestar dinero para la implementación del proyecto PTAR. (jbic.go.jp)

**KPI:** Del inglés, el acrónimo KPI significa Key Performance Indicator, es decir, Indicador Clave de Desempeño. Estos son los indicadores o valores cuantitativos que se pueden medir, comparar y monitorear, con el fin de exponer el desempeño de los procesos y trabajar en las estrategias de un negocio.

**NEC:** Acrónimo para Código eléctrico Nacional.

**PAPS:** Siglas para Programa de Agua Potable y Saneamiento.

**PLC:** Controlador Lógico Programable, más conocido PLC (Programmable Logic Controller, debido a sus siglas en inglés) es básicamente una computadora que se utiliza en la ingeniería de automatización para las industrias, es decir, para el control de la maquinaria de una fábrica o de situaciones mecánicas.

**PTAR:** Siglas para Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

**PVC:** Es la sigla inglesa derivada de 'Polivinile chloride' que en castellano corresponde a Policloruro de Vinilo o PVC. Pertenece a una extensa familia de materiales denominada polímeros.

**SICOP:** Siglas para Sistema Integrado de Compras Públicas. (sicop.go.cr)

**SCADA:** (Supervisory Control and Data Acquisition, es decir, Supervisión, Control y Adquisición de Datos) No es una tecnología concreta sino un tipo de aplicación. Cualquier aplicación que obtenga datos operativos acerca de un “sistema” con el fin de controlar y optimizar ese sistema es una aplicación SCADA.

**TIR:** Siglas para Tasa Interna de Retorno.

**VAN:** Siglas para Valor Actual

## BIBLIOGRAFÍA

Association, N. F. (2014). *NEC*. NFPA.

Bedoya, J. C. (2012). *ESTUDIO DEL PROCESO DE NITRIFICACIÓN Y DESNITRIFICACION*. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia.

Cenicio, E. C. (2018). *Diseño de un tanque agitador de concentrado de Zinc*. Lima: Universidad Teecnologica del Perú.

Economipedia. (27 de Setiembre de 2022). *Economipedia*. Obtenido de Economipedia: <https://www.economipedia.com>

EMAIINT. (13 de AGOSTO de 2022). *EMAIINT*. Obtenido de EMAINT: <https://www.emaint.com/es/mtbf-mttf-mttr>

FLUKE. (26 de Setiembre de 2022). *Fluke*. Obtenido de Fluke: <https://www.Fluke.com/es-cr/productos>

GARGIL. (22 de Junio de 2021). Obtenido de GARGIL: <https://www.gargil.es>

GRUNDFOS. (2021). *Catálogo de diseño para mezclado*. Bjerringbro: Grundfos holding A/S.

LA NACION. (JULIO de 2022). Obtenido de LA NACION: <https://www.nacion.com/opinion/editorial-paso-adelante-en-tratamiento-de-aguas>

Retana, B. (Junio de 2022). Curso Diseño Eléctrico Industrial. San Jose, San Jose, Costa Rica.

Rivas, W. L. (2012). *Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales*. Colombia: Universidad Piloto de Colombia.

Sulzer. (27 de Julio de 2022). Obtenido de Sulzer: <https://www.sulzer.com>

Sulzer. (2022). *Catalogo SULZER Gama ABS RW200-650*. Sevilla.

Sulzer. (12 de enero de 2022). Manual de operacion y mantenimiento Sulzer. Uruca, San Jose, Costa Rica.

Uribe, V. C. (2013). *Diseño y Cálculo de un agitador de fluidos*. Concepción: Universidad del Bío-Bío.

## APÉNDICE

### Apéndice A. Plan de ejecución y horas de trabajo para desarrollo de proyecto

#### Plan de ejecución y horas de trabajo (Oficio N.º DJ-LP-2006-865) David Ortega Muñoz.

A continuación, se detallan las horas en las que se piensa dedicar a la tesis del proyecto de mejora en pozo de vaciados de la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR Los Tajos, cabe recalcar que mi horario actualmente es un horario rotativo por semana de 3 turnos los cuales se detallan: **Mañana** 6:00am a 2:15pm, **Tarde** de 2:00pm a 10:00pm y **Noche** de 10:00pm a 6:00am.

Días año 2022	Horario laboral	Horario de trabajo para proyecto	Horas
<b>Martes 20 septiembre</b>	Libre	7:00am a 10:00am	3h
<b>Lunes 26 de septiembre</b>	Libre	7:00am a 10:00am	3h
<b>Viernes 07 de octubre</b>	2:00pm a 10:00pm	11:00am a 2:00pm	3h
<b>Viernes 14 de octubre</b>	10:00pm a 6:00am	6:00am a 9:00am	3h
<b>Martes 18 de octubre</b>	Libre	9:00am a 12:00pm	3h
<b>Jueves 27 de octubre</b>	Libre	9:00am a 12:00pm	3h
<b>Martes 01 de noviembre</b>	Libre	9:00am a 12:00pm	3h
<b>Viernes 18 de noviembre</b>	2:00pm a 10:00pm	11:00am a 2:00pm	3h
<b>Jueves 24 de noviembre</b>	10:00pm a 6:00am	6:00am a 9:00am	3h
<b>Martes 29 de noviembre</b>	Libre	9:00am a 12:00pm	3h
		Total	27h

Estos días y horas de trabajo van a estar dedicadas a el análisis financiero del proyecto, junto con lo que se piensa cotizar y analizar con los contratistas. Además del estudio de fallos vistos en el sistema SCADA presente en la planta.

## Apéndice B. Consumo de bombas sumergibles según analizador

Tabla de consumo de energía de bombas sumergibles Sulzer, datos conseguidos gracias al analizador de energía FLUKE.

Consumo de bombas sumergibles según analizador			
Equipos	Horas trabajando	KW Consumidos	Costo energía KW/h (Colones)
Bomba 1	17.4	2.625	1720.1205
Bomba 2	10.9	2.2	903.0868
Bomba 3	5.6	2.25	474.516
Bomba 4	0	0	0
Total			3097.7233
Total anual			1130669.005



# ANEXOS

Cotización de un agitador y controlador únicamente sin costos de instalación ni mano de obra.



Impulsando el agua a otro nivel  
ALROTEK DE CENTROAMERICA SOCIEDAD ANONIMA  
25 mtrs Norte del cruce San José - Palmares, Autopista Bernardo  
Soto  
Palmares, 2, Costa Rica

INSTITUTO COSTARRICENSE DE  
ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS.  
CALLE PRINCIPAL, ROHRMOSER, PAVAS, SAN  
JOSE.  
1, Costa Rica  
Cédula: 4000042138

## Factura Pro-Forma # CT0822-1323

Fecha de cotización: 22/08/2022    Vencimiento: 21/09/2022    Comercial: JOSE PABLO VASQUEZ

AGITADOR SUMERGIBLE SULZER 2.8KW MODELO RW280 460V	1.00 Servicios Técnicos	Precio U. 4,452.00	IVA 13%	Subtotal \$ 4,452.00
---	----------------------------	-----------------------	------------	-------------------------

CON LAS SIGUIENTES CARACTERISTICAS

- AISLAMIENTO CLASE F
- EJE DEL ROTOR LUBRICADO DE POR VIDA
- SELLO MECANICO CON CARAS DE CARBURO DE SILICIO
- ANILLO DE DESVIACION DE SOLIDOS, PROTECCION DEL SELLO MECANICO
- IMPULSOR DE DOS ALAVES , EN HIERRO FUNDIDO
- SENSOR TERMICO EN EL STATOR

CONTROLADOR DE BOMBA SULZER MODELO PC441	1.00 Servicios Técnicos	Precio U. 2,115.00	IVA 13%	Subtotal \$ 2,115.00
--	----------------------------	-----------------------	------------	-------------------------

CON LAS SIGUIENTES CARACTERISTICAS

- MONITOREO DE BOMBA
- CONEXION A SISTEMA SCADA PREVISTO (SUPERVISION, CONTROL Y ADQUISICION DE DATOS)

<b>Subtotal</b>	\$ 6,567.00
IVA 13% en \$ 6,567.00	\$ 853.71
<b>Total</b>	\$ 7,420.71

TIEMPO DE ENTREGA 12-14 SEMANAS

Plazo de pago: 30 días

+506 2452 1046    info@alrotek.com    https://www.alrotek.com    Cédula: 3101346854

## Cotización para verificación de flujo no invasivo del sistema de bombeo del tanque



**Cotización No.: 13749**

Vigente hasta: 14-07-2022

**Empresa:** INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS

**Identificación:** 4000042138

**Fecha:** 30-06-2022 07:49 AM

**Solicitud No:**

**Cuenta:** 1619

**Contacto:** David Ortega

**Teléfono:** 22425000 /

**Correo:** dortega@aya.go.cr

**Nueva dirección para enviar órdenes de compra [dis-ordenesdecompra@tecnosagot.com](mailto:dis-ordenesdecompra@tecnosagot.com)**

En atención a su solicitud, es un gusto presentarle la siguiente oferta:

Lin	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Precio Neto
1	<b>80142-05 - SERVICIO DE VERIFICACION DE FLUJO NO INVASIVO</b> CAByS: 8344900000000  Incluye: Instalación de transductores ultrasónicos, por parte de Ingeniero de servicio autorizado. Cálculo de distancia de instalación, velocidad de sonido, velocidad de fluido según tipo y diámetro de tubería. Configuración de Datalogger interno en Transmisor de flujo. Reporte de servicio con: medición promedio, caudal máximo, caudal mínimo, tiempo de muestra, totalizado. Reporte con los datos almacenados por el transmisor de flujo durante todo el tiempo de muestreo. (Excel). Hasta 1 día.  No incluye: Días adicionales. Tiempo extra de Ingeniero de servicio. Repuestos.	1.00	SRV	321,750.00	321,750.00
Subtotal					321,750.00
Descuento					0.00
IVA					41,827.50
<b>Total (Costa Rica, Colón)</b>					<b>363,577.50</b>

Notas: 1. Se incluyen únicamente horas ordinarias, de lunes a viernes, de 8:00 a.m. a 4:00 p.m.

2. Horas extraordinarias tiene un cargo adicional de \$75 por hora.

### Términos y condiciones

**Tiempo de entrega:** Por definir

**Lugar de entrega:** Sus instalaciones.

**Forma de Pago:** Usual de la institución.

Esperamos que esta propuesta sea de su agrado. No dude en contactarnos para cualquier consulta adicional.

# Ficha técnica del agitador Sulzer XRW 400

## Submersible Mixer Type ABS XRW 400

**SULZER**  
60 Hz

Compact, submersible, stainless steel mixer, designed to achieve an optimum flow pattern in a wide range of mixing and stirring applications, in large tanks and open waters.

### Construction

The submersible mixer is designed as a compact, water-pressure-tight unit, including propeller and integrally casted installation bracket for attachment to a square guide tube. Maximum allowable temperature of the medium for continuous operation is 40 °C (104 °F).

#### Motor:

Premium Efficiency, IE3 equivalent, sensorless permanent-magnet motor with high overload capacity; 60 Hz; 10-pole; 480 V\* using variable frequency drive (VFD) control. Protection type IP 68, with stator insulation Class F. Start-up: variable frequency drive (VFD) Max. submergence 20 m (66 ft). \*other voltage available

#### Propeller:

Technically optimized, axially operating 3-blade propeller, designed to achieve high thrust and therefore a high flow capacity in an axial direction. The propeller is self-cleaning and so ensures vibration-free operation.

#### Solids deflection ring:

Enhanced solids deflection ring design. The patented solids deflection ring protects the mechanical seal from damage by ingress of solid or fibrous matter.

#### Bearings:

All bearings are lubricated-for-life and maintenance-free, with a calculated lifetime of more than 100,000 h.

#### Shaft sealing:

Sio-Sio, covered mechanical seal at medium side. NBR O-rings and lip seals.

#### Seal monitoring:

DI-system with sensors in the oil, motor and cable connection chambers.

#### Temperature monitoring:

Overtemperature protection using a PTC thermistor in the stator at 140 °C (284 °F).

#### Cable:

10 m (33 ft) sewage-resistant, shielded, VFD power cable type 37-102VFD.

#### Optional lengths:

15 m (49 ft), 20 m (66 ft), 30 m (98 ft), 40 m (131 ft), 50 m (164 ft).

#### Options:

Explosion-proof version, additional seal (Sio-C) at motor side, flow ring, seals in viton, vertical angle adjustment, vortex shield, vibration damper, lifting hoop.

#### Weight:

80 kg (176 lbs). With flow ring add 10 kg (22 lbs).

### Materials

Part	
Motor housing	1.4404 (AISI 316 L)
Sliding bracket	1.4470 (AISI 329) / polyamide (CF-8M)
Motor shaft	1.4401 (AISI 316)
Propeller	1.4571 (AISI 316 T)
Fasteners	1.4401 (AISI 316)
Lifting band	1.4571 (AISI 316 T)



### System data

Motor	PM 30/10	PM 50/10
Rated power (kW/hp)	3.0 / 4.0	5.0 / 6.7
Motor efficiency (%)	90.7	88.9
Variable Frequency Drive (VFD)	A	B
Rated power (kW/hp)	4.0 / 5.4	5.5 / 7.4
Rated current (A) at 480 V	8.1	10.9
<b>Total system efficiency (%)</b>	<b>88.0</b>	<b>86.5</b>

### Mixer performance

Hydraulic No.	Mixer power P <sub>m</sub> in kW/hp	Motor kW/hp
4031 A	1.2 / 1.6	3.0 / 4.0
4032 A	1.5 / 2.0	3.0 / 4.0
4033 A	1.8 / 2.4	3.0 / 4.0
4034 A	2.2 / 3.0	3.0 / 4.0
4035 A	2.6 / 3.5	3.0 / 4.0
4031 B	3.0 / 4.0	5.0 / 6.7
4032 B	3.5 / 4.7	5.0 / 6.7
4033 B	4.0 / 5.4	5.0 / 6.7
4034 B	4.5 / 6.0	5.0 / 6.7
4051 A*	1.2 / 1.6	3.0 / 4.0
4052 A*	1.5 / 2.0	3.0 / 4.0
4053 A*	1.8 / 2.4	3.0 / 4.0
4054 A*	2.2 / 3.0	3.0 / 4.0
4055 A*	2.6 / 3.5	3.0 / 4.0
4051 B*	3.0 / 4.0	5.0 / 6.7
4052 B*	3.5 / 4.7	5.0 / 6.7
4053 B*	4.0 / 5.4	5.0 / 6.7
4054 B*	4.5 / 6.0	5.0 / 6.7

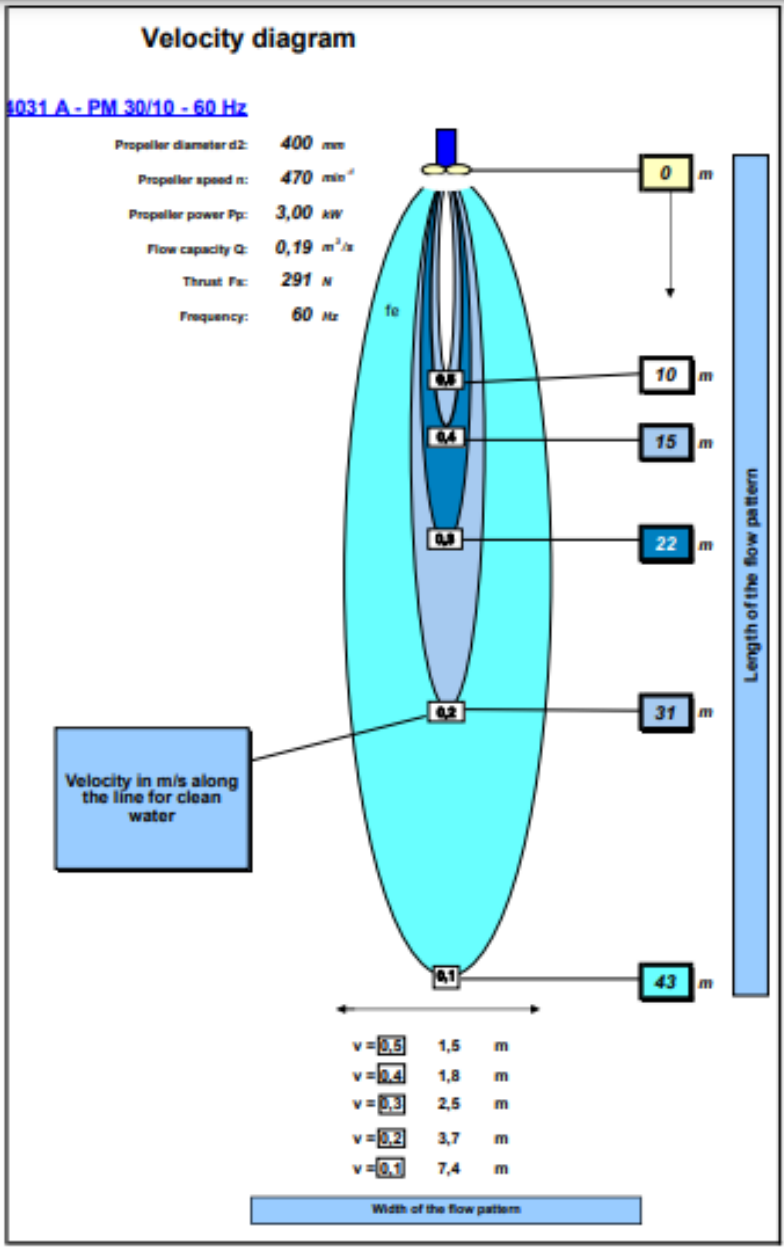
\*with flow ring

www.sulzer.com

XRW 400 60Hz en (05.2021), Copyright © Sulzer Ltd 2021

This document does not provide a warranty or guarantee of any kind. Please contact us for a description of the warranties and guarantees offered with our products. Directions for use and safety will be given separately. All information herein is subject to change without notice.

**Diagrama de velocidad del agitador Gama ABS XRW 400.**





INSTITUTO COSTARRICENSE DE  
ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS

## **POLÍTICA AMBIENTAL INSTITUCIONAL**

---

El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados reconoce su responsabilidad ambiental, como institución encargada de brindar el servicio de agua potable y saneamiento, asumiendo el compromiso, en procura de una mejora continua de sus procesos institucionales. A través de una gestión integral del recurso hídrico y su entorno ambiental, asegurando la cantidad, la calidad y la continuidad del recurso, evitando la contaminación ambiental por medio de la disminución o eliminación de los impactos ambientales negativos significativos originados en las actividades de la Institución. Integrando activamente a las y los funcionarios de todos los niveles y cumpliendo con la legislación vigente y reglamentaria nacional ambiental.



El agua es vida ¡ Cuidémosla !

# Permiso Sanitario de Funcionamiento del Ministerio de Salud



## PERMISO SANITARIO DE FUNCIONAMIENTO DEL MINISTERIO DE SALUD

Nº: 85800

REGIÓN RECTORA DE SALUD: CENTRAL SUR

ÁREA RECTORA DE SALUD: CARMEN - MERCED - URUCA

En cumplimiento a lo que establece la Ley General de Salud (#5395) y al Reglamento General para Autorizaciones y Permisos Sanitarios de Funcionamiento otorgados por el Ministerio de Salud (DE.39472-S), así como demás normativas vigentes, se extiende el presente permiso de funcionamiento a:

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES LOS TAJOS

NOMBRE DEL ESTABLECIMIENTO

Razón Social: INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS

Representante Legal: TOMAS FRANCISCO MARTINEZ BALDARES

Cédula Jurídica: 4000042138

Cédula de Identidad: 108600841

Tipo de Actividad: TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ORDINARIAS (TRATAMIENTO PRIMARIO)

Dirección: SAN JOSE  
PROVINCIA

SAN JOSE  
CANTÓN

URUCA  
DISTRITO

Otras señas: SOBRE CARRETERA LA CARPIO

Clasificación CIU: 3700

Tipo de Riesgo: B

DADO EN LA CIUDAD SAN JOSE A LOS DIAS 26 DÍAS DEL MES 01 DEL 2021

El presente permiso es válido exclusivamente para la actividad y lugar arriba indicado por el período correspondiente, salvo que las condiciones de éste o de su funcionamiento, o las infracciones que cometan a la legislación ameriten la suspensión o cancelación anticipada del mismo, o la clausura del establecimiento para garantizar la salud de los trabajadores, de la población y del ambiente general.

Tiene validez de: 5 años.

Debe de ser renovado el: 26 de 01 del 2026

Los alcances y condiciones bajo las cuales se otorga este permiso se establecen en la Resolución N°: 94

HUGO RICARDO GUEVARA SANCHEZ

NOMBRE

DIRECTOR (A) ÁREA RECTORA DE SALUD

Original: Interesado

SELO

FIRMA

DIRECTOR (A) ÁREA RECTORA DE SALUD

CC: Expediente de ARS

COLÓQUESE EN LUGAR VISIBLE