

# Universidad Nacional de Ingeniería

## Facultad de Ingeniería Ambiental



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

### **Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales de la localidad de Juliaca – Sistema de tratamiento de aguas residuales de la cuenca del Lago Titicaca**

Para obtener el título profesional de Ingeniero Sanitario

Elaborado por

Gary Villaverde Valderrama

 [0009-007-1161-0292](https://orcid.org/0009-007-1161-0292)

Asesor

MSc. Juan Carlos Alarcón Córdor

 [0000-0001-9020-8232](https://orcid.org/0000-0001-9020-8232)

LIMA – PERÚ

2023

---

GIZ México [1]

[1] GIZ México, *Guía técnica para el manejo y aprovechamiento de biogás en plantas de tratamiento de aguas residuales*. Ciudad de México: Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento, 2017.

---

(GIZ México, 2017)

GIZ México (2017). *Guía técnica para el manejo y aprovechamiento de biogás en plantas de tratamiento de aguas residuales*. Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento

---

López [2]

[2] C. López, *Tratamiento biológico de aguas residuales: principios, modelación y diseño*. UK: IWA Publishing, 2017.

---

(López, 2017)

López, C. (2017). *Tratamiento biológico de aguas residuales: principios, modelación y diseño*. IWA Publishing

---

Rocha [3]

[3] A. Rocha Felices, *Hidráulica de tuberías y canales*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2007.

---

(Rocha, 2007)

Rocha, A. (2007). *Hidráulica de tuberías y canales*. Universidad Nacional de Ingeniería.

---

Rodríguez [4]

[4] P. Rodríguez Ruiz, *Hidráulica de canales*. Ciudad de México, 2008.

---

(Rodríguez, 2008)

Rodríguez, P. (2008). *Hidráulica de canales*.

---

Qasim [5]

[5] R. Qasim, *Wastewater treatment and reuse: theory and design examples*. Dallas (Texas): CRC Press, 2018.

---

(Qasim, 2018)

Qasim, R. (2018). *Wastewater treatment and reuse: theory and design examples*. CRC Press

---

Ramalho [6]

[6] R. Ramalho, *Tratamiento de aguas residuales*. Canadá: Editorial Reverté, 1990.

---

(Ramalho, 1990)

Ramalho, R. (1990). *Tratamiento de aguas residuales*. Editorial Reverté S.A.

---

---

Turovskiy [7]

[7] I. Turovskiy, *Wastewater sludge processing*. Canadá: John Wiley & Sons, inc, 2006.

---

(Turovskiy, 2006)

Turovskiy, I. (2006). *Wastewater sludge processing*. John Wiley & Sons, inc.

---

Metcalf&Eddy [8]

[8] Metcalf&Eddy, *Wastewater engineering: treatment and resource recovery, fifth edition*. New York (USA): McGraw-Hill Education, 2014.

---

(Metcalf&Eddy, 2014)

Metcalf&Eddy (2014). *Wastewater engineering: treatment and resource recovery, fifth edition*. McGraw-Hill Education.

---

Van Haandel [9]

[9] A. Van Haandel, *Handbook of biological wastewater treatment second edition*. London (UK): IWA Publishing, 2012.

---

(Van Haandel, 2012)

Van Haandel, A. (2012). *Handbook of biological wastewater treatment, second edition*. IWA Publishing.

---

Von Sperling [10]

[10] M. Von Sperling, *Activated sludge and aerobic biofilm reactors*. London (UK): IWA Publishing, 2007.

---

(Von Sperling, 2007)

Von Sperling, M. (2007). *Activated sludge and aerobic biofilm reactors*. IWA Publishing.

---

Water Environment Federation [11]

[11] Water Environment Federation, *Clarifier design: WEF Manual of practice No. FD-8*. USA: McGraw-Hill Education, 2005.

---

(Water Environment Federation, 2005)

Water Environment Federation (2005). *Clarifier design: WEF Manual of practice No. FD-8*. McGraw-Hill Education.

---

Water Environment Federation [12]

[12] Water Environment Federation, *Design of municipal wastewater treatment plants: WEF manual of practice No. 8 ASCE manuals and reports on engineering practice No. 76, Fifth Edition*. USA: McGraw-Hill Education, 2010.

---

(Water Environment Federation, 2010)

Water Environment Federation (2010). *Design of municipal wastewater treatment plants: WEF manual of practice No. 8 ASCE manuals and reports on engineering practice No. 76, Fifth Edition*. McGraw-Hill Education.

---

### ***Dedicatoria***

*A mi madre Zoila, por su amor, cariño, constante apoyo y dedicación hacia mi persona, por su sacrificio y esfuerzo para brindarme una educación, pero sobre todo por ser mi ejemplo de vida.*

## **Agradecimientos**

A los ingenieros de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria (EPIS, FIA-UNI) por su loable labor de enseñanza y motivación para la formación de profesionales con capacidades para abordar todo tipo de problemática concerniente a la Ingeniería Sanitaria.

## Resumen

El presente trabajo describe el diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Juliaca de la provincia de San Román, región Puno. La PTAR Juliaca es parte del proyecto integral PTAR Titicaca que abarca una intervención en diez de las trece provincias de la región Puno a fin de desarrollar una solución para el tratamiento de aguas residuales municipales de la cuenca del Lago Titicaca. La PTAR Juliaca reemplazará a la PTAR existente La Chilla, la cual actualmente realiza un inadecuado tratamiento de las aguas residuales.

En el presente trabajo se describen los diseños de la línea de agua, línea de sólidos y lodos, y línea de gases de la PTAR Juliaca. En la línea de agua el diseño del tratamiento preliminar mecanizado, sedimentadores primarios circulares, sistema de lodos activados con dosificación de cloruro férrico previa a la sedimentación secundaria, y desinfección final con cloro. En la línea de lodos, por una parte, el tratamiento y disposición de los cribados, arenas y grasas, por otra parte, el tratamiento del lodo primario y secundario mediante, tamizado de lodo, mezcla, espesado, digestión anaeróbica de alta tasa con calefacción de lodos, y deshidratación final. Finalmente, en la línea de gases, el almacenamiento, tratamiento, quemado de biogás y cogeneración de energía.

Los diseños fueron realizados para cumplir los requerimientos mínimos establecidos en el Contrato de Concesión y la normativa nacional vigente.

Palabras clave - lodos activados, tratamiento de lodo, tratamiento de gases, digestión anaeróbica.

## **Abstract**

This work describes the design of the Wastewater Treatment Plant of the city of Juliaca in the province of San Román, Puno region. The Juliaca WWTP is part of the comprehensive Titicaca WWTP project that covers an intervention in ten of the three provinces of the Puno region in order to develop a solution for the treatment of municipal wastewater from the Lake Titicaca basin. The Juliaca WWTP will replace the existing La Chilla WWTP, which currently performs inadequate wastewater treatment.

This work describes the designs of the water line, solids and sludge line, and gas line of the Juliaca WWTP. In the water line, the design of the mechanized preliminary treatment, circular primary settlers, activated sludge system with dosage of ferric chloride prior to secondary sedimentation, and final disinfection with chlorine. In the sludge line, on the one hand, the treatment and disposal of screenings, sands and greases, on the other hand, the treatment of primary and secondary sludge by means of sludge screening, mixing, thickening, high-rate anaerobic digestion with heating of sludge, and final dewatering. Finally, in the gas line, the storage, treatment, burning of biogas and energy cogeneration.

The designs were made to meet the minimum requirements established in the Concession Contract and current national regulations.

Keywords – WWTP, activated sludge, sludge treatment, gas treatment, anaerobic digestion.

## Tabla de Contenido

Resumen .....	vi
Abstract .....	vii
Introducción .....	xviii
Capítulo I. Problematización .....	1
1.1 Antecedentes referenciales .....	1
1.2 Planteamiento de la realidad problemática .....	2
1.3 Objetivos .....	4
1.3.1 Objetivo general.....	4
1.3.2 Objetivos específicos .....	4
Capítulo II. Marco teórico y legal.....	5
2.1 Marco teórico .....	5
2.1.1 Caudales de diseño .....	5
2.1.2 Diagrama de flujo de procesos .....	7
2.1.3 Criterios de diseño de procesos.....	8
2.1.4 Dimensionamiento preliminar.....	8
2.1.5 Balance de sólidos.....	8
2.1.6 Distribución de instalaciones en planta .....	9
2.1.7 Hidráulica de la planta .....	9
2.1.8 Línea de tratamiento de agua .....	10
2.1.9 Línea de tratamiento de lodos.....	38
2.1.10 Línea de tratamiento de gases.....	44
2.1.11 Control de malos olores .....	51

2.2	Marco legal.....	53
Capítulo III. Descripción del trabajo .....		54
3.1	Generalidades.....	54
3.1.1	Rol, lugar y tiempo de trabajo .....	54
3.1.2	Flujo de trabajo.....	54
3.2	Información de partida.....	56
3.2.1	Ubicación del proyecto.....	56
3.2.2	Caudales de diseño .....	57
3.2.3	Calidad del agua residual afluyente.....	59
3.2.4	Niveles de Servicio .....	60
3.3	Descripción del diseño .....	61
3.3.1	Selección de procesos.....	61
3.3.2	Diagrama general de procesos .....	61
3.3.3	Línea de agua.....	62
3.3.4	Línea de sólidos y lodos .....	105
3.3.5	Línea de gases .....	144
3.3.6	Control de olores .....	151
3.3.7	Edificaciones complementarias.....	153
3.3.8	Hidráulica de la planta .....	157
3.3.9	Demanda energética.....	159
3.3.10	Presupuesto de obra.....	159
Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados .....		160

4.1	Línea de agua .....	160
4.1.1	Cribado .....	160
4.1.2	Lodos activados.....	160
4.2	Línea de sólidos y lodos .....	162
4.2.1	Selección de equipamiento .....	162
4.3	Línea de gases.....	162
	Conclusiones .....	163
	Recomendaciones .....	165
	Referencias bibliográficas.....	166
	Anexos .....	167

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1</b>	<i>Convenios de delegación de funciones y competencias para el proyecto PTAR Titicaca</i> .....	1
<b>Tabla 2</b>	<i>Documentos de compromiso de suscripción de los contratos de prestación de servicios</i> .....	2
<b>Tabla 3</b>	<i>Calidad de agua ingreso y salida de la PTAR La Chilla</i> .....	3
<b>Tabla 4</b>	<i>Rangos típicos de pérdidas de carga en una PTAR</i> .....	10
<b>Tabla 5</b>	<i>Características de rejas manuales y mecanizadas gruesas</i> .....	12
<b>Tabla 6</b>	<i>Recomendaciones de diseño de cribas gruesas según el RNE OS 090</i> .....	12
<b>Tabla 7</b>	<i>Volumen de cribado retenido según luz de paso entre barras</i> .....	14
<b>Tabla 8</b>	<i>Volumen de cribado según tipo rejas</i> .....	14
<b>Tabla 9</b>	<i>Volumen de cribados retenidos según abertura de rejas</i> .....	14
<b>Tabla 10</b>	<i>Volumen de arenas producido según tipo de sistema de alcantarillado</i> .....	15
<b>Tabla 11</b>	<i>Consideraciones de diseño para desarenadores aireados, según Metcalf&amp;Eddy 2014</i> .....	16
<b>Tabla 12</b>	<i>Consideraciones de diseño para tanques de sedimentación primaria</i> .....	20
<b>Tabla 13</b>	<i>Dimensiones recomendadas en tanques de sedimentación circulares y rectangulares</i> .....	20
<b>Tabla 14</b>	<i>Criterios de diseño para tanques de sedimentación primaria, según el RNE OS 090</i> .....	20
<b>Tabla 15</b>	<i>Softwares especializados para la simulación de plantas de tratamiento de agua residual</i> .....	23
<b>Tabla 16</b>	<i>Valores típicos de fracciones de DQO, nitrógeno y fósforo en aguas residuales municipales</i> .....	27
<b>Tabla 17</b>	<i>Valores de coeficientes cinéticos para utilización de sustrato y producción de biomasa</i> .....	30
<b>Tabla 18</b>	<i>Parámetros de diseño de proceso de lodos activados, según RNE OS 090 1 de 2</i> .....	35
<b>Tabla 19</b>	<i>Parámetros de diseño de proceso de lodos activados, según RNE OS 090 2 de 2</i> .....	36
<b>Tabla 20</b>	.....	36
<b>Tabla 21</b>	<i>Parámetros de diseño de sedimentadores secundarios, según RNE OS 090</i> .....	37
<b>Tabla 22</b>	<i>Grados de remoción de coliformes en escala logarítmica</i> .....	37
<b>Tabla 23</b>	<i>Dosis típicas de cloro utilizadas para la desinfección de agua residual según tipo de proceso precedente</i> .....	38

<b>Tabla 24</b>	<i>Producción de lodos en diferentes procesos y operaciones de tratamiento.....</i>	<b>39</b>
<b>Tabla 25</b>	<i>Concentración de sólidos secos según tipo de lodo.....</i>	<b>40</b>
<b>Tabla 26</b>	<i>Métodos de tratamiento de lodo y frecuencias de uso .....</i>	<b>41</b>
<b>Tabla 27</b>	<i>Valores típicos de dosis de para deshidratación de lodos en filtros de banda.....</i>	<b>41</b>
<b>Tabla 28</b>	<i>Valores típicos de diseño de reactores anaeróbicos de mezcla completa.....</i>	<b>42</b>
<b>Tabla 29</b>	<i>Tiempos de retención recomendados para digestores anaeróbicos de mezcla completa .....</i>	<b>42</b>
<b>Tabla 30</b>	<i>Fuentes de olores en plantas de tratamiento de aguas residuales.....</i>	<b>52</b>
<b>Tabla 31</b>	<i>Sugerencias para el control de olores en una PTAR.....</i>	<b>52</b>
<b>Tabla 32</b>	<i>Marco legal relacionado a tratamiento de aguas residuales.....</i>	<b>53</b>
<b>Tabla 33</b>	<i>Datos generales de ubicación del proyecto.....</i>	<b>56</b>
<b>Tabla 34</b>	<i>Cuadro de vértices área disponible para la PTAR Juliaca.....</i>	<b>57</b>
<b>Tabla 35</b>	<i>Caudales Promedio Diario de Diseño - Qp - (L/s) .....</i>	<b>57</b>
<b>Tabla 36</b>	<i>Coeficiente (k2) de Caudal Máximo Horario de Diseño (Qmh)<sup>1</sup>.....</i>	<b>57</b>
<b>Tabla 37</b>	<i>Caudal promedio y Caudal máximo horario PTAR Juliaca.....</i>	<b>57</b>
<b>Tabla 38</b>	<i>Caudales de bombeo de las EBAR afluentes a la PTAR Juliaca .....</i>	<b>58</b>
<b>Tabla 39</b>	<i>Resumen de caudales utilizados en el diseño de la PTAR Juliaca. ....</i>	<b>59</b>
<b>Tabla 40</b>	<i>Calidad de agua residual en el afluente proyecto PTAR Titicaca .....</i>	<b>59</b>
<b>Tabla 41</b>	<i>Parámetros de calidad de agua residual afluente a la PTAR Juliaca .....</i>	<b>59</b>
<b>Tabla 42</b>	<i>Calidad de efluente tratado exigido en el contrato de concesión para la PTAR Juliaca .....</i>	<b>60</b>
<b>Tabla 43</b>	<i>Categoría del Río Coata cuerpo receptor de aguas tratadas de la PTAR Juliaca,.....</i>	<b>60</b>
<b>Tabla 44</b>	<i>Parámetros de control de las aguas superficiales según ECA categoría 3.....</i>	<b>60</b>
<b>Tabla 45</b>	<i>Parámetros de calidad en lodos deshidratados de la PTAR Juliaca exigidos en el contrato de concesión.....</i>	<b>61</b>
<b>Tabla 46</b>	<i>Tuberías de ingreso a la cámara receptora de la PTAR Juliaca.....</i>	<b>63</b>
<b>Tabla 47</b>	<i>Características de las rejas medias 15 mm.....</i>	<b>65</b>
<b>Tabla 48</b>	<i>Características de las rejas finas 6 mm .....</i>	<b>69</b>
<b>Tabla 49</b>	<i>Características para la selección del canal Parshall .....</i>	<b>75</b>
<b>Tabla 50</b>	<i>Dimensiones del canal Parshall seleccionado .....</i>	<b>76</b>
<b>Tabla 51</b>	<i>Características de los sedimentadores primarios - PTAR Juliaca .....</i>	<b>77</b>
<b>Tabla 52</b>	<i>Volúmenes de las unidades de tratamiento primario y secundario - PTAR Juliaca.....</i>	<b>83</b>
<b>Tabla 53</b>	<i>Dimensiones de los tanques de aireación - PTAR Juliaca .....</i>	<b>84</b>

<b>Tabla 54</b>	<i>Parámetros de calidad y diseño del sistema de lodos activados- PTAR Juliaca.....</i>	<i>84</i>
<b>Tabla 55</b>	<i>Caudales de diseño del sistema de lodos activados - PTAR Juliaca .....</i>	<i>85</i>
<b>Tabla 56</b>	<i>Edad de lodo, purga de lodo y concentración en el licor mezcla – PTAR Juliaca.....</i>	<i>85</i>
<b>Tabla 57</b>	<i>Dimensiones de Zona de aireación 1, tanques de aireación - PTAR Juliaca.....</i>	<i>88</i>
<b>Tabla 58</b>	<i>Dimensiones de Zona de aireación 2, tanques de aireación - PTAR Juliaca.....</i>	<i>88</i>
<b>Tabla 59</b>	<i>Dimensiones de Zona de aireación 3, tanques de aireación - PTAR Juliaca.....</i>	<i>88</i>
<b>Tabla 60</b>	<i>Requerimientos de oxígeno por zonas de aireación, tanques de aireación - PTAR Juliaca .....</i>	<i>89</i>
<b>Tabla 61</b>	<i>Sistema de distribución de difusores de aire en tanques de aireación - PTAR Juliaca .....</i>	<i>93</i>
<b>Tabla 62</b>	<i>Requerimientos de oxígeno en condición media y punta, tanques de aireación - PTAR Juliaca.....</i>	<i>94</i>
<b>Tabla 63</b>	<i>Diámetros y velocidades en las tuberías de alimentación de aire, tanques de aireación - PTAR Juliaca.....</i>	<i>95</i>
<b>Tabla 64</b>	<i>Características de los sedimentadores secundarios - PTAR Juliaca.....</i>	<i>98</i>
<b>Tabla 65</b>	<i>Cámara de contacto - canal de ingreso, PTAR Juliaca .....</i>	<i>101</i>
<b>Tabla 66</b>	<i>Balance de masas al ingreso y salida de cada proceso - PTAR Juliaca .....</i>	<i>104</i>
<b>Tabla 67</b>	<i>Eficiencias de remoción de parámetros contaminantes por etapa de proceso - PTAR Juliaca.....</i>	<i>105</i>
<b>Tabla 68</b>	<i>Tipos de residuos y lodos producidos en la PTAR Juliaca .....</i>	<i>105</i>
<b>Tabla 69</b>	<i>Generación de residuos en las rejillas de 15 mm - PTAR Juliaca.....</i>	<i>106</i>
<b>Tabla 70</b>	<i>Generación de residuos en las rejillas de 6 mm - PTAR Juliaca.....</i>	<i>106</i>
<b>Tabla 71</b>	<i>Capacidad del compactador y lavador de residuos adoptado, rejillas de 15 mm - PTAR Juliaca .....</i>	<i>107</i>
<b>Tabla 72</b>	<i>Capacidad del compactador y lavador de residuos adoptado, rejillas de 6 mm - PTAR Juliaca .....</i>	<i>108</i>
<b>Tabla 73</b>	<i>Generación de arenas en los desarenadores - PTAR Juliaca.....</i>	<i>110</i>
<b>Tabla 74</b>	<i>Capacidad de clasificador y lavador de arenas adoptado - PTAR Juliaca.....</i>	<i>111</i>
<b>Tabla 75</b>	<i>Producción de grasas y selección de bombas de grasa PTAR Juliaca .....</i>	<i>113</i>
<b>Tabla 76</b>	<i>Selección de contenedores de grasas PTAR Juliaca.....</i>	<i>113</i>
<b>Tabla 77</b>	<i>Producción de lodos primarios - PTAR Juliaca .....</i>	<i>114</i>
<b>Tabla 78</b>	<i>Producción de lodos secundarios (RAS+WAS) – PTAR Juliaca .....</i>	<i>118</i>

<b>Tabla 79</b>	<i>Dimensiones de tanque de mezcla de lodo crudo - PTAR Juliaca</i> .....	121
<b>Tabla 80</b>	<i>Caudales de diseño y carga de sólidos del tanque de mezcla de lodo crudo - PTAR Juliaca</i> .....	121
<b>Tabla 81</b>	<i>Dimensiones de las mesas espesadoras - PTAR Juliaca</i> .....	124
<b>Tabla 82</b>	<i>Características del polielectrolito catiónico para espesamiento de lodo - PTAR Juliaca</i> .....	125
<b>Tabla 83</b>	<i>Consumo de floculante para el espesamiento de lodo - PTAR Juliaca</i> .....	126
<b>Tabla 84</b>	<i>Equipos de preparación y dosificación de polímero para espesamiento de lodo - PTAR</i> .....	126
<b>Tabla 85</b>	<i>Dimensiones del tanque de mezcla de lodo espesado - PTAR Juliaca</i> .....	127
<b>Tabla 86</b>	<i>Dimensionamiento de los digestores anaeróbicos - PTAR Juliaca</i> .....	132
<b>Tabla 87</b>	<i>Características de los lodos digeridos - PTAR Juliaca</i> .....	132
<b>Tabla 88</b>	<i>Geometría de los digestores anaeróbicos - PTAR Juliaca</i> .....	132
<b>Tabla 89</b>	<i>Producción de biogás en los digestores anaeróbicos</i> .....	133
<b>Tabla 90</b>	<i>Sistema de agitación de los digestores anaeróbicos - PTAR Juliaca</i> .....	134
<b>Tabla 91</b>	<i>Coeficientes de calor y temperaturas de operación</i> .....	135
<b>Tabla 92</b>	<i>Áreas de superficie del digestor expuestas al ambiente - PTAR Juliaca</i> .....	136
<b>Tabla 93</b>	<i>Requerimientos de calor de lodo de alimentación en digestores - PTAR Juliaca</i> .....	136
<b>Tabla 94</b>	<i>Pérdidas de calor en el digestor y requerimiento total de calor en digestores - PTAR Juliaca</i> .....	136
<b>Tabla 95</b>	<i>Recirculación de lodos requerida en el digestor - PTAR Juliaca</i> .....	137
<b>Tabla 96</b>	<i>Requerimientos de calor de calentador</i> .....	137
<b>Tabla 97</b>	<i>Intercambiadores de calor (lodo agua) - PTAR Juliaca</i> .....	138
<b>Tabla 98</b>	<i>Dimensiones del tanque de mezcla de lodo digerido - PTAR Juliaca</i> .....	139
<b>Tabla 99</b>	<i>Dimensionamiento de los filtros de banda - PTAR Juliaca</i> .....	142
<b>Tabla 100</b>	<i>Características del polielectrolito catiónico para deshidratación de lodo - PTAR Juliaca</i> .....	143
<b>Tabla 101</b>	<i>Dosificación de polielectrolito catiónico para deshidratación de lodos - PTAR Juliaca</i> .....	144
<b>Tabla 102</b>	<i>Selección de gasómetros - PTAR Juliaca</i> .....	145
<b>Tabla 103</b>	<i>Gasómetro - corte longitudinal, PTAR Juliaca</i> .....	147
<b>Tabla 104</b>	<i>Datos de diseño del sistema de purificación de biogás - PTAR Juliaca</i> .....	148
<b>Tabla 105</b>	<i>Aprovechamiento del biogás en cogeneración eléctrica - PTAR Juliaca</i> .....	149
<b>Tabla 106</b>	<i>Equipo de cogeneración de energía - esquema, PTAR Juliaca</i> .....	150
<b>Tabla 107</b>	<i>Cálculo de producción de metano</i> .....	150
<b>Tabla 108</b>	<i>Filtro de control de olores - esquema, PTAR Juliaca</i> .....	152

<b>Tabla 109</b>	<i>Equipamiento de control de olores - PTAR Juliaca .....</i>	152
<b>Tabla 110</b>	<i>Edificaciones complementarias - PTAR Juliaca .....</i>	153
<b>Tabla 111</b>	<i>Ambientes del laboratorio de control de procesos - PTAR Juliaca .....</i>	154
<b>Tabla 112</b>	<i>Parámetros de control en agua residual y lodo - PTAR Juliaca.....</i>	154
<b>Tabla 113</b>	<i>Caudales de diseño para el cálculo de perfil hidráulico - PTAR Juliaca .....</i>	158
<b>Tabla 114</b>	<i>Demanda energética de la PTAR Juliaca.....</i>	159

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b>	<i>Diagrama de procesos de una PTAR de lodos activados definida por la U.S EPA.....</i>	<i>7</i>
<b>Figura 2</b>	<i>Sedimentador circular con ingreso central de agua residual .....</i>	<i>18</i>
<b>Figura 3</b>	<i>Sedimentador circular con ingreso periférico de agua residuales.....</i>	<i>18</i>
<b>Figura 4</b>	<i>Detalle típico de ingreso de agua residual en sedimentadores circulares.....</i>	<i>19</i>
<b>Figura 5</b>	<i>Diagrama de flujo de proceso de lodos activados tipo mezcla completa .....</i>	<i>21</i>
<b>Figura 6</b>	<i>Esquema de fracciones de DQO en el agua residual.....</i>	<i>25</i>
<b>Figura 7</b>	<i>Composición de DQO y métodos de separación para obtener los componentes .....</i>	<i>25</i>
<b>Figura 8</b>	<i>Fracciones de TKN utilizadas en la simulación de procesos de lodos activados.....</i>	<i>27</i>
<b>Figura 9</b>	<i>Esquema típico de un proceso de lodos activados en mezcla completa .....</i>	<i>28</i>
<b>Figura 10</b>	<i>Esquema típico de un gasómetro de doble membrana .....</i>	<i>46</i>
<b>Figura 11</b>	<i>Esquema típico de tipos de antorcha .....</i>	<i>47</i>
<b>Figura 12</b>	<i>Composición típica de biogás y usos frecuentes.....</i>	<i>49</i>
<b>Figura 13</b>	<i>Tecnologías para el tratamiento de H<sub>2</sub>S .....</i>	<i>50</i>
<b>Figura 14</b>	<i>Esquema de aprovechamiento de la energía química del biogás.....</i>	<i>51</i>
<b>Figura 15</b>	<i>Diagrama de flujo de procesos de la PTAR Juliaca.....</i>	<i>62</i>
<b>Figura 16</b>	<i>Cámara de ingreso - vista de planta, PTAR Juliaca .....</i>	<i>64</i>
<b>Figura 17</b>	<i>Cámara de ingreso - corte longitudinal, PTAR Juliaca.....</i>	<i>64</i>
<b>Figura 18</b>	<i>Cámara de rejas mecanizadas - vista de planta, PTAR Juliaca.....</i>	<i>67</i>
<b>Figura 19</b>	<i>Cámara de rejas mecanizadas - vista de perfil, PTAR Juliaca.....</i>	<i>68</i>
<b>Figura 20</b>	<i>Desarenadores aireadores lamelares - vista de planta, PTAR Juliaca .....</i>	<i>73</i>
<b>Figura 21</b>	<i>Desarenadores aireados lamelares - vista de perfil, PTAR Juliaca.....</i>	<i>74</i>
<b>Figura 22</b>	<i>Esquema geométrico de un canal Parshall .....</i>	<i>75</i>
<b>Figura 23</b>	<i>Sedimentador primario - vista de planta, PTAR Juliaca.....</i>	<i>79</i>
<b>Figura 24</b>	<i>Sedimentador primario - corte longitudinal, PTAR Juliaca.....</i>	<i>80</i>
<b>Figura 25</b>	<i>Diagrama de proceso del sistema de lodos activados (Biowin) - PTAR Juliaca.....</i>	<i>82</i>
<b>Figura 26</b>	<i>Tanque de aireación - zona de ingreso, PTAR Juliaca.....</i>	<i>86</i>
<b>Figura 27</b>	<i>Tanque de aireación - bypass de emergencia, PTAR Juliaca.....</i>	<i>87</i>
<b>Figura 28</b>	<i>Caseta de sopladores - vista de planta, PTAR Juliaca .....</i>	<i>92</i>
<b>Figura 29</b>	<i>Tanque de aireación - detalle de difusores, PTAR Juliaca .....</i>	<i>93</i>
<b>Figura 30</b>	<i>Tanque de aireación - zona de salida, PTAR Juliaca .....</i>	<i>96</i>
<b>Figura 31</b>	<i>Cámara de mezcla y floculación - corte longitudinal, PTAR Juliaca.....</i>	<i>97</i>

<b>Figura 32</b>	<i>Tanque de cloruro férrico - corte longitudinal, PTAR Juliaca</i> .....	98
<b>Figura 33</b>	<i>Compactador lavador de sólidos - vista de corte, PTAR Juliaca</i> .....	109
<b>Figura 34</b>	<i>Clasificador de arenas - corte longitudinal, PTAR Juliaca</i> .....	112
<b>Figura 35</b>	<i>Caseta de bombeo de lodo primario - vista de planta, PTAR Juliaca</i> .....	115
<b>Figura 36</b>	<i>Tamiz de lodos primarios- esquema isométrico, PTAR Juliaca</i> .....	117
<b>Figura 37</b>	<i>Caseta de bombas de recirculación de lodos (RAS) y purga de lodos (WAS), PTAR Juliaca</i> .....	120
<b>Figura 38</b>	<i>Tanque de mezcla de lodo crudo - corte longitudinal, PTAR Juliaca</i> .....	122
<b>Figura 39</b>	<i>Mesas de espesado - corte longitudinal, PTAR Juliaca</i> .....	123
<b>Figura 40</b>	<i>Dosificador de polielectrolito en solución, PTAR Juliaca</i> .....	125
<b>Figura 41</b>	<i>Tanque de mezcla de lodo espesado - corte longitudinal, PTAR Juliaca</i> .....	129
<b>Figura 42</b>	<i>Digestor anaeróbico de alta tasa - corte típico, PTAR Juliaca</i> .....	131
<b>Figura 43</b>	<i>Tanque de mezcla de lodo digerido - corte longitudinal, PTAR Juliaca</i> .....	140
<b>Figura 44</b>	<i>Filtro de banda - corte longitudinal, PTAR Juliaca</i> .....	141
<b>Figura 45</b>	<i>Equipo de preparación en seco y dosificador en solución de polímero, PTAR Juliaca</i> .....	143

## Introducción

El proyecto PTAR Titicaca es una Iniciativa Privada Cofinanciada (IPC) concesionada por el Estado Peruano representado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS), en el marco de una Asociación Público Privada (APP), la cual fue adjudicada al consorcio Operadora Ecológica del Titicaca S.A.C. (OPETI) mediante la firma de un contrato de concesión por 30 años. El proyecto comprende el diseño, financiamiento, construcción, operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento de las aguas residuales de la cuenca del lago Titicaca. Abarca tres componentes, el componente 1: Construcción de colectores principales de desagüe a gravedad en las ciudades de Juliaca, Puno, Ilave, Juli, Ayaviri y Moho. El componente 2: Construcción de estaciones de bombeo, líneas de impulsión, plantas de tratamiento y líneas de disposición final de aguas residuales tratadas en las localidades de Juliaca, Puno, Ilave, Juli, Ayaviri y Moho. Finalmente, el componente 3: Operación y Mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en las ciudades de Azángaro, Lampa, Huancané y Yunguyo.

La PTAR Juliaca es parte del componente 2 del proyecto PTAR Titicaca. Este componente inició en el año 2020 durante la etapa final de la ejecución del componente 1. El trabajo fue realizado por la empresa ECOPROJET S.A. la que a su vez contrató a las empresas GLS Ingeniería del agua para el desarrollo sostenible S.A. y Manantial Ambiental S.A. para el desarrollo de los diseños hidráulicos y de procesos a nivel de expediente técnico. El trabajo se desarrolló de manera coordinada con el MVCS (el concedente), el Consorcio Lago Azul Titicaca (supervisor) y la EPS SEDAJULIACA S.A.

Los parámetros de diseño para el diseño de la PTAR Juliaca fueron establecidos en el contrato de concesión, entre ellos, los caudales de diseño, la calidad de agua residual afluyente, los niveles de servicios en la calidad de agua residual tratada, estándar de calidad de calidad ambiental (ECA) para el cuerpo receptor, el río Coata, clasificado como categoría

3 por la Autoridad Nacional del Agua. Asimismo, se establecieron los niveles de servicio para el manejo y disposición de los lodos deshidratados en la PTAR.

Los procesos de tratamiento en la PTAR fueron definidos en la etapa de preinversión del proyecto. Por tanto, con los parámetros de diseño y los procesos establecidos, además de contar con los estudios básicos de ingeniería como el estudio de topografía, suelos, caracterización de aguas residuales, entre otros, se realizó el desarrollo a nivel de expediente técnico de cada uno de los componentes, realizando la comprobación de cada una de las etapas del tratamiento. Esto fue complementado con la elaboración de planos, memoria de cálculo, memoria descriptiva, balance de masas, entre documentos técnicos. Obteniéndose como resultado final el expediente técnico de la PTAR Juliaca que cumplirá con los niveles de servicio exigidos en el contrato concesión.

# Capítulo I. Problemática

## 1.1 Antecedentes referenciales

El Lago Titicaca es considerado como el lago más importante del mundo y declarado como patrimonio de Puno, del Perú y del mundo. Ubicado a 3810 msnm en el altiplano entre Perú y Bolivia, con una superficie de 3,300 km<sup>2</sup>, constituye el lago de agua dulce más grande de América del Sur y el más alto de los grandes lagos del mundo. Además, cuenta con una rica diversidad biológica y socio cultural con poblaciones quechuas y aimaras. Sin embargo, su cuenca está en una precaria situación ambiental debido a la contaminación y por un inadecuado tratamiento de las aguas residuales.

Por ello, las 10 municipalidades provinciales ubicadas alrededor del Titicaca (Puno, Juliaca, Ayaviri, Juli, Ilave, Moho, Azángaro, Huancané, Lampa y Yunguyo) transfirieron al Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS) sus competencias con respecto al tratamiento integral de aguas residuales de su localidad, a través de un convenio. El proyecto fue declarado como una necesidad pública por el gobierno nacional en el Decreto Supremo N° 005-2013-EF.

**Tabla 1**

*Convenios de delegación de funciones y competencias para el proyecto PTAR Titicaca*

Nro.	Localidad	Nro. de Convenio	Nro. de Acuerdo de Concejo
1	Ayaviri (Melgar)	1057-2014-VIVIENDA	071-2017-CM-MPM/A 073-2017-MPM-A
2	Azángaro	1056-2014-VIVIENDA	094-2014-MPA/CM 28-2017-MPH/CM
3	Huancané	005-2015-VIVIENDA	004-2015-MPH/CM 052-2017-MPH/CM
4	Juli (Chucuito)	1047-2014-VIVIENDA	045-2014-MPCHJ 113-2017-MPSR-J/CM
5	Juliaca (San Román)	1039-2014-VIVIENDA	048-2014 024-2017-MPSR-J/CM
6	Ilave (Collao)	004-2015-VIVIENDA	6-2015-MPCI 048-2017-CMPCI

Nro.	Localidad	Nro. de Convenio	Nro. de Acuerdo de Concejo
7	Lampa	1048-2014-VIVIENDA	042-2014-MPL/CM 057-2017-MPM
8	Moho	1038-2014-VIVIENDA	011-2014-MPM/CN 082-2017-MPM
9	Puno	1003-2014-VIVIENDA	106-2014-CMPP 027-2017-C/MPP
10	Yunguyo	1052-2014-VIVIENDA	137-2014-CM/MPY 048-2017-CM/MPY

Fuente: Contrato de Concesión del Proyecto: "SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CUENCA DEL LAGO TITICACA". 2019.

## Tabla 2

### *Documentos de compromiso de suscripción de los contratos de prestación de servicios*

Empresa Prestadora/Municipalidad Provincial	Ámbito de responsabilidad	Acuerdo de junta de accionistas o socios o de concejo
EMSAPUNO S.A.	Puno	Acta de Junta General de Accionistas de fecha 03.08.2017
SEDAJULIACA S.A.	Juliaca	Acta de Junta General de Accionistas de fecha 19.07.2017
EMAPA-Y S.R.L	Yunguyo	Acta de Junta General de Socios de fecha 22.08.2017
EPS AGUAS DEL ALTIPLANO S.R.L	Ayaviri	Acta de Junta General de Socios de fecha 24.07.2017
EPS NOR PUNO S.A.	Huancané Azángaro	Acta de Junta General de Accionistas de fecha 16.08.2017
Municipalidad Provincial de Moho	Moho	Acuerdo de Concejo Nro. 095-2017-MPM
Municipalidad Provincial de Chucuito-Juli	Juli	Acuerdo de Concejo Nro. 114-2017-MPCH-J/CM
Municipalidad Provincial de El Collao	Ilave	Acuerdo de Concejo Nro.058-2017-CMPCI
Municipalidad Provincial de Lampa	Lampa	Acuerdo de Concejo Nro.058-2017-MPL-CM

Fuente: Contrato de Concesión del Proyecto: "SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CUENCA DEL LAGO TITICACA". 2019.

## 1.2 Planteamiento de la realidad problemática

En la actualidad, la empresa prestadora de servicio de abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado de Juliaca, EPS SEDAJULIACA S.A. cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales en funcionamiento denominada PTAR La Chilla, se encuentra ubicada en la margen derecha del Río Torococha. Consta de ocho lagunas facultativas sobre un terreno de 33 hectáreas de extensión, cada laguna de sección cuadrada de 1 hectárea y una capacidad de 13,475 m<sup>3</sup> que fueron construidas en los años 1970 y 1972. (SUNASS, 2009: Estudio Tarifario).

Según los reportes de la SUNASS en el informe de diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de las empresas prestadoras (junio 2022), la PTAR La Chilla se encuentra con sobrecarga hidráulica y sobrecarga orgánica. Se encuentra en mal estado de conservación, por falta de mantenimiento y operación de las lagunas de estabilización e inadecuado manejo y disposición de los lodos de las lagunas. Los pobladores de la ciudad de Juliaca perciben olores fétidos provenientes de las lagunas de estabilización, debido al cambio de la dirección del viento.

La capacidad de las lagunas de tratamiento de las PTAR Chilla se ha visto reducida en un 90% por la acumulación de arenas, lodos y material flotante provocada por la ausencia de pretratamiento adecuado. De este modo con un 10% de volumen útil de las lagunas el tratamiento es mínimo comparable solo a una sedimentación primaria. Con un caudal actual de llegada 450 L/s y eficiencias de remoción de DBO y SST de 25.6% y 64.8%, respectivamente.

En el estudio del Proyecto de Inversión “Mejoramiento y ampliación de los servicios del sistema de tratamiento de aguas residuales de las ciudades de Ayaviri, Moho, Juliaca, Puno, Ilave y Juli del departamento de Puno.” Se obtuvieron los siguientes parámetros de calidad del afluente y efluente la PTAR La Chilla.

**Tabla 3**

*Calidad de agua ingreso y salida de la PTAR La Chilla*

<b>Parámetro</b>	<b>Entrada PTAR</b>	<b>Salida PTAR</b>
pH	7.5	7.4
Temperatura	12.75 °C	14.28°C
Coliformes termotolerantes	2X10 <sup>7</sup> NMP/100mL	6X10 <sup>6</sup> NMP/100mL
DBO	285 mg/L	212 mg/L
DQO	737 mg/L	513 mg/L
SST	291 mg/L	98 mg/L
Aceites y grasas	19 mg/L	7 mg/L

Fuente: Proyecto 51-2015-01 Código SNIP: NA – Consorcio Aguas de Puno 28.12.2016

La descarga de los desagües tratados se realiza en el río Torococha. Luego, llegan al río Coata y finalmente al lago Titicaca.

Por tanto, la problemática se basa en que la PTAR La Chilla realiza un inadecuado tratamiento de las aguas residuales provocando la contaminación del río Torococha, por

consiguiente, del río Coata y el Lago Titicaca (receptor final). Esto genera malestar en la población cercana por los olores fétidos producidos y además el evidente riesgo para la salud pública, asimismo, la degradación del ecosistema de la cuenca del Lago Titicaca.

En tal sentido, el diseño, construcción y operación de la nueva PTAR Juliaca pretende resolver esta problemática.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Describir el diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la localidad de Juliaca "PTAR Juliaca".

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- a) Describir los parámetros de diseño de la PTAR Juliaca (1) calidad de agua residual cruda (2) calidad de agua residual tratada (3) caudales de diseño.
- b) Describir el diseño de la línea de tratamiento de agua de la PTAR Juliaca.
- c) Describir el diseño de la línea de tratamiento de sólidos y lodos de la PTAR Juliaca.
- d) Describir el diseño de la línea de tratamiento de gases y el sistema de control de olores de la PTAR Juliaca

## Capítulo II. Marco teórico y legal

### 2.1 Marco teórico

El diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) involucra un trabajo multidisciplinario entre distintas especialidades: Ingeniería Civil, Arquitectura, Ingeniería Sanitaria, Ingeniería Química, Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Ingeniería Mecatrónica.

El punto de partida para el desarrollo de la ingeniería de una PTAR es establecer los parámetros de diseño: (1) calidad de agua residual cruda (2) calidad de agua residual tratada (3) caudales de diseño. Con esta información el primer paso es el diseño de los procesos y operaciones unitarias del tratamiento, lo que permite, proponer la distribución de las unidades de tratamiento en el área de terreno disponible. A partir de ello, se incorpora el diseño hidráulico, arquitectónico detallado y estructural a nivel de detalle.

Bajo ese punto de vista, en los siguientes apartados se muestran los criterios generales de diseño de los procesos e hidráulica en una PTAR.

#### 2.1.1 Caudales de diseño

El caudal afluente depende de factores tales como hora del día, estación del año, tamaño y características de la población contribuyente, infiltración de los sistemas de alcantarillado. Las instalaciones de la PTAR deben ser diseñadas para trabajar con alto rendimiento la mayoría del tiempo posible, sin embargo, es probable que ocurran situaciones extraordinarias (por ejemplo 3 o 4 veces por año), esto dependerá en gran medida de los caudales adoptados para el diseño y el nivel de rendimiento que se desea alcanzar.

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones los caudales de diseño son los siguientes:

##### 2.1.1.1 Caudal promedio o caudal medio ( $Q_p$ )

Es el promedio de los caudales diarios en un periodo determinado

### 2.1.1.2 Caudal máximo horario ( $Q_{mh}$ )

Es el caudal a la hora de máxima descarga. Se puede calcular como el producto del caudal promedio y el coeficiente de variación horaria.

$$Q_{mh} = Q_p \times K_2; k_2, [1.8-2.5]$$

### 2.1.1.3 Caudal máximo diario ( $Q_{md}$ )

Es el caudal en el día de máxima descarga en un periodo determinado. Se puede calcular como el producto del caudal promedio y el coeficiente de variación diaria.

$$Q_{md} = Q_p \times K_1; k_1, [1.3]$$

### 2.1.1.4 Caudal pico ( $Q_{max}$ )

Es el caudal máximo en un intervalo dado.

Si el afluente es gravitacional corresponde el caudal máximo horario, más el caudal de infiltraciones, más el caudal por conexiones erradas y el drenaje pluvial en caso se tratase de un sistema combinado.

$Q_{max} = Q_{mh} + Q_{infiltraciones} + Q_{cnx \text{ erradas}}$ , sistema de alcantarillado separado

$Q_{max} = Q_{mh} + Q_{infiltraciones} + Q_{cnx \text{ erradas}} + Q_{pluvial}$ , sistema de alcantarillado combinado

Si el afluente es por bombeo el caudal máximo corresponderá analizar la simultaneidad de las estaciones de bombeo de aguas residuales proyectadas.

$Q_{max} = Q_{b1} + Q_{b2} + Q_{b3} + \dots + Q_n$ , para "n" estaciones de bombeo de aguas residuales.

Si el afluente es gravitacional y por bombeo

$$Q_{max} = Q_d + [Q_{b1} + Q_{b2} + Q_{b3} + \dots + Q_{bn}]$$

Donde  $Q_d$ : caudal de diseño de alcantarillado que llega por gravedad.

### 2.1.2 Diagrama de flujo de procesos

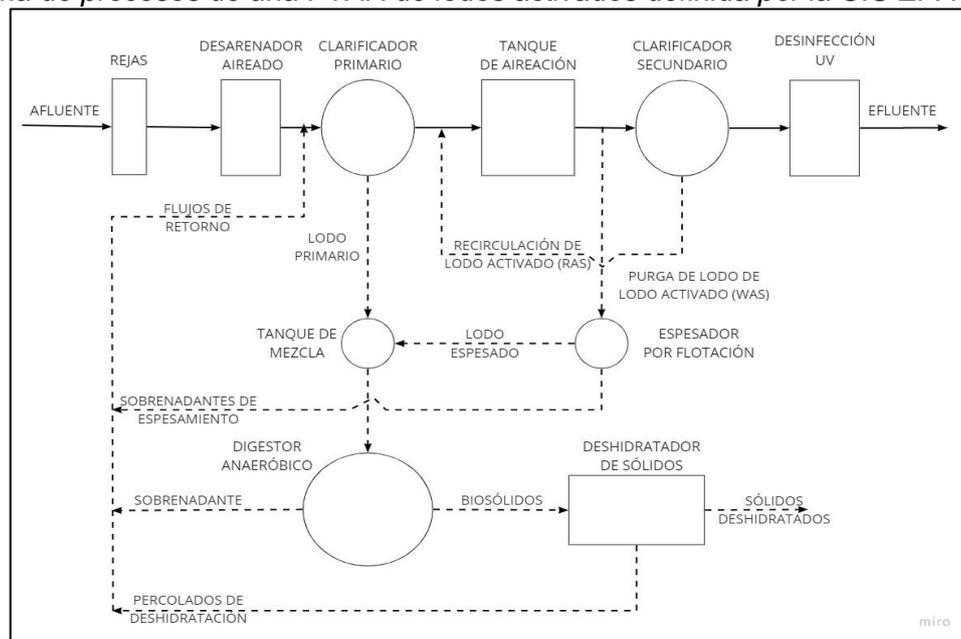
Los diagramas de proceso son la representación gráfica de combinaciones particulares de procesos unitarios. Dependiendo de los constituyentes que deben ser removidos, una gran cantidad de diagramas de procesos pueden ser desarrollados con varias combinaciones de procesos.

Aparte del análisis de los adecuados tipos de tratamiento, la configuración exacta de los procesos unitarios dependerá de otros factores:

- Experiencias pasadas del diseñador
- Normas de diseño de las instituciones reguladoras sobre la aplicación de métodos de tratamiento específicos.
- La disponibilidad de proveedores de los equipos para métodos específicos de tratamiento.
- El uso máximo que se puede hacer de instalaciones existentes.
- Costos iniciales de construcción.
- Costos futuros de operación y mantenimiento.

Figura 1

Diagrama de procesos de una PTAR de lodos activados definida por la U.S EPA



Fuente: Adaptado de Metcalf&Eddy, 2014

### **2.1.3 Criterios de diseño de procesos**

Después de desarrollados uno o más diagramas de procesos preliminares. El siguiente paso, es determinar los criterios de diseño de procesos para los procesos de tratamiento seleccionados para que se pueda determinar el tamaño de las instalaciones físicas. El tiempo de retención hidráulico puede ser un ejemplo de criterio de diseño de proceso para desarenadores. Todos los criterios de diseño deben enumerarse en una tabla resumen, ya que la mayoría de plantas de tratamiento son diseñadas para ser efectivas por bastante tiempo. Además, los criterios de diseño se dan generalmente para el tiempo cuando las instalaciones entran en operación y para el fin de periodo de diseño.

### **2.1.4 Dimensionamiento preliminar**

Después de establecer los criterios de diseño, el siguiente paso es determinar el número y tamaño de las instalaciones físicas que se requieren.

### **2.1.5 Balance de sólidos**

El balance de sólidos debe ser preparado para cada proceso. Debe ser considerado para carga promedio con factores pico adecuados aplicados para la carga máxima.

La información debe estar disponible para diseñar:

- Instalaciones de espesamiento
- Digestores de lodo
- Instalaciones de deshidratación
- Sistemas de reducción térmica
- Instalaciones de compostaje
- Bombeo y conducciones de lodo, entre otras instalaciones que sean necesarias.

### **2.1.6 Distribución de instalaciones en planta**

La distribución en planta se refiere al arreglo espacial de las instalaciones físicas para cumplir con los objetivos del tratamiento. La distribución en planta general incluye la ubicación de los edificios de control, administración y otras estructuras que sean necesarias.

Entre los factores que deben ser considerados para el dibujo de la planta general son los siguientes:

- Geometría del área de terreno disponible
- Topografía
- Condiciones de suelo
- Ubicación del agua residual afluyente
- Ubicación del punto de descarga
- Planta hidráulica, de preferencia con trayectorias de flujo directo entre unidades para minimizar las pérdidas de carga.
- Tipos de proceso
- Eficiencias
- Vías de acceso de transporte
- Accesibilidad de personal operativo
- Fiabilidad y economía de los procesos
- Estética de distribución

### **2.1.7 Hidráulica de la planta**

Después de la distribución en planta, se preparan los cálculos hidráulicos y perfiles para el caudal medio y pico. Los cálculos hidráulicos son realizados para dimensionar las interconexiones (tuberías y canales) y calcular las pérdidas de carga a través de la planta.

**Tabla 4***Rangos típicos de pérdidas de carga en una PTAR*

Unidad de tratamiento	Rango de pérdida de carga*
	m
Rejas	0.2-0.3
Desarenadores	
Aireados	0.1-1.2
Velocidad controlada	0.5-0.9
Sedimentación primaria	0.5-0.9
Tanque de aireación	0.2-0.6
Sedimentación secundaria	0.5-0.9

\* Los valores mostrados no reflejan diseños para minimizar el uso de energía. Fuente: Adaptado de Metcalf&Eddy, 2014

Para diseño hidráulico se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Repartir uniformemente el flujo entre las unidades de tratamiento
- Proveer de bypass al tratamiento secundario ante caudales extremos para prevenir bajas cantidades de biomasa.
- Arreglos hidráulicos para apartar de operación las unidades de tratamiento durante periodos de bajo de caudal.
- Minimizar los números de cambios de dirección en canales y tuberías.

Los perfiles hidráulicos son elaborados por tres razones:

- Asegurar que la gradiente hidráulica sea adecuada para que el flujo del agua residual sea por gravedad.
- Establecer la altura dinámica para los equipos de bombeo que lo requieran.
- Asegurar que las instalaciones de la planta no se inunden durante periodos de caudales máximos.

**2.1.8 Línea de tratamiento de agua**

La línea de tratamiento de agua en una PTAR es la secuencia de operaciones focalizada en alcanzar una determinada calidad de agua residual en el efluente con el objetivo de cumplir las regulaciones ambientales, costo/beneficio, sostenibilidad, que

incluye el equipamiento electromecánico, hidráulico e infraestructura civil, utilizados desde el ingreso del agua residual cruda hasta el efluente de agua residual tratada.

Debido a la existencia de diversos tipos de tecnologías de tratamiento, el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales se convierte en un proceso iterativo que implica la consideración y análisis de todas las alternativas que cumplan con el objetivo del tratamiento, por ende, de las regulaciones ambientales (Metcalf&Eddy, 2014).

#### 2.1.8.1.1 Pretratamiento

##### 2.1.8.1.1.1 Cribado

El principal rol de las cribas o rejas es remover materiales gruesos de la corriente de flujo que podría:

- Dañar u obstruir equipamientos del proceso subsecuente.
- Reducir la fiabilidad y eficiencia general del tratamiento.
- Contaminación de la línea de agua

Las rejas finas son usadas a continuación de las rejas gruesas donde se requiera mayor remoción de sólidos para: (1) proteger equipamiento más sensible como biorreactores de membrana o (2) eliminar materiales que pueden inhibir el reúso de biosólidos.

##### 2.1.8.1.1.1.1 Cribado grueso

###### Rejas gruesas mecanizadas

El diseño de las rejas mecánicas ha evolucionado a través de los años para reducir los problemas de operación y mantenimiento y mejorar las capacidades de remoción de cribado.

**Tabla 5***Características de rejas manuales y mecanizadas gruesas*

Parámetro	Unidades	SI unidades
		Método de limpieza Reja Mecánica
<b>Tamaño de barra</b>		
Ancho	mm	5-15
Profundidad	mm	25-38
Espaciamiento libre entre barras	mm	15-75
Pendiente de inclinación desde la vertical	°	0-30
<b>Velocidad de aproximación</b>		
Máximo	m/s	0.6-1.0
Mínimo	m/s	0.3-0.5
Pérdida de carga aceptable	mm	150-600

Fuente: Adaptado de Metcalf&Eddy, 2014

El canal de rejas debe ser diseñado para prevenir la sedimentación y acumulación de arenas y materiales pesados. Una velocidad de 0.4 m/s es recomendada para minimizar el depósito de sólidos en el canal. Para prevenir el paso de escombros, a caudales pico, la velocidad a través de las barras no debe exceder 0.9 m/s. (Metcalf&Eddy, 2014). La velocidad de aproximación máxima en el canal, entre 0.6-1.20 m/s. La velocidad de aproximación mínima en el canal, entre 0.30-0.6 m/s (Water Environment Federation, 2005). Por otra parte, en el reglamento nacional de edificaciones la OS 090 recomienda los siguientes valores en los parámetros de diseño de rejas:

**Tabla 6***Recomendaciones de diseño de cribas gruesas según el RNE OS 090*

Parámetros	Unidades	Cribas
Espesor de barras	mm	5-15
Ancho de barras	mm	30-75
Espaciamiento entre barras	mm	20-50
Velocidad de aproximación antes de las barras	m/s	0.30-0.60
Velocidad a través de las barras limpias (basado en el caudal máximo horario)	m/s	0.60-0.75
Pérdida de carga (al 50% de obstrucción) a caudal máximo horario.	Se utilizará el valor más desfavorable en el cálculo de la pérdida de carga.	

## Cálculo de pérdida de carga

Se encuentra en función de la velocidad de aproximación y la velocidad entre las barras. Puede ser estimada con la siguiente ecuación:

$$h_L = \frac{1}{C} \left( \frac{v_s^2 - v^2}{2g} \right)$$

Donde:

- $h_L$ =pérdida de carga, m
- $C$ =coeficiente de descarga empírico para tener en cuenta la turbulencia y las pérdidas por remolinos, típicamente igual 0.7 para rejas limpias y 0.6 para rejas obstruidas.
- $v_s$ =velocidad a través de las barras, m/s
- $v$ =velocidad de aproximación aguas arriba del canal, m/s
- $g$ =aceleración de gravedad 9.81 m/s<sup>2</sup>

#### 2.1.8.1.1.1.2 Cribado fino

Cálculo de pérdida de carga

Las rejas finas suelen ir precedidas de rejas gruesas mecanizadas. Una instalación debe tener un mínimo de dos rejas paralelas, cada una con capacidad de manejar los caudales picos.

El cálculo de la pérdida de carga es de la siguiente manera:

$$h_L = \frac{1}{2g} \left( \frac{Q}{CA} \right)^2$$

- $h_L$ =pérdida de carga, m
- $C$ = coeficiente de descarga para las rejas (valor típico de 0.6 para rejas limpias)
- $g$ =aceleración de la gravedad, 9.81 m/s<sup>2</sup>
- $Q$ =caudal a través de las rejas, m<sup>3</sup>/s
- $A$ =área efectiva abierta de reja sumergida

### 2.1.8.1.1.3 Cuantificación y características de material cribado

**Tabla 7**

*Volumen de cribado retenido según luz de paso entre barras*

Tamaño de apertura de entre barras, mm	Contenido de humedad, %	Peso específico, Kg/m <sup>3</sup>	Volumen de cribado retenido			
			Ft <sup>3</sup> /Mgal		L/1000 m <sup>3</sup>	
			Rango	Típico	Rango	Típico
6.0	60-90	700-1100	7-13.5	9.5	51-100	67
12.5	60-90	700-1100	5-10	7.0	37-74	50
25.0	50-80	600-1000	2-5	3.0	15-37	22

Fuente: Adaptado de Metcalf&Eddy Fifth Edition, 2014

**Tabla 8**

*Volumen de cribado según tipo rejillas*

Operación	Tamaño de apertura, mm	Contenido de humedad, %	Peso específico, Kg/m <sup>3</sup>	Volumen de cribado retenido	
				L/1000 m <sup>3</sup>	
				Rango	Típico
Rejas finas	12.5	80-90	900-1100	44-110	75

Fuente: Adaptado de Metcalf&Eddy Fifth Edition, 2014

**Tabla 9**

*Volumen de cribados retenidos según apertura de rejillas*

Abertura (mm)	Cantidad de residuos retenidos (L/m <sup>3</sup> )
20	0.038
25	0.023
35	0.012
40	0.009

Fuente: RNE OS 090

### 2.1.8.1.1.2 Desarenado

Las arenas en las aguas residuales consisten en arena, grava, cenizas y otros materiales sólidos pesados que tienen velocidades de sedimentación o gravedades específicas mucho mayores que las de los sólidos orgánicos putrescibles en las aguas residuales.

La remoción de arenas es necesaria para:

- Reducir la formación de sedimentos en los tanques de aireación, digestores aeróbicos, tuberías, canales y conductos.
- Reducir la frecuencia de limpieza del digestor causada por acumulaciones excesivas de arena

- Proteger equipo mecánico contra la abrasión.

El sistema completo de remoción de arena consta de tres procesos unitarios:

- Separación de arena
- Lavado de arena
- Deshidratación de arena

Las características variaran considerablemente dependiendo del tipo de sistema de recolección de alcantarillado: combinado o separado.

#### 2.1.8.1.1.2.1 Características de arenas en aguas residuales

Tamaño de partícula: Generalmente, la mayoría de partículas de arenas recolectadas se retienen en una malla de 0.15 mm (malla 100). Sin embargo, el tamaño de partícula puede variar significativamente dependiendo de la localidad.

Cantidad de arenas: Puede variar considerablemente dependiendo de la localidad y del tipo de sistema de recolección de aguas residuales.

En la siguiente tabla se ilustra, rangos de arena promedio generada según el tipo de sistema de recolección de aguas residuales:

**Tabla 10**

#### *Volumen de arenas producido según tipo de sistema de alcantarillado*

Tipo de sistema de recolección	Ratio de día máximo/día promedio	Cantidad de arena promedio m <sup>3</sup> /1000 m <sup>3</sup>
Separado	1.5 a 3.1	0.004-0.037
Combinado	3 a 15.1	0.004-0.20

Fuente: Adaptado de Metcalf&Eddy, 2014

Los sistemas de desarenado son comúnmente diseñados considerando partículas con gravedad específica igual 2.65 (similar a arena sílice) y un tamaño de partícula 0.210 mm.

#### 2.1.8.1.1.2.2 Desarenadores aireados

En los desarenadores se introduce aire a lo largo de un lado del tanque rectangular para crear un patrón de flujo espiral perpendicular a través del tanque. Las aguas residuales se moverán a través del tanque en una trayectoria en espiral y harán dos o tres pasadas por el fondo del tanque con el flujo máximo y más pasadas con el flujo promedio. Las partículas más pesadas sedimentarán en el fondo. Las partículas más ligeras, principalmente orgánicas, permanecen en suspensión y pasan a través del tanque. La velocidad de agitación gobierna el tamaño de las partículas de una gravedad específica que serán removidas. Si la velocidad es demasiado alta, la arena saldrá de la cámara. Si es demasiado baja, el material orgánico será eliminado con la arena. Con el ajuste adecuado casi el 100% de arena será removida y la arena también será lavada.

**Tabla 11**

*Consideraciones de diseño para desarenadores aireados, según Metcalf&Eddy 2014*

Parámetros	Unidades SI		
	Unidades	Rango	Valor típico
Tiempo de retención a caudal pico	min	2-5	3
Dimensiones			
Profundidad	m	2-5	
Longitud	m	7.5-20	
Ancho	m	2.5-7	
Relación Ancho/Profundidad		1:1 a 5:1	1.5:1
Relación Longitud/Ancho		3:1 a 5:1	4:1
Suministro de aire por unidad de longitud	m <sup>3</sup> /m.min	0.2-0.5	
Cantidades de arena*	m <sup>3</sup> /10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	0.004-0.20	0.015

Fuente: Adaptado de Metcalf&Eddy, 2014. \*Para sistemas de alcantarillado combinado.

#### 2.1.8.1.1.2.3 Lavado de arena

El objetivo del proceso de lavado es lograr una arena limpia con un bajo contenido de materia orgánica. Por lo general, se puede esperar una arena con menos del 20 % de sólidos volátiles mientras se retiene el 95% de las arenas.

#### *2.1.8.1.1.2.4 Secado de arena*

El objetivo del proceso de secado es lograr un grano limpio y seco con una concentración total de sólidos superior al 60% mientras se retiene al menos 95% de la arena sedimentable.

#### *2.1.8.1.2 Tratamiento Primario*

El objetivo del tratamiento primario es la remoción de los sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables, para disminuir la carga en el tratamiento biológico. Los sólidos removidos en el proceso tienen que ser procesados antes de su disposición final.

Para efectos del presente informe, se destaca la teoría relacionada a los sedimentadores primarios, haciendo mayor énfasis en los tanques de sedimentación circulares.

#### *2.1.8.1.2.1 Sedimentación primaria*

El objetivo del tratamiento por sedimentación es eliminar los sólidos fácilmente sedimentables y el material flotante que se encuentra en las aguas residuales y así reducir el contenido de sólidos en suspensión.

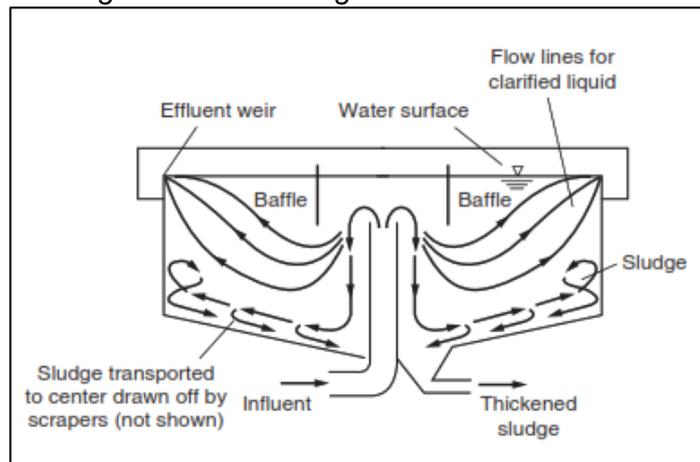
Eficientemente diseñados y operados, del 50 al 70 % de los sólidos suspendidos y del 25 al 40% de la DBO pueden ser removidos por tanques de sedimentación primaria.

#### *2.1.8.1.2.1.1 Tanques de sedimentación circulares*

Patrón de flujo: En los tanques circulares el patrón de flujo es circular (a diferencia de los tanques de flujo horizontal). Para lograr un patrón de flujo radial, las aguas residuales que se van a sedimentar se pueden introducir en el centro o de forma periférica como se muestra en la siguiente figura:

**Figura 2**

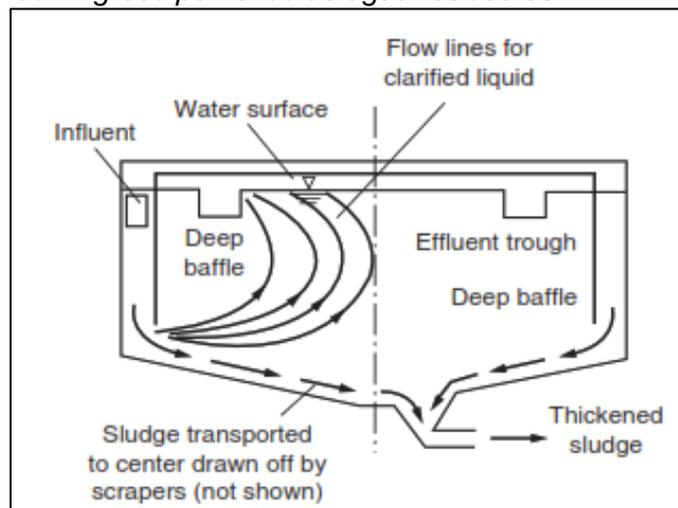
*Sedimentador circular con ingreso central de agua residual*



Fuente: Metcalf&Eddy, 2014

**Figura 3**

*Sedimentador circular con ingreso periférico de agua residuales*



Fuente: Metcalf&Eddy, 2014

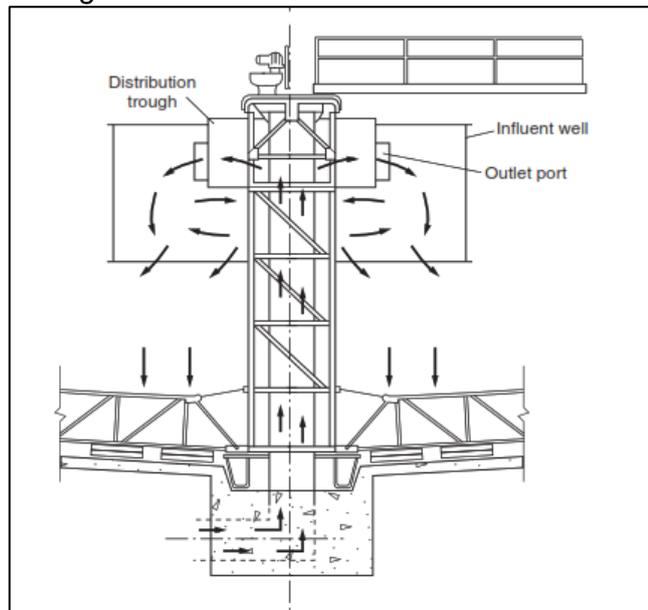
El sedimentador de alimentación central es el más utilizado.

Disipadores de energía: Los disipadores de energía funciona para recolectar el afluente de la columna central y descargarlo tangencialmente en la parte superior por encima a 0.5-0.7 m del pozo de alimentación. Los puntos de descarga están diseñados para producir una velocidad de 0.75 m/s a caudal máximo, y 0.30-0.45 m/s a caudal medio.

El pozo de alimentación debe tener un tamaño tal que no supere la velocidad máxima de ascenso 0.75 m/s. La profundidad del pozo de alimentación debe extenderse aproximadamente 1 m por debajo de los puertos de entrada de los disipadores de energía.

#### Figura 4

*Detalle típico de ingreso de agua residual en sedimentadores circulares*



Fuente: Metcalf&Eddy, 2014

Remoción de lodos:

Para tanques circulares de 10.5 m de diámetro a más, tienen un pilar central que soporta el mecanismo de accionamiento central y se accede mediante una pasarela móvil o fija.

Vertederos de salida:

El efluente sedimentado se descarga sobre vertederos que descargan a su vez en un canal de recolección, y este finalmente a una tubería o canal hacia el tratamiento posterior.

En tanques de sedimentación circular, el efluente tratado descarga sobre una serie de vertederos dentados en V ubicados periféricamente en la pared del tanque.

Consideraciones de diseño de tanques sedimentadores:

**Tabla 12**

*Consideraciones de diseño para tanques de sedimentación primaria*

Parámetros	Unidades SI		
	Unidades	Rango	Valor típico
<b>Tanques de sedimentación primaria seguidos de tratamiento secundario</b>			
Tiempo de retención	h	1.5-2.5	2.0
Tasa de desbordamiento			
A caudal medio	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d	30-50	40
A caudal máximo horario	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d	80-120	100
Tasa de recolección en vertedero	m <sup>3</sup> /m.d	125-500	250

Fuente: Adaptado de Metcalf&Eddy, 2014

**Tabla 13**

*Dimensiones recomendadas en tanques de sedimentación circulares y rectangulares*

Parámetros	Unidades SI		
	Unidades	Rango	Valor típico
<b>Circular</b>			
Profundidad	m	3-4.9	4.3
Longitud	m	3-60	12-45
Pendiente de fondo	mm/mm	1/16 – 1/6	1/12
Velocidad de rotación	m/min	0.02-0.05	0.03

Fuente: Adaptado de Metcalf&Eddy, 2014

Respecto a los sedimentadores primarios, la normativa peruana OS 090 recomienda los siguientes criterios de diseño:

**Tabla 14**

*Criterios de diseño para tanques de sedimentación primaria, según el RNE OS 090*

Criterio	Unidades	Rango
Caudal de diseño de canal de repartición y entrada	L/s	Caudal máximo horario
Carga superficial, a caudal medio de diseño	m <sup>3</sup> /día	24-60
	m <sup>3</sup> /h	1.0-2.5
Periodo de retención	h	1.5-2.5
		Recomendable < 2
Profundidad	m	2-3.5
		Recomendable 3
Relación largo/ancho		3:1 a 10:1
		Recomendable 4:1
Relación largo/profundidad		5:1 – 30:1
Carga hidráulica sobre vertederos	m <sup>3</sup> /m.día	125-500
		Recomendable 250
Velocidad en tubería de extracción de lodo	m/s	Mayor o igual 0.9
Velocidad de mecanismo de barrido de lodos	m/min	0.6-1.2
Pendiente mínima de tolva de lodos		1.7 vertical a 1.0 horizontal

Fuente: Norma OS 090 RNE, 2006

2.1.8.1.3 Tratamiento Secundario

La OS 090 en el reglamento nacional de edificaciones considera como tratamiento secundario los procesos biológicos con una eficiencia de remoción de DBO soluble mayor

a 80%, pudiendo ser de biomasa en suspensión o biomasa adherida, en incluye los siguientes sistemas: lagunas de estabilización, lodos activados, filtros biológicos y módulo rotatorios de contacto.

Debido a la extensa teoría sobre los diferentes tipos de tratamiento secundario y a efectos de exponer información útil para el diseño relacionado a los trabajos realizados en el presente informe, se ha optado por presentar únicamente el sistema de lodos activados.

#### 2.1.8.1.3.1 Proceso de lodos activados

##### 2.1.8.1.3.1.1 Descripción básica

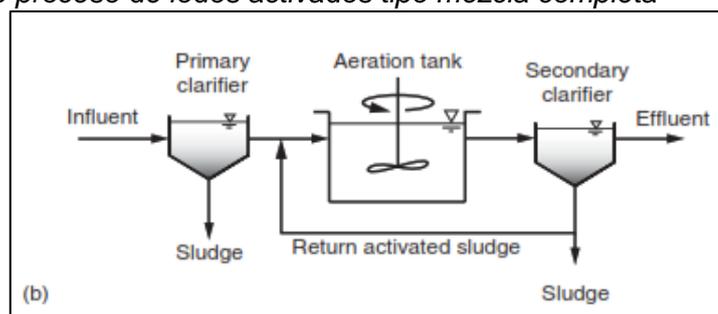
El proceso consta de los siguientes componentes básicos:

- Un reactor en el que los microorganismos responsables del tratamiento se mantienen en suspensión.
- Una unidad de separación de líquidos y sólidos, usualmente, un tanque de sedimentación.
- Un sistema de recirculación para retornar los sólidos removidos de vuelta al reactor.

Una característica importante del proceso de lodos activados es la formación de sólidos sedimentables floculantes que pueden eliminarse por sedimentación por gravedad en tanques de sedimentación. En la mayoría de casos, el proceso de lodos activados es empleado en conjunto con procesos físicos y químicos.

### Figura 5

*Diagrama de flujo de proceso de lodos activados tipo mezcla completa*



#### *2.1.8.1.3.1.2 Elementos clave para el diseño*

Para el diseño del proceso de lodos activados se requiere determinar:

- Las características de las aguas residuales influentes al reactor.
- Volumen del tanque de aireación
- Tasa de producción de lodos
- Tasa de suministro de oxígeno
- La concentración de parámetros en el efluente (DBO, DQO, SST, N, P)

#### *2.1.8.1.3.1.3 Constituyentes clave en el agua residual*

Pueden ser agrupados de la siguiente manera:

- Constituyentes carbonáceos
- Compuestos de nitrógeno
- Compuestos de fósforo
- Sólidos suspendidos volátiles (SSV) y sólidos suspendidos totales (SST)
- Alcalinidad

#### *2.1.8.1.3.2 Diseño de lodos activados*

##### *2.1.8.1.3.2.1 Diseño convencional*

Los diseños tradicionales con hoja de cálculo de escritorio, basados en la suposición de condiciones de operación en estado estacionario “steady-state”, son útiles para determinar los parámetros clave de diseño de diseño de lodos activados

##### *2.1.8.1.3.2.2 Uso de software especializado de simulación*

Estas aplicaciones permiten al usuario manejar varias unidades de proceso relacionadas entre sí, de acuerdo a un diagrama de la planta que el usuario establece.

Permitiéndole probar el comportamiento de estas unidades según las condiciones ambientales, de vertido y la legislación aplicada. (Sanchez, 2015).

Cada aplicación íntegra unos modelos matemáticos que describen el comportamiento de los procesos (Water Treatment Handbook, 1991).

Las aplicaciones incorporan gráficas y tablas de información robustas con presentación de resultados fácil de interpretar por el usuario. Sin embargo, todas las aplicaciones existentes esconden detrás de su entorno amigable y fácil de usar, la dificultad de usar correctamente todas las herramientas. Se necesita un alto conocimiento de los procesos, los modelos utilizados y de los parámetros necesarios para iniciar la simulación con el fin de obtener los mejores resultados (Olsson, G et al., 1999).

Modelos de procesos:

Los modelos son una descripción matemática de una serie de procesos químico, físicos y biológicos que ocurren en un espacio delimitado (tanques y reactores). Sin embargo, el hecho de que un modelo se ajuste bien a los datos experimentales y que prediga bien el comportamiento del sistema estudiado, no significa que los mecanismos del modelo son correctos desde el punto de vista microbiológico.

Hasta el momento los modelos más utilizados son los propuestos por la International Water Association (IWA) desde el (ASM1- activated sludge model 1) (Henze et al., 2000).

**Tabla 15**

*Softwares especializados para la simulación de plantas de tratamiento de agua residual*

<b>Simulador</b>	<b>Creador</b>	<b>Origen</b>
ASIM	EAWAG	Suiza
DESASS	Calagua group-UPV	España
BIOWIN	Envirosim Associates L.d	Canadá
EFOR	DHI Inc	Dinamarca
GPS-X	Hydromantis	Canadá
SIMBA	IFAK-System GmbH	Alemania
STOAT	WRc Group	Reino Unido
WEST	Hemmin N.V	Bélgica
EDAR 1.0	CEIT-Cadagua	España

<b>Simulador</b>	<b>Creador</b>	<b>Origen</b>
AQUASIM	EAWAG	Suiza

Fuente: Software de ingeniería especializado en el diseño y simulación de plantas de tratamiento de agua residual. (Sanchez, 2015)

### 2.1.8.1.3.3 Parámetros de importancia

#### 2.1.8.1.3.3.1 *Uso de DQO en el diseño de lodos activados*

Si bien la DBO es el parámetro común utilizado para caracterizar los componentes carbonosos en las aguas residuales, la DQO biodegradable es el parámetro carbonoso que se utiliza en la mayoría de los modelos de diseño de simulación por computadora más completos. En estos modelos, se utiliza un balance de masas de DQO para contabilizar el material DQO carbonoso entre la cantidad oxidada, la cantidad en el efluente y la cantidad en sólidos residuales como biomasa o SSV afluente no degradado.

#### 2.1.8.1.3.3.2 *Fracciones de DQO*

A diferencia de la DBO, una parte de la DQO es no biodegradable, entonces la DQO se divide en biodegradable y no biodegradable.

El siguiente nivel de interés es qué cantidad de DQO en cada una de estas categorías se disuelve (soluble) y qué cantidad es particulada, compuesta de sólidos coloidales y suspendidos.

La DQO soluble no biodegradable (nbsDQO) se encontrará en el efluente de lodo activado y las partículas no biodegradables contribuirán a la producción total de lodos.

$$TDQO = rbDQO + sbDQO + nbsDQO + nbpDQO$$

$$DQO_t = S_s + X_s + S_i + X_i$$

$$X_s = X_{col} + X_{sp}$$

Donde:

rbDQO o  $S_s$ =Demanda química de oxígeno fácilmente biodegradable

sbDQO o  $X_s$ =Demanda química de oxígeno lentamente biodegradable

nbsDQO o  $X_i$ =Demanda química de oxígeno soluble no biodegradable

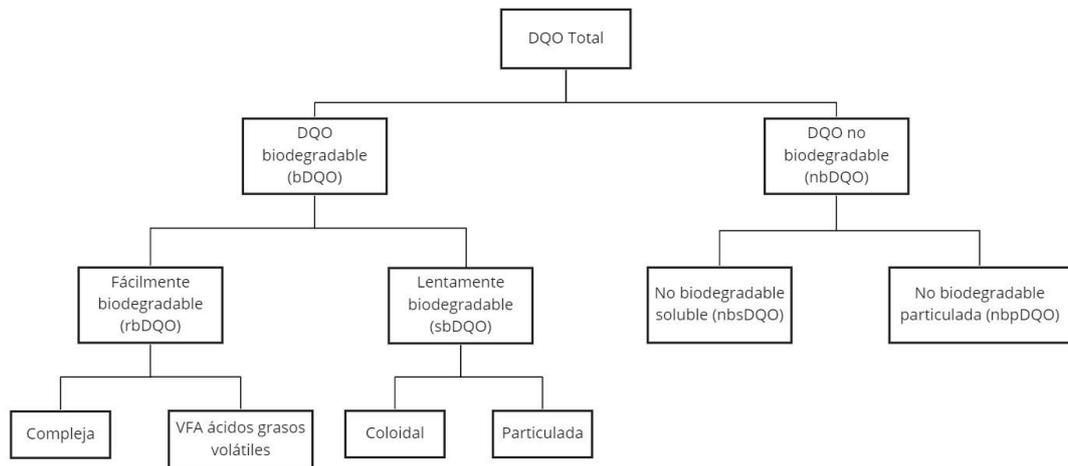
nbpDQO o Si=Demanda química de oxígeno particulada no biodegradable

Xcol=Demanda química de oxígeno coloidal biodegradable

Xsp=Demanda química de oxígeno particulada biodegradable

### Figura 6

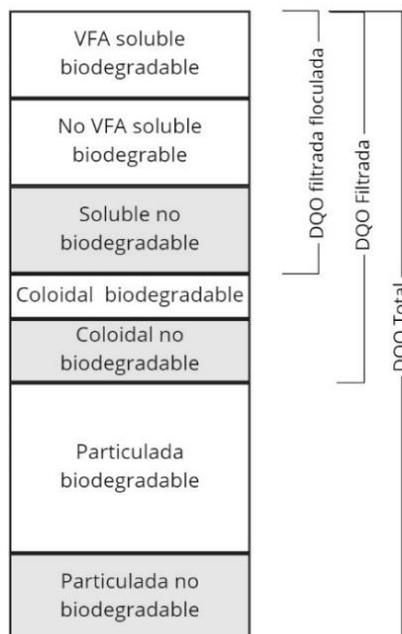
Esquema de fracciones de DQO en el agua residual



Fuente: Adaptado de Methods for Wastewater Characterization in Activated Sludge Modeling, 2003

### Figura 7

Composición de DQO y métodos de separación para obtener los componentes



Fuente: Adaptado de Metcalf&Eddy, 2014

#### 2.1.8.1.3.3.3 Relación bDQO/DBO

Los resultados de la prueba de DBO son necesarios para obtener la DQO biodegradable. Grady et al. (1999) observaron que la relación bDQO/DBO es mayor que la DBO última y la DBO (DBOu/DBO), ya que no todo el bDQO se oxida en la prueba de DBO. Parte del bDQO se convierte en biomasa, que aún puede permanecer como desechos celulares y células activas al final del largo tiempo de incubación para la determinación de DBOu.

$$\text{bDQO} = \text{DBOu} + 1.42 (f_d)(Y_h)\text{bDQO}$$

$$\frac{\text{bCOD}}{\text{BOD}} = \frac{\text{UBOD/BOD}}{1.0 - 1.42f_d(Y_H)}$$

Donde:

- $f_d$  = fracción de masa celular que queda como desecho celular, g/g
- $Y_h$  = coeficiente de rendimiento de síntesis para bacterias heterótrofas, gSSV/g COD
- Para valores típicos de  $\text{DBOu/DBO} = 1.5$ ,  $f_d=0.15$ ,  $Y_h=0.40$ . La relación  $\text{bDQO/DBO}=1.64$

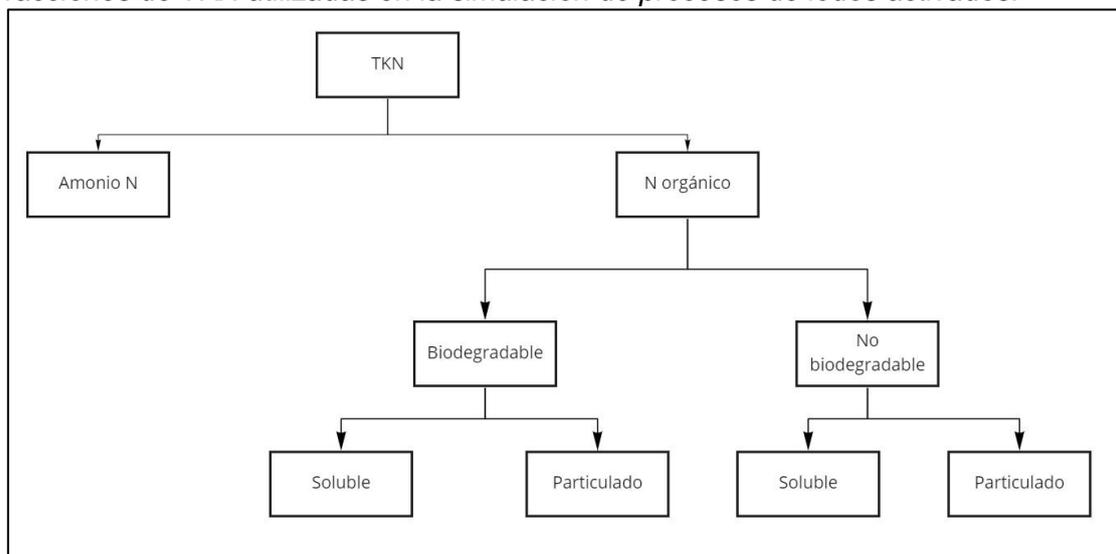
#### 2.1.8.1.3.3.4 Fracciones de nitrógeno

El nitrógeno Kjeldahl total (TKN) es una medida de la suma del amoníaco y el nitrógeno orgánico. Alrededor del 60 al 70 % de la concentración de TKN afluente será como  $\text{NH}_4\text{-N}$ , que es fácilmente disponible para la síntesis bacteriana y nitrificación.

El nitrógeno orgánico está presente tanto como forma soluble como en forma de partículas, y una parte de cada una de ellas es no biodegradable. El nitrógeno particulado orgánico biodegradable se eliminará más lentamente que el nitrógeno soluble orgánico biodegradable porque primero es necesario una reacción de hidrólisis.

**Figura 8**

*Fracciones de TKN utilizadas en la simulación de procesos de lodos activados.*



Fuente: Adaptado de Metcalf&Eddy, 2014

*2.1.8.1.3.3.5 Valores típicos de fracciones en aguas residuales municipales*

**Tabla 16**

*Valores típicos de fracciones de DQO, nitrógeno y fósforo en aguas residuales municipales*

Característica de agua residual	Concentración	Unidades	Fracciones	Unidades de fracción
<b>Materia orgánica</b>				
DQO Total	250-700	gDQO/m <sup>3</sup>	-	-
DQO fácilmente biodegradable	25-125	gDQO/m <sup>3</sup>	0.05-0.25	gDQO/gDQOtotal
DQO soluble no biodegradable	20-50	gDQO/m <sup>3</sup>	0.04-0.16	gDQO/gDQOtotal
DQO particulada no biodegradable	35-110	gDQO/m <sup>3</sup>	0.07-0.22	gDQO/gDQOtotal
DQO lentamente biodegradable	200-400	gDQO/m <sup>3</sup>	0.4-0.80	gDQO/gDQOtotal
<b>Material nitrogenoso</b>				
TKN	25-70	gN/m <sup>3</sup>		
Amoniaco libre y salino	20-30	gN/m <sup>3</sup>	0.50-0.75	gN/gTKN
TKN soluble no biodegradable	0-5	gN/m <sup>3</sup>	0-0.07	gN/gTKN
TKN orgánico biodegradable	0-10	gN/m <sup>3</sup>	0-0.25	gN/gTKN
TKN particulado no biodegradable	2-8	gN/m <sup>3</sup>	0.03-0.07	gN/g DQO particulado no biodegradable

Característica de agua residual	Concentración	Unidades	Fracciones	Unidades de fracción
<b>Material con fósforo</b>				
Fosforo total TP	4-15	gP/m <sup>3</sup>		
Ortofosfatos	2-12	gP/m <sup>3</sup>	0.50-0.85	gP/gTP
Fosforo soluble no biodegradable	0-¿?	gP/m <sup>3</sup>	0-¿?	gP/gTP
Fosforo orgánico biodegradable	0-10	gP/m <sup>3</sup>	0-0.25	gP/gTP
Fósforo particulado no biodegradable	1-4	gP/m <sup>3</sup>	0.02-0.03	gP/g DQO particulado no biodegradable

Fuente: Adaptado de Wastewater Characterization-WERF, 2005

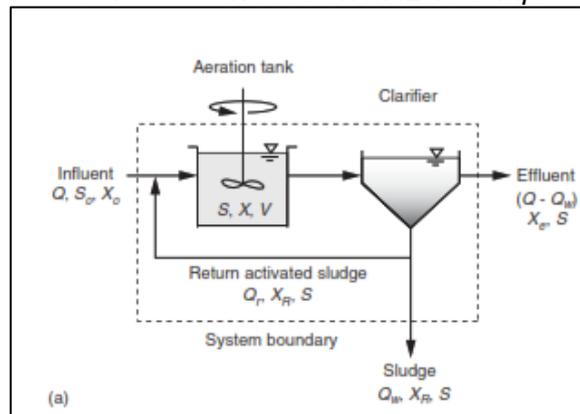
### 2.1.8.1.3.3.6 Tiempo de retención celular (SRT, $\Theta_c$ )

Representa el periodo de tiempo durante el cual el lodo ha permanecido en el sistema. Es el parámetro más crítico para el diseño y operación de sistemas de lodos activados, afecta el rendimiento del proceso, volumen del tanque de aireación, producción de lodos, requerimientos de oxígeno.

Para tanques de mezcla completa:

#### Figura 9

Esquema típico de un proceso de lodos activados en mezcla completa



Fuente: Adaptado de Wastewater Characterization-WERF, 2005

$$SRT = \frac{VX}{(Q - Q_w)X_e + Q_w X_R}$$

- SRT=tiempo de retención celular o edad de lodo, d
- V=volumen de reactor, m<sup>3</sup>

- Q=caudal afluente, m<sup>3</sup>/d
- X=concentración de biomasa en el reactor, gSSV/m<sup>3</sup>
- Q<sub>w</sub>=caudal de purga de lodos, m<sup>3</sup>/d
- X<sub>e</sub>=concentración de biomasa en el efluente, gSSV/m<sup>3</sup>
- X<sub>R</sub>=concentración de biomasa en el retorno de lodo activado del clarificador secundario, gSSV/m<sup>3</sup>

#### 2.1.8.1.3.3.7 Relación F/M (alimento/microorganismos)

Se define como la tasa de DBO o DQO aplicada por unidad de volumen de licor mezcla.

$$F/M = Q \cdot S_o / V \cdot X$$

Reemplazando  $t = Q/V$ , se obtiene

$$F/M = S_o / T \cdot X$$

Donde:

F/M = relación alimento microorganismos, gDBO o gbsDQO / g SSV.d

Q = caudal afluente, m<sup>3</sup>/d

S<sub>o</sub> = concentración de DBO o bsDQO g/m<sup>3</sup>, bsDQO (soluble biodegradable).

V = volumen del tanque de aireación, m<sup>3</sup>

X = concentración de licor mezcla en el tanque de aireación, g/m<sup>3</sup>

t = tiempo de retención hidráulico en el tanque de aireación, V/Q, d

### 2.1.8.1.3.3.8 Carga orgánica volumétrica (Lorg)

Se define como la cantidad de DBO o DQO aplicada al volumen del tanque de aireación por día.

$$L_{org} = (Q)(S_o) / V (10^3 \text{ g/1kg})$$

### 2.1.8.1.3.3.9 Coeficientes cinéticos para utilización de sustrato y producción de biomasa

**Tabla 17**

*Valores de coeficientes cinéticos para utilización de sustrato y producción de biomasa*

Coeficiente	Unidades	Valor*	
		Rango	Valor típico
k, tasa máxima de utilización de sustrato	g bsCOD / g VSS.d	4-12	6
Ks, cte de velocidad media, concentración de sustrato a la mitad de la tasa máxima de utilización específica del sustrato	mg/L DBO	20-60	30
	mg/L bsDQO	5-30	15
Y, coeficiente de rendimiento de síntesis	mg SSV/mg DBO	0.4-0.8	0.6
	mg SSV/mg DQO	0.4-0.6	0.45
b, coeficiente de decaimiento endógeno específico	g SSV/g SSV.d	0.06-0.15	0.10
fd, fracción de biomasa remanente en los restos celulares	-	0.15	0.15

(\*) Valores reportados a 20°C. Fuente: Adaptado de Metcalf&Eddy, 2014

### 2.1.8.1.3.3.10 Corrección por temperatura

La temperatura no solo influye en las actividades metabólicas de la población microbiana, pero también tiene un profundo efecto sobre factores tales como las tasas de transferencia de gas y las características de sedimentación de la biológica sólidos. El efecto de la temperatura sobre la velocidad de reacción de un proceso biológico se expresa usando:

$$k_T = k_{20} \theta^{(T-20)}$$

$k_T$ =coeficiente de velocidad de reacción a la temperatura T°C

$k_{20}$ =coeficiente de velocidad a 20°C

$\Theta$ =coeficiente de temperatura, [1.02 a 1.25]

T=temperatura, °C





$P_{x,bio}$ =biomasa como SSV purgado por día, kg/d

$P_{x,bio}=A+B$

#### 2.1.8.1.3.6 Transferencia de oxígeno

La cantidad real de oxígeno requerida debe obtenerse aplicando un factor a un requerimiento estándar de oxígeno que refleje los efectos de la tensión superficial de salinidad (factor beta), temperatura, elevación, profundidad difusa (para sistemas de aireación difusa), el nivel de operación de oxígeno deseado, y los efectos de la intensidad de la mezcla y la configuración de la cuenca. La interrelación de estos factores viene dada por la siguiente expresión.

$$SOTR = AOTR \left[ \frac{C_{S,20}}{\alpha F (\beta C_{S,TH} - C_L)} \right] (1.024^{20-T})$$

Donde:

- AOTR=Requerimientos reales de oxígeno
- SOTR=Oxígeno que se requiere suministrar para obtener el AOTR requerido, 20°C
- $C_{S,TH}$ =Concentración promedio de saturación de oxígeno en el reactor aerobio
- $C_L$ =Concentración de oxígeno de operación en el reactor aerobio
- $C_{s,20}$ =Concentración de saturación en agua limpia a 20°C y 1 atm.
- $\alpha$ =Factor de corrección de transferencia de oxígeno para las características del agua real.
- $\beta$ =Factor de corrección por tensión superficial por efecto de la salinidad
- $F$ =Factor de corrección por ensuciamiento de difusores, valores típicos de 0.65 a 0.9

#### 2.1.8.1.3.6.1 Factor de corrección $\beta$

El factor de corrección  $\beta$  se utiliza para corregir la tasa de transferencia de oxígeno del sistema de prueba en función de las diferencias en la solubilidad del oxígeno en los componentes del agua, como sales, partículas y sustancias tensioactivas:

$$\beta = \frac{C_s(\text{agua residual})}{C_s(\text{agua limpia})}$$

Los valores de  $\beta$  varían de aproximadamente 0,7 a 0,98. Un valor  $\beta$  de 0,95 se utiliza habitualmente para las aguas residuales. Debido a que la determinación de  $\beta$  está dentro de la capacidad de la mayoría de los laboratorios de plantas de tratamiento de aguas residuales, se recomienda la verificación experimental de los valores supuestos.

#### 2.1.8.1.3.6.2 Factor de corrección $\alpha$

Los efectos de la intensidad de la mezcla y la geometría del tanque son difíciles de tratar sobre una base teórica, pero deben considerarse en el proceso de diseño porque los dispositivos de aireación a menudo se eligen sobre la base de la eficiencia. La eficiencia está fuertemente relacionada con el valor  $K_{La}$  asociado con una unidad de aireación determinada. En la mayoría de los casos, un dispositivo de aireación está clasificado para una variedad de condiciones de funcionamiento utilizando agua del grifo con una concentración baja de TDS. Se utiliza un factor de corrección  $\alpha$  para estimar el valor  $K_{La}$  en el sistema real.

$$\alpha = \frac{K_{La}(\text{agua residual})}{K_{La}(\text{agua de grifo})}$$

Los valores de  $\alpha$  varían con el tipo de dispositivo de aireación, la geometría del depósito, el grado de mezcla y las características del agua residual. Los valores de  $\alpha$  varían aproximadamente de 0,3 a 1,2. Los valores típicos para equipos de aireación mecánica y difusa están en el rango de 0,4 a 0,5 y de 0,6 a 1,2, respectivamente. Si la geometría del

depósito en que se va a utilizar el dispositivo de aireación es significativamente diferente de la utilizada para probar el dispositivo, se debe tener mucho cuidado al seleccionar un valor A apropiado.

#### 2.1.8.1.3.6.3 Concentración promedio de saturación de oxígeno en el reactor

Para calcular la concentración de saturación de oxígeno en condiciones reales, se toma la siguiente ecuación:

$$C_{S,TH} = C_{S,TH} \left[ \frac{1}{2} \left( \left( \frac{P_d}{P_{atm,H}} \right) + \frac{O_t}{21} \right) \right]$$

Donde:

- $C_{S,TH}$ =Concentración promedio de saturación de oxígeno para agua limpia a temperatura T y altitud H
- $P_d$ =Presión a la altura de salida de aire
- $O_t$ =Porcentaje de oxígeno en el aire que sale del reactor aerobio, usualmente 18 a 20 por ciento
- $P_{atm, H}$ =Presión atmosférica a altitud H

#### 2.1.8.1.3.7 Consideraciones de diseño

La normativa peruana en la OS 090 establece las siguientes consideraciones de diseño del sistema de lodos activados:

**Tabla 18**

*Parámetros de diseño de proceso de lodos activados, según RNE OS 090 1 de 2.*

Tipo de proceso	Periodo de retención (h)	Edad de lodo (d)	Carga volumétrica (kg DBO/m <sup>3</sup> .día)
Convencional	4-8	4-15	0.3-0.6
Aeración escalonada	3-6	5-15	0.6-0.9
Alta carga	2-4	2-4	1.1-3.0
Aeración prolongada	16-48	20-60	0.2-0.3
Mezcla completa	3-5	5-15	0.8-0.2
Zanja de oxidación	20-36	30-40	0.2-0.3

Fuente: OS 090 RNE, 2006

Tabla N° 1 Parámetros de diseño de proceso de lodos activados, según RNE OS 090 2 de 2.

**Tabla 19**

*Parámetros de diseño de proceso de lodos activados, según RNE OS 090 2 de 2.*

Tipo de proceso	Remoción de DBO	Concentración SSTA (kg/m <sup>3</sup> )	Carga de la masa de kg DBO/ kg SSVTA	Tasa de recirculación
Convencional	85-90	1.5-3.0	0.2-0.4	25-50
Aeración escalonada	85-95	2.0-3.5	0.2-0.4	25-75
Alta carga	75-90	4-10	0.40-1.50	30-500
Aeración prolongada	75-95	3-6	0.05-0.5	75-300
Mezcla completa	85-95	3-6	0.2-0.6	25-100
Zanja de oxidación	75-95	3-6	0.05-0.15	75-300

Fuente: OS 090 RNE, 2006

#### 2.1.8.1.3.8 Clarificador secundario

La separación de sólidos es el paso final en la producción de un efluente bien clarificado bajo en DBO y SST. La presencia de una gran cantidad de sólidos floculantes en el licor mezcla requiere especial atención para el diseño de los tanques de sedimentación secundaria:

De manera similar al diseño de los clarificadores primarios se deben considerar: (1) las tasas de carga de sólidos y de superficie, (2) tipo de tanque (3) recolección de agua (4) distribución de caudal, (5) diseño de ingreso (6) ubicación del vertedero y tasas de carga, (7) remoción de natas

**Tabla 20**

*Valores típicos de diseño de sedimentadores secundarios para sistemas de lodos activados.*

Tipo de tratamiento	Tasa de sedimentación		Carga de sólidos		Profundidad m
	Media m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia	Pico m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia	Media Kg/m <sup>2</sup> .h	Pico Kg/m <sup>2</sup> .h	
Sedimentación seguida de lodos activado (excluida aeración extendida)	16-28	36-56	4-6	10	4-5.5

Fuente: Metcalf&Eddy, 2014

Por otra parte, el reglamento nacional de edificaciones, en la OS 090, establece los siguientes parámetros de diseño:

**Tabla 21***Parámetros de diseño de sedimentadores secundarios, según RNE OS 090*

Tipo de tratamiento	Tasa de sedimentación		Carga de sólidos		Profundidad m
	Media m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .día	Pico m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .día	Media Kg/m <sup>2</sup> .h	Pico Kg/m <sup>2</sup> .h	
Sedimentación seguida de lodos activado (excluida aeración extendida)	16-32	40-48	3-6	9	3.5-5

Fuente: OS 090 RNE, 2006

**2.1.8.1.4 Desinfección**

Es el proceso utilizado para lograr un determinado nivel de inactivación de organismos patógenos. Debido a que no todos los organismos presentes son destruidos durante el proceso de tratamiento.

**2.1.8.1.4.1 Remoción de coliformes en procesos de tratamiento**

Previa a la etapa de desinfección según el tipo de proceso se produce la remoción de coliformes en escalas logarítmicas que se indican a continuación:

**Tabla 22***Grados de remoción de coliformes en escala logarítmica*

Proceso	Remoción	
	Porcentaje	Log
Rejas gruesas	0-5	0
Rejas finas	10-20	0-0.1
Desarenadores	10-25	0-0.1
Sedimentación simple	25-75	0.1-0.6
Lodos activados	90-98	1-1.7

(\*) Depende de las características y configuración de membrana.

Fuente: Metcalf&amp;Eddy, 2014.

**2.1.8.1.4.2 Parámetros de diseño con desinfección con cloro****2.1.8.1.4.2.1 Tiempo de contacto**

El objetivo de diseño de las cámaras de contacto con cloro es asegurar un tiempo de contacto con cloro adecuado para una desinfección eficaz. Este puede variar entre 30 a 120 minutos; tiempos de contacto entre 15-90 min para caudales pico son comunes.

El tanque de contacto con cloro se diseña para el tiempo de contacto con un tipo de flujo pistón

#### 2.1.8.1.4.2.2 Dosis de cloro

La dosis de cloro requerida para la desinfección se puede estimar considerando la demanda inicial de cloro, la tolerancia a la descomposición durante el tiempo de contacto con cloro y la concentración residual de cloro requerida.

En la siguiente tabla, se indican valores típicos de dosis de cloro utilizadas para asegurar cierto grado de remoción de coliformes en términos de NMP.

**Tabla 23**

*Dosis típicas de cloro utilizadas para la desinfección de agua residual según tipo de proceso precedente*

Tipo de agua residual	Coliformes totales iniciales NMP/100 mL	Dosis de cloro, mg/L			
		Estándar de efluente, NMP/100 mL			
		1000	200	23	2.2
Agua residual cruda	10 <sup>7</sup> -10 <sup>9</sup>	16-30			
Efluente primario	10 <sup>7</sup> -10 <sup>9</sup>	8-12	18-24		
Efluente de lodos activados	10 <sup>5</sup> -10 <sup>6</sup>	5.5-7.5	10-13	13-17	

Fuente: Metcalf&Eddy, 2014.

### 2.1.9 Línea de tratamiento de lodos

#### 2.1.9.1 Tipos de residuos y lodos

En una planta de tratamiento de aguas residuales las fuentes de producción de residuos, lodos, natas y grasas son:

- Residuos de desbaste (grueso y fino)
- Arenas
- Espumas y grasas
- Lodo primario
- Lodo secundario
- Lodo digerido anaerobio

### 2.1.9.2 Producción de lodos

En la siguiente tabla se aportan datos de producción de lodos en diferentes procesos y operaciones de tratamiento.

**Tabla 24**

*Producción de lodos en diferentes procesos y operaciones de tratamiento*

Tratamiento u operación unitaria	Gravedad específica de sólidos	Gravedad específica de lodos	Sólidos secos kg/10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	
			Rango	Típico
Sedimentación primaria	1.4	1.02	110-170	150
Lodo activado	1.25	1.05	70-100	80

Fuente: Adaptado de Metcalf&Eddy, 2014

#### 2.1.9.2.1 Cálculo de volumen de lodos

El volumen de lodo se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$V = \frac{W_s}{\rho_w S_{sl} P_s}$$

Donde:

$W_s$ =peso de los sólidos secos, kg

$\rho_w$ =densidad de agua, kg/m<sup>3</sup> ( $\rho_w$ =1000 kg/m<sup>3</sup>)

$S_{sl}$ =peso o gravedad específica de lodo

$P_s$ =fracción de sólidos expresada en tanto por uno.

$V$ =volumen de lodo, m<sup>3</sup>

#### 2.1.9.2.2 Concentraciones de sólidos en lodo

En la siguiente tabla, se muestran concentraciones de sólidos del lodo esperada procedente de diversas operaciones y procesos de tratamiento:

**Tabla 25***Concentración de sólidos secos según tipo de lodo*

Operación o proceso de tratamiento	Concentración de sólidos secos%	
	Rango	Valor típico
Tanque de sedimentación primaria		
Lodo primario	1-6	3
Espumas	3-10	5
Tanque de sedimentación secundaria		
Lodo activado en exceso, con sedimentación primaria	0.5-1.5	0.8
Digestor anaeróbico		
Lodo primario únicamente	2-5	4
Lodo primario y lodo activado en exceso	1.5-4	2.5
Lodo primario y humus de filtro percolador	2-4	3

Fuente: Adaptado de Metcalf&Eddy, 2014

**2.1.9.3 Procesos para el tratamiento de lodos**

En la siguiente tabla se resume los principales procesos para el tratamiento de lodos en una PTAR:

- Tamizado y mezclado (pretratamiento).
- Espesamiento.
- Estabilización.
- Acondicionamiento químico.
- Deshidratación.
- Disposición final

**2.1.9.3.1 Espesamiento de lodos**

El espesado es un procedimiento que se emplea para aumentar el contenido de sólidos del lodo por eliminación de parte de la fracción líquida del mismo.

La reducción del volumen de fango resulta beneficiosa para los procesos de tratamiento subsiguientes tales como la digestión, deshidratación, secado y combustión, desde los siguientes puntos de vista: (1) capacidad de tanques y equipos necesarios; (2) cantidad de reactivos químicos necesarios para el acondicionamiento del fango, y (3) cantidad de calor necesario para los digestores y cantidad de combustible auxiliar necesario para el secado o incineración, o para ambos.

**Tabla 26***Métodos de tratamiento de lodo y frecuencias de uso*

Método	Tipo de lodo	Frecuencia de uso y éxito
Espesador de bandas	Lodo activado en exceso	A menudo usado, buenos resultados (3-6% concentración de sólidos)

Fuente: Adaptado de Metcalf&amp;Eddy,2014

## 2.1.9.3.2 Acondicionamiento químico de lodos

Los polímeros más utilizados para la deshidratación son del tipo catiónico, la poliacrilamida catiónica (PAM) es la estructura de la mayoría de polímeros disponibles en el mercado.

## Dosificación de productos químicos

La dosis óptima de ayudantes químicos se puede determinar en laboratorio por el método de Buchner para la estimar la resistencia específica a la filtración del lodo (REF), método de test de succión capilar (CST) (Standard Methods, 2012), o prueba de jarras (ASTM, 2008).

**Tabla 27***Valores típicos de dosis de para deshidratación de lodos en filtros de banda*

Tipo de alimentación	% sólidos en alimentación	Carga por metro de longitud de banda		Dosis de polímero (g/kg sólido seco)	% sólidos en la torta	
		L/min	Kg/h		Típico	Rango
Lodo sin tratar						
Primario + WAS	3-5	150-450	340-820	3-5.5	23	15-25
Lodo digerido anaeróbicamente						
Primario + WAS	2-4	150-450	320-540	4-8.5	24	15-28

Fuente: Adaptado de Metcalf&amp;Eddy, 2014

## 2.1.9.3.3 Estabilización de lodos

El lodo es estabilizado para:

- Reducir los patógenos
- Eliminar olores desagradables
- Inhibir o reducir el potencial de putrefacción

Para eliminar estas condiciones molestas se relacionan principalmente con la reducción biológica del contenido volátil y la adición de productos químicos al lodo o biosólidos.

Los métodos más usados son:

- Digestión anaerobia
- Estabilización con cal
- Digestión aeróbica
- Compostaje

**Tabla 28**

*Valores típicos de diseño de reactores anaeróbicos de mezcla completa*

Parámetro	Unidades SI	
	Unidades	Valor
Criterios de volumen		
Lodo primario + lodo activado en exceso (WAS)	m3/cápita	0.07-0.11
Tasa de carga de sólidos	Kg SSV / m3.d	1.6-4.8
Tiempo de retención de sólidos (SRT)	d	15-20

Fuente: Metcalf&Eddy, 2014

**Tabla 29**

*Tiempos de retención recomendados para digestores anaeróbicos de mezcla completa*

Temperatura de operación °C	SRT mínimo	SRTdes
18	11	28
24	8	20
30	6	14
35	4	10
40	4	10

Fuente: Metcalf&Eddy, 2014

#### 2.1.9.3.4 Deshidratación de lodos

La deshidratación es una operación unitaria física que se utiliza para separar la materia sólida y el agua en el lodo o los biosólidos, lo que da como resultado una corriente con alto contenido de sólidos llamada "torta" y una corriente líquida (sobrenadante o percolado). Los percolados contiene sólidos finos de baja densidad y altas concentraciones de nutrientes, normalmente se devuelve al sistema de tratamiento de aguas residuales o se trata por separado.

- Principales equipos y métodos de deshidratación
- Filtros de banda
- Centrífuga de camisa maciza
- Filtro prensa de placas
- Tornillo de prensa
- Eras de secado
- Lagunas de secado

#### 2.1.9.3.5 Disposición final de lodos

Es el proceso u operación para confinar en un lugar los lodos o biosólidos como último proceso de su manejo en forma permanente, sanitaria y ambientalmente segura.

Según el Decreto Supremo N°128-2017 las instalaciones para la disposición final que permite disponer lodos son: los rellenos sanitarios y monorellenos.

Consideraciones para la disposición de lodos en una PTAR:

- Solo se permite el almacenamiento en la PTAR de los lodos estabilizados y deshidratados en cantidades equivalentes a la producción de no más de siete (7) días calendario.
- Se consideran lodos estabilizados o con reducción del potencial de atracción de vectores cuando la relación de SV a ST es menor o igual que 60 % (0,6).
- El transporte de los lodos generados en la PTAR debe realizarse por una empresa operadora de residuos sólidos registrada en el Ministerio del Ambiente.
- En caso de no existir un relleno sanitario dentro del ámbito de responsabilidad del prestador, los generadores de lodo deben instalar un monorelleno.

## **2.1.10 Línea de tratamiento de gases**

### *2.1.10.1 Características de biogás*

El biogás proveniente de la digestión anaerobia de aguas residuales municipales generalmente posee un alto contenido de metano (70 a 80% v/v) y en una menor concentración dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) debido a la gran solubilidad de este compuesto gaseoso en el líquido (Van Haandel y Lettinga, 1994).

El biogás puede contener siloxanos, compuestos formados a partir de la degradación anaerobia de los materiales comúnmente encontrados en cosméticos, desodorantes, aditivos de alimentos y algunos jabones. Los siloxanos en el gas del digestor pueden ser perjudicial para el sistema de combustión. Durante la combustión de biogás, el contenido de siloxanos puede formar depósitos de sílice (SiO<sub>2</sub>) o silicatos, e incluso calcio, azufre, zinc y fósforo. Esos depósitos minerales pueden causar incrustaciones de varios milímetros de espesor, por lo que deben ser removidos mediante métodos físicos, químicos o mecánicos. El nivel de limpieza requerido para el uso depende de los tipos de sistema de combustión utilizado para el reaprovechamiento.

### *2.1.10.2 Producción de biogás*

La producción total de biogás es usualmente estimada del porcentaje de reducción de sólidos volátiles. Valores típicos varían de 0.75 a 1.12 m<sup>3</sup>/kg de sólidos volátiles destruidos.

La producción de biogás también puede ser estimada sobre una base per cápita. Valores típicos varían de 15 a 22 m<sup>3</sup>/10<sup>3</sup> hab.día en plantas de tratamiento primario. En plantas de tratamiento secundario la producción de gas incrementa a 28 m<sup>3</sup>/10<sup>3</sup> hab.día.

### 2.1.10.3 Almacenamiento de biogás

Si se exige una quema eficiente del biogás o se contempla la posibilidad de su uso energético en un futuro, debe preverse la instalación de un equipo de almacenamiento, el cual generalmente recibe el nombre de gasómetro (gasholder).

Los sistemas de almacenamiento de biogás adoptan habitualmente los siguientes intervalos de presión:

- No presurizado (normalmente exige soplador para el consumo): 0 kPa a 0.1 Kpa (1 mbar)
- Baja presión: 1 kPa a 5 kPa (10 a 50 mbar)
- Alta presión: 0.1 Mpa a 1 Mpa (1 a 10 bar)

El sistema más utilizado en una PTAR de tipo municipal es el gasómetro de baja presión, ya que permite amortiguar de forma segura el patrón de generación de biogás, que suele ser muy variable en plantas de mediano tamaño.

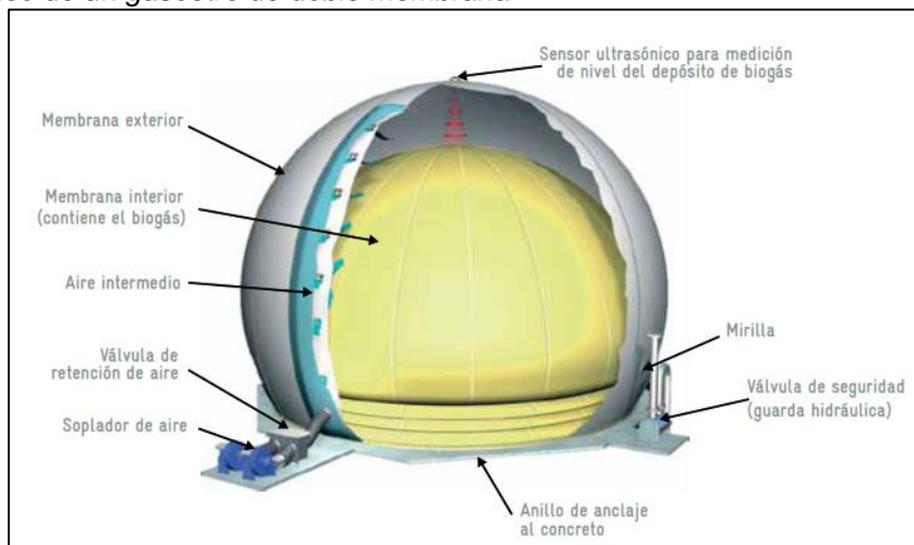
### 2.1.10.4 Gasómetro doble membrana

Un gasómetro de doble membrana está diseñado para almacenar biogás un número determinado de horas, según sea el volumen de producción (usualmente no menos de 8 horas).

El gasómetro más utilizado es el de  $\frac{3}{4}$  de esfera. Se compone de dos membranas de  $\frac{3}{4}$  de forma esférica y un fondo plano. Las membranas se anclan en un base concreto pulido, cuyo centro aloja las boquillas de entrada y salida de biogás.

**Figura 10**

*Esquema típico de un gasómetro de doble membrana*



Fuente: Guía técnica para el manejo y aprovechamiento de biogás en plantas de tratamiento de aguas residuales, 2017.

#### 2.1.10.5 Quemado de biogás

En términos generales en las PTAR que incluyen el uso del biogás para generar energía el quemador debe considerarse un elemento de seguridad que no debe operar rutinariamente, a menos que por alguna razón no pueda utilizarse el biogás en la PTAR. En los casos donde el biogás no se usa, el quemador debe operar de manera continua para oxidar el metano hasta CO<sub>2</sub> ya que este último es un gas de efecto invernadero de mucho menor efecto negativo en el medio ambiente que el metano.

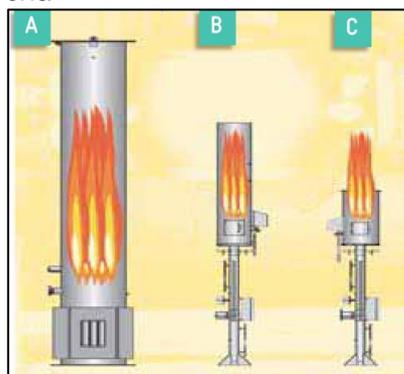
Los quemadores deben ser dimensionados para mantener una capacidad correspondiente al volumen máximo de biogás generado, con un factor de seguridad de más 10%.

##### 2.1.10.5.1 Tipos de quemadores

Existen tres tipos: a) abierto, b) cerrado c) híbrido o semicerrado

## Figura 11

*Esquema típico de tipos de antorcha*



Fuente: Guía técnica para el manejo y aprovechamiento de biogás en plantas de tratamiento de aguas residuales, 2017.

La ventaja de los quemadores abiertos es que su correcto funcionamiento puede revisarse a simple vista mediante la llama aparente. Además de eso, su precio es significativamente menor que el de los quemadores cerrados. Sus desventajas son: a) la menor eficiencia de combustión y b) la mayor área de seguridad requerida debido a la radiación de calor provocada por la llama.

Por su parte, en los quemadores cerrados la llama queda confinada dentro de una cámara de combustión, generalmente de acero al carbón, con aislamiento térmico de cerámica que permite temperaturas internas del orden de 1000°C y temperaturas externas de la pared de acero menores de 80°C.

Por último, los quemadores semicerrados combinan características de los dos quemadores ya expuestos: en general, no incluyen aislamiento, la cámara de combustión es de dimensiones más pequeñas que la de los quemadores cerrados y, en algunos modelos, la llama es visible. No tienen control de la temperatura en la cámara de combustión, las emisiones no pueden ser medidas como en los quemadores cerrados y el bajo tiempo de residencia en la cámara resulta en una menor eficiencia de combustión de los gases.

#### 2.1.10.5.2 Especificaciones generales de quemadores

La capacidad de los quemadores depende esencialmente de su tipo; pero pueden abarcar intervalos amplios, desde los 50m<sup>3</sup>/h hasta equipos de 1500 m<sup>3</sup>/h por unidad para quemadores abiertos, y de 250 m<sup>3</sup>/h a 10 000 m<sup>3</sup>/h para quemadores cerrados.

- La temperatura del gas debe ser al menos de 900°C
- El tiempo de residencia del biogás en el quemador debe ser al menos 3 segundos
- El contenido de H<sub>2</sub>S en el biogás que será quemado debe ser inferior a 50 ppmv.

#### 2.1.10.6 Tratamiento de biogás

En su composición, el biogás contiene metano, dióxido de carbono y una variedad de gases contaminantes en menor concentración, como sulfuro de hidrógeno y otros compuestos sulfurados, vapor de agua, siloxanos, amoníaco y compuestos orgánicos volátiles (COV), cuya presencia y concentración en el biogás dependen del tipo de sustrato a partir del cual el biogás fue generado.

El biogás puede recuperarse para diversos fines, tales como:

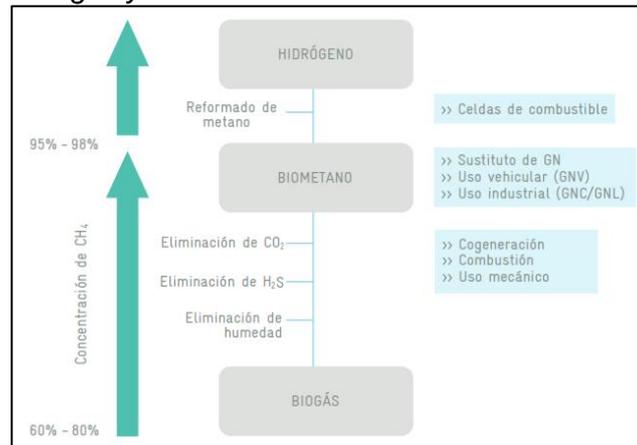
- Combustible en calderas, hornos y estufas en sustitución de otros tipos de combustible.
- Generación de electricidad para uso local
- Cogeneración de electricidad y calor
- Combustible alternativo en la línea de gas natural
- Combustible vehicular alternativo

Para que pueda usarse es necesario tratar el biogás hasta el nivel exigido para su aprovechamiento. En general, hay una diferencia clara entre la utilización de biogás y de biometano. El primero, tras la remoción de las principales impurezas como humedad, siloxanos y muy marcadamente el H<sub>2</sub>S, puede usarse para la producción de energía

eléctrica y térmica en un equipo CHP (por ejemplo, para calentar un digestor o secar lodo digerido). Por otro lado, el biometano es el resultado de una purificación mucho más exigente y puede ocuparse como sustituto del gas natural vehicular (GNV), una vez comprimido y almacenado.

## Figura 12

Composición típica de biogás y usos frecuentes

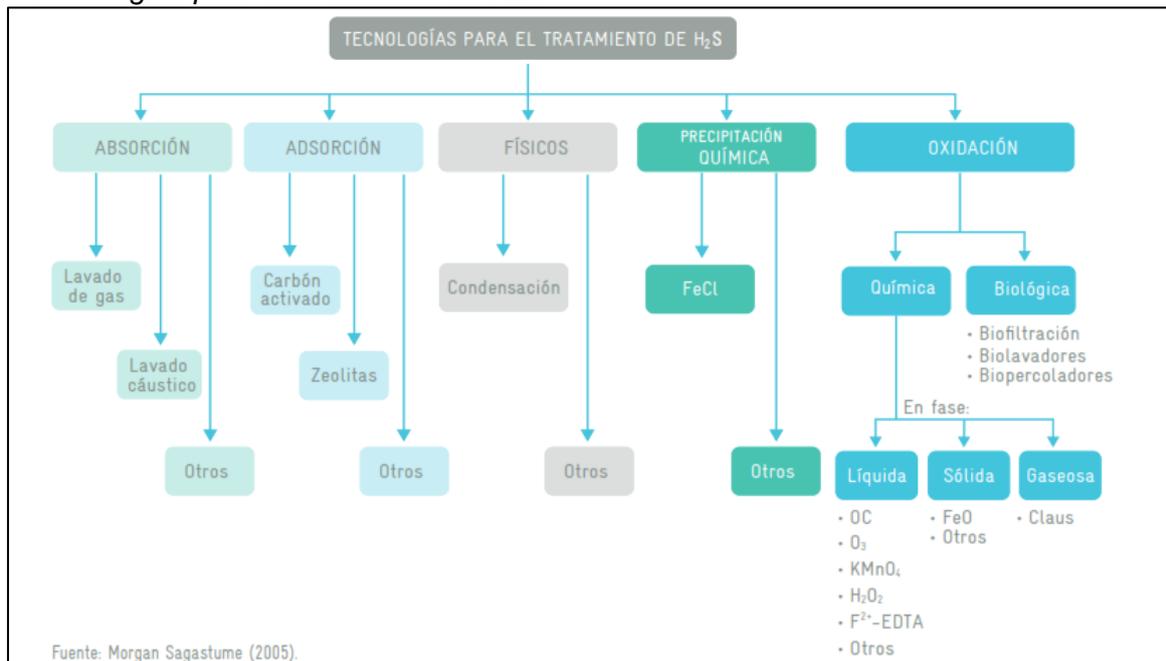


Fuente: Guía técnica para el manejo y aprovechamiento de biogás en plantas de tratamiento de aguas residuales, 2017.

Los requisitos de calidad de biogás son variables en consonancia con los requisitos de los fabricantes de tecnologías de conversión energética.

**Figura 13**

*Tecnologías para el tratamiento de H<sub>2</sub>S*



Fuente: Guía técnica para el manejo y aprovechamiento de biogás en plantas de tratamiento de aguas residuales, 2017.

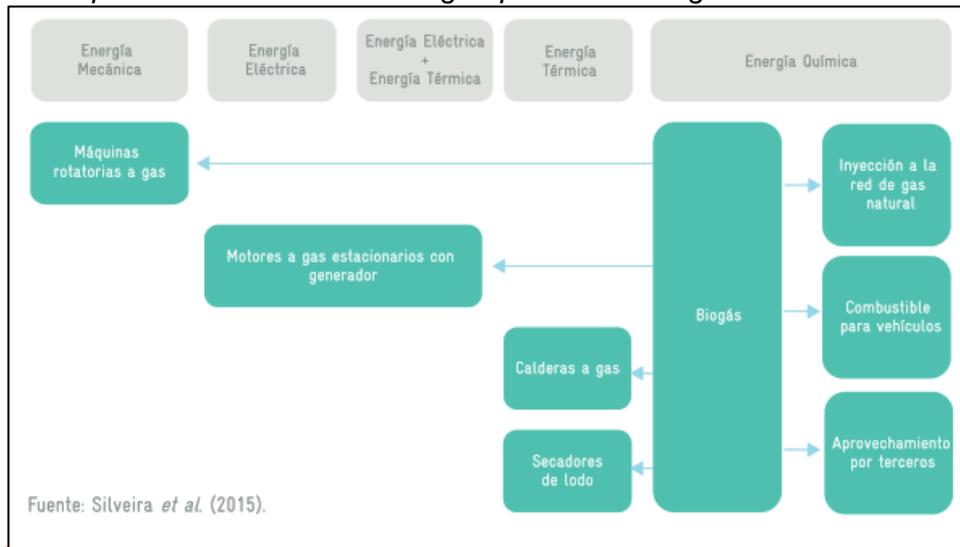
*2.1.10.7 Uso del biogás*

El uso del biogás como vector energético es recomendable desde el punto de vista ambiental y económico. El poder calórico inferior (PCI) de un biogás "típico" es de 21.5 MJ/Nm<sup>3</sup>, cercano al del gas natural, que tiene un PCI de 37.5 MJ/Nm<sup>3</sup>. Por lo tanto, el no aprovechar el biogás debe ser una excepción.

Después del tratamiento adecuado, la energía química del biogás puede ser transformada en energía térmica, eléctrica y mecánica por medio de moto generadores a gas y calderas; o bien, utilizada directamente como combustible en vehículos o utilizada incluso cuando el biogás es inyectado en la red de gas natural.

**Figura 14**

*Esquema de aprovechamiento de la energía química del biogás.*



Fuente: Guía técnica para el manejo y aprovechamiento de biogás en plantas de tratamiento de aguas residuales, 2017.

#### **2.1.10.8 Cogeneración de electricidad y calor**

Un sistema de cogeneración se define como la generación secuencial o simultánea de múltiples formas de energía útil (en general, mecánica y térmica) en un único sistema integrado. Los sistemas de cogeneración consisten en cierto número de componentes individuales según la tecnología utilizada; pero en todo caso siempre quedan definidos por un accionador primario, que es el equipo que mueve todo el sistema.

#### **2.1.11 Control de malos olores**

La generación de olores es una preocupación importante en relación con la modificación de instalaciones de tratamiento de aguas residuales y la construcción de nuevas instalaciones. Por tanto, el control de olores es una consideración importante en el diseño y operación de sistemas de recolección de aguas residuales, plantas de tratamiento y disposición final.

### 2.1.11.1 Fuentes de olores en una PTAR

**Tabla 30**

*Fuentes de olores en plantas de tratamiento de aguas residuales.*

<b>Ubicación</b>	<b>Potencial de olores</b>
Cabecera de planta	Alto
Instalaciones de rejas	Alto
Desarenadores	Alto
Retorno de sobrenadantes, percolados	Alto
Sedimentadores primarios	Moderado/Alto
Tanques de aireación	Bajo/Moderado
Sedimentadores secundarios	Bajo/Moderado
Instalaciones de tratamiento de lodo	
Espesadores, tanques de retención de sólidos	Moderado/Alto
Digestión anaeróbica	Moderado/Alto
Deshidratación mecánica	Moderado/Alto
Instalaciones de descarga de lodos	Alta

Fuente: Adaptado de Metcalf&Eddy

### 2.1.11.2 Estrategias para el control de olores

**Tabla 31**

*Sugerencias para el control de olores en una PTAR.*

<b>Fuente de olores</b>	<b>Estrategia de control sugerida</b>
Estaciones de bombeo	Ventilación mecánica de la cámara húmeda para tratamiento.
Rejas	Cobertura de las unidades existentes. Reducir la pérdida de carga a través de las rejas.
Medidor parshall	Cobertura de las unidades existentes. Utilizar otra alternativa de medición.
Desarenadores	Cobertura de los desarenadores aireados. Reducir la turbulencia en desarenadores convencionales de flujo horizontales. Evite el uso de desarenadores aireados.
Sedimentadores primarios y secundarios	Cobertura de las unidades existentes. Reemplazar vertederos de recolección convencionales por vertederos sumergidos.
Tratamiento biológico	Cobertura de las unidades existentes.
Canales	Encerrar canales

Fuente: Metcalf&Eddy, 2014

## 2.2 Marco legal

**Tabla 32**

### *Marco legal relacionado a tratamiento de aguas residuales*

1	Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). Norma OS.090. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.
2	DS-015-2017-VIVIENDA. Reglamento para el reaprovechamiento de los lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.
3	DS-004-2017-MINAM. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua.
4	DS-003-2010-MINAM. Límites máximos permisibles para los efluentes de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales.
5	RM-128-2017-VIVIENDA. Condiciones mínimas de manejo de lodos y las instalaciones para su disposición final.
6	RM-024-2017-VIVIENDA. Reglamento para el reaprovechamiento de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales.
7	RM-273-2013-VIVIENDA. Protocolo de Monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales.
8	RJ-010-2016-ANA. Protocolo Nacional para el Monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales.
9	RJ-224-2013-ANA. Reglamento para el otorgamiento de autorizaciones de vertimiento y reuso de aguas residuales tratadas.
10	RJ-056-2018-ANA. Clasificación de los cuerpos de agua continentales superficiales.
11	RJ-154-2016-ANA. Metodología para determinar caudales ecológicos.
12	DL-1362. Decreto Legislativo que regula la promoción de la inversión privada mediante Asociaciones Público Privadas y Proyectos en Activos.
13	DL-662. Ley de promoción de las inversiones extranjeras.
14	DL-757. Ley marco para el crecimiento de la inversión privada.
15	Ley N°27342. Que regula los Convenios de Estabilidad Jurídica al amparo de los Decretos Legislativos 662 y 757.

## Capítulo III. Descripción del trabajo

### 3.1 Generalidades

#### 3.1.1 *Rol, lugar y tiempo de trabajo*

El trabajo fue realizado por la empresa consultora GLS Ingeniería del Agua para el desarrollo sostenible S.A.C, cuyo objetivo fue la elaboración de los diseños hidráulicos y electromecánicos de la PTAR Juliaca a nivel de expediente técnico. El presente informe de suficiencia presentado es el resultado de una labor multidisciplinaria entre diversas especialidades de ingeniería, entre las cuales participaron: especialistas hidráulicos, especialistas de procesos, especialistas mecánicos, especialistas eléctricos, arquitectos, especialistas estructurales, los cuales lideraban sus respectivas áreas técnicas conformada por técnicos dibujantes y asistentes técnicos de diseño.

Por otro lado, las tareas que fueron realizadas en referencia al presente informe de suficiencia profesional corresponden a las desarrolladas durante mi permanencia en la empresa GLS como asistente técnico de la especialidad hidráulica y de procesos, bajo supervisión y liderazgo de los ingenieros sanitarios Víctor Maldonado Y. y Guillermo León S., respectivamente.

El tiempo total aproximado que duró la elaboración del expediente técnico incluyendo la subsanación de observaciones fue de 5 meses aproximadamente.

#### 3.1.2 *Flujo de trabajo*

El flujo de trabajo estuvo orientado para obtener como resultado lo siguiente:

- Memorias de cálculo
- Memorias descriptivas
- Planos a nivel de ingeniería de detalle

- Especificaciones técnicas.

Con base a los productos entregables requeridos se estableció el siguiente flujo de trabajo:

1. Identificación de actividad pendiente o problema
2. Establecer orden de prioridad e identificación de subactividades
3. Desarrollo de actividad (uno o varios ciclos de repeticiones)
  - a. Propuesta de diseño
  - b. Revisión de propuesta de diseño por especialista.
  - c. Aprobación de propuesta de diseño
4. Desarrollo de documentos técnicos: planos y memorias. (uno o varios ciclos de repeticiones)
  - a. Propuesta de especialista
  - b. Revisión de supervisor
  - c. Aprobación final

Ejemplo: Si la actividad pendiente es el diseño del sedimentador secundario. Entonces, el flujo de trabajo sería el siguiente:

1. Actividad pendiente: diseño del sedimentador secundario
2. Prioridad: urgente. Subactividades: 1) Definir caudal 2) Definir parámetros de diseño, etc.
3. Desarrollo de actividad:
  - a. Propuesta de sedimentador secundarios con periodo de retención de 1.5 horas a caudal medio. Como resultado tasa 24 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>.d.
  - b. Revisión de propuesta de diseño por especialista.
  - c. Aprobación de propuesta de diseño

4. Redacción de memoria de cálculo y descriptiva.
  - a. Propuesta de especialista
  - b. Revisión de supervisor
  - c. Aprobación final con periodo de retención de 2 horas.
5. Dibujo técnico de la unidad diseñada

Es oportuno aclarar que el proceso de diseño como concepto teórico puede resultar en algunos casos dilatado más de lo debido ya que está ligado también a la experiencia de diseño y operación de plantas de tratamiento de los especialistas y supervisores. En este punto, se destaca el rol de los coordinadores de cada especialidad, cuya función es agilizar la comunicación entre los especialistas y supervisores.

### 3.2 Información de partida

#### 3.2.1 Ubicación del proyecto

El área disponible destinada para la construcción de la PTAR Juliaca se encuentra al sur este de la ciudad de Juliaca, provincia de San Román, departamento de Puno.

**Tabla 33**

*Datos generales de ubicación del proyecto*

Datos generales		
Ciudad	Juliaca	
Provincia	San Román	
Departamento	Puno	
Altitud	3826	msnm
Temperatura media del aire	5.89-11.05	°C
Prestador de servicios (PSS)	SEDAJULIACA S.A.	

Según el Contrato de Concesión del Proyecto PTAR Titicaca, el prestador de servicios cuenta con un terreno desocupado disponible de 8.28 hectáreas, cuyas coordenadas se muestran a continuación:

**Tabla 34***Cuadro de vértices área disponible para la PTAR Juliaca*

Vértice	Lado	Longitud (m)	Ángulo	Este	Norte
P1	P1-P2	554.07	97°44'42"	381593.7251	8286651.5737
P2	P2-P10	93.32	89°59'52"	382137.7978	8286651.7922
P10	P10-P9	297.78	90°00'00"	382137.8317	8286558.4691
P9	P9-P6	354.73	224°25'2"	381840.0503	8286558.3607
P6	P6-P7	323.97	45°34'19"	381586.7738	8286310.0039
P7	P7-P8	4.62	89°50'40"	381586.7172	8286633.9713
P8	P8-P1	17.78	262°25'25"	381591.3367	8286633.9595

Fuente: Anexo 13. Contrato de Concesión Proyecto PTAR Titicaca

Área total disponible: 82,766.76 m<sup>2</sup> y Perímetro: 1,636.26 m

**3.2.2 Caudales de diseño**

Los caudales promedio diario de diseño (Qp) y el coeficiente de caudal máximo horario (k2) fueron definidos en el Anexo 13 Requerimientos mínimos del proyecto en el Contrato de Concesión del Proyecto PTAR Titicaca.

**Tabla 35***Caudales Promedio Diario de Diseño - Qp - (L/s)*

Localidad	Sistema de Recolección Primaria	Sistema de tratamiento de Aguas Residuales		Sistema de Disposición Final
	Etapas	1era Etapa	2da Etapa	Etapas
Juliaca	840	752	<b>840</b>	840
Puno	400	359	400	400
Ilave	110	95	110	110
Ayaviri	55	51	55	55
Juli	45	40	45	45
Moho	23	20	23	23

Fuente: Contrato de Concesión Proyecto PTAR Titicaca.

**Tabla 36***Coeficiente (k2) de Caudal Máximo Horario de Diseño (Qmh)<sup>1</sup>*

Parámetro	Juliaca	Puno	Ilave	Ayaviri	Juli	Moho
K <sub>2</sub> =Qmh/Qp	1.866	1.884	1.886	1.833	1.854	1.873

Fuente: Contrato de Concesión Proyecto PTAR Titicaca.

<sup>1</sup> incluye caudales de infiltración y conexiones ilícitas.

**Tabla 37***Caudal promedio y Caudal máximo horario PTAR Juliaca*

Caudal de diseño	Cantidad	Unidades
Caudal promedio (Qp)	840	L/s
Caudal máximo horario (Qmh=k <sub>2</sub> *Qp)	1567.44	L/s

Fuente: Contrato de Concesión Proyecto PTAR Titicaca.

Por otra parte, de acuerdo a los estudios definitivos realizados en el sistema de recolección de aguas residuales de la ciudad de Juliaca, el afluente de agua residual hacia la PTAR será mediante bombeo desde 9 estaciones de bombeo de aguas residuales (EBAR) cuyos caudales de bombeo se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 38**

*Caudales de bombeo de las EBAR afluentes a la PTAR Juliaca*

Estación de bombeo	Nombre	Caudal de bombeo [L/s]
EBAR-04	Mariano Melgar	88.40
EBAR-05	Miraflores	112.70
EBAR-06	Tambopata	107.98
EBAR-07	Taparachi	65.02
EBAR-08	San Santiago	43.60
EBAR-09	Caysson Francisco Bolognesi	853.20
EBAR-III	AD-III	158.96
EBAR-XI	AD-XI	271.02
EBAR-XVI	AD-XVI	110.36
(1)	Caudal máximo afluente a la Planta de Tratamiento ( $\sum Q_b$ (EBAR))	1811,23
(2)	Caudal máximo de diseño en la oferta ( $Q_p \times k_2$ )=840 L/s x 1.866 =	1567,44
(3)=(1)-(2)	Caudal adicional en afluente 1811.23 L/s -1567.44 L/s =	243.79
(4)=100% $\times$ (3) / (2)	Porcentaje adicional respecto al caudal de oferta (243.79 L/s /1567.44 L/s) $\times$ 100% =	15.53%
(5)=(1) $\times$ [(1+3%)]	Caudal máximo en condición de emergencia (1+3%) 1811.23 x 1.03=	<b>1866,0</b>
(6)=(5)-(2)	Caudal adicional en afluente	298.56
(7)=100% $\times$ (6) / (2)	Porcentaje adicional respecto al caudal de oferta	19.05%

Fuente: GLS Ingeniería del Agua para el Desarrollo Sostenible S.A.C

De la anterior tabla, se obtiene un nuevo caudal de diseño máximo denominado caudal máximo maximorum igual a 1866 L/s, que es la sumatoria de los caudales de bombeo de las EBAR (en condiciones de simultaneidad) multiplicado por un factor cerrado 1.03 para condiciones de emergencia.

En tanto que el caudal mínimo ha sido fijado en 420 L/s resultante de aplicar un factor cerrado del coeficiente de variación mínima de 0.5. Adicionalmente, se ha considerado un factor cerrado 1.3 para fijar el caudal máximo diario.

**Tabla 39***Resumen de caudales utilizados en el diseño de la PTAR Juliaca.*

Caudal de diseño	Cantidad	Unidades
Caudal promedio (Qp)	840	L/s
Caudal máximo diario (Qmd=1.3*Qp)	1092	L/s
Caudal máximo horario (Qmh=k2*Qp)	1567.44	L/s
Caudal máximo maximorum	1866	L/s
Caudal mínimo	420	L/s

**3.2.3 Calidad del agua residual afluyente**

La calidad del agua residual afluyente también fue definida en el Anexo 13 del Contrato de Concesión del Proyecto PTAR Titicaca, los que se muestran a continuación.

**Tabla 40***Calidad de agua residual en el afluyente proyecto PTAR Titicaca*

Parámetro	Juliaca	Puno	Ilave	Ayaviri	Juli	Moho
DBO <sub>5</sub>	<u>288</u>	298	279	274	266	261
DQO	<u>731</u>	749	731	699	702	697
SST	<u>303</u>	313	296	289	283	279
N Total	<u>58</u>	60	56	55	53	52
P Total	<u>12</u>	13	11	11	11	10
Aceites y grasas	<u>50</u>	50	50	50	50	50

Fuente: Contrato de Concesión PTAR Titicaca

**Tabla 41***Parámetros de calidad de agua residual afluyente a la PTAR Juliaca*

Parámetros	Unidad	Valor
Temperatura media del agua en verano (Tv)	°C	14,0
Temperatura media del agua en invierno (Ti)	°C	10,0
Potencial de hidrógeno (PH)	-	7,5
Alcalinidad (CaCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	mg/L	250
Aceites y Grasas (A&G)	mg/L	50
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	288
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	731
Sólidos Suspendidos Totales (SST) (X)	mg/L	303
Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) (Xv)	mg/L	227,25
Conductividad	μS/cm	2502
Nitrógeno Kjeldahl (NKT-N)	mg/L	58
Nitrógeno amoniacal (NH <sub>4</sub> -N)	mg/L	38,28
Nitrógeno orgánico (Norg-N)	mg/L	19,72
Nitrógeno de nitratos (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	0,0
Nitrógeno total (NT)	mg/L	58
Fósforo (P)	mg/L	12
Coliformes fecales (CF)	NMP/100 ml	2x10 <sup>7</sup>
Huevos de helminto (HH)	hv/L	10

Fuente: GLS Ingeniería del Agua para el Desarrollo Sostenible S.A.C.

### 3.2.4 Niveles de Servicio

#### 3.2.4.1 Calidad de agua residual tratada

Respecto al tratamiento de las aguas residuales en el contrato de concesión se establecieron Niveles de Servicio mínimos que la PTAR Juliaca deberá cumplir durante la operación de los sistemas de tratamiento.

**Tabla 42**

*Calidad de efluente tratado exigido en el contrato de concesión para la PTAR Juliaca*

Parámetros	Unidad	Valor
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	25
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	125
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	35
Nitrógeno Total (Nt)	mg/L	-
Fósforo Total (Pt)	mg/L	-
Coliformes termotolerantes (Ct)	NMP/100mL	1000
Huevos de helminto	Huevo/Litro	-
Aceites y grasas (A&G)	mg/L	5
Potencial hidrógeno (pH)		6.5-8.5
Temperatura (T)	°C	35

Fuente: Contrato de Concesión PTAR Titicaca

#### 3.2.4.2 Vertimiento de aguas residuales tratadas

Los cuerpos de agua donde se realizará el vertimiento de las aguas residuales tratadas deberán cumplir con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA-agua) para los parámetros asociados a la actividad generadora de aguas residuales según la categorización establecida mediante Resolución Jefatural N° 056-2018 ANA y el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, así como la priorización establecida en la Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA.

**Tabla 43**

*Categoría del Río Coata cuerpo receptor de aguas tratadas de la PTAR Juliaca,*

Localidad	Cuerpo receptor	Categoría
Juliaca	Río Coata	3

Fuente: Anexo 7. Contrato de Concesión Proyecto PTAR Titicaca

**Tabla 44**

*Parámetros de control de las aguas superficiales según ECA categoría 3*

Parámetros	Unidad	Valor
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	15

Parámetros	Unidad	Valor
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	-
Nitrógeno Total (Nt)	mg/L	-
Fósforo Total (Pt)	mg/L	-
Coliformes termotolerantes (Ctt)	NMP/100mL	1000
Huevos de helminto	Huevo/Litro	-
Aceites y grasas (A&G)	mg/L	5
Potencial hidrógeno (pH)		6.5-8.5
Temperatura (T)	°C	35

Fuente: Anexo 7. Contrato de Concesión Proyecto PTAR Titicaca

### 3.2.4.3 Manejo y disposición de lodos

Se deberá cumplir con el Decreto Legislativo N°1278 y la Resolución Ministerial N°128-2017-VIVIENDA, que aprueba las condiciones mínimas para el manejo de lodos y las instalaciones para su Reaprovechamiento o Disposición Final.

### Tabla 45

*Parámetros de calidad en lodos deshidratados de la PTAR Juliaca exigidos en el contrato de concesión.*

Parámetros	Unidad	Valor
Sequedad (kg Sólidos Totales/Kg lodo)	%	≥20
Estabilidad (Kg Sólidos Volátiles/ Kg de Sólidos Totales)	%	≤60

Fuente: Anexo 7. Contrato de Concesión Proyecto PTAR Titicaca

## 3.3 Descripción del diseño

### 3.3.1 Selección de procesos

Con la información de partida expuesta en el apartado anterior es viable formular las alternativas de flujo de procesos unitarios para la planta de tratamiento. Sin embargo, el análisis y selección de alternativa de diseño fue desarrollado en una fase anterior a la elaboración del estudio definitivo del proyecto.

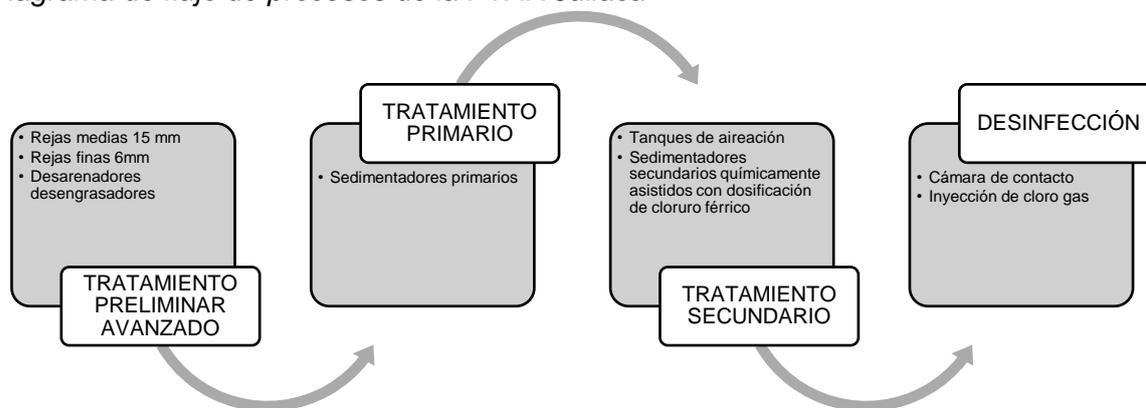
Por tanto, el diseño de la planta de tratamiento dio comienzo con la recepción de la información de partida y el diagrama de flujo de procesos ya establecido.

### 3.3.2 Diagrama general de procesos

Los procesos y operaciones unitarias que se desplegarán en la PTAR Juliaca son los siguientes:

**Figura 15**

*Diagrama de flujo de procesos de la PTAR Juliaca*



Se trata de una PTAR cuyo núcleo de tratamiento es la tecnología de lodos activados en su modalidad de mezcla completa o por sus siglas en inglés “Complete Mix Activated Sludge” (CMAS). El sistema de lodos activados por mezcla completa es el más utilizado respecto a las otras modalidades, se adapta perfectamente a climas fríos con altos niveles de eficiencia (90-95%, Metcalf&Eddy, 2014) siempre en cuando se suministre el requerimiento de oxígeno necesario. Asimismo, Este sistema se adapta a diferentes tipos de aguas residuales y se caracteriza por tener capacidad de dilución para grandes cargas de choque y tóxicas.

### **3.3.3 Línea de agua**

#### **3.3.3.1 Tratamiento preliminar**

Debido a que el 100% del agua residual afluyente a la planta de tratamiento proviene de estaciones de bombeo, las que a su vez cuentan con cribado grueso 25 mm, se decidió eliminar esta etapa de los procesos de la PTAR.

En consecuencia, en el pretratamiento se integrarán cribas mecanizadas de desbaste medio de 15 mm seguidas de cribas finas de 6 mm, respectivamente. A continuación del sistema de cribado, se contarán con desarenadores desengrasadores tipo lamelar (con placas inclinadas).

La selección de los equipos del pretratamiento se efectuó con el caudal máximo de ingreso de agua residual 1866 L/s, esto ocurre durante la simultaneidad de las estaciones de bombeo, con lo cual, se garantiza la fiabilidad de la planta.

### 3.3.3.1.1 Cámara de ingreso

La obra de llegada de la PTAR Juliaca será una cámara receptora de caudales donde ingresarán nueve (09) líneas de impulsión de aguas residuales, los desagües domésticos de los edificios administrativos de la planta y la línea de retorno de agua de lavado del pretratamiento. Seguidamente, por medio de un canal se interconectará con la cámara de rejas mecanizadas.

En el siguiente cuadro, se resumen los diámetros de las tuberías que llegarán a la cámara de ingreso:

**Tabla 46**

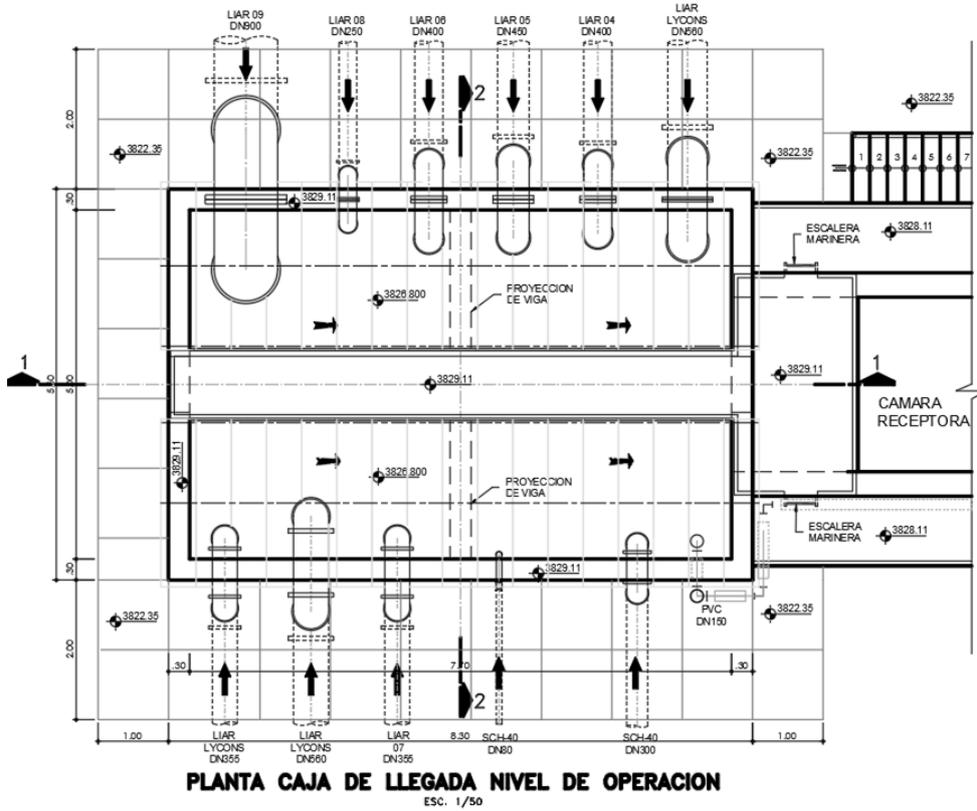
*Tuberías de ingreso a la cámara receptora de la PTAR Juliaca*

<b>Afluente cámara de ingreso</b>	<b>Diámetros nominales</b>	<b>Cantidad</b>
Líneas de impulsión de aguas residuales	DN560, DN400, DN450, DN400, DN250, DN900, DN355, DN560, DN355	09
Desagüe doméstico edificios administrativos	DN80	01
Línea de retorno de agua de rechazo del pretratamiento	DN300	01

A efectos de controlar los olores desagradables del desagüe crudo en el ingreso, toda la cámara de ingreso y el canal de transición serán techados, y además, por medio de tuberías y un ventilador mecánico se extraerán los gases causantes de malos olores hacia un tanque biofiltro.

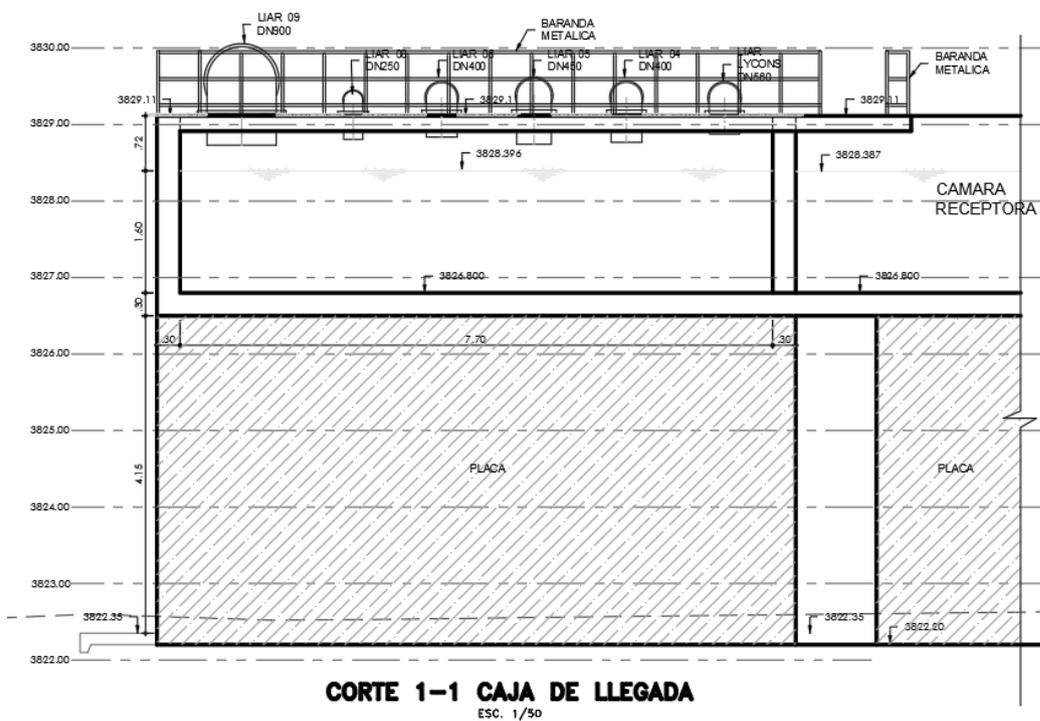
**Figura 16**

*Cámara de ingreso - vista de planta, PTAR Juliaca*



**Figura 17**

*Cámara de ingreso - corte longitudinal, PTAR Juliaca*



### 3.3.3.1.2 Cribado medio de 15 mm

Se seleccionaron 04 rejas mecanizadas tipo cadena (3 en operación, 1 en reserva) con un espaciamiento entre barras de 15 mm. Las rejas tendrán capacidad suficiente para absorber la carga hidráulica, cuando una se retire de operación por mantenimiento.

#### 3.3.3.1.2.1 Características de funcionamiento

Cada reja será montada en paralelo sobre canales de concreto de 1.00 m de ancho, con ángulo de inclinación de 75°. Estas rejas son autolimpiables mediante rastrillos conectados en cada lado por medio de una cadena, mediante ruedas con rodillos.

Los residuos del desbaste serán descargados mediante una tolva y transportados horizontalmente por un canal hidráulico con destino final en los compactadores de residuos.

Al ingreso y a la salida de los canales de rejas se instalarán compuertas con actuadores eléctricos para facilitar las maniobras operación.

#### 3.3.3.1.2.2 Descarga de residuos de desbaste

Las rejas contarán con un canal hidráulico de sólidos al que descargarán los residuos del desbaste, los residuos serán transportados con agua residual cribada (10 L/s) alimentada por bombeo desde la salida de las cribas finas hacia el canal hidráulico. Finalmente, el canal hidráulico de sólidos descargará en un compactador de residuos.

En la siguiente tabla se resumen las características de las cribas medias.

**Tabla 47**

#### *Características de las rejas medias 15 mm*

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
Número de rejas (3+1)	04	u
Caudal máximo por reja	622	L/s
Ancho de canal	1000	mm
Ancho de la reja	775	mm
Espaciamiento de barras	15	mm
Número de barras	43	u
Ángulo de inclinación	75	°
Velocidad a través de las rejas	0.75	m/s

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
(0% de suciedad)		
Velocidad antes de las rejas	>0.49	m/s
Pérdida de carga (50% obstrucción)	98	mm
Tirante útil después de la reja (50% obstrucción)	1489	mm
Potencia del motor	1.10	kW

El tirante de agua será controlado mediante un vertedero que se encuentra ubicado a la salida de la cámara de reparto de caudal hacia los desarenadores, con lo cual, se garantiza un nivel de agua adecuado para el funcionamiento del equipo.

### 3.3.3.1.3 Cribado fino de 6 mm

Se seleccionaron 04 rejas mecanizadas de placa o banda perforada (3 en operación, 1 en reserva) con perforación entre placas de 6 mm. Las rejas tendrán capacidad suficiente para absorber la carga hidráulica, cuando una se retire de operación por mantenimiento.

#### 3.3.3.1.3.1 Características de funcionamiento

Cada reja será montada en paralelo sobre canales de concreto de 1.10 m de ancho, con ángulo de inclinación de 60°. Los dos extremos de los elementos de limpieza estarán conectados a las cadenas impulsoras o rotativas, cada cadena será accionada por una rueda dentada en un eje común y un motor montado de engranaje. Los elementos de la reja se limpiarán en la parte posterior (posterior) de la reja por medio de un cepillo giratorio y una barra de pulverización.

Los residuos del desbaste serán descargados mediante una tolva y transportados con agua residual cribada mediante un canal hidráulico de sólidos con descarga final en los compactadores de residuos.

Al ingreso y a la salida de los canales de rejas se instalarán compuertas con actuadores eléctricos para facilitar las maniobras operación.

Figura 18

Cámara de rejas mecanizadas - vista de planta, PTAR Juliaca

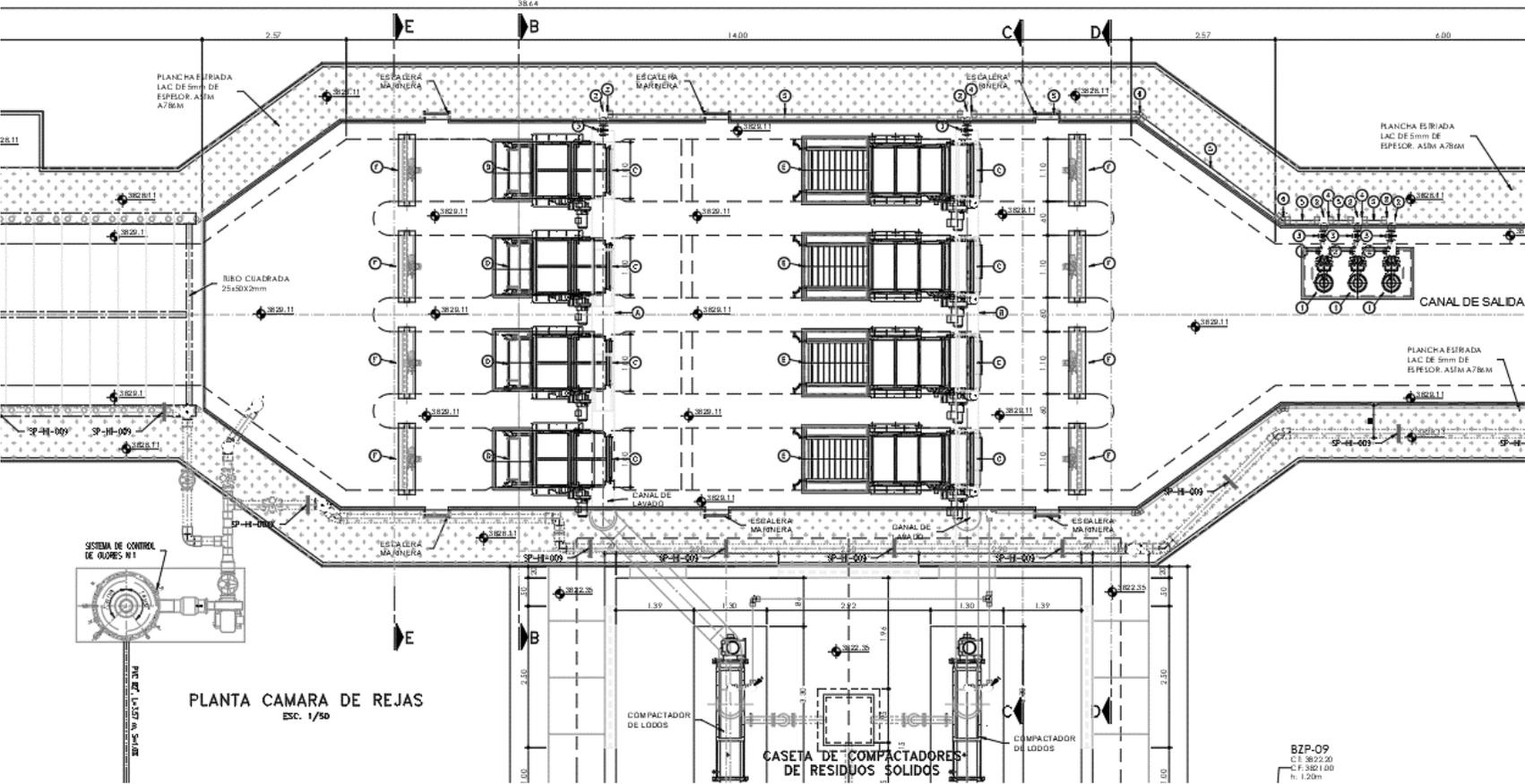
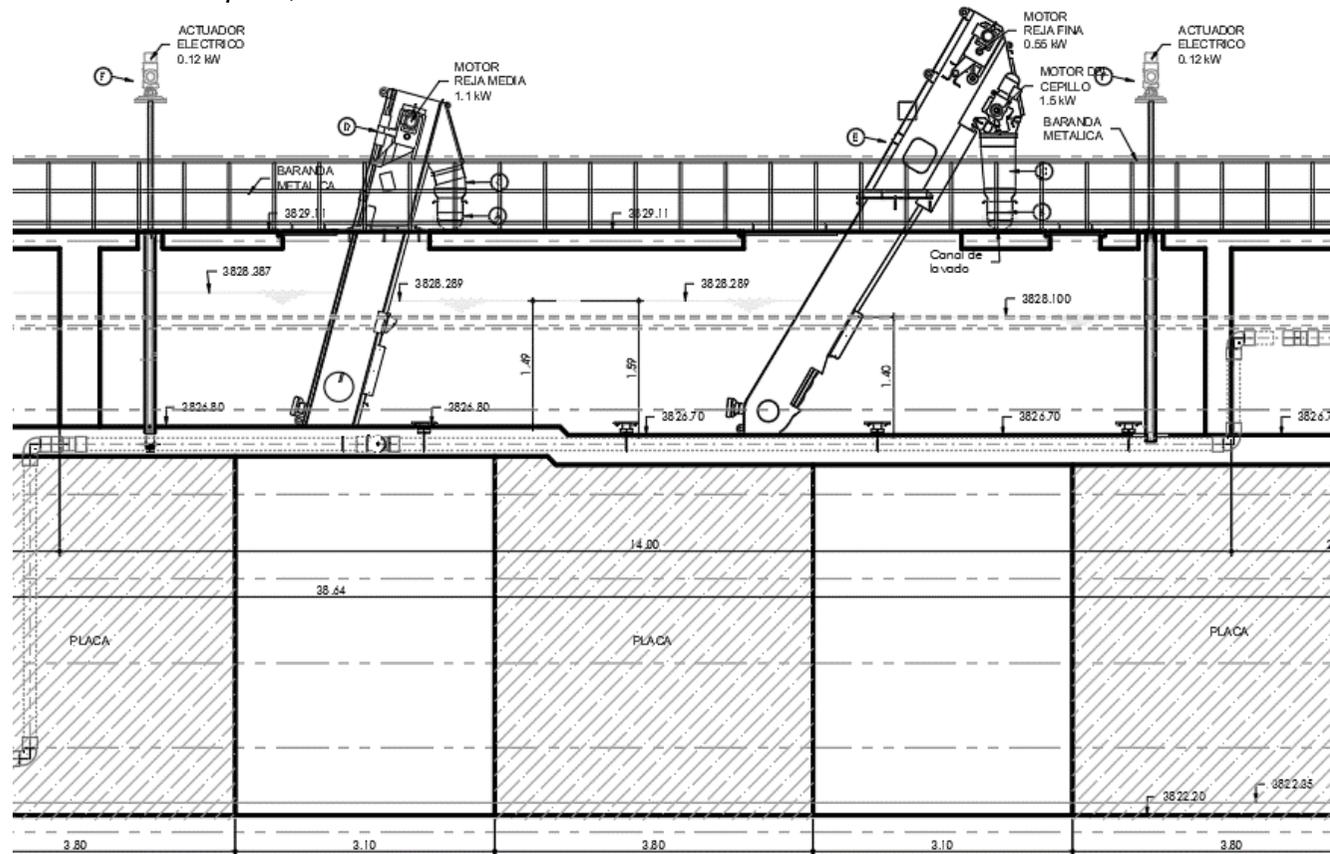


Figura 19

Cámara de rejas mecanizadas - vista de perfil, PTAR Juliaca



**CORTE A-A CAMARA DE REJAS**  
ESC. 1/50

### 3.3.3.1.3.2 Descarga de residuos de desbaste

Los residuos de desbaste retenidos en las rejas mecanizadas, serán removidos, por el mecanismo de la propia reja, hacia una tolva, y de esta, descargarán por medio de un chute a un canal hidráulico que se encuentra ubicado transversal a las cuatro rejas. Los residuos depositados en el canal, serán removidos con agua residual cribada bombeada (10 L/s) desde el canal de salida de las rejas finas. Finalmente, los residuos de desbaste descargarán en un compactador lavador de sólidos.

En la siguiente tabla se resumen las características de las cribas medias.

**Tabla 48**

#### *Características de las rejas finas 6 mm*

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
Número de rejas (3+1)	04	u
Caudal máximo por reja	622	L/s
Ancho de canal	1100	mm
Ancho de la reja	852	mm
Perforación de placa	6	mm
Número de barras	43	u
Ángulo de inclinación	60	°
Velocidad a través de las rejas (0% de suciedad)	1.022	m/s
Velocidad antes de las rejas	>0.40	m/s
Pérdida de carga (50% obstrucción)	406	mm
Tirante útil después de la reja (50% obstrucción)	1400	mm
Potencia del motor	2.05	kW

### 3.3.3.1.4 Desarenador-desengrasador lamelar

El desarenador con lamelas (placas inclinadas) es diferente al desarenador aireado convencional. Este sistema consiste en una cámara trampa de arena aireada y no aireada. Por medio de la aireación el material flotante (aceites y grasas) subirá a la superficie del agua donde se acumulará y será eliminado mediante un sistema de paletas antes de la salida. La segunda cámara no aireada se encuentra equipada con unidades de lamelas, con lo cual, se consigue tener una mayor superficie para la eliminación de arenas en un menor espacio.

- Número de líneas en operación: 2 (1 en stand by)

- Caudal de diseño máximo por línea: 933 L/s
- Largo: 9.15 m
- Largo con cámaras bombeo: 13.1m
- Ancho: 3.00 m
- Profundidad: 4.35 m

Serán 3 desarenadores en paralelo seleccionados bajo la condición hidráulica de 2 en operación y 1 en reserva, para el caudal máximo de 1866 L/s. Estos serán construidos en concreto reforzado sobre el cual realizará el montaje de los siguientes equipos:

- Unidades de lamelas
- Tornillo transportador horizontal
- Bombas de agua y arena
- Sistema de aireación
- Sistema rascador de flotantes
- Bombas de grasa

#### 3.3.3.1.4.1 Unidades de lamela

Por cada desarenador se instalará un total de 220 unidades de lamela divididos en 10 módulos o sets de lamela de acero inoxidable de 6 mm de espesor. Estos serán instalados con un ángulo de inclinación de 55° en paralelo separados cada 80 mm. El sistema modular de lamelas es de fácil desmontaje lo que permite el retiro para la limpieza con agua a presión.

- Ancho: 1,364 mm
- Largo: 1,132 mm
- Altura: 1,977 mm
- Angulo de inclinación: 55°
- Espaciamiento entre lamela: 80 mm

- Espesor de lamela: 6 mm

#### 3.3.3.1.4.2 Tornillo transportador horizontal

A lo largo del fondo del desarenador se instalará un tornillo horizontal en un canal de forma cónica (de acero inoxidable) para el transporte de la arena sedimentada hacia una tolva de acumulación de arenas, zona de aspiración de las bombas de agua y arena instaladas en seco.

- Diámetro del tornillo: DN 355 mm
- Diámetro del eje del tornillo: DN 315 mm
- Potencia: 1.1 kW

#### 3.3.3.1.4.3 Bombas de agua y arena

La eliminación de arenas será por medio de bombeo para la conducción hacia los equipos clasificador-lavador de arenas. Por cada desarenador se instalará en seco una bomba con las siguientes características:

- Tipo: Bomba centrífuga
- Caudal: 25.0 l/s
- Altura de descarga: 5.00 m
- Potencia: 5.5 kW

La línea de succión será controlada mediante válvulas tipo cuchilla con actuadores eléctricos.

#### 3.3.3.1.4.4 Sistema de aireación

Estará ubicado al ingreso de la cámara de arena en cada desarenador, las aguas residuales estarán expuestas a aireación por burbuja fina. En consecuencia, el sobrenadante se elevará con el aire a la superficie del agua donde se acumularán.

El sistema consta de lo siguiente:

- Conexión de aire con válvula de bola manual
- Lanzas de aireación de acero inoxidable de 1"
- Capacidad de succión: 19 m<sup>3</sup>/h
- Presión máxima: 500 mbar
- Conexión lateral de presión: ½ pulgada
- Potencia: 0,70 kW

#### 3.3.3.1.4.5 Sistema rascado de flotantes

Los flotantes acumulados en la superficie de agua a la salida del canal desarenador serán retenidos mediante un deflector sumergido de 830 mm de altura. Posteriormente, serán recogidos mediante un sistema rascador de paletas automático transversal que recoge los sólidos flotantes y los deposita en un pozo sumidero para su posterior impulsión por bombeo.

El sistema de rascador consta de deflector sumergido a lo largo del ancho del canal, accionado con un motor para el rascador de paletas, con interruptores en ambos extremos.

Datos del motor de accionamiento:

- Potencia: 0.12 kW

#### 3.3.3.1.4.6 Bombas de grasa

Los flotantes acumulados serán impulsados mediante una bomba centrífuga sumergible para ser depositadas a un contenedor de grasas.

- Caudal máximo: 1.50 l/s
- Altura dinámica: 20 m
- Potencia: 1,50 kW





### 3.3.3.1.5 Medición de caudal

El efluente de los desarenadores convergerá en un canal donde se construirá un medidor de caudal tipo Parshall de 60" (1.524 m) con capacidad de aforo de hasta 2423.8 L/s, cubriendo la capacidad máxima de la PTAR 1866 L/s.

**Tabla 49**

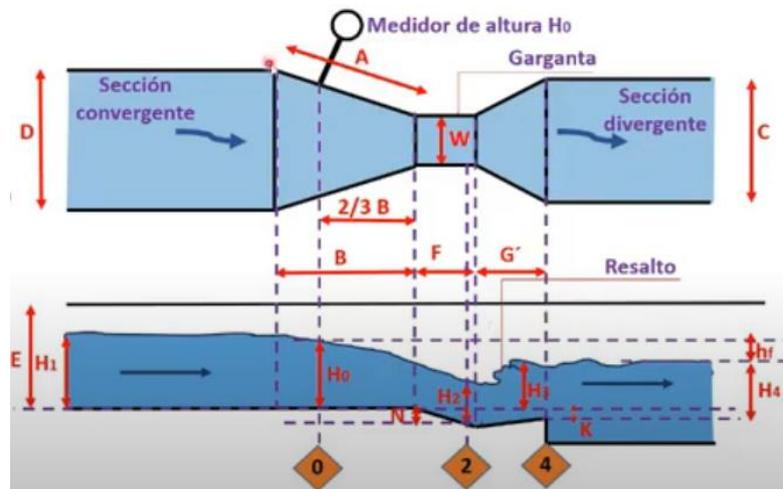
*Características para la selección del canal Parshall*

Fórmula	Descripción	Dato	Cantidad	Unidad
$Q = kH^n$	Caudal máximo	Qmax :	2423.80	L/s
	Ancho de la garganta	W :	60	pulg
	Ancho de la garganta	W :	1.524	m
	Coefficiente	n :	1.587	m
	Coefficiente que depende del ancho de la garganta	k :	3.728	m

La geometría del canal será definida con las siguientes dimensiones:

**Figura 22**

*Esquema geométrico de un canal Parshall*



**Tabla 50***Dimensiones del canal Parshall seleccionado*

<b>A:</b>	<b>201.17</b>	<b>cm</b>	<b>G:</b>	<b>91.44</b>	<b>cm</b>
<b>B:</b>	194.31	cm	<b>K:</b>	7.62	cm
<b>C:</b>	182.88	cm	<b>N:</b>	22.86	cm
<b>D:</b>	230.18	cm	<b>Ha</b>	0.646	m
<b>E:</b>	91.44	cm	<b>Hb</b>	0.452	m
<b>F:</b>	60.96	cm			

Para el caudal máximo de ingreso a la PTAR se determinó el grado de sumersión ( $H_b/H_a$ )  $S=69.96\%$ , menor a 70% lo cual es recomendable ya que el medidor trabajará con descarga libre, por tanto, el gasto será calculado con la expresión general  $Q=K.H^n$ .

### 3.3.3.1.6 Repartición de caudal a sedimentadores primarios

A fin de conseguir la distribución uniforme de caudales a los sedimentadores primarios se dispondrá de una caja de repartición de caudales con 3 vertederos. El nivel de corona de los vertederos rectangulares fue determinado a partir de la altura de pelo de agua producido después del medidor Parshall y restándole la altura de lámina de agua generada en el vertedero seleccionado, de esta manera se asegura que el medidor Parshall no se vea afectado por el vertedero y evitar el fenómeno de ahogamiento.

### 3.3.3.2 Tratamiento primario

#### 3.3.3.2.1 Sedimentadores primarios

El efluente del tratamiento preliminar ingresará a tres sedimentadores circulares con el fin de remover la fracción sedimentable de los sólidos suspendidos, la fracción libre remanente de grasas, así como la fracción insoluble de la materia orgánica, nitrógeno orgánico y fósforo particulado asociados a los sólidos sedimentables. Cada sedimentador tendrá un diámetro interior de 33.50 m y una altura lateral de 3.6 m, con una tasa superficial de 27.45  $m^3/m^2.d$  a caudal medio.

**Tabla 51***Características de los sedimentadores primarios - PTAR Juliaca*

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Caudal de alimentación medio de diseño	L/s	840
Caudal de purga de lodos primarios	L/s	13,75
Caudal máximo de ingreso a sedimentadores	L/s	1866
Cantidad de unidades en operación	#	3
Cantidad de unidades en reserva	#	0
Caudal medio por unidad	L/s	280
Diámetro	m	33.5
Área unitaria	m <sup>2</sup>	881.4
Altura lateral	m	3.6
Volumen cilíndrico	m <sup>3</sup>	3173.1
Pendiente de fondo	%	8.0
Diámetro del pozo de succión	m	5
Área del pozo de succión	m <sup>2</sup>	19.63
Altura troncocónica	m	1.14
Volumen troncocónico	m <sup>3</sup>	392.39
Volumen unitario total	m <sup>3</sup>	3565.48
Tasa superficial a caudal medio	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d	27.45
Tiempo de retención hidráulico a caudal medio	h	3,54
Tiempo de retención hidráulico a caudal máximo diario	h	2.72
Porcentaje de eliminación de sólidos suspendidos según OS 90	%	60%
Porcentaje de eliminación de sólidos suspendidos adoptado considerando factor de seguridad	%	66.2%
Porcentaje de eliminación de DQO	%	30%
Modalidad rastras		logarítmicas/espiral

**3.3.3.2.1.1 Zona de ingreso**

El ingreso del agua residual será por el fondo, en el centro del sedimentador, por medio de una tubería de acero DN 900 que se conectará a un difusor central vertical de concreto reforzado diámetro interno 0.9 m y 4.8 m de alto. A la salida del difusor central se instalará una pantalla deflectora de 6.1 m de diámetro y 2.7 m de alto, a fin de asegurar un patrón de flujo adecuado de las partículas en suspensión.

**3.3.3.2.1.2 Zona de sedimentación**

Una pantalla deflectora circular garantizará el patrón de flujo de las partículas sedimentables. Esta es parte de mecanismo barrelosos y barredor superficial que se instalará en el sedimentador, accionado por un motor instalado en la superficie del centro. Las partículas sedimentables se acumularán radialmente sobre el fondo que tendrá una pendiente de 8%.

#### 3.3.3.2.1.3 Zona de salida

El agua residual clarificada será recolectada por medio de una canal perimetral con 251 vertederos triangulares (v-notch). El vertedero tiene un perímetro de 100.22 m que en condiciones normales con una tasa recolección 241.40 m<sup>3</sup>/m.d a caudal medio. El efluente clarificado llegará a un compartimento de salida de dónde se interconectará a los tanques de aireación mediante tuberías.

El material flotante acumulado sobre la superficie de agua será arrastrado por medio de un barrelos superficial en dirección hacia una caja desnatadora ubicada en el perímetro del sedimentador.

#### 3.3.3.2.1.4 Zona de lodos

Las partículas sedimentables acumuladas formarán lodo primario que será removido por medio del mecanismo barrelos de forma radial en dirección hacia una tolva de lodos de 1 m de profundidad y 5 m de diámetro interior ubicada en el centro. Desde la tolva se extraerá el lodo primario por medio de bombas de cavidad progresiva instaladas en seco.

Figura 23

Sedimentador primario - vista de planta, PTAR Juliaca

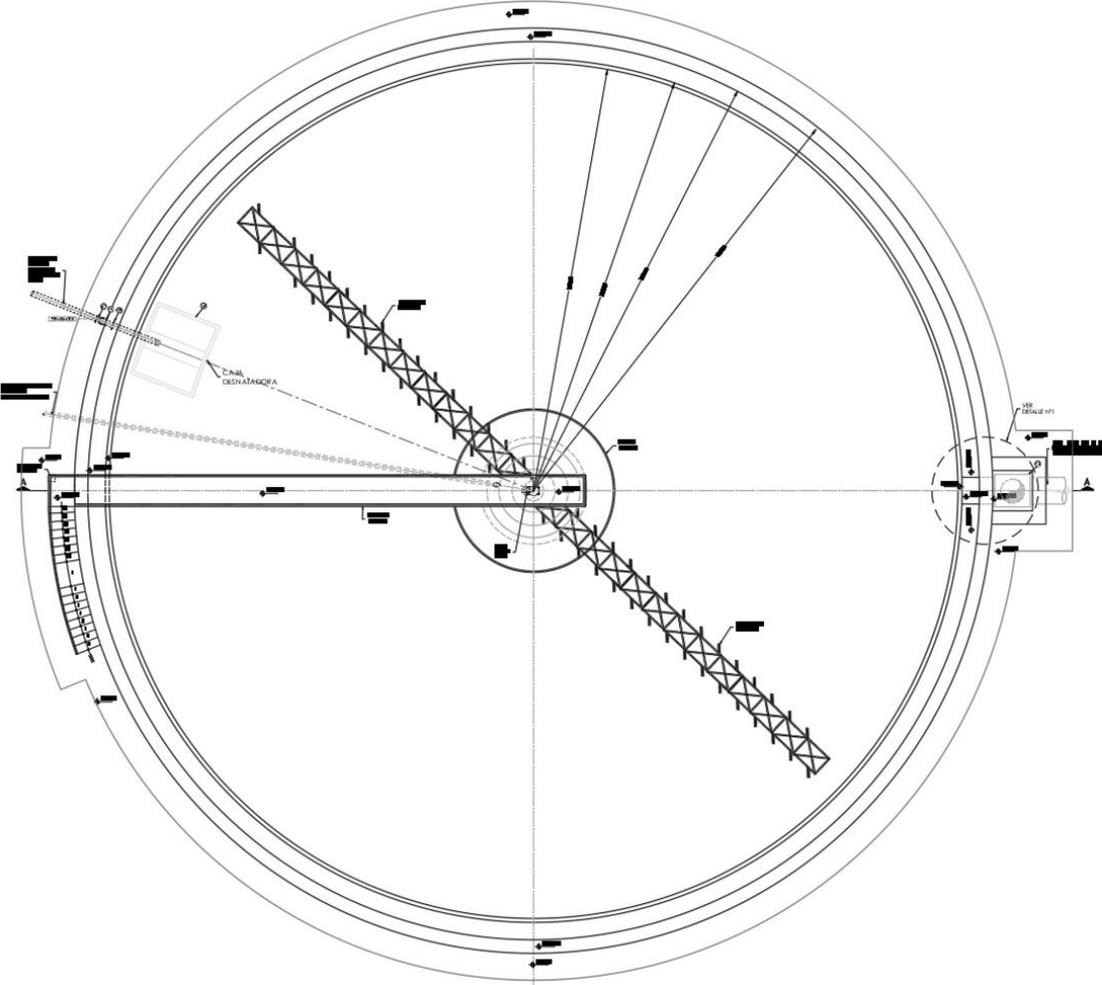
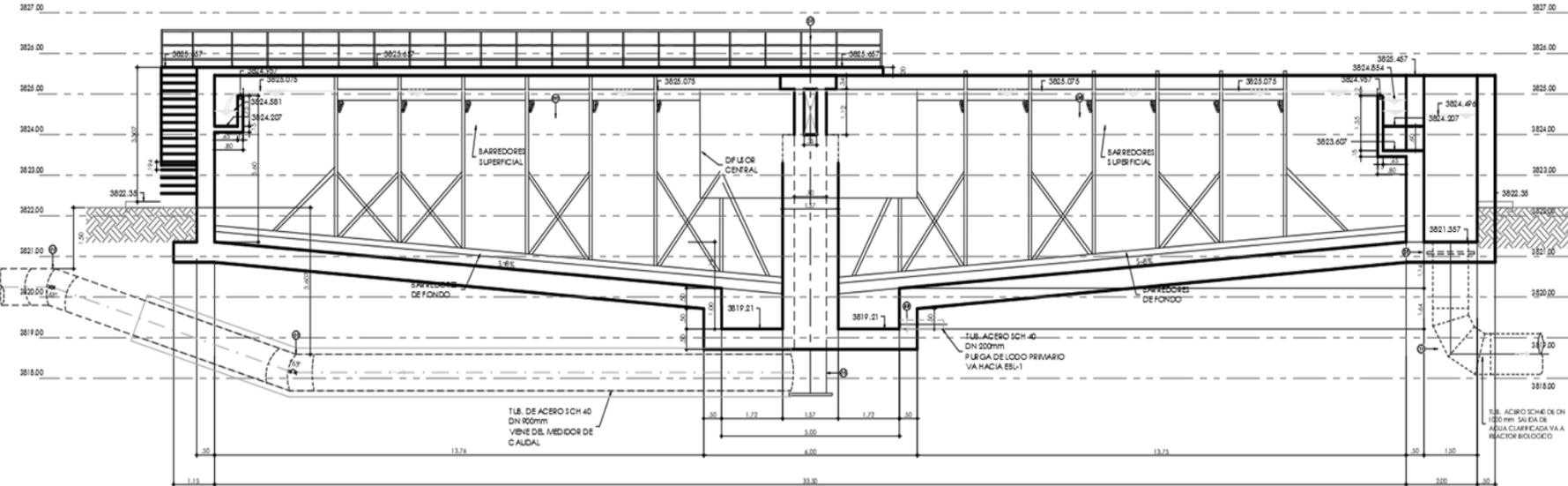


Figura 24

Sedimentador primario - corte longitudinal, PTAR Juliaca



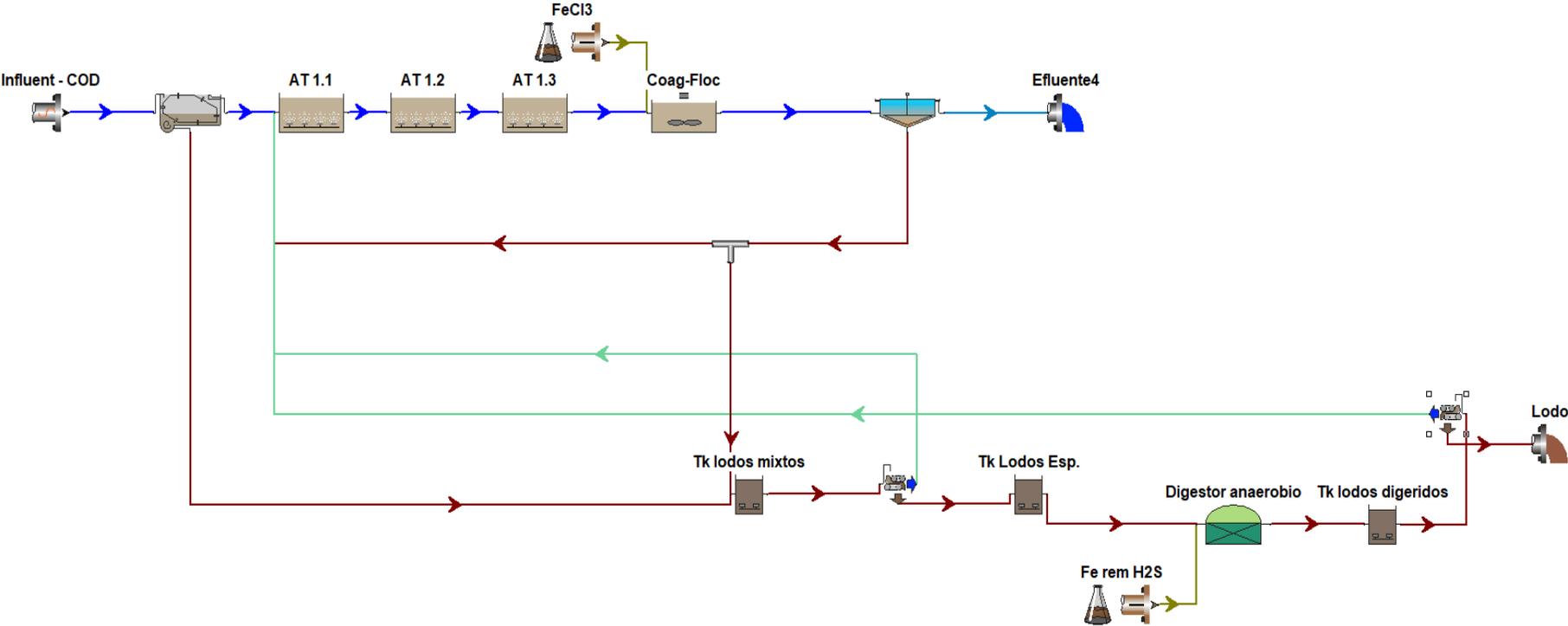
### 3.3.3.1 *Tratamiento secundario*

El sistema de tratamiento secundario es el elemento central de la línea de tratamiento de agua. Será por medio de lodos activados en la modalidad de mezcla completa de flujo continuo (Complete-Mix Activated Sludge, CMAS), y sedimentación secundaria químicamente asistida con dosificación de cloruro férrico. Contará con recirculación de lodos (RAS) por bombeo desde los sedimentadores secundarios hasta el ingreso de los tanques de aireación, y la purga de lodos en exceso (WAS) por bombeo a partir de la línea de recirculación de lodos hacia un tanque de mezcla de lodos y posterior tratamiento.

El diseño del sistema fue desarrollado con simulación dinámica del proceso efectuada con el software Biowin, considerando un horizonte de 15 días con variaciones horarias de caudales.

Figura 25

Diagrama de proceso del sistema de lodos activados (Biowin) - PTAR Juliaca



El sistema planteado removerá la materia orgánica y sólidos suspendidos, así como la remoción parcial de nitrógeno y fósforo por consumo de nutrientes en el proceso biológico.

El sistema está configurado de la siguiente manera:

- 03 tanques de aireación
- 03 cámaras de mezcla
- 03 cámaras de floculación
- 03 sedimentadores circulares

**Tabla 52**

*Volúmenes de las unidades de tratamiento primario y secundario - PTAR Juliaca*

<b>Unidad</b>	<b>Volumen por unidad, m3</b>	<b>Cantidad, und</b>	<b>Total, m3</b>
Sedimentadores primarios	3568,48	3	10696,43
Tanques de aireación	4715,0	3	14145,0
Zona de aireación 1	2047,0	3	6140,0
Zona de aireación 2	1334,0	3	4003,0
Zona de aireación 3	1334,0	3	4003,0
Cámara de mezcla	50	3	150
Cámara de floculación	150	3	450
Sedimentadores secundarios	5958,5	3	17875,6

El sistema de recirculación de lodos activados y purga de lodos en exceso es descrito en el apartado de la línea de tratamiento de lodos.

### 3.3.3.1.1 Tanques de aireación

Los tanques de aireación serán de geometría rectangular (55.6 m de largo, 16.0 m de ancho y profundidad útil 5.3 m), con un volumen total de 14145 m3 (cada tanque de 4715 m3). Están compuestos principalmente por la obra civil (tanques de concreto reforzado), los sopladores, difusores de aire y las tuberías para distribución de aire.

Con base a los resultados de la simulación dinámica, la edad de lodo fluctuará entre 4.93 días y 2.86 días en el horizonte de diseño, esto como consecuencia de mantenerse el volumen del reactor constante, el incremento de la producción de lodos en exceso (WAS) hasta casi 80.7% desde el año 1 de operación, y manteniendo un porcentaje de recirculación de lodos (RAS) entre 39.3% y 38.8%, respecto el caudal medio de ingreso al reactor. Bajo estas condiciones se estima un porcentaje de remoción de DBO del 98% y una remoción de sólidos esperada de 99.8% que será químicamente asistida con dosificación de cloruro férrico.

**Tabla 53**

*Dimensiones de los tanques de aireación - PTAR Juliaca*

Descripción	Cantidad	Unidades
Longitud total	55.6	m
Ancho total	16.0	m
Profundidad útil	5.3	m
Volumen total	4,715	m <sup>3</sup>
Volumen total reactores	14,145	m <sup>3</sup>

**Tabla 54**

*Parámetros de calidad y diseño del sistema de lodos activados- PTAR Juliaca*

Temperatura del agua residual		
Temperatura mínima	7.0	°C
Temperatura máxima	14.0	°C
Temperatura adoptada para el diseño	10.0	°C
Composición del agua de entrada (*)		
Demanda química de oxígeno (D.Q.O.)	514.9	mgO <sub>2</sub> /L
Demanda biológica de oxígeno (D.B.O <sub>5</sub> .)	242.3	mgO <sub>2</sub> /L
Sólidos en suspensión totales	102.3	mg/L
Sólidos en suspensión volátiles	94.7	mg/L
Nitrógeno total Kjeldal (N-NTK)	48.9	mgN/L
Nitrógeno amoniacal (N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	38.6	mgN/L
Nitrógeno de nitratos (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	0.0	mgN/L
Fósforo total	8.3	mgP/L
Parámetros de diseño y operación		
Edad de lodo	2.9	días
Sólidos suspendidos en el licor mezcla, SSLM	3233	mg/L
Sólidos suspendidos volátiles en el licor mezcla SSVLM	2021	mg/L
Tasa de recirculación	38.8	%

Sólidos suspendidos en la recirculación	11316	mg/L
Carga orgánica volumétrica, COV	1.24	kgDBO/m3.día
Relación alimento – microorganismo, F/M	0.61	kgDBO/kgSSV.día
Caudal de purga, Qw	1350	m3/d
Caudal de recirculación, Qr	27680.4	m3/d

**Calidad efluente en función de la edad de lodo**

Demanda química de oxígeno (D.Q.O.)	53.4	mgO2/L
Demanda biológica de oxígeno (D.B.O5.)	4.82	mgO2/L
Sólidos en suspensión totales	9.56	mg/L

(\*) La composición del agua de entrada corresponde a la calidad del efluente del tratamiento primario de acuerdo al balance de masas.

De forma similar, los caudales de ingreso a los tanques de aireación corresponden a la diferencia entre los caudales de diseño y los caudales de purga de lodo primario como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 55**

*Caudales de diseño del sistema de lodos activados - PTAR Juliaca*

Caudales de diseño	Año 0	Año 12	Año 18	Año 24	Unidades
Caudal diario de tratamiento	41,734	55,915	63,540	71,388	m <sup>3</sup> /d
Caudal medio horario de tratamiento	1,739	2,330	2,647	2,975	m <sup>3</sup> /h
Caudal máximo de tratamiento	3,863	5,175	5,881	6,608	m <sup>3</sup> /h

**Tabla 56**

*Edad de lodo, purga de lodo y concentración en el licor mezcla – PTAR Juliaca*

Cálculo del volumen del reactor	Año 0	Año 12	Año 18	Año 24	Unidades
Edad del lodo resultante	4.9	3.4	3.0	2.9	días
Purga de lodos totales (WAS)	8,454	11,737	13,580	15,277	kg/d
Purga de lodos volátiles (WAS)	4,859	7,043	8,309	9,397	kg/d
Concentración de sólidos en el licor mezclado	3,089	2,940	3,006	3,233	mg/L

Los tanques de aireación constan de 3 partes: zona de ingreso, zonas de aireación y zona de salida.

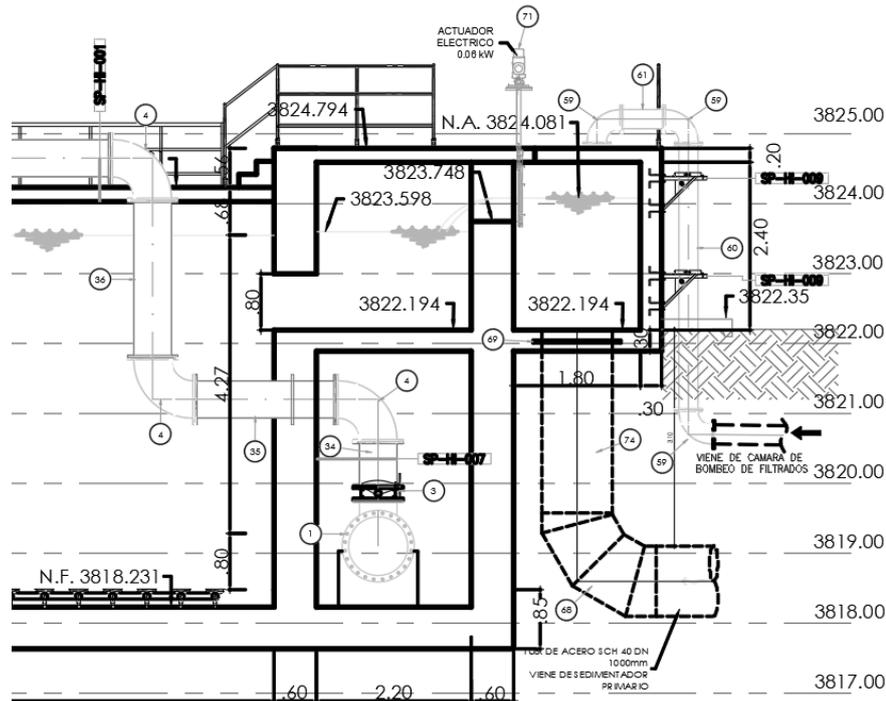
3.3.3.1.1.1 Zona de ingreso

El ingreso de agua al reactor será mediante tuberías independientes desde cada sedimentador primario que llegarán enterradas e ingresarán por el fondo de una cámara

de ingreso. La cámara de ingreso dispondrá de 6 vertederos (2 para cada tanque de aireación) equipados con compuertas electro actuadas. La cámara de ingreso conecta a un segundo compartimento con 3 ventanas de ingreso a los tanques de aireación. Debajo del compartimento se encuentran las tuberías principales de aireación instaladas en seco.

**Figura 26**

*Tanque de aireación - zona de ingreso, PTAR Juliaca*



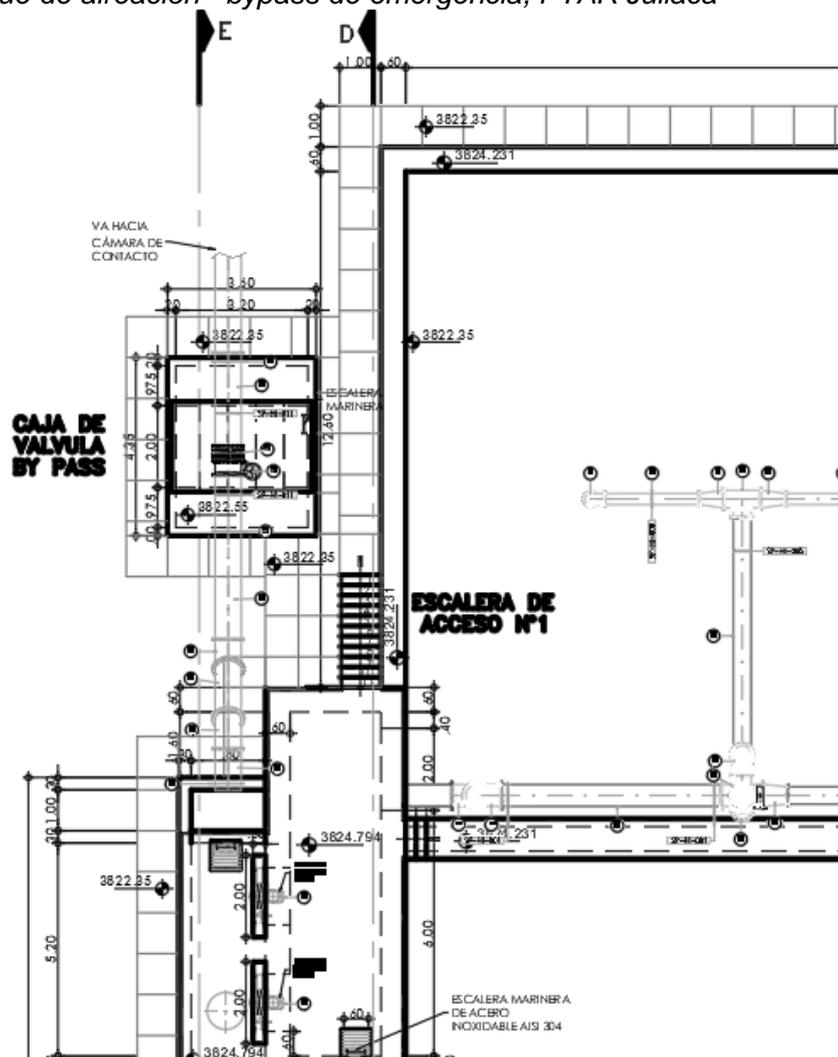
### 3.3.3.1.1.2 Bypass de emergencia

A fin de poder evitar el ingreso de concentraciones y caudales punta que afecten de manera sostenida la correcta operación del sistema, se ha dispuesto colocar un vertedero que funcionará cuando se supere el caudal máximo horario 1567.44 L/s y se encuentre recirculando 320.44 L/s, es decir 1887.84 L/s. Por tanto, cuando ocurra ello el vertedero rebotará a una caja contigua y por medio de una tubería se interconectará hacia el ingreso de la cámara de contacto con cloro, esta conducción cuenta con una válvula de control y fue diseñada para la diferencia entre el caudal máximo 1866 L/s más el caudal de recirculación 320.4 L/s, 2188.8 L/s y 1887.84 L/s, equivalente a 298.56 L/s.

Con base a lo anterior, el sistema tendrá la facilidad de operación de poder efectuar el bypass en condiciones de emergencia por caudales punta sostenido o cargas de contaminante pico, lo cual no implica necesariamente que cuando se supere el caudal máximo horario se tenga que realizar la maniobra de bypass obligatoriamente, ya que se ha verificado hidráulicamente que de ser el caso que ocurra el reactor funcionará hidráulicamente por gravedad y además de ello se ha complementado con un análisis de la capacidad de regulación en función de la simultaneidad de las estaciones de bombeo de aguas residuales existentes y proyectadas, que se muestra en el apartado de la zona de salida.

**Figura 27**

*Tanque de aireación - bypass de emergencia, PTAR Juliaca*



### 3.3.3.1.1.3 Zonas de aireación

En la simulación dinámica, el volumen total del reactor se subdividió en 3 zonas de aireación (Imagen N°23), esto para optimizar el consumo de oxígeno (tapping). La aireación se realizará mediante un sistema de difusión de aire de burbuja fina, alimentado por sopladores de aire comprimido con variador de frecuencia. El sistema de aeración por difusión de aire se distribuirá en tres parrillas/reactor con una proporción de distribución de aire decreciente de 55.16%, 23.40% y 21.43% respectivamente

**Tabla 57**

*Dimensiones de Zona de aireación 1, tanques de aireación - PTAR Juliaca*

Zona de aireación 1	Cantidad	Unidades
Longitud total	24.1	m
Ancho total	16.0	m
Profundidad útil	5.3	m
Volumen total	2,047	m3
Volumen total zona de aireación 1	6,140	m3
Agitación mecánica	NO	

**Tabla 58**

*Dimensiones de Zona de aireación 2, tanques de aireación - PTAR Juliaca*

Zona de aireación 2	Cantidad	Unidades
Longitud total	15.7	m
Ancho total	16.0	m
Profundidad útil	5.3	m
Volumen total	1,334	m3
Volumen total zona de aireación 2	4,003	m3
Agitación mecánica	NO	

**Tabla 59**

*Dimensiones de Zona de aireación 3, tanques de aireación - PTAR Juliaca*

Zona de aireación 3	Cantidad	Unidades
Longitud total	15.7	m
Ancho total	16.0	m
Profundidad útil	5.3	m
Volumen total	1,334	m3
Volumen total zona de aireación 2	4,003	m3
Agitación mecánica	SI	

### 3.3.3.1.1.4 Sopladores

El sistema de aireación proveerá igualmente aire en cantidad suficiente para mantener una mezcla completa del licor mezclado (mezcla de agua residual y biomasa) en todos los reactores, y con capacidad para mantener una concentración de oxígeno disuelto de 2.0 mg/L a carga media. Fueron seleccionados nueve (9) sopladores (200 Kw) de 5380 Nm<sup>3</sup>/h de caudal máximo de aire y presión diferencial total de 621 mbar (ocho (8) en operación a condición punta, siete (7) en operación a condición media) con base a los requerimientos de oxígeno. Cabe resaltar que los cálculos de dimensionamiento y transferencia de oxígeno efectuados, comprenden los ajustes pertinentes asociados a la altitud en la zona de la PTAR (aproximadamente 3822.00 msnm).

Asimismo, se implementará un agitador hiperbólico en la tercera zona de aireación de cada tanque con un valor de gradiente de velocidad 40 s<sup>-1</sup>, a fin de controlar la eventual nitrificación y mantener dicha zona bajo mezcla completa.

En la siguiente tabla se muestran los resultados del cálculo del requerimiento de oxígeno para cada zona de aireación.

**Tabla 60**

*Requerimientos de oxígeno por zonas de aireación, tanques de aireación - PTAR Juliaca*

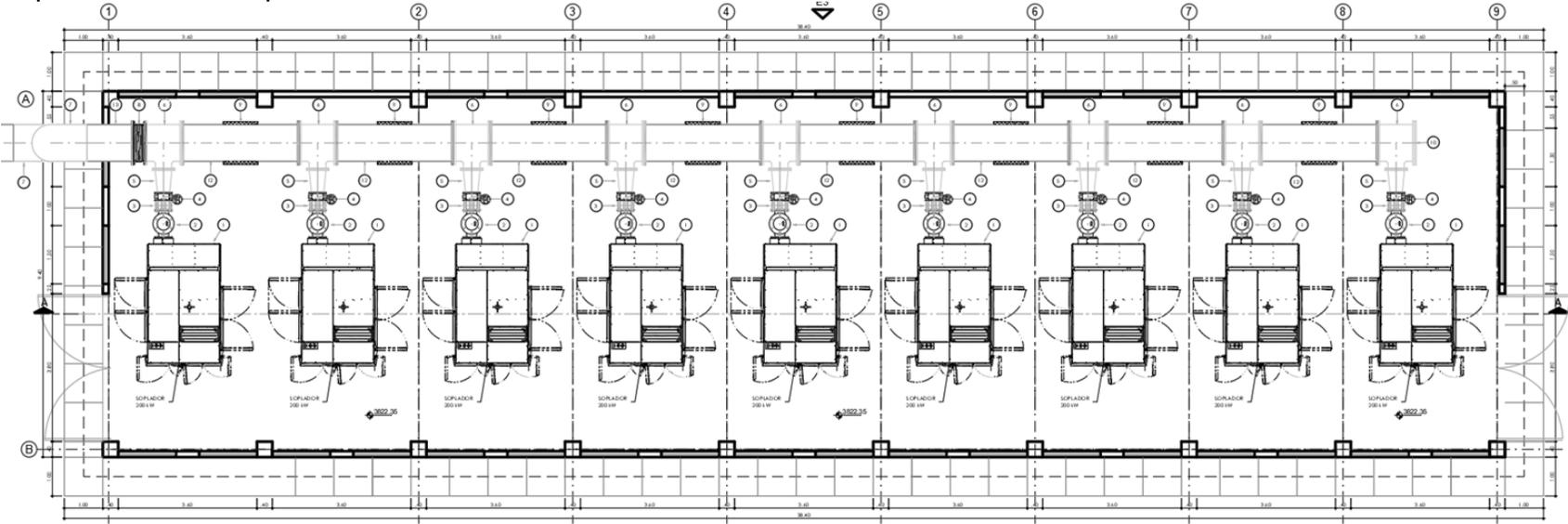
Definición	Parámetro	Unidad	Zona Aireación 1	Zona Aireación 2	Zona Aireación 3	Total
Requerimiento Actual de oxígeno por reactor condición media	AOR por reactor	kg O <sub>2</sub> /h	134.38	57.01	52.22	243.61
Requerimiento Actual de oxígeno por reactor condición media según modelo biowin	AOR por reactor	kg O <sub>2</sub> /h	153.58	65.16	59.68	278.41
Requerimiento Actual de oxígeno por reactor condición punta según modelo biowin	AOR por reactor	kg O <sub>2</sub> /h	209.00	72.90	67.79	349.68
coeficiente alfa	α		0.55	0.55	0.55	
coeficiente beta	β		0.98	0.98	0.98	
Concentración de saturación de oxígeno en agua limpia bajo condiciones estándar y en estado de equilibrio (+20	C* <sub>20</sub>	mg/L	9.08	9.08	9.08	

Definición	Parámetro	Unidad	Zona Aireación 1	Zona Aireación 2	Zona Aireación 3	Total
°C, 1.013 mbar) y a la profundidad de aireación						
Concentración de saturación de oxígeno en agua limpia bajo condiciones de campo en estado de equilibrio (temperatura de proceso, presión atmosférica de campo) a la profundidad de aireación	C <sub>∞</sub>	mg/L	6.54	6.54	6.54	
Concentración actual de oxígeno en el tanque de aireación (condiciones medias de proceso)	C <sub>L</sub>	mg/L	2.0	2.0	2.0	
Concentración actual de oxígeno en el tanque de aireación (condiciones punta de proceso)	C <sub>L</sub>	mg/L	1.0	2.0	2.0	
Coefficiente de corrección de temperatura	q		1.024	1.024	1.024	
Temperatura de diseño en el tanque de aireación	T	°C	10	10	10	
Tasa de transferencia de oxígeno en agua limpia (+20 °C, 1.013 mbar) condición media según biowin	SOTR por reactor	kg O <sub>2</sub> /h	615.59	261.19	239.2	
Tasa de transferencia de oxígeno en agua limpia (+20 °C, 1.013 mbar) condición punta según modelo biowin	SOTR por reactor	kg O <sub>2</sub> /h	721.2	292.21	271.7	
Factor de seguridad SOTR en condición punta		%	8%	11%	11%	
Tasa de transferencia de oxígeno en agua limpia (+20 °C, 1.013 mbar) por reactor en condición punta	SOTR con factor de seguridad por reactor	kg O <sub>2</sub> /h	781	324	301	1,406
Tasa de transferencia de oxígeno en agua limpia (+20 °C, 1.013 mbar) total	SOTR con factor de seguridad total	kg O <sub>2</sub> /h	2,343	972	903	4,218
Caudal de aire por zona y por reactor a condición media		Nm <sup>3</sup> /h	5,990	2,654	2,435	11,079
Caudal de aire total a condición media		Nm <sup>3</sup> /h	17,970	7,962	7,305	33,237
Caudal de aire admisible por zona y por reactor cond. punta		Nm <sup>3</sup> /h	7,181	2,979	2,779	12,939
Caudal de aire total a condición punta		Nm <sup>3</sup> /h	21,543	8,937	8,337	38,817
Caudal de aire admisible por zona y por reactor cond. punta con factor de seguridad		Nm <sup>3</sup> /h	7,778	3,312	3,087	14,177
Caudal de aire total a condición punta con factor de seguridad		Nm <sup>3</sup> /h	23,334	9,936	9,261	42,531
Toma de aire desde el soplador por zona y por reactor cond. media		m <sup>3</sup> /h	9,181	4,069	3,733	16,983

Definición	Parámetro	Unidad	Zona Aireación 1	Zona Aireación 2	Zona Aireación 3	Total
Toma de aire desde el soplador por zona y por reactor total cond. media		m <sup>3</sup> /h	27,543	12,207	11,199	50,949
Toma de aire desde el soplador por zona y por reactor cond. punta		m <sup>3</sup> /h	11,008	4,567	4,260	19,835
Toma de aire desde el soplador por zona y por reactor total cond. punta		m <sup>3</sup> /h	33,024	13,701	12,780	59,505
Toma de aire desde el soplador por zona y por reactor cond. punta con factor de seguridad		m <sup>3</sup> /h	11,922	5,077	4,732	21,731
Toma de aire desde el soplador por zona y por reactor total cond. punta con factor de seguridad		m <sup>3</sup> /h	35,766	15,231	14,196	65,193
Holgura de aireación disponible		%	32.2%	31.1%	37.0%	33.0%
Cumplimiento del factor de seguridad establecido			cumple	cumple	cumple	cumple
Caudal punta en régimen no permanente de aire admisible por zona y por reactor		Nm <sup>3</sup> /h	7,920	3,480	3,336	14,736

Figura 28

Caseta de sopladores - vista de planta, PTAR Juliaca



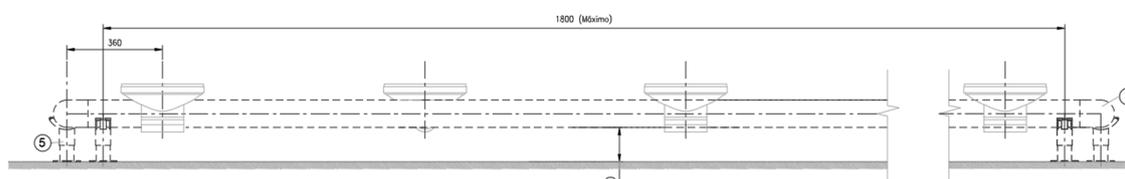
### 3.3.3.1.1.5 Difusores de aire

Comprenderá difusores de membrana de burbuja fina con capacidades de 4.4 – 5.89 m<sup>3</sup>/h de aire por difusor, calculados en condición media y punta. El sistema de difusores se basará en un diseño de aireación graduado (tres (3) zonas de aireación, el cual tendrá una mayor cantidad de difusores a la entrada e irá decreciendo en las siguientes.

Los difusores estarán colocados en filas 25 cm sobre el fondo, derivadas de un cabezal de alimentación horizontal en el fondo del tanque (central o lateral), conformándose grupos. Cada cabezal horizontal será alimentado por una tubería bajante con válvula de control de flujo de aire en la parte superior. Las bajantes son las derivaciones de la red de distribución de aire proveniente de la caseta de sopladores con diámetros decrecientes

**Figura 29**

*Tanque de aireación - detalle de difusores, PTAR Juliaca*



**Tabla 61**

*Sistema de distribución de difusores de aire en tanques de aireación - PTAR Juliaca*

Parámetro	Unidad	Zona Aireación 1	Zona Aireación 2	Zona Aireación 3
<b>Arreglo parrillas de difusores</b>				
Nº de Grupos de difusores	grupo/reactor	4	2	2
Nº total de grupos por zona	#	4	2	2
Nº total de grupos	#		15	
Distancia al piso	cm		25	
Nivel de agua sobre el difusor	m		5.05	
Posición cabezal		central	lateral	lateral
Cantidad de filas por grupo	#	33	10	10
Cantidad de difusores por fila	#	10	29	29
Cantidad total de difusores por grupo	#	330	290	278
Cantidad total de difusores por zona	#	1320	580	556

Parámetro	Unidad	Zona Aireación 1	Zona Aireación 2	Zona Aireación 3
Cantidad total de difusores por reactor	#		2456	
Cantidad total de difusores	#		7368	
Pérdida de carga al cabezal de entrada	mbar		545	
Material cabezal		PVC C-10	PVC C-10	PVC C-10
Material red de difusores		PVC C-10	PVC C-10	PVC C-10

**Tabla 62**

*Requerimientos de oxígeno en condición media y punta, tanques de aireación - PTAR Juliaca*

Condición media				
SOTR requerido total		Kg O <sub>2</sub> /h	3,348	
SOTR requerido por reactor		Kg O <sub>2</sub> /h	1,116	
SOTR requerido por zona y por reactor		Kg O <sub>2</sub> /h	616	261 239
Caudal de aire por zona		Nm <sup>3</sup> /h	5,990	2,654 2,435
Caudal de aire por reactor		Nm <sup>3</sup> /h	11,079	
Caudal de aire total		Nm <sup>3</sup> /h	33,237	
Caudal máximo de aire admisible por zona		Nm <sup>3</sup> /h	7,920	3,480 3,336
Caudal máximo en régimen no permanente de aire admisible		Nm <sup>3</sup> /h	10,560	4,640 4,448
Caudal de aire por difusor		m <sup>3</sup> /h/diff	4.5	4.6 4.4
Densidad de difusores		%	15.0%	10.1% 9.7%
Caudal de mezcla a condición media		m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h	15.51	10.54 9.67
Energía de mezcla		w/m <sup>3</sup>	42.3	34.3 31.5
Eficiencia transferencia oxígeno		g O <sub>2</sub> /Nm <sup>3</sup> /m	19.7	18.81 18.78
SOTE		%	33.2	31.77 31.72
SOTE por metro		%/m	6.57	6.29 6.28
Condición punta				
Factor de seguridad a condición punta		%	8%	11% 11%
SOTR de diseño por zona y por reactor con factor de seguridad		Kg O <sub>2</sub> /h	781	324 301
SOTR por reactor con factor de seguridad		Kg O <sub>2</sub> /h	1,406	
SOTR total con factor de seguridad		Kg O <sub>2</sub> /h	4,218	
Caudal de aire por zona		Nm <sup>3</sup> /h	7,778	3,312 3,087
Caudal de aire por reactor		Nm <sup>3</sup> /h	14,177	
Caudal de aire total		Nm <sup>3</sup> /h	42,531	
Caudal de aire por difusor		m <sup>3</sup> /h/diff	5.89	5.71 5.55
Caudal de mezcla		m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h	20.14	13.16 12.26
Energía de mezcla		w/m <sup>3</sup>	57.7	36.7 34.2
Eficiencia transferencia oxígeno		g O <sub>2</sub> /Nm <sup>3</sup> /m	19.2	18.72 18.66
SOTE		%	32.4	31.6 31.5
SOTE por metro		%/m	6.42	6.26 6.24

### 3.3.3.1.1.6 Tuberías de alimentación de aire

Las tuberías de distribución de aire serán de acero cédula 40, hasta la conexión con los cabezales que serán de PVC. Los diámetros y velocidades resultantes en cada tramo se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 63**

*Diámetros y velocidades en las tuberías de alimentación de aire, tanques de aireación - PTAR Juliaca*

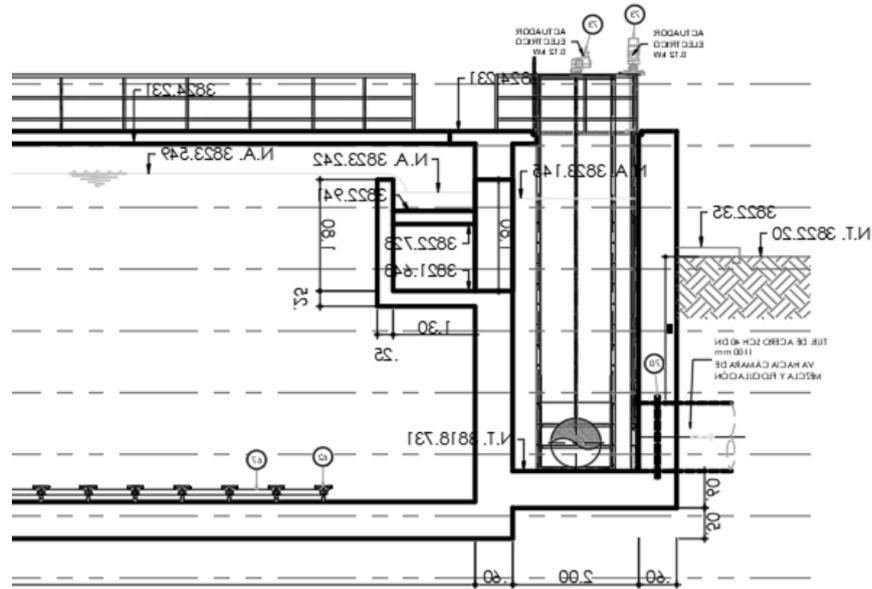
<b>Diámetros tubería alimentación aire</b>				
Diámetro red desde sala de sopladores hasta ingreso reactor 1	mm		1200	
Diámetro red desde ingreso reactor 1 hasta ingreso reactor 2	mm		600	
Diámetro red desde ingreso reactor 2 hasta ingreso reactor 3	mm		300	
Diámetro red ingreso a cada reactor hasta zona aireación 1	mm		400	
Diámetro red entre zona de aireación 1 y 2	mm		200	
Diámetro red entre zona de aireación 2 y 3	mm		125	
Diámetro bajante a cada zona de aireación	DN	250	125	125
Diámetro cabezal de entrada a cada grupo	DN	125	90	90
Diámetro red de aire filas grupo	DN	90	90	90
<b>Velocidades tubería alimentación aire</b>				
Velocidad red desde sala de sopladores hasta ingreso reactor 1	m/s		19.2	
Velocidad red desde ingreso reactor 1 hasta ingreso reactor 2	m/s		17.3	
Velocidad red desde ingreso reactor 2 hasta ingreso reactor 3	m/s		16.7	
Velocidad red ingreso a cada reactor hasta zona aireación 1	m/s		19.2	
Velocidad red entre zona de aireación 1 y 2	m/s		17.3	
Velocidad red entre zona de aireación 2 y 3	m/s		13.4	
Velocidad bajante ingreso a cada zona de aireación	m/s	16.9	14.4	13.4
Velocidad cabezal de entrada a cada grupo	m/s	8.4	10.0	9.3

### 3.3.3.1.1.7 Zona de salida

El efluente de cada tanque de aireación descargará por medio de un vertedero rectangular transversal ubicado a la salida y será recolectado por un canal con pendiente hacia el centro, en donde llega a una caja interconectada mediante una ventana a otra caja de salida. Desde la caja de salida, por medio de 3 tuberías que se interconectan a las cámaras de mezcla y floculación.

**Figura 30**

*Tanque de aireación - zona de salida, PTAR Juliaca*



### 3.3.3.1.2 Cámaras de mezcla y floculación

El principal propósito de esta etapa es mejorar el índice volumétrico de lodos (IVL) para asegurar una buena sedimentabilidad del lodo secundario. Aquí se realiza la dosificación controlada del coagulante para neutralizar las cargas eléctricas de los coloides y así promover la formación de coágulos. La dosis de coagulante será determinada vía pruebas de jarra y fijada con un medidor en línea de la concentración de fósforo en el efluente.

#### 3.3.3.1.2.1 Volumen de mezcla rápida y floculación

Esta operación se realizará por medio de 3 tanques de mezcla rápida para coagulación de 50 m<sup>3</sup> (para un tiempo de retención de 3 minutos) de capacidad cada uno y 3 tanques de floculación de 150 m<sup>3</sup> de capacidad cada uno (para un tiempo de retención de 9.1 min).

### 3.3.3.1.2.2 Sistema de agitación

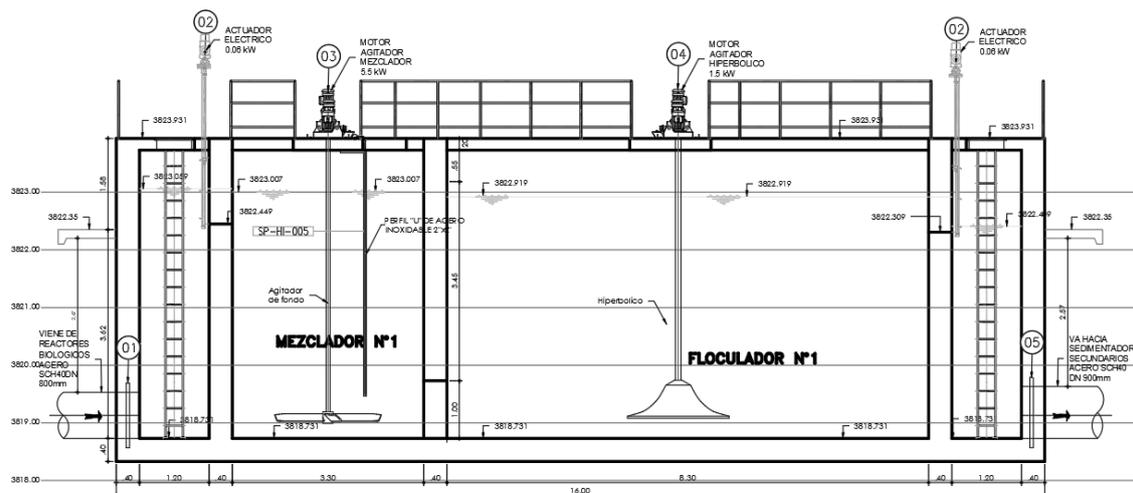
Para provocar una mezcla rápida y efectiva se utilizarán agitadores hiperbólicos con una gradiente de velocidad de  $261 \text{ s}^{-1}$ . Paso siguiente, en la floculación se usarán agitadores con intensidad de agitación de  $77 \text{ s}^{-1}$ .

### 3.3.3.1.2.3 Sistema de dosificación

Se contempla la instalación de cuatro bombas dosificadoras en un arreglo 3+1, para dosificar  $12.61 \text{ m}^3/\text{d}$  de cloruro férrico líquido concentrado al 38%, una bomba dosificadora por cámara de mezcla. Cada bomba fue seleccionada para dosificar cloruro férrico concentrado hasta  $60 \text{ L/h}$  (38%) trabajando en condición normal al 50%.

**Figura 31**

*Cámara de mezcla y floculación - corte longitudinal, PTAR Juliaca*

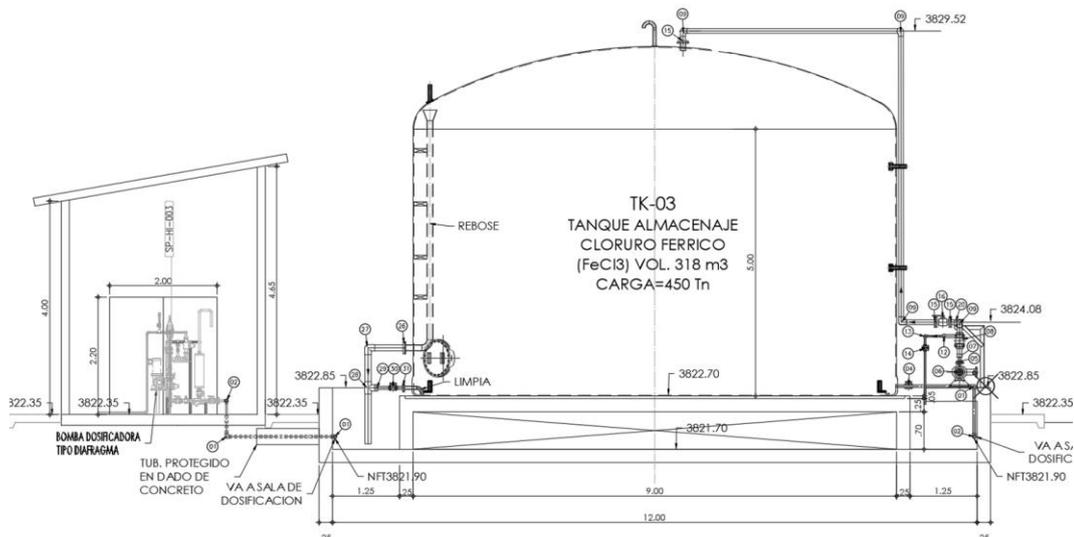


### 3.3.3.1.2.4 Almacenamiento de reactivos

En función al consumo de cloruro férrico, se instalarán 3 tanques  $318 \text{ m}^3$  de capacidad, con una autonomía de 76 días. Estos serán de fibra de vidrio, material resistente a la corrosión.

**Figura 32**

*Tanque de cloruro férrico - corte longitudinal, PTAR Juliaca*



### 3.3.3.1.3 Sedimentadores secundarios

El licor mezclado conteniendo la biomasa activa pasará desde las cámaras de floculación a sedimentadores circulares de 38 m de diámetro y 4.50 m de altura lateral, con una tasa superficial de 21.3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d a caudal medio. Los lodos acumulados serán recirculados (RAS), a una tasa de retorno  $r=38.8\%$  respecto del caudal medio, hacia la cámara de ingreso de los tanques de aireación y el exceso de lodo producido será purgado hacia un tanque de mezcla de lodo crudo, ambas operaciones mediante bombas de cavidad progresiva instaladas en seco.

En la siguiente tabla se describen las características de los sedimentadores secundarios.

**Tabla 64**

*Características de los sedimentadores secundarios - PTAR Juliaca*

Parámetros	Unidad	Valor
Caudal de alimentación medio de diseño incluyendo recirculación (RAS)	L/s	1160.40
Caudal de recirculación (RAS) [R=38.8%]	L/s	320.4
Caudal de purga de lodos secundarios (WAS)	L/s	15.63
Cantidad de unidades en operación	#	3
Cantidad de unidades en reserva	#	0
Caudal medio por unidad	L/s	386.8
Diámetro	m	38,0

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Área unitaria	m <sup>2</sup>	1134.1
Altura lateral	m	4,5
Volumen cilíndrico	m <sup>3</sup>	5103.5
Pendiente de fondo	%	12.0
Diámetro de pozo de succión	m	7.6
Área de pozo de succión	m <sup>2</sup>	45.4
Altura troncocónica	m	1.82
Volumen troncocónico	m <sup>3</sup>	855.03
Volumen unitario total	m <sup>3</sup>	5958.5
Tasa superficial a caudal medio	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d	21,3
Tasa superficial a caudal máximo horario	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d	39.80
Tiempo de retención hidráulico incluyendo recirculación	h	4.28
Tiempo de retención hidráulico sin recirculación	h	5.91
Carga de sólidos	Kg/m <sup>2</sup> /d	130,6
Carga de sólidos	Kg/m <sup>2</sup> /h	5.44
Modalidad rastras		logarítmicas/espiral

### 3.3.3.1.3.1 Zona de ingreso

El ingreso del agua residual será por el fondo, en el centro del sedimentador, por medio de una tubería de acero DN 1100 que se conectará a un difusor central vertical de concreto reforzado diámetro interno 1.10 m y 6.65 m de alto. A la salida del difusor central se instalará una pantalla deflectora de 6.85 m de diámetro y 2.7 m de alto, a fin de asegurar un patrón de flujo adecuado.

### 3.3.3.1.3.2 Zona de sedimentación

Una pantalla deflectora circular garantizará el patrón de flujo de las partículas sedimentables. Esta es parte de mecanismo barrelosos y barredor superficial que se instalará en el sedimentador, accionado por un motor instalado en la superficie del centro. Las partículas sedimentables se acumularán radialmente sobre el fondo que tendrá una pendiente de 12%.

### 3.3.3.1.3.3 Zona de salida

El agua residual clarificada será recolectada por medio de una canal perimetral con 229 vertederos triangulares (v-notch). El vertedero tiene un perímetro de 114.35 m que en condiciones normales con una tasa recolección 211.56 m<sup>3</sup>/m.d a caudal medio. El efluente

clarificado llegará a un compartimento de salida de donde se interconectará a la cámara de contacto con cloro por medio de tuberías.

El material flotante acumulado sobre la superficie de agua será arrastrado por medio de un barrelos superficial en dirección hacia una caja desnatadora ubicada en el perímetro del sedimentador. Esta se acumulará en una cámara y será bombeada al tanque de mezcla de lodo crudo.

#### 3.3.3.1.3.4 Zona de lodos

El lodo secundario será removido por medio del mecanismo barrelos de forma radial en dirección hacia una tolva de lodos de 1.40 m de profundidad y 7.60 m de diámetro interior ubicada en el centro. Desde la tolva se extraerá el lodo para recirculación con una tubería de diámetro DN 600, y desde la línea de recirculación el lodo en exceso será purgado, para esta aplicación se utilizarán bombas de cavidad progresiva instaladas en la superficie dentro de una caseta.

#### 3.3.3.2 *Desinfección con cloro*

La etapa final del tratamiento, el sistema de desinfección, comprende dos (2) tanques de contacto con cloro de concreto reforzado y una (1) caseta de cloración para preparación de solución clorada por medio de cloradores automáticos e inyectores y el almacenaje de cilindros de cloro.

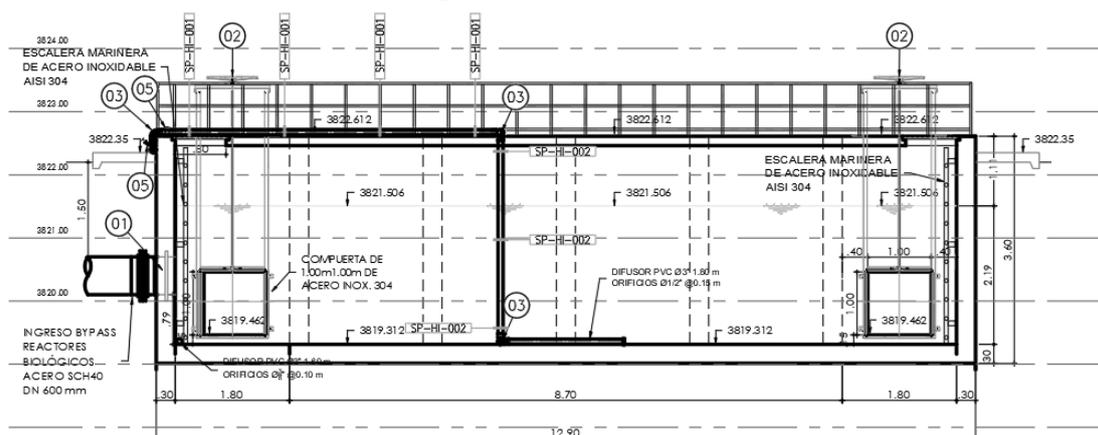
##### 3.3.3.2.1 Tanques de contacto

Tendrá un volumen total de 2268 m<sup>3</sup> subdividido en dos (2) tanques de contacto de 1134 m<sup>3</sup> cada uno de 51 m de largo, 10.2 m de ancho y 2.18 m de profundidad de agua. Diseñado para un tiempo de contacto de 20.25 minutos a caudal pico y equivalente a 45 minutos en condición media.

Los tanques de contacto compartirán un canal de entrada común donde ingresarán dos (02) tuberías afluentes: el bypass de emergencia y la tubería de efluente de los sedimentadores secundario.

**Tabla 65**

*Cámara de contacto - canal de ingreso, PTAR Juliaca*



Por otra parte, el flujo de entrada será controlado mediante compuertas manuales de 1.0m largo y 1.0m de ancho instaladas en el fondo del canal

El flujo del agua residual será horizontal por medio de 5 canales de 1.80 m de ancho y con un vertedero rectangular a la salida a efectos de controlar el tirante de agua en tanque de cloración. Los vertederos descargarán de forma libre sobre un canal de recolección común en el cual se instalará una canaleta Parshall de 60” para la medición del caudal efluente de la PTAR. Aguas abajo del canal Parshall se instalarán dos bombas sumergibles para abastecer de agua residual tratada los camiones cisterna de agua para riego.

Finalmente, a la salida del canal se conectará por medio de una tubería a una cámara desde donde se bombeará a una cámara de carga para la descarga final por gravedad del efluente tratado mediante un emisor terrestre hacia el Río Coata. Cabe resaltar que estas últimas estructuras son parte de las obras y estudios de la disposición final del efluente tratado, lo cual no fue competencia de la consultoría realizada, por tanto, no ha sido considerado en el presente informe.

### 3.3.3.2.2 Punto de aplicación de solución clorada

En el fondo del canal de ingreso se colocarán dos (02) tuberías de PVC de 3" de diámetro perforadas para la aplicación de solución clorada, cada una será controlada por válvulas esféricas instaladas en seco en el muro del canal, las tuberías difusoras serán alimentadas por bombeo desde la sala de cloración.

- Al ingreso de la tubería de bypass: una (01) tubería de PVC de 3" de diámetro, longitud L=1.60 m y orificios  $\text{Ø}3/8'' @ 0.10$  m.
- Al ingreso de la tubería de efluente de los sedimentadores secundarios: una (01) tubería de PVC de 3" de diámetro, longitud L=1.80 m y orificios  $\text{Ø}1/2'' @ 0.15$  m.

### 3.3.3.2.3 Caseta de cloración

La caseta se encuentra subdividida en dos (02) ambientes: la sala de dosificación de cloro y el área de almacén de cilindros de cloro.

#### 3.3.3.2.3.1 Sala de dosificación de cloro

Se aplicará solución clorada con dosis media de cloro 5 mg/L y dosis máxima de 7 mg/L. La preparación de la solución se realizará en la sala de dosificación de cloro mediante la inyección de cloro gas por medio dos (02) cloradores automáticos de 1800 kg/d de capacidad y dos (02) inyectores al vacío instalados en línea sobre tubería de alimentación de agua potable la cual será presurizada por dos (02) bombas booster que a su vez crearan el efecto de succión con paso del agua que se mezclara con el cloro gas para forma la solución desinfectante. La solución desinfectante

#### 3.3.3.2.3.2 Almacén de cloro

El almacén de cloro tendrá área disponible para contener doce (12) cilindros de cloro gas de 907 kg de capacidad, dispuestos en dos filas: seis (06) en operación y seis (06) para recambio. Cada fila de cilindros estará apoyada sobre una plataforma modular

de acero inoxidable integrado con una balanza de capacidad para seis (06) cilindros. El diseño ofrecerá una autonomía de 50 días a caudal medio.

En ambos ambientes se incluirán los dispositivos de seguridad como son los detectores de cloro, los equipos de seguridad personal de los operadores, el equipo para ataque y reparación rápida de fugas. Asimismo, un (01) sistema de lavado de gases.

### 3.3.3.3 Balance de masas

**Tabla 66**

*Balance de masas al ingreso y salida de cada proceso - PTAR Juliaca*

Parámetros	TRATAMIENTO PRELIMINAR AVANZADO						TRATAMIENTO PRIMARIO	
	Rejas 15 mm		Rejas 6 mm		Desarenadores desengrasadores		Tanques circulares de sedimentación primaria	
	Ingreso	Salida	Ingreso	Salida	Ingreso	Salida	Ingreso	Salida
Demanda Química de Oxígeno, DQO (mg/L)	731	731	731	731	731	731	731	515
Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO (mg/L)	288	288	288	288	288	288	288	242
Sólidos Suspendidos Totales, SST (mg/L)	303	303	303	303	303	303	303	102
Sólidos Suspendidos Volátiles, SSV (mg/L)	227	227	227	227	227	227	227	95
Nitrógeno Total Kjeldahl, TKN (mg/L)	58	58	58	58	58	58	58	49
Fósforo Total, PT (mg/L)	12	12	12	12	12	12	12	8
Coliformes Termotolerantes, CT (NMP/100mL)	2.00E+07	2.00E+07	2.00E+07	2.00E+07	2.00E+07	2.00E+07	2.00E+07	2.50E+06

Parámetros	TRATAMIENTO SECUNDARIO				DESINFECCIÓN		NIVELES DE SERVICIO
	Tanques de aireación de mezcla completa		Tanques circulares de sedimentación secundaria		Tanques contacto con cloro		Contrato de Concesión
	Ingreso	Salida	Ingreso	Salida	Ingreso	Salida	Efluente PTAR
Demanda Química de Oxígeno, DQO (mg/L)	515	2,907	2,907	53.4	53.4	53.4	125
Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO (mg/L)	242	1,352	1,352	4.8	4.8	4.8	25
Sólidos Suspendidos Totales, SST (mg/L)	102	3,207	3,207	10	9.6	9.6	35
Sólidos Suspendidos Volátiles, SSV (mg/L)	95	1,995	1,995	6	5.9	5.9	-
Nitrógeno Total Kjeldahl, TKN (mg/L)	49	229	229	49	48.9	48.9	-
Fósforo Total, PT (mg/L)	8	149	149	1	1.2	1.2	-
Coliformes Termotolerantes, CT (NMP/100mL)	2.50E+06	-	-	2.00E+05	2.00E+05	1.00E+03	1.00E+03

### 3.3.3.4 Eficiencias de remoción

En la siguiente tabla se resumen las eficiencias de remoción de parámetros de contaminación de las aguas residuales, por cada etapa de proceso

**Tabla 67**

*Eficiencias de remoción de parámetros contaminantes por etapa de proceso - PTAR Juliaca*

Etapa	EFICIENCIAS DE REMOCIÓN, %						
	DQO	DBO	SST	SSV	TKN	PT	CT (log)
Tratamiento preliminar avanzado	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento primario	30%	16%	66%	58%	16%	31%	0.9
Tratamiento secundario	90%	98%	91%	94%	0%	85%	1.1
Desinfección	-	-	-	-	-	-	2.3
<b>Eficiencia de remoción global</b>	<b>93%</b>	<b>98.3%</b>	<b>97%</b>	<b>97%</b>	<b>16%</b>	<b>90%</b>	<b>4.3</b>

### 3.3.4 Línea de sólidos y lodos

Los sólidos y lodos generados en el proceso de tratamiento son los siguientes: residuos del desbaste, arenas, material flotante y lodos. En la siguiente tabla se resume sus fuentes de producción en cada etapa del tratamiento.

**Tabla 68**

*Tipos de residuos y lodos producidos en la PTAR Juliaca*

Etapa	Proceso	Tipo de residuo o lodo
Tratamiento preliminar	Cribado medio y fino	Residuos de desbaste
	Desarenado-desengrasado	Arenas
		Material flotante y grasas
Tratamiento primario	Sedimentación primaria	Lodo primario
		Material flotante y natas
Tratamiento secundario	Lodos activados	Lodo para recirculación (RAS)
		Lodo en exceso (WAS)
		Material flotante y natas

#### 3.3.4.1 Residuos de desbaste

##### 3.3.4.1.1 Generación de residuos

El volumen de residuos se calcula con base a un ratio de generación de residuos (L/1000 m<sup>3</sup>) que es adoptado en función a la luz de paso del sistema de cribado. Para las rejillas de 15 mm se adoptó un ratio de 23 L/1000 m<sup>3</sup> y para las rejillas de 6 mm un ratio de

60 L/1000 m<sup>3</sup>. Asimismo, se adoptó un peso específico aparente de 800 kg/m<sup>3</sup>, con lo es posible estimar el peso medio residuos retenidos, dato para la selección del equipo compactador lavador de residuos.

**Tabla 69**

*Generación de residuos en las rejillas de 15 mm - PTAR Juliaca*

<b>Cálculo de la generación de residuos</b>	<b>Año 0</b>	<b>Año 12</b>	<b>Año 18</b>	<b>Año 24</b>	<b>Unidades</b>
Ratio de generación de residuos adoptado			23.0		L/1000 m <sup>3</sup>
Volumen medio diario de residuos generado	987.2	1,313.4	1,488.7	1,669.3	L/d
Volumen máximo horario estimado	91.4	121.6	137.8	154.5	L/h
Densidad aparente aproximada			0.8		kg/L
Peso medio de residuos retenido	789.8	1,050.7	1,191.0	1,335.4	kg/d

**Tabla 70**

*Generación de residuos en las rejillas de 6 mm - PTAR Juliaca*

<b>Cálculo de la generación de residuos</b>	<b>Unidades</b>	<b>Año 0</b>	<b>Año 12</b>	<b>Año 18</b>	<b>Año 24</b>
Ratio de generación de residuos adoptado	L/1000 m <sup>3</sup>			60.0	
Volumen medio diario de residuos generado	L/d	2,575.3	3,426.2	3,883.7	4,354.6
Volumen máximo horario estimado	L/h	238.4	317.1	359.5	403.1
Densidad aparente aproximada	kg/L			0.8	
Peso medio de residuos retenido	kg/d	2,060.2	2,740.9	3,106.9	3,483.7

3.3.4.1.2 Compactación y lavado de residuos

Los residuos de desbaste retenidos se caracterizan por contener materia orgánica putrescible y humedad, lo que hace necesario emplear un sistema de compactación y lavado. Se instalarán dos (02) compactadores con sistema de lavado integrado de 1000 L/h de capacidad, uno para el sistema de cribado medio y el otro para el sistema de cribado fino, independientes.

Este equipo permitirá el lavado a presión de los componentes orgánicos solubles (material fecal) adheridos al material cribado o sólidos retenidos o cribados en las rejillas mecánicas medias y las finas.

Previamente, los residuos retenidos en las rejillas mecánicas medias y finas descargarán sobre un canal hidráulico, los residuos serán transportados con agua residual cribada bombeada (10 L/s) desde aguas abajo de los canales de rejillas hacia el canal

hidráulico y por medio de un chute descargarán sobre cada compactador. Los residuos de desgaste se descargarán del chute del tornillo transportador hacia el interior de la tolva de la prensa de lavado. El tornillo compactador con eje central, transportará los residuos hacia el tubo ascendente después de haberse alcanzado una cierta cantidad de sólidos. Al mismo tiempo comienza un ciclo de lavado, añadiendo con un cierto desfase agua a la tolva y al tubo ascendente. El tornillo puede funcionar en periodos intermitentes para optimizar el proceso de lavado y por el diseño del tornillo la zona de contacto de los componentes solubles se incrementa proporcionando un alto grado de lavado. Simultáneamente los residuos lavados son deshidratados, compactados y dirigidos al interior del compactador por medio de un tubo cónico de descarga. Los residuos lavados y compactados serán descargados en un contenedor para su disposición final.

**Tabla 71**

*Capacidad del compactador y lavador de residuos adoptado, rejas de 15 mm - PTAR Juliaca*

<b><u>Compactación de los residuos</u></b>	<b>Año 0</b>	<b>Año 12</b>	<b>Año 18</b>	<b>Año 24</b>	<b>Unidades</b>
Tipo de compactador adoptado	Prensa con lavado de los residuos				
Grado de compactación	50%-70%				
Capacidad adoptada para el equipo	1000.0				L/h
Horas de funcionamiento diario	1.0	1.3	1.5	1.7	h/d
Volumen diario de residuo de entrada	987.2	1313.4	1488.7	1669.3	L/d
Volumen diario de residuo compactado	493.6	656.7	744.4	834.6	L/d
Numero de equipos adoptado	1.0				#
Numero de equipos activos	1.0				#

**Tabla 72**

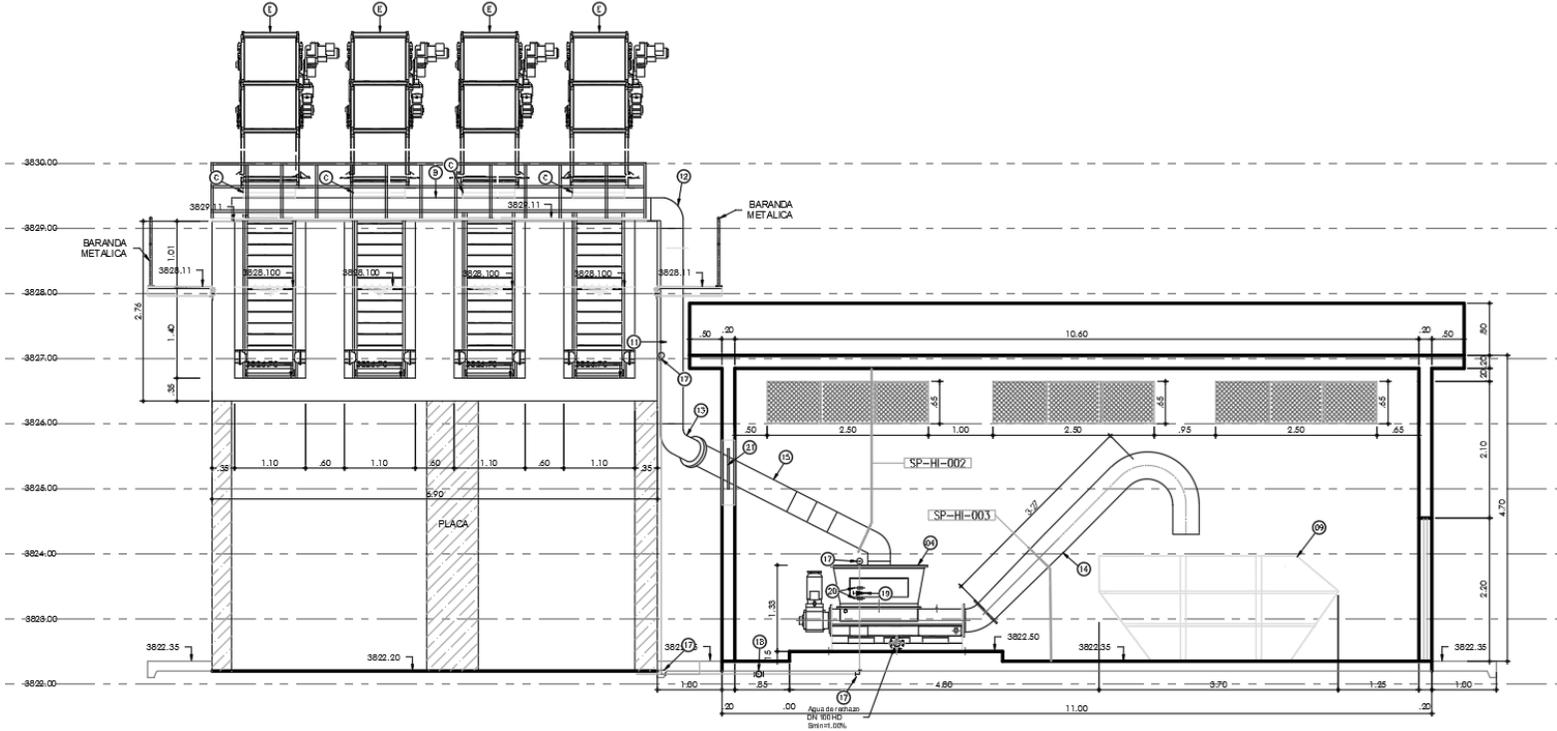
*Capacidad del compactador y lavador de residuos adoptado, rejas de 6 mm - PTAR Juliaca*

<b>Compactación de los residuos</b>	<b>Unidades</b>	<b>Año 0</b>	<b>Año 12</b>	<b>Año 18</b>	<b>Año 24</b>
Tipo de compactador adoptado		Prensa con lavado de los residuos			
Grado de compactación		50%-70%			
Capacidad adoptada para el equipo	L/h	1000.0			
Horas de funcionamiento diario	h/d	2.6	3.4	3.9	4.4
Volumen diario de residuo de entrada	L/d	2575.3	3426.2	3883.7	4354.6
Volumen diario de residuo compactado	L/d	1,287.6	1,713.1	1,941.8	2,177.3
Numero de equipos adoptado	#	1.0			
Numero de equipos activos	#	1.0			

Los equipos seleccionados funcionarán en condiciones de caudal medio entre 1 y 4.4 horas por día, y en condiciones de caudal pico podría llegar hasta 8.21 horas por día dentro del rango de horas funcionamiento recomendado por el fabricante.

Figura 33

Compactador lavador de sólidos - vista de corte, PTAR Juliaca



### 3.3.4.2 Arenas

#### 3.3.4.2.1 Generación de arenas

Se estimó un volumen de producción de arenas con un ratio de 80 L/1000 m<sup>3</sup> (Ver Tabla N°14), cabe resaltar que el valor adoptado es superior a lo recomendado para sistemas de alcantarillado separado, esto se fundamenta en que la ciudad de Juliaca se sitúa en un nivel intermedio con precipitaciones medias de 625 mm, asimismo, se ha tomado en consideración que en la práctica las aguas de lluvias ingresan al sistema de alcantarillado y en efecto las aguas de lluvias transportan una mayor cantidad de arenas que llegarán a la nueva planta de tratamiento.

**Tabla 73**

*Generación de arenas en los desarenadores - PTAR Juliaca*

<b>Producción de arenas</b>	<b>Año 0</b>	<b>Año 12</b>	<b>Año 18</b>	<b>Año 24</b>	<b>Unidades</b>
Producción teórica			80.0		L/1000 m <sup>3</sup>
Volumen diario de arena a extraer	3,433.73	4,568.21	5,178.23	5,806.09	L/d
Densidad aproximada			2.65		kg/l
Peso diario de arena a extraer	9,099.38	12,105.76	13,722.31	15,386.14	kg/d
Concentración de arena estimada			5.00		kg/m <sup>3</sup>
Caudal diario de agua a extraer	1,819.88	2,421.15	2,744.46	3,077.23	m <sup>3</sup> /d
Caudal horario de agua a extraer	75.83	100.88	114.35	128.22	m <sup>3</sup> /h
Caudal máximo horario estimado	168.45	224.10	254.03	284.83	m <sup>3</sup> /h

#### 3.3.4.2.2 Clasificación y lavado de arenas

Se instalarán tres (03) clasificadores de arenas con sistema de lavado integrado de 90 m<sup>3</sup>/h de capacidad. La arena y el agua extraídas en cada línea del desarenador serán impulsadas al equipo clasificador y lavador de arena, mediante una tubería de DN 150 mm. En este equipo la arena es clasificada y al mismo tiempo tratado, teniendo en cuenta la diferencia en la densidad de componentes minerales y orgánicos de las aguas residuales

El flujo está definido y es previsible en este equipo, debido al efecto Coanda que asegura la eficiencia de separación de la arena. Se denomina efecto Coanda, cuando el

fluido, tiende a seguir una superficie curva, siempre y cuando la curvatura o superficie con el fluido no son muy pronunciadas. Los sólidos contenidos en el flujo (partículas de arena, materia orgánica) se separan debido a la desviación sufrida junto con la reducción de la velocidad del flujo, dependiendo de la velocidad de sedimentación de cada partícula, y se irá precipitándose al fondo del tanque

La arena separada deber ser lavada, con lo que la materia orgánica adherida a la parte mineral se separa. Esto se lleva a cabo en la parte inferior del lavador de arenas, donde se genera la cama de arena fluidificada. El agua de lavado alimenta por una cámara inferior separada del tanque por una placa de chapa perforada y un diafragma de goma perforado. El agua de lavado fluye hacia arriba a través del diafragma y se distribuye uniformemente por la parte inferior del tanque generando de este modo la cama de arena fluidizada. En el interior de la cama fluidizada las partículas de arenas van achicando unas contra otras separándose así la materia orgánica de sus superficies. Este proceso se ayuda del efecto producido por un agitador central que mantiene las partículas en movimiento.

Después de separar la materia orgánica, la arena limpia se extrae mediante un tornillo clasificador, se deshidrata estáticamente y se descarga al interior de un contenedor. Los rodajes del motor y la parte más baja de la caja del equipo son libres de mantenimiento.

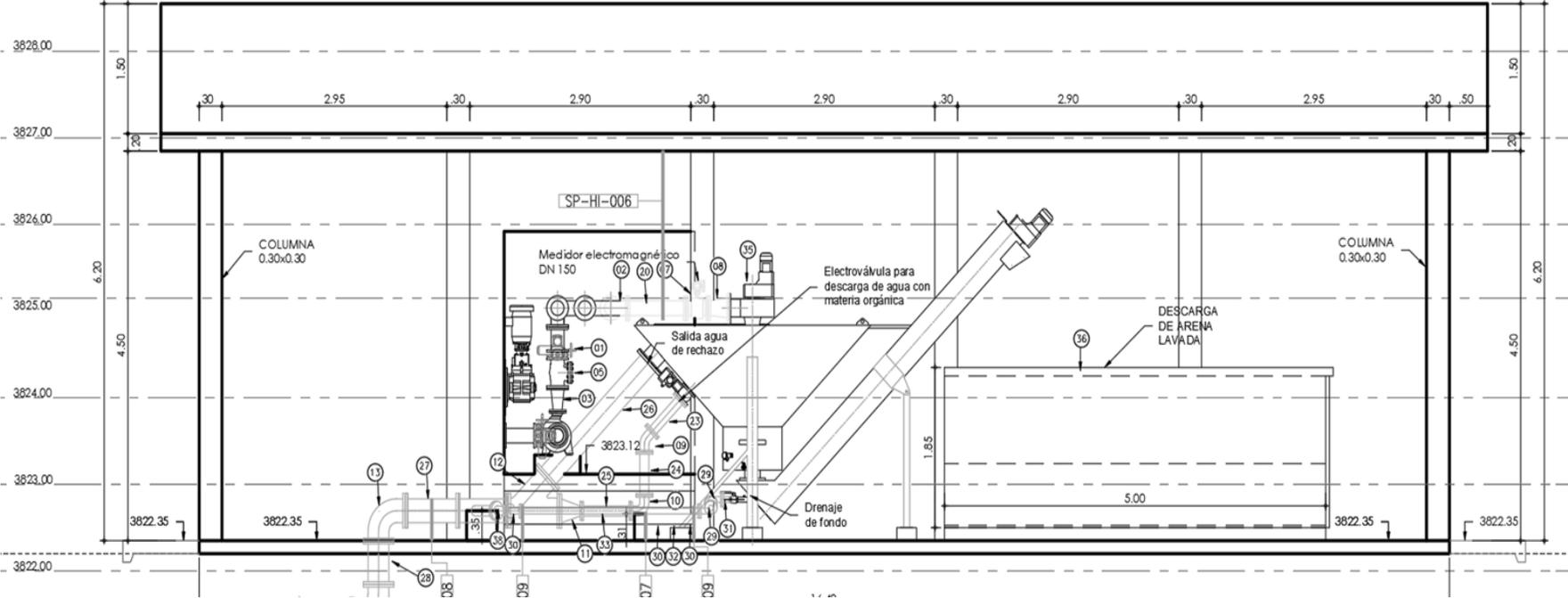
**Tabla 74**

*Capacidad de clasificador y lavador de arenas adoptado - PTAR Juliaca*

<b>Clasificadores de arena</b>	<b>Año 0</b>	<b>Año 12</b>	<b>Año 18</b>	<b>Año 24</b>	<b>Unidades</b>
Número de clasificadores de arena totales			3.0		#
Número de clasificadores de arena en operación			3.0		#
Número de equipos en operación	3.0	3.0	3.0	3.0	#
Capacidad por equipo			16-25		L/s
Capacidad adoptada por equipo			90.0		m <sup>3</sup> /h
Contenido máximo en humedad de la arena lavada			30.0%		
Volumen de arena lavada diaria	4.91	6.53	7.40	8.29	m <sup>3</sup> /d

Figura 34

Clasificador de arenas - corte longitudinal, PTAR Juliaca



### 3.3.4.3 Grasas

La producción de grasas fue calculada con base a la concentración de aceites y grasas, del estudio de caracterización.

**Tabla 75**

*Producción de grasas y selección de bombas de grasa PTAR Juliaca*

<u>Producción de grasas</u>	<u>Año 0</u>	<u>Año 12</u>	<u>Año 18</u>	<u>Año 24</u>	<u>Unidades</u>
Concentración de aceites y grasas en el agua		50.0			mg/L
Porcentaje grasas particuladas		70%			%
Rendimiento de eliminación grasas particuladas		70%			%
Peso diario de aceites y grasas a retirar	1,051.58	1,399.01	1,585.83	1,778.11	kg/d
Concentración en el agua de extracción		5.0			kg/m <sup>3</sup>
Caudal diario de agua a extraer	210.32	279.80	317.17	355.62	m <sup>3</sup> /d
Caudal horario de agua a extraer	8.76	11.66	13.22	14.82	m <sup>3</sup> /h
Caudal máximo horario estimado	19.47	25.90	29.36	32.92	m <sup>3</sup> /h
Purga de grasas y flotantes			con bomba		
Caudal flotador de grasas	19.47	25.90	29.36	32.92	m <sup>3</sup> /h

En la siguiente tabla, se estima el cálculo de la capacidad de los contenedores para el almacenamiento de las grasas previo a su disposición final.

**Tabla 76**

*Selección de contenedores de grasas PTAR Juliaca*

<u>Acumulación de grasas concentradas</u>	<u>Año 0</u>	<u>Año 12</u>	<u>Año 18</u>	<u>Año 24</u>	<u>Unidades</u>
Densidad de las grasas		900.0			Kg/m <sup>3</sup>
Producción diaria de grasas concentradas	1.2	1.6	1.8	2.0	m <sup>3</sup> /d
Autonomía requerida de acumulación		2.0			días
Volumen útil necesario de acumulación	2.3	3.1	3.5	4.0	m <sup>3</sup>
Volumen del contenedor adoptado		4.0			m <sup>3</sup>
Número de contenedores adoptados		2.0			#
Autonomía de acumulación resultante	6.8	5.1	4.5	4.0	días

### 3.3.4.4 Lodos

Las fuentes de producción de lodo son las siguientes: (1) sedimentación primaria, lodo primario y (2) sedimentación secundaria, la recirculación de lodo activo (RAS) y purga de lodo en exceso (WAS).

### 3.3.4.4.1 Lodo primario

#### 3.3.4.4.1.1 Producción de lodo primario

La carga de sólidos en los lodos primarios es cuantificada en función al porcentaje de remoción de sólidos adoptada de 66.2% y la carga de sólidos al ingreso de la sedimentación primaria. Al año 24 se estima una producción de lodos de 1188 m<sup>3</sup>/d calculado con concentración de sólidos aproximada en el lodo de 1.18%. Los lodos primarios serán impulsados a un equipo tamiz de lodos “strainpress” y posteriormente a un tanque de mezcla y homogenización por medio de bombas de cavidad progresiva instaladas en seco.

**Tabla 77**

*Producción de lodos primarios - PTAR Juliaca*

<b>Producción de lodos primarios</b>	<b>Año 0</b>	<b>Año 12</b>	<b>Año 18</b>	<b>Año 24</b>	<b>Unidades</b>
Carga de sólidos en la entrada a decantación	13,005	17,302	19,613	21,991	kg/d
Rendimiento adoptado de remoción de sólidos			66.2%		
Carga de sólidos en agua clarificada	4,396	5,848	6,629	7,433	kg/d
Carga de sólidos en lodos primarios	8,609	11,454	12,984	14,558	kg/d
Concentración aproximada lodos primarios	12.3	12.3	12.3	12.3	g/L
Producción diaria de lodos primarios	702.6	934.7	1,059.5	1,188.0	m <sup>3</sup> /d
Caudal horario de lodos purgados	29.3	38.9	44.1	49.5	m <sup>3</sup> /h
Caudal horario punta de lodos purgados (*)	65.0	86.5	98.1	110.0	m <sup>3</sup> /h

El caudal horario punta fue estimado multiplicando el caudal horario (a condición media) por un factor  $r=Q_{max}/Q_p$ , donde  $Q_{max}=1866$  L/s,  $Q_p=840$  L/s.  $r=2.22$ .

#### 3.3.4.4.1.2 Equipo de bombeo

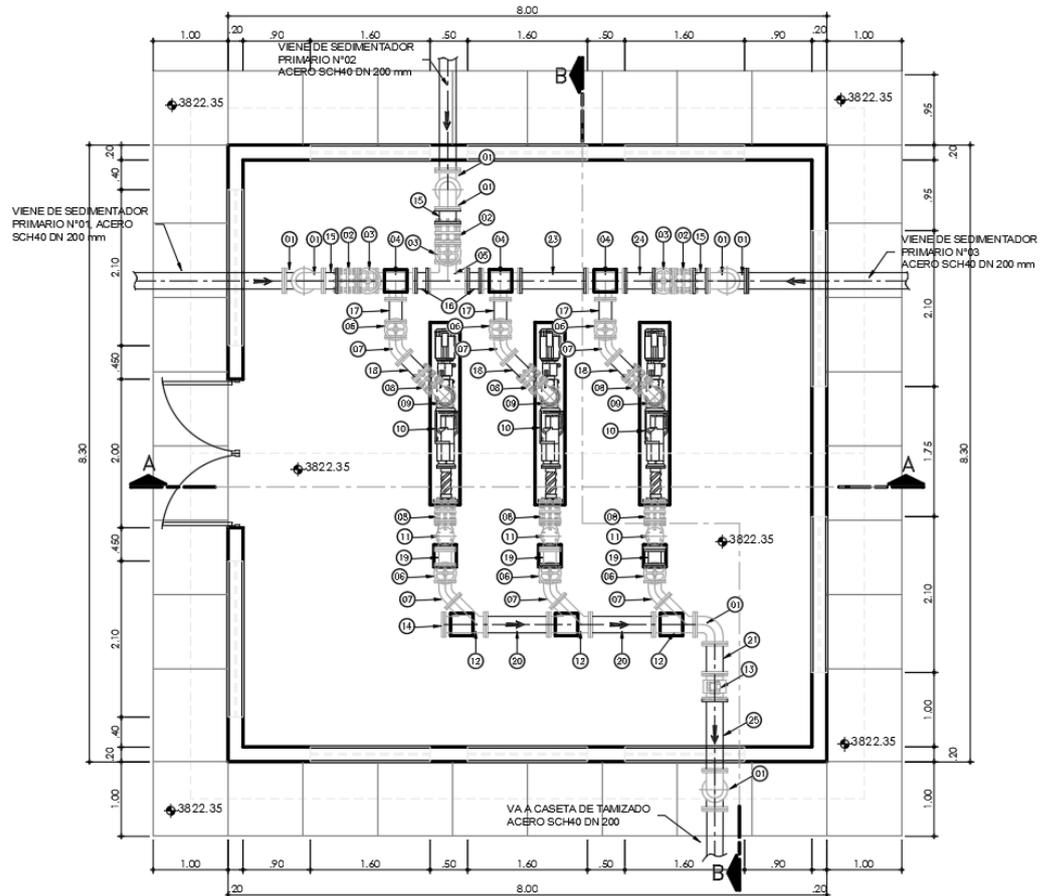
Se utilizarán bombas de cavidad progresiva, son comúnmente utilizadas para el bombeo de fluidos viscosos y pastosos con altos contenido de sólidos. Son ampliamente recomendadas para el bombeo de lodos en plantas de tratamiento.

Fueron seleccionadas tres (03) bombas, dos (02) en operación y una (01) fuera de servicio. Cada bomba con un caudal de 55 m<sup>3</sup>/h  $\leftrightarrow$  15.27 L/s y una altura dinámica total de 11.95 mca.

Las bombas serán instaladas en una caseta sobre el terreno. Las tuberías de succión e impulsión tendrán un diámetro DN200 con velocidades de 0.97 m/s.

**Figura 35**

*Caseta de bombeo de lodo primario - vista de planta, PTAR Juliaca*



3.3.4.4.1.3 Tamizado de lodo primario

Los lodos primarios son aportantes de sólidos molestos, los cuales de no ser removidos provocan obstrucciones en las líneas de lodos, lo que acompleja la explotación de la planta.

Se instalarán dos (02) equipos de tamiz de lodos (uno (01) en operación y uno (01) fuera de servicio). Estos equipos trabajarán a presión hasta una capacidad 90 m<sup>3</sup>/h @4% y 160 m<sup>3</sup>/h @1% y 700 kg/h, los lodos son alimentados e impulsados por bombeo mediante una tubería DN 200 y se inyectan hacia la parte inferior del equipo, el cual ingresa a la zona de tamizado del equipo.

El equipo tiene la forma tubular horizontal que consta de una entrada embridada, una zona de tamizado de 3 mm perforación de malla, zona de prensado de 2 mm de perforación de malla, salida de filtrado también embridada y, finalmente, una zona de descarga con dispositivo neumático de regulación a contrapresión para la descarga de sólidos.

Los sólidos retenidos en la superficie de la malla se retiran mediante un tornillo axial que los transporta hacia la zona de prensado donde se deshidratan y se compactan. El residuo compactado es presionado para que salga a través de la rendija que queda alrededor de un cono neumático que tapona la parte de la descarga del equipo y que lo somete a contrapresión

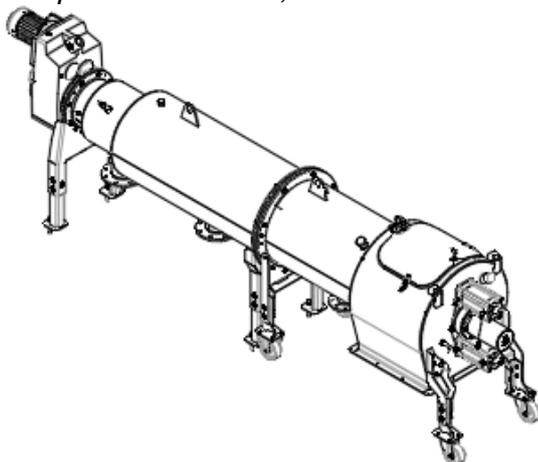
La luz de paso y el diseño de la sección de descarga se configuran individualmente según las necesidades particulares de cada instalación; en el caso de la planta de tratamiento de aguas residuales domesticas para los lodos provenientes de los sedimentadores primarios, se requiere retener todos los sólidos mayores o iguales a 3 mm (principalmente fibras, hilos, pelos, etc.).

El sistema no necesita agua de lavado, ya que el retro lavado de la pantalla es innecesario. La perforación y el diseño de la sección de descarga se ajustan individualmente para adaptarse de forma óptima a los requisitos específicos. La unidad permite efectuar el cribado a presión para cualquier tipo de lodo, incluyendo lodos viscosos y con grasa.

El efluente del tamizado de lodos primarios pasará a presión a un tanque de mezcla y homogenización.

### Figura 36

*Tamiz de lodos primarios- esquema isométrico, PTAR Juliaca*



#### 3.3.4.4.2 Lodo secundario

##### 3.3.4.4.2.1 Recirculación de lodo activo (RAS)

Los lodos depositados en los sedimentadores secundarios serán recirculados a fin de mantener una óptima concentración de sólidos en el licor mezclado. Se adoptó una tasa de recirculación 38.8 % respecto al caudal medio de ingreso al reactor y una tasa de remoción de sólidos en la sedimentación secundaria de 99.8%. Con una concentración de sólidos en los lodos secundarios (RAS+WAS) en el rango de 10838 a 11316 mg/L del año 0 al año 24, lo cual garantiza mantener concentración de sólidos en el licor mezcla 2949 a 3243 mg/L (MLSS). El lodo será retornado a la cámara de ingreso de los tanques de aireación.

En la siguiente tabla, se resume los resultados de la recirculación de lodos activos y la purga de lodos en exceso:

**Tabla 78***Producción de lodos secundarios (RAS+WAS) – PTAR Juliaca*

<b><u>Caudales de ingreso a sedimentación secundaria</u></b>	<b>Año 0</b>	<b>Año 12</b>	<b>Año 18</b>	<b>Año 24</b>	<b>Unidades</b>
Caudal medio de ingreso al reactor	41734	55915	63540	71388	m3/d
Caudal de recirculación de lodo (RAS)	16388.6 5	21701.0 5	24601.1 5	27680.4 5	m3/d
Porcentaje de recirculación medio adoptado	39.3%	38.8%	38.7%	38.8%	%
Caudal de percolados de espesamiento	1608	1758	1803	1833	m3/d
Caudal de percolados de deshidratación	309.36	498.36	585.36	609.36	m3/d
Caudal de cloruro férrico	7.5	9.9	11.2	12.6	m3/d
Caudal ingreso a sedimentación secundaria	60047.1	79882.0	90540.6	101523.5	m3/d
<b><u>Producción de lodos secundarios</u></b>	<b>Año 0</b>	<b>Año 12</b>	<b>Año 18</b>	<b>Año 24</b>	<b>Unidades</b>
Concentración de sólidos al ingreso del reactor	3,102	2,949	3,016	3,243	mg/L
Carga de sólidos en la entrada a decantación	186,288	235,566	273,091	329,215	kg/d
Rendimiento adoptado de remoción de sólidos	99.9%	99.8%	99.8%	99.8%	%
Carga de sólidos en agua clarificada	214	396	526	693	kg/d
Carga de sólidos en lodos secundarios (RAS+WAS)	186,074	235,169	272,565	328,522	kg/d
Concentración aproximada lodos secundarios	10.838	10.296	10.527	11.316	g/L
Carga de sólidos en exceso (WAS)	8453.6	11737.3	13580.3	15277.2	kg/d
Volumen diario de lodos en exceso (WAS)	780.0	1140.0	1290.0	1350.0	m <sup>3</sup> /d
Producción horaria de lodos secundarios (WAS)	32.5	47.5	53.8	56.3	m <sup>3</sup> /h
Caudal de salida de sedimentación secundaria	42,878.4	57,040.9	64,649.5	72,493.1	m <sup>3</sup> /d
Concentración de sólidos en el agua clarificada	5.00	6.95	8.14	9.56	mg/L

**3.3.4.4.2.1.1 Equipo de bombeo (RAS)**

Se instalarán cuatro (04) bombas de cavidad progresiva en seco (3 en operación, 1 en reserva) para el caudal máximo de recirculación 27680.4 m3/d <-> 320.4 L/s. Cada bomba tendrá una capacidad de 106.8 L/s y una altura dinámica total 7.75 mca, las tuberías de succión e impulsión fueron seleccionadas con velocidades en el rango de 0.98 m/s y 1.26 m/s. Cabe resaltar que los cálculos se realizaron considerando que el bombeo de lodos será secuencial, es decir, un sedimentador a la vez, en consecuencia, las tuberías de succión e impulsión tendrán el mismo diámetro DN600. El control de flujo se realizará por medio de válvulas tipo cuchilla y se instalará un medidor electromagnético en línea a la salida de la tubería de impulsión.

#### 3.3.4.4.2.2 Purga de lodo en exceso (WAS)

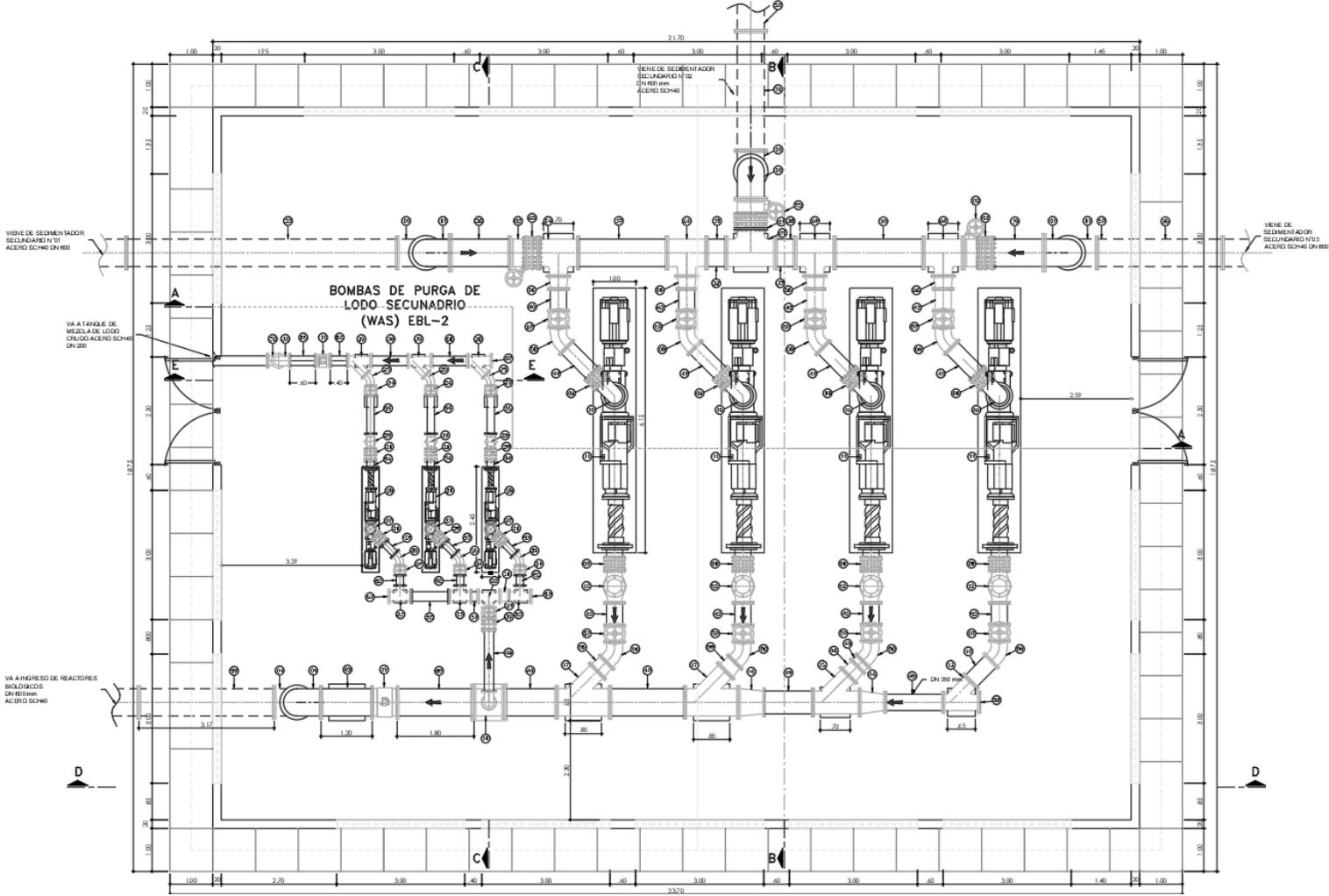
Esta operación permitirá mantener una edad de lodo óptima en los tanques de aireación. La purga de lodo secundario (WAS) se realizará desde la línea de recirculación de lodos (RAS), por tanto, tendrá la misma concentración de sólidos que la del lodo de recirculación y con base a la producción de sólidos se estima el caudal diario de lodos que debe ser purgado que varía en el rango de 780 a 1350 m<sup>3</sup>/d, adicional a esto se le consideró un factor punta de 2.22 a fin de asegurar el funcionamiento del sistema en caso que el caudal punta de ingreso sea sostenido en la planta. El lodo purgado será impulsado hacia un tanque de mezcla y homogenización de lodo crudo.

##### 3.3.4.4.2.2.1 Equipo de bombeo (WAS)

Se instalarán cuatro (03) bombas de cavidad progresiva en seco (2 en operación, 1 en reserva) para el caudal máximo de purga 124.9 m<sup>3</sup>/h <> 34.7 L/s. Cada bomba tendrá una capacidad de 17.3 L/s y una altura dinámica total 12.28 mca, las tuberías de succión e impulsión fueron seleccionadas con velocidades en el rango de 0.98 m/s y 1.10 m/s. Cabe resaltar que la aspiración se realizará desde la línea de impulsión de recirculación de lodos (RAS), por medio de una tubería de succión e impulsión de DN200.

Figura 37

Caseta de bombas de recirculación de lodos (RAS) y purga de lodos (WAS), PTAR Juliaca



### 3.3.4.4.3 Procesos de tratamiento de lodo

#### 3.3.4.4.3.1 Mezcla y homogenización de lodo crudo

Los lodos crudos, lodo primario + lodo secundario en exceso (WAS), serán dispuestos en un tanque de mezcla de 380 m<sup>3</sup> previo a su bombeo a las mesas de espesado.

**Tabla 79**

*Dimensiones de tanque de mezcla de lodo crudo - PTAR Juliaca*

Parámetro	Unidad	Valor
Caudal de lodos	m <sup>3</sup> /d	2538
Concentración de lodos	%	1,1
Volumen	m <sup>3</sup>	380
Tiempo de retención hidráulico	h	3,59
Nivel de líquido	m	5,0
Lado cuadrado	m	8,8

Para impedir la compactación del lodo y mantenerlo homogéneo se dispondrá un agitador hiperbólico, el cual es un sistema de mezcla único que proporciona una excelente homogeneización que trabajará con un valor de gradiente de 125 s<sup>-1</sup> y una densidad de potencia aproximada 15.5 w/m<sup>3</sup>. Como resultado de la mezcla del lodo primario y secundario se obtendrá un lodo mixto que será bombeado a mesas de espesado.

**Tabla 80**

*Caudales de diseño y carga de sólidos del tanque de mezcla de lodo crudo - PTAR Juliaca*

<u>Caudales de diseño</u>	Año 0	Año 12	Año 18	Año 24	Unidades
Caudal diario de lodos primarios crudos	705	936	1,060	1,188	m <sup>3</sup> /d
Caudal diario de lodos secundarios (WAS)	780	1,140	1,290	1,350	m <sup>3</sup> /d
Caudal diario de lodos crudos totales	1,485	2,076	2,350	2,538	m <sup>3</sup> /d
Caudal medio horario lodos totales	61.9	86.5	97.9	105.8	m <sup>3</sup> /h
Caudal punta horario lodos totales	137.4	192.1	217.5	234.9	m <sup>3</sup> /h
<u>Cargas de sólidos</u>	Año 0	Año 12	Año 18	Año 24	Unidades
Carga diaria de lodos primarios crudos	8,609	11,454	12,984	14,558	kg/d
Carga diaria de lodos secundarios (WAS)	8,454	11,737	13,580	15,277	kg/d
Carga diaria de lodos crudos totales	17,063	23,191	26,564	29,835	kg/d
Carga diaria de lodos crudos volátiles	12,590	17,309	19,938	22,429	kg/d
Concentración lodos mixtos	11.5	11.2	11.3	11.8	Kg/m <sup>3</sup>
Porcentaje de materia volátil lodos mixtos	73.8%	74.6%	75.1%	75.2%	



#### 3.3.4.4.3.1 Equipo de bombeo

El lodo mixto será impulsado a las mesas de espesado por medio de cuatro (04) bombas de cavidad progresiva (3 en operación, 1 en reserva) con capacidad de 9.79 L/s y altura dinámica total de 9.52 mca. Las tuberías de succión e impulsión serán de DN100 con velocidades aproximadas de 1.25 m/s.

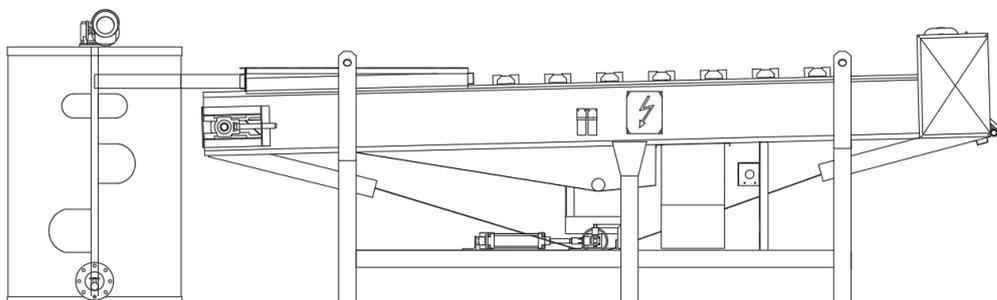
#### 3.3.4.4.3.2 Espesamiento de lodo

##### 3.3.4.4.3.2.1 Mesas de espesado

El espesamiento se efectuará en cuatro (04) espesadores de banda, 3 en operación y 1 en reserva, para alcanzar de 4 a 5% de concentración de sólidos en el lodo espesado. Cada mesa de espesado tendrá una capacidad 650 kg/m/h y una carga hidráulica por metro de 43.3 m<sup>3</sup>/m/h, con un porcentaje de captación de sólidos 99.8% y un ancho de banda de 1.5 m. Bajo estas condiciones las mesas de espesado trabajarán entre 7.6 h/d a 13 h/d. Las mesas espesadoras estarán instaladas sobre una plataforma de concreto reforzado dentro de un edificio provisto de sistema de izaje y rieles para la implantación de los equipos. Asimismo, se instalará un sistema de ventilación mecánico provisto de campanas de extracción de aire ubicados en los laterales de cada mesa de espesado, de esta manera los malos olores serán conducidos a un filtro de olores de carbón activado.

#### Figura 39

Mesas de espesado - corte longitudinal, PTAR Juliaca



**Tabla 81***Dimensiones de las mesas espesadoras - PTAR Juliaca*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>	<b>Año 0</b>	<b>Año 12</b>	<b>Año 18</b>	<b>Año 24</b>
Caudal horario de lodos	m <sup>3</sup> /h	61.8	86.4	97.9	105.8
Peso horario de lodos a espesar	kg/h	711.0	966.3	1,106.8	1,243.1
Ancho de banda total necesaria	m	1.1	1.5	1.7	1.9
Número de mesas en operación adoptadas	#	3	3	3	3
Ancho de banda necesario por filtro	m	0.4	0.5	0.6	0.6
Ancho de banda adoptado por filtro	m	1.5	1.5	1.5	1.5
Caudal de tratamiento por mesa espesadora	m <sup>3</sup> /h	20.6	28.8	32.6	35.3
Carga hidráulica resultante	m/h	13.7	19.2	21.8	23.5
Carga másica resultante	Kg/m/h	158.0	214.7	246.0	276.2
<b><u>Condiciones de operación</u></b>	<b>Unidades</b>	<b>Año 0</b>	<b>Año 12</b>	<b>Año 18</b>	<b>Año 24</b>
Caudal diario de lodos totales	m <sup>3</sup> /d	1482.6	2074.7	2349.5	2538.0
Número de mesas en operación	#	3	3	3	3
Caudal de tratamiento adoptado por mesa	m <sup>3</sup> /h	65.0	65.0	65.0	65.0
Caudal máximo de tratamiento por mesa	m <sup>3</sup> /h	65.0	65.0	65.0	65.0
Tiempo de operación a caudal máximo	h/d	7.6	10.6	12.0	13.0
Caudal diario de lodo espesado	m <sup>3</sup> /d	360.0	570.0	675.0	705.0
Caudal diario de agua escurrida	m <sup>3</sup> /d	1,122.6	1,504.7	1,674.5	1,833.0
Carga másica diaria de lodo espesado	Kg/d	17,029.0	23,144.9	26,510.7	29,775.3
Carga másica diaria de agua escurrida	Kg/d	34.1	46.4	53.1	59.7
Concentración de sólidos en el lodo espesado	kg/m <sup>3</sup>	47.3	40.6	39.3	42.2

Finalmente, el lodo espesado será conducido por gravedad a un tanque de mezcla. Asimismo, el líquido filtrado o percolado de la mesa espesadora será recolectado en una cámara de bombeo de filtrados.

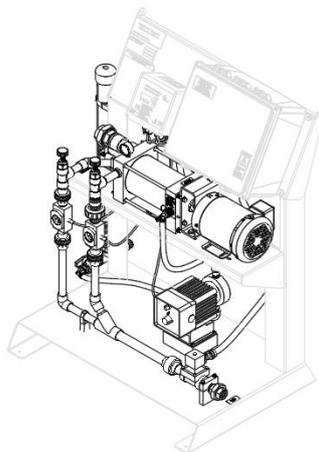
#### 3.3.4.4.3.2.2 Dosificación de polielectrolito

Previo al espesado se dosificará polímero catiónico para facilitar la floculación de lodo con una dosis media de 2 kg/Ton y dosis máxima de 4 kg/Ton por tonelada de sólidos secos. El producto puro utilizado será del tipo emulsión al 30% de concentración en emulsión y la dosificación se realizará al 0.5 % diluida. El suministro del producto será por medio de totes de 1000 L, y se dispondrá de un espacio de almacenamiento para 20 totes con una autonomía media de 101 días.

La dosificación se realizará por medio de un equipo de preparación y dosificación automático de 11 L/h de capacidad de alimentación de polímero del tipo emulsión al 30%. Este equipo cuenta con una primera cámara en donde se realiza la humectación inicial. En esta cámara se incorpora agua y un golpe de energía que permite dispersar la solución. Luego la mezcla ingresa a la cámara de desenrollamiento (“uncoiling”) en donde se logra desenrollar eficientemente el polímero. Finalmente, se hace la dilución ulterior para entregar la solución al 0,5% hasta una capacidad 657.4 L/h.

**Figura 40**

*Dosificador de polielectrolito en solución, PTAR Juliaca*



**Tabla 82**

*Características del polielectrolito catiónico para espesamiento de lodo - PTAR Juliaca*

Estado de suministro	solución dispersión salina o emulsión	
Concentración preparación	0.5%	
Concentración en producto puro	30%	
Forma de suministro	1000	Totes (L)
Consumo diario máximo año 24	394.4	L
Consumo diario medio año 24	197.2	L
Autonomía año 24	60.0	d
Cantidad de envases de producto concentrado a consumo medio	11.8	totes
Cantidad de envases de producto concentrado a consumo máximo	23.7	totes
Cantidad de envases de producto concentrado adoptado en planta	20.0	totes
Autonomía resultante media	101	d

**Tabla 83***Consumo de floculante para el espesamiento de lodo - PTAR Juliaca*

<u>Cálculo de la dosificación de floculante</u>	<u>Unidades</u>	<u>Año 0</u>	<u>Año 12</u>	<u>Año 18</u>	<u>Año 24</u>
Consumo horario medio de producto concentrado	L/h	4.71	6.39	7.32	8.22
Consumo horario máximo de producto concentrado	L/h	9.41	12.78	14.64	16.43
Consumo horario medio de producto diluido	L/h	282	383	439	493
Consumo horario máximo de producto diluido	L/h	565	767	878	986
Consumo horario agua de dilución	L/h	278	377	432	485
Consumo horario máximo agua de dilución	L/h	555	754	864	970

**Tabla 84***Equipos de preparación y dosificación de polímero para espesamiento de lodo - PTAR*

<u>Equipos de preparación y dosificación de polímero</u>			
Número de mesas en operación		3.0	#
Agua de dilución por equipo		323.2	L/h
Polímero en solución por equipo		5.5	L/h
Holgura disponible		50%	%
Capacidad mínima del equipo		11.0	L/h
Capacidad adoptada por equipo alimentación polímero		11.0	L/h
Capacidad adoptada por equipo de producto diluido		657.39	L/h

**3.3.4.4.3.2.3 Percolados de espesamiento**

Los líquidos filtrados o percolados del proceso de espesado (1833 m<sup>3</sup>/d al año 24) serán recolectados de cada mesa espesadora por medio de tuberías y cajas de registro que descargarán en una cámara húmeda circular con tiempo de retención de 13.5 min y 22.97 m<sup>3</sup> de volumen útil (diámetro interior de 4 m y altura útil de 1.828 m), cabe resaltar que a esta cámara también llegarán los percolados de la deshidratación. Luego, serán bombeados a la cámara de ingreso de los tanques de aireación por medio de dos (02) bombas sumergibles de caudal igual a 51.05 L/s y una altura dinámica total de 8.06 mca, manteniendo una (01) bomba en operación y la otra fuera de servicio.

**3.3.4.4.3.3 Mezcla y homogenización de lodo espesado**

Los lodos espesados serán dispuestos en un tanque de mezcla de 304.2 m<sup>3</sup>, previo a su bombeo a los digestores anaerobios, por tanto, la alimentación de lodo a los digestores será continua. Asimismo, para impedir la sedimentación de lodo se instalará un agitador

hiperbólico que trabajará con un valor de gradiente de  $147 \text{ s}^{-1}$  y una densidad de potencia aproximada  $21.6 \text{ w/m}^3$

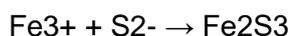
**Tabla 85**

*Dimensiones del tanque de mezcla de lodo espesado - PTAR Juliaca*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Caudal de lodos	$\text{m}^3/\text{d}$	705
Concentración de lodos	%	5,0
Volumen	$\text{m}^3$	300
Tiempo de retención hidráulico	h	10,2
Nivel de líquido	m	2.76
Lado cuadrado	m	10.5

*3.3.4.4.3.1 Dosificación de cloruro férrico*

Se contempla la dosificación de cloruro férrico al lodo a fin de reducir los niveles de ácido sulfhídrico en el biogás convirtiéndolo en sulfuro férrico. La dosificación del cloruro férrico se efectúa en función de la siguiente reacción química.



Se considera por ende el uso de bombas dosificadoras de cloruro férrico  $72 \text{ L/h}$  en arreglo 1+1, para inyectar este producto a la entrada del tanque de mezcla de lodos. A fin de manejar una alta capacidad de reserva en caso de concentraciones puntuales más elevadas se considera bombas de alta capacidad.

La aplicación de cloruro férrico se realizará en el tanque de mezcla de lodo espesado.

*3.3.4.4.3.2 Equipo de bombeo*

Desde el tanque de mezcla de lodo, se utilizarán dos equipos de bombeo con dos (02) bombas de cavidad progresiva cada uno instaladas en seco. Cada equipo de bombeo en arreglo 1+1 impulsará el lodo espesado por medio dos tuberías de impulsión hacia dos (02) digestores anaeróbicos, previo paso por intercambiadores de calor para el calentamiento de lodo.

Las características de los equipos de bombeo para cada línea de impulsión se muestran a continuación:

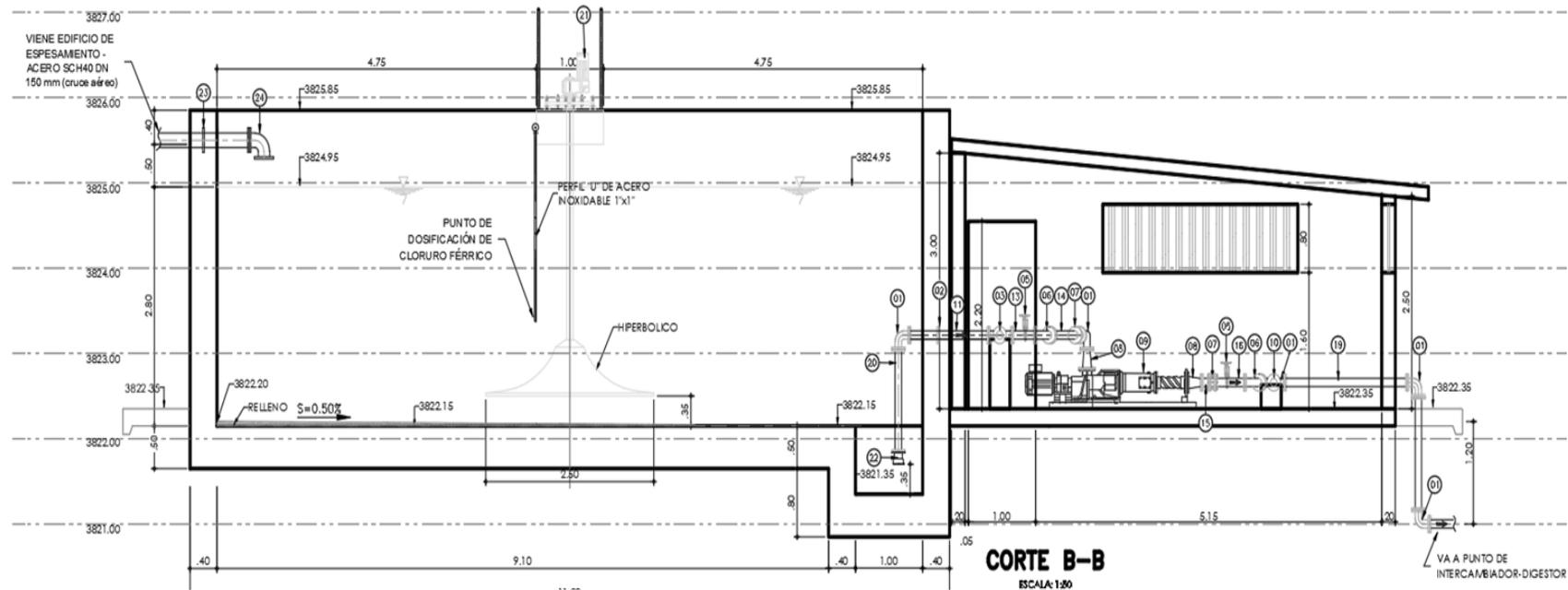
Línea de impulsión 1: Tanque de mezcla de lodo espesado a intercambiador de calor 1 – Digestor 1

El equipo de bombeo seleccionado tendrá capacidad de 4.08 L/s durante 24 horas de operación lo que cubrirá el volumen de producción de lodo espesado de 705 m<sup>3</sup>/d. Estará conformado por 02 bombas de cavidad progresiva de 4.08 L/s y altura dinámica total 18.461 m cada una (1+1) 01 en operación y 01 en reserva.

Línea de impulsión 2: Tanque de mezcla de lodo espesado a intercambiador de calor 2 – Digestor 2.

Figura 41

Tanque de mezcla de lodo espesado - corte longitudinal, PTAR Juliaca



El equipo de bombeo seleccionado tendrá capacidad de 4.08 L/s durante 24 horas de operación lo que cubrirá el volumen de producción de lodo espesado de 705 m<sup>3</sup>/d. Estará conformado por 02 bombas de cavidad progresiva de 4.08 L/s y altura dinámica total 18.660 m cada una (1+1) 01 en operación y 01 en reserva.

#### 3.3.4.4.3.4 Digestión anaerobia de lodo

Debido a la naturaleza del tratamiento secundario, los lodos producidos tienen alto contenido orgánico, por tanto, requieren ser estabilizados de manera que puedan ser dispuestos sin problemas sanitarios ni ambientales. Esta estabilización consistirá fundamentalmente en la reducción de la materia volátil biodegradable del lodo, mediante su degradación en un proceso biológico de respiración endógena en condiciones anaeróbicas, lo que traerá como consecuencias una disminución de la masa del mismo por destrucción de la materia orgánica biodegradable remanente de los procesos de tratamiento de agua.

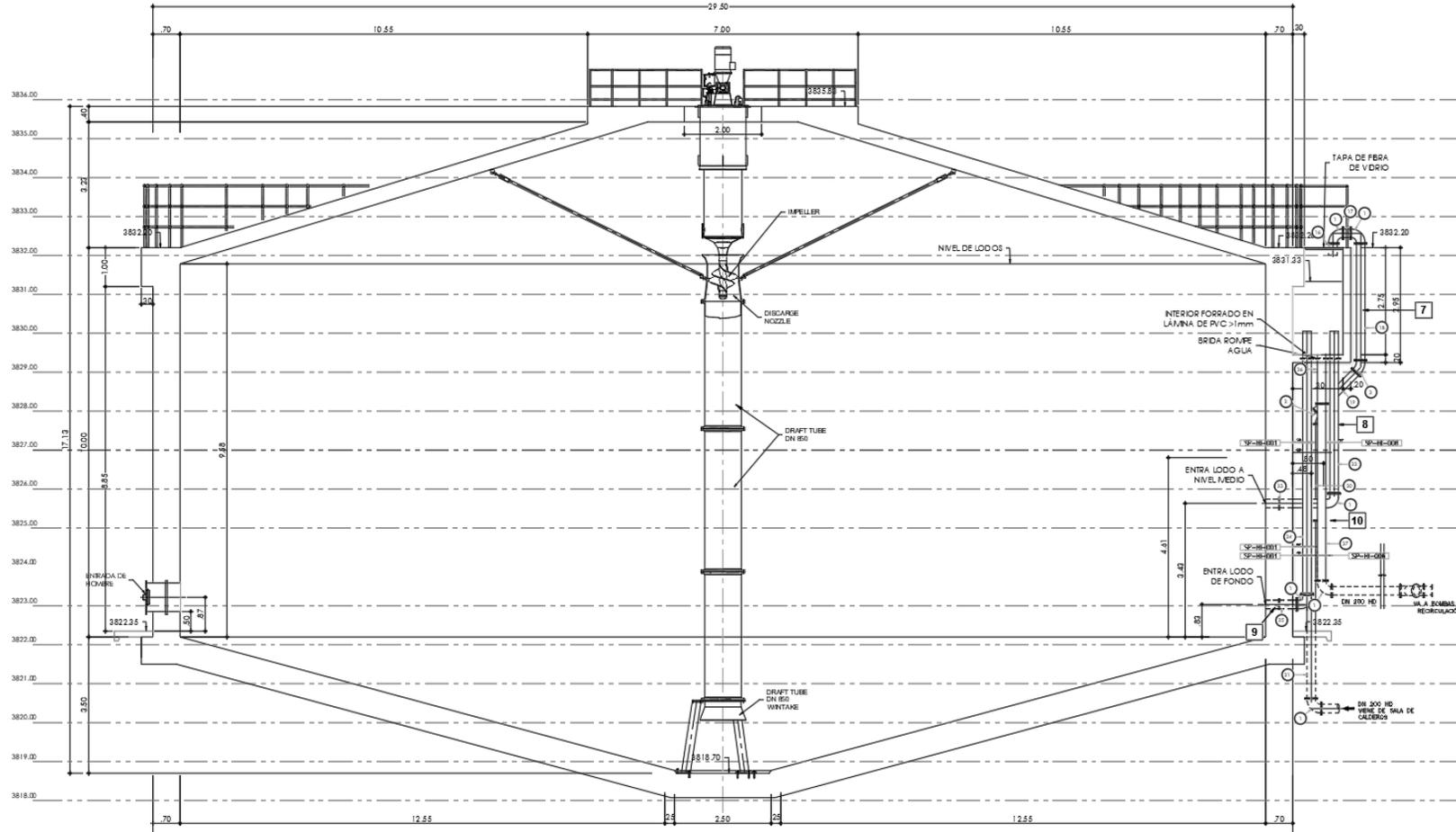
##### 3.3.4.4.3.4.1 *Digestores anaeróbicos de alta tasa*

Se construirán dos (02) tanques de digestión anaeróbica de alta tasa de 7056.5 m<sup>3</sup> de volumen útil con mezclado mecánico y calentamiento de lodo mediante recirculación a fin de mantener una temperatura mesofílica de 37°C en los digestores.

Los digestores diseñados para un tiempo de retención de sólidos (SRT) de 20 días y el caudal de alimentación de lodo de 705.4 m<sup>3</sup>/d proveniente del tanque de mezcla de lodo espesado. Bajo estas consideraciones los digestores anaeróbicos alcanzarán porcentajes de reducción de sólidos volátiles de 54 % a fin de obtener un lodo estabilizado con la relación de SV/ST menor al 60%. Cabe resaltar que el diseño ha sido concebido para realizar la purga de manera continua de todo el caudal de ingreso, es decir, no considera la decantación del sobrenadante, sin embargo, cuenta con un sistema de rebose de emergencia.

Figura 42

Digestor anaeróbico de alta tasa - corte típico, PTAR Juliaca



**Tabla 86***Dimensionamiento de los digestores anaeróbicos - PTAR Juliaca*

Datos de diseño	Unidades	Año 0	Año 12	Año 18	Año 24
Masa de lodos mixtos a espesado	kg/d	17,063	23,191	26,564	29,835
Porcentaje de volátiles lodos mixtos	%	74.3%	75.2%	75.7%	75.8%
Masa de lodos volátiles mixtos	kg/d	2,683	17,449	20,104	22,621
lodos mixtos espesados	m <sup>3</sup> /d	60.00	570.00	675.00	705.00
Concentración de sólidos espesados	%	4.7%	4.1%	3.9%	4.2%
lodos mixtos ingreso a digestión (inc. caudal de cloruro férrico)	m <sup>3</sup> /d	361	571	676	706
Masa de lodos mixtos a digestión	kg/d	16,616	22,694	26,026	29,231
Concentración de sólidos ingreso digestión	%	4.7%	4.0%	3.9%	4.2%

Como resultado de la digestión anaeróbica se obtendrá un lodo digerido con menor concentración de sólidos, asimismo, menor contenido de DQO dado que una fracción se convertirá en biogás con 62% de contenido de metano en el proceso conocido como metanogénesis.

**Tabla 87***Características de los lodos digeridos - PTAR Juliaca*

Características de los lodos digeridos	Unidades	Año 0	Año 12	Año 18	Año 24
Masa sólidos volátiles salida digestores	kg/d	5,834	8,027	9,248	10,406
Masa total salida digestores	kg/d	10,215	13,769	15,708	17,620
Porcentaje volátiles	%	57%	58%	59%	59%
Caudal de lodos digeridos	m <sup>3</sup> /d	360	570	675	705
Concentración lodos digeridos	%	2.83%	2.41%	2.33%	2.50%

**Tabla 88***Geometría de los digestores anaeróbicos - PTAR Juliaca*

Geometría digestores	Unidades	Año 0	Año 12	Año 18	Año 24
Cantidad de digestores	#		2		
Tiempo de retención hidráulico	h		20		
Volumen requerido digestión	m <sup>3</sup>	7,213.02	11,413.02	13,513.02	14,113.02
Volumen requerido digestor	m <sup>3</sup>	3,606.51	5,706.51	6,756.51	7,056.51
Diámetro digestor	m		28.1		
Altura cilíndrica	m		10		
Volumen cilíndrico	m <sup>3</sup>		6202		
Área manto cilíndrico	m <sup>2</sup>		883		

<b>Geometría digestores</b>	<b>Unidades</b>	<b>Año 0</b>	<b>Año 12</b>	<b>Año 18</b>	<b>Año 24</b>
Altura cono superior	m			3.5	
Diámetro cúpula superior	m			2	
Angulo cono superior	°			15	
Generatriz cono superior	m			13.51	
Área cono superior	m <sup>2</sup>			638.78	
Volumen cono superior	m <sup>3</sup>			777.95	
Altura cono inferior	m			3.50	
Diámetro cono inferior	m			2.00	
Angulo cono inferior	°			15.00	
Generatriz cono inferior	m			13.51	
Área cono inferior	m <sup>2</sup>			638.78	
Volumen cono inferior	m <sup>3</sup>			777.95	
Volumen total	m <sup>3</sup>			7757.49	
Volumen cono inferior + cilindro	m <sup>3</sup>			6979.54	
Altura total	m			16.99	

#### 3.3.4.4.3.4.2 Producción de biogás

La producción de biogás es estimada con base a la masa removida de sólidos volátiles multiplicado por una tasa de producción de biogás de 0.80 Nm<sup>3</sup>/kgSSV y el contenido energético con base a la producción de metano y el poder calorífico de 9.96 Kwh/m<sup>3</sup>.

**Tabla 89**

#### *Producción de biogás en los digestores anaeróbicos*

<b>Producción de biogás</b>	<b>Unidades</b>	<b>Año 0</b>	<b>Año 12</b>	<b>Año 18</b>	<b>Año 24</b>
Reducción de volátiles	%	54.00%	54.00%	54.00%	54.00%
Masa removida de sólidos volátiles	kg/d	6,849	9,422	10,856	12,215
Tasa de producción de biogás	Nm <sup>3</sup> /kgSSV	0.80	0.80	0.80	0.80
Producción biogás horaria	Nm <sup>3</sup> /h	229.4	315.7	363.7	409.2
Producción biogás diaria	Nm <sup>3</sup> /d	5,506	7,576	8,728	9,821
Producción biogás anual	Nm <sup>3</sup> /año	2,009,788	2,765,117	3,185,811	3,584,668
Concentración metano en el biogás	%			62%	
Producción de metano	Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /d	3,414	4,697	5,412	6,089
Contenido energético del biogás	MWh/año	12,411	17,075	19,673	22,136

Producción de biogás	Unidades	Año 0	Año 12	Año 18	Año 24
Poder calorífico del metano	Kwh/m3			9.96	

#### 3.3.4.4.3.4.3 Agitación del digestor

A efectos de producir una mezcla completa en el digestor se instalará en cada uno de ellos un agitador de propela con tubo de aspiración (mezclador hidráulico) con variador de frecuencia. Este sistema ha sido debidamente seleccionado por medio de modelación computacional de fluido dinámica realizada por el fabricante de acuerdo a la geometría del digestor y a las especificaciones técnicas de su equipo.

**Tabla 90**

#### *Sistema de agitación de los digestores anaeróbicos - PTAR Juliaca*

Sistema de agitación	Mezclado mecánico con un agitador de propela con tubo de aspiración	
Potencia específica de agitación adoptada	4.5	w/m <sup>3</sup>
Número de digestores anaerobios	2.0	#
Volumen unitario del digestor anaerobio	7,757	m <sup>3</sup>
Potencia de agitación consumida por digestor	35.0	kW
Número de agitadores	1.0	#
Norma motor	ATEX Eexd II T3	
Arranque	Variador de frecuencia	
Diámetro del tubo de aspiración	850.0	mm
Largo tubo de aspiración	12.2	m
Diámetro boca montaje agitador sobre la cúpula	1,300.0	mm
Potencia instalada del motor con derateo por altitud	45.0	kW
Temperatura del biogás	35-38	°C
Caudal de bombeo agitador	5,000.0	m3/h
Presión biogás en el digestor	20.0	mbarg
Sentido de rotación	horario y contra horario, ambos	
Modo de operación	continuo	
Ciclos de mezcla diarios	15.5	#/d
Duración ciclo de mezcla	1.55	h

#### 3.3.4.4.3.4.4 Calefacción de lodos

A fin de mantener una temperatura en el rango mesofílico de 35-38°C, se precisa la instalación de un sistema de calefacción para regular la temperatura de acuerdo a los

requerimientos de calor del lodo de alimentación y las pérdidas de calor en la estructura (áreas de contacto expuestas al ambiente) del digestor. Con esto último, se adopta un caudal de recirculación de lodo requerido que será calentado por medio de intercambiadores de calor (agua caliente/lodo frío) de doble tubo. Los intercambiadores de calor serán alimentados con agua caliente proveniente de calderas

El sistema de calefacción está compuesto por los siguientes equipos:

- Dos (02) bombas de cavidad progresiva para recirculación de lodos  $Q_r=195 \text{ m}^3/\text{h}$  por cada digestor.
- Dos (02) intercambiadores de calor de doble tubo  $Q=Q_r+Q = 227.4 \text{ m}^3/\text{h}$
- Dos (02) calderas de agua caliente

**Tabla 91**

*Coeficientes de calor y temperaturas de operación*

<b>Coeficientes de calor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
Cúpula t tapa (Us)	w/m <sup>2</sup> /°C	1.50
Manto cilíndrico expuesto (Ue)	w/m <sup>2</sup> /°C	2.00
Manto cilíndrico no expuesto (Une)	w/m <sup>2</sup> /°C	0.50
Losa de fondo (Uf)	w/m <sup>2</sup> /°C	0.50
<b>Temperaturas de Operación</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
Temperatura ambiente más baja	°C	-9.60
Temperatura ambiente mensual promedio más baja	°C	5.89
Temperatura ambiente promedio anual	°C	8.51
Temperatura media del suelo	°C	15.00
Temperatura del lodo en el mes más frío	°C	10.00
Temperatura del digestor	°C	37.00

El manto cilíndrico y la cúpula superior (cono superior + losa superior) se encuentran expuestos al aire. Asimismo, el cono inferior y losa inferior se encuentran expuestos al suelo. Por tanto, los requerimientos de calor serán estimados con base a la temperatura a la cual se encuentra expuesta.

**Tabla 92***Áreas de superficie del digestor expuestas al ambiente - PTAR Juliaca*

Superficies en contacto con el ambiente del digestor	Unidad	Cantidad
área manto cilíndrico	m2	882.79
área cono superior	m2	629.03
área losa superior	m2	12.57
área cono inferior	m2	638.78
área losa inferior	m2	3.14

3.3.4.4.3.4.4.1 Requerimientos de calor

**Tabla 93***Requerimientos de calor de lodo de alimentación en digestores - PTAR Juliaca*

Requerimientos de calor alimentación de lodo	Unidad	Cantidad
Caudal de lodos	m3/d	705.36
Peso volumétrico de lodos	kg/m3	1,050.00
Masa de lodos afluente	kg/d	740,628.00
Calor específico del agua	kJ/kg/°C	4.20
Requerimientos de calor total alimentación de lodos, kJ/d	kJ/d	83,987,215.20
Requerimientos de calor total alimentación de lodos, kWh/d	Kwh/d	23,348.45
Requerimientos de calor alimentación de lodo por digestor, kWh/d	Kwh/d/digestor	11,674.22

**Tabla 94***Pérdidas de calor en el digestor y requerimiento total de calor en digestores - PTAR Juliaca*

Pérdidas de calor en el digestor	Unidad	Día más frío	Mes más frío	Promedio Anual
Temperatura ambiente	°C	- 9.60	5.89	8.51
En la cúpula	Kwh/d/digestor	1076.334	718.557	658.042
En el manto expuesto	Kwh/d/digestor	1,974.62	1,318.25	1,207.23
En el manto no expuesto	Kwh/d/digestor	-	-	-
En el fondo	Kwh/d/digestor	169.47	169.47	169.47
Total, perdidas por digestor	Kwh/d/digestor	3,220.42	2,206.27	2,034.74
Total, perdidas	Kwh/d	6,440.84	4,412.55	4,069.48
Requerimientos totales de calor	KWh/d	29,789.29	27,760.99	27,417.93

3.3.4.4.3.4.4.2 Recirculación de lodos

Los requerimientos totales de calor serán cubiertos por la calefacción de lodo de recirculación como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 95***Recirculación de lodos requerida en el digestor - PTAR Juliaca*

<b>Recirculación de lodos por digestor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Día más frío</b>	<b>Mes más frío</b>	<b>Promedio Anual</b>
Máxima demanda de calor por digestor	Kwh/d/digestor	14,894.64	13,880.50	13,708.96
Tiempo de recirculación	h/d	24.00	24.00	24.00
Coeficiente de transferencia de calor	w/°C	1.16	1.16	1.16
$\Delta T$	°C	2.50	2.50	2.50
Caudal sugerido bomba recirculación	m3/h	214.00	199.43	196.97
Caudal adoptado bomba recirculación	m3/h		198	

El caudal adoptado de 198 m3/h cubre la demanda promedio anual. Cada digestor dispondrá de dos (02) bombas de cavidad progresiva de 27.5 L/s cada una y altura dinámica total 18.461 mca.

## 3.3.4.4.3.4.4.3 Calderas de agua caliente

Se dispondrá de dos calderas de agua caliente con quemador dual (petróleo/biogás) que suministrarán los intercambiadores de calor con agua caliente a 90- >81.4°C, esta es seleccionada considerando pérdidas de calor en la conducción del 10% y eficiencia de aprovechamiento de calor de 80%. Con lo que se obtiene la potencia unitaria por caldera.

**Tabla 96***Requerimientos de calor de calentador*

<b>Dimensionamiento de calderas</b>	<b>Unidad</b>	<b>Día más frío</b>	<b>Mes más frío</b>	<b>Promedio Anual</b>
Pérdidas calor en conducción agua caliente	%	10%	10%	10%
Requerimiento de diseño entrega calor por caldera	Kwh/d	32,768.22	30,537.09	30,159.72
Tiempo de operación (en arranque)	h/d	24.00	24.00	24.00
Tiempo de operación (en mantención)	h/d	19.00	19.00	19.00
Eficiencia aprovechamiento de calor	%	80%	80%	80%
Potencia total calderas	Kw	2,155.80	2,009.02	1,984.19
Cantidad de calderas	#	2.00	2.00	2.00
Potencia unitaria caldera	Kw	1,077.90	1,004.51	992.10

#### 3.3.4.4.3.4.4.4 Intercambiadores de calores lodo | agua

Por medio de dos (02) intercambiadores de calor (lodo frio | agua caliente) se realizará la transferencia de calor a lodo de alimentación + el lodo de recirculación de acuerdo los requerimientos de calor totales estimados. A continuación, se muestran los datos de los intercambiadores seleccionados.

**Tabla 97**

*Intercambiadores de calor (lodo|agua) - PTAR Juliaca*

Cantidad	#	2
Tipo de intercambiador de calor		tubos dispuestos concéntricamente
Caudal de lodos desde espesado	m <sup>3</sup> /h	29.4
Caudal de recirculación de lodos	m <sup>3</sup> /h	198
Caudal de ingreso lodos a intercambiador de calor	m <sup>3</sup> /h	227.4
Temperatura salida intercambiador	°C	37.7
ΔT lodos	°C	35,0->37,7
Diámetro línea lodos	DN	250 PN10
Diámetro línea agua enfriamiento	DN	150 PN10
ΔT agua	°C	90->81,4
Pérdida de carga lodos	mbar	57
Pérdida de carga agua	mbar	710
Transferencia de Calor	KW	701
Caudal de agua de enfriamiento	m <sup>3</sup> /h	69.8
Cubierta tubos y estructura		AISI 316
Curvas	°	180
Aislación		PU y lámina aluminio

#### 3.3.4.4.3.5 Mezcla de lodo digerido

Los lodos digeridos serán dispuestos en un tanque de mezcla de previo a su bombeo de 300 m<sup>3</sup>. Asimismo, se instalará un agitador hiperbólico para producir un gradiente de velocidad 147 s<sup>-1</sup>, lograr la mezcla completa e impedir la sedimentación del lodo.

**Tabla 98***Dimensiones del tanque de mezcla de lodo digerido - PTAR Juliaca*

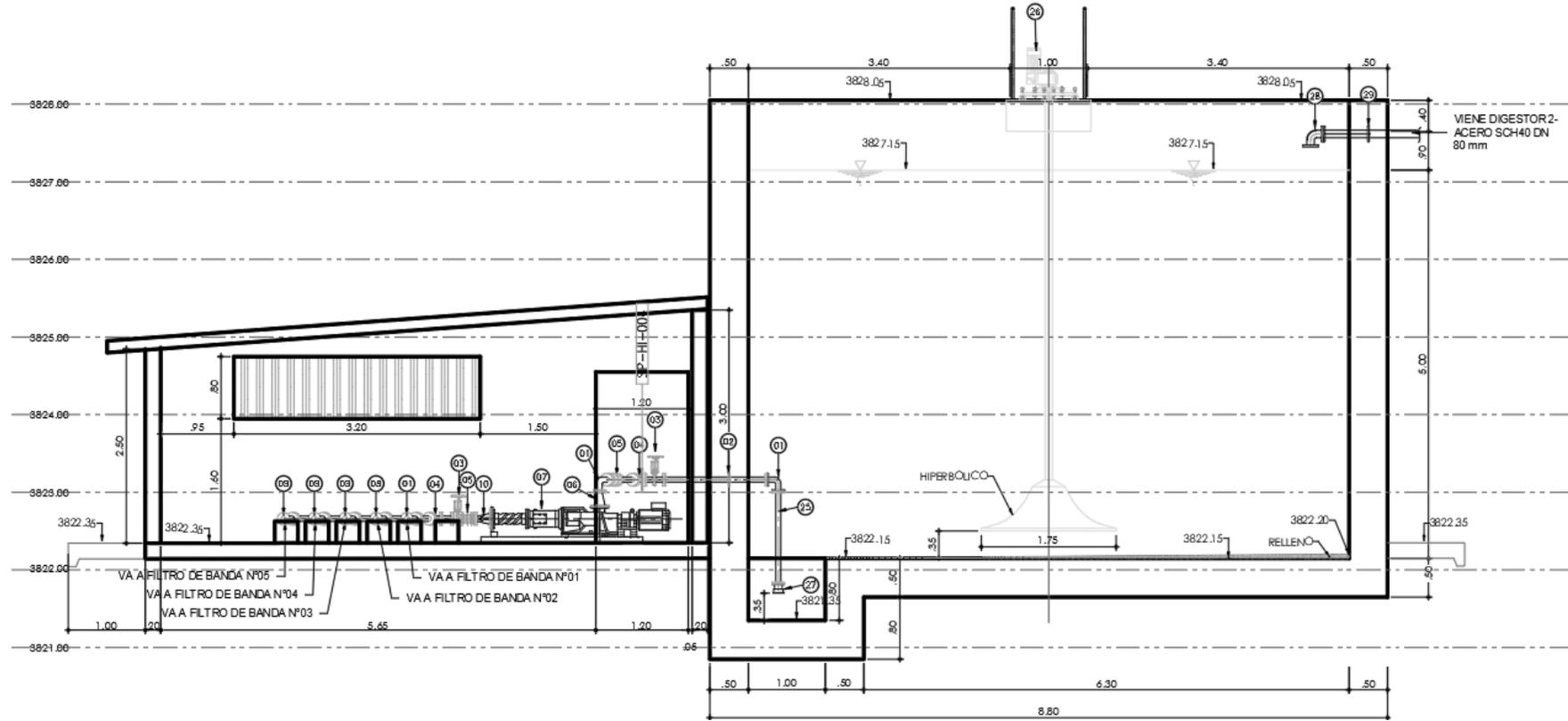
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Caudal de lodos	m <sup>3</sup> /d	705
Concentración de lodos	%	2.6
Volumen	m <sup>3</sup>	300
Tiempo de retención hidráulico	h	10.2
Nivel de líquido	m	5.0
Lado cuadrado	m	7.8

**3.3.4.4.3.5.1 Equipo de bombeo**

El lodo digerido será impulsado a los filtros de banda por medio de cuatro (05) bombas de cavidad progresiva (4 en operación, 1 en reserva) con capacidad de 2.04 L/s y altura dinámica total de 9.52 mca. Las tuberías de succión e impulsión serán de DN50 con velocidades aproximadas de 1.04 m/s

Figura 43

Tanque de mezcla de lodo digerido - corte longitudinal, PTAR Juliaca



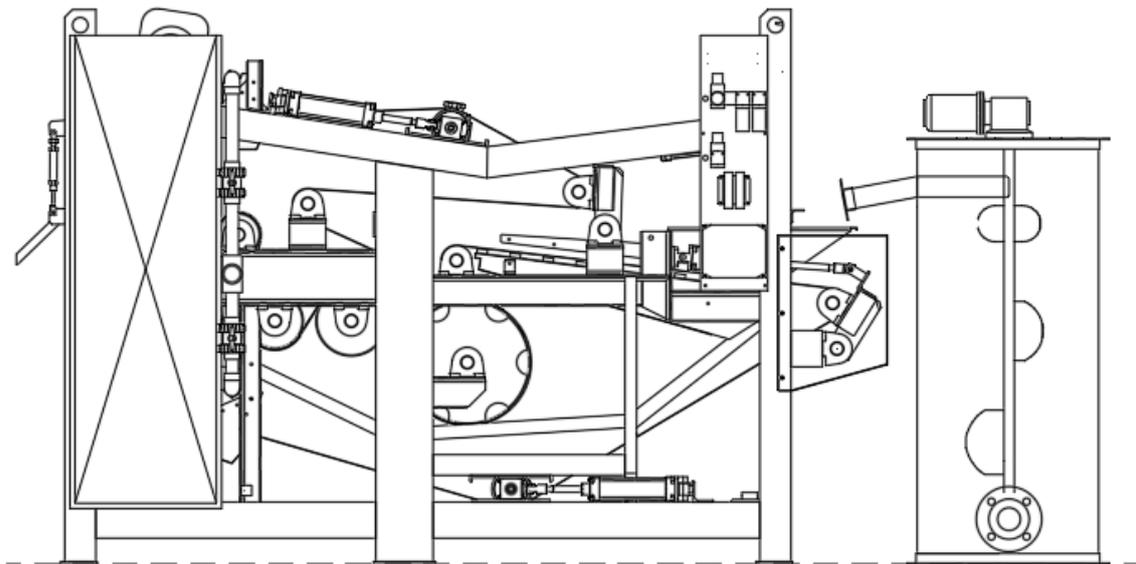
### 3.3.4.4.3.6 Deshidratación de lodo

#### 3.3.4.4.3.6.1 Filtros de banda

La deshidratación se efectuará mediante cinco (05) filtros de banda, 4 en operación y 1 en reserva, para alcanzar de 20-25% de concentración de sólidos en el lodo deshidratado. Cada filtro de banda tendrá una capacidad 355 kg/m/h y una carga hidráulica de 11.02 m<sup>3</sup>/m/h, con un porcentaje de captación de sólidos 99.8% y un ancho de banda de 1.5 m. Bajo estas condiciones los filtros de banda trabajarán entre 6.4 h/d a 12.6 h/d. Los filtros de banda estarán instalados sobre una plataforma de concreto reforzado dentro del mismo edificio donde se encuentran las mesas de espesado. Contará sistema de izaje y rieles para la implantación de los equipos. Asimismo, se instalará un sistema de ventilación mecánico provisto de campanas de extracción de aire ubicados en los laterales de cada mesa de espesado, de esta manera los malos olores serán conducidos a un filtro de olores de carbón activado.

#### **Figura 44**

*Filtro de banda - corte longitudinal, PTAR Juliaca*



**Tabla 99***Dimensionamiento de los filtros de banda - PTAR Juliaca*

<b><u>Dimensionamiento de los filtros banda</u></b>	<b>Unidades</b>	<b>Año 0</b>	<b>Año 12</b>	<b>Año 18</b>	<b>Año 24</b>
Caudal horario de lodos	m <sup>3</sup> /h	15.0	23.8	28.1	29.4
Peso horario de lodos a deshidratar	kg/h	425.6	573.7	654.5	734.2
Ancho de banda total necesaria	m	1.2	1.6	1.8	2.1
Número de filtros en operación adoptadas	#	2.0	3.0	4.0	4.0
Ancho de banda necesario por filtro	m	0.6	0.5	0.5	0.5
Ancho de banda adoptado por filtro	m		1.5		
Caudal de tratamiento por filtro de banda	m <sup>3</sup> /h	7.5	7.9	7.0	7.3
Carga hidráulica resultante	m <sup>3</sup> /m/h	5.0	5.3	4.7	4.9
Carga másica resultante	Kg/m/h	141.9	127.5	109.1	122.4
<b><u>Condiciones de operación</u></b>	<b>Unidades</b>	<b>Año 0</b>	<b>Año 12</b>	<b>Año 18</b>	<b>Año 24</b>
Caudal diario de lodos totales (inc. dosificación polielectrolito)	m <sup>3</sup> /d	360.4	570.4	675.4	705.4
Número de filtros en operación	#	4.0	4.0	4.0	4.0
Caudal de tratamiento por filtro	m <sup>3</sup> /h	7.3	7.3	7.3	7.3
Caudal de tratamiento máximo por filtro	m <sup>3</sup> /h	14.0	14.0	14.0	14.0
Tiempo de operación	h/d	12.3	19.4	23.0	24.0
Tiempo de operación a capacidad máxima del equipo	h/d	6.4	10.2	12.1	12.6
% de captura de sólidos	%	99.8%	99.8%	99.8%	99.8%
Carga másica diaria de lodo deshidratado	Kg/d	10,194.1	13,741.3	15,676.3	17,584.5
Carga másica diaria de agua escurrida	Kg/d	20.4	27.5	31.4	35.2
Concentración de sólidos en el lodo deshidratado	%	20%	20%	20%	20%
Peso específico de lodo		1.04	1.04	1.04	1.04
Caudal de lodo deshidratado	m <sup>3</sup> /d	49.01	66.06	75.37	84.54
Caudal de agua escurrida o percolado	m <sup>3</sup> /d	311.35	504.30	599.99	620.82

**3.3.4.4.3.6.2 Dosificación de polielectrolito**

Previo a la deshidratación de lodos se dosificará polímero catiónico para facilitar la floculación de lodo con una dosis media de 4 kg/Ton y dosis máxima de 8 kg/Ton por tonelada de sólidos secos. El producto puro utilizado será del tipo polvo seco al 100% y la dosificación se realizará al 0.5 % diluida. El suministro del producto será por medio de sacos de 25 Kg, y se dispondrá de un espacio de almacenamiento para 360 sacos dispuestos en 9 pallets, esto último ofrece una autonomía de 63 días al año 24.

**Tabla 100**

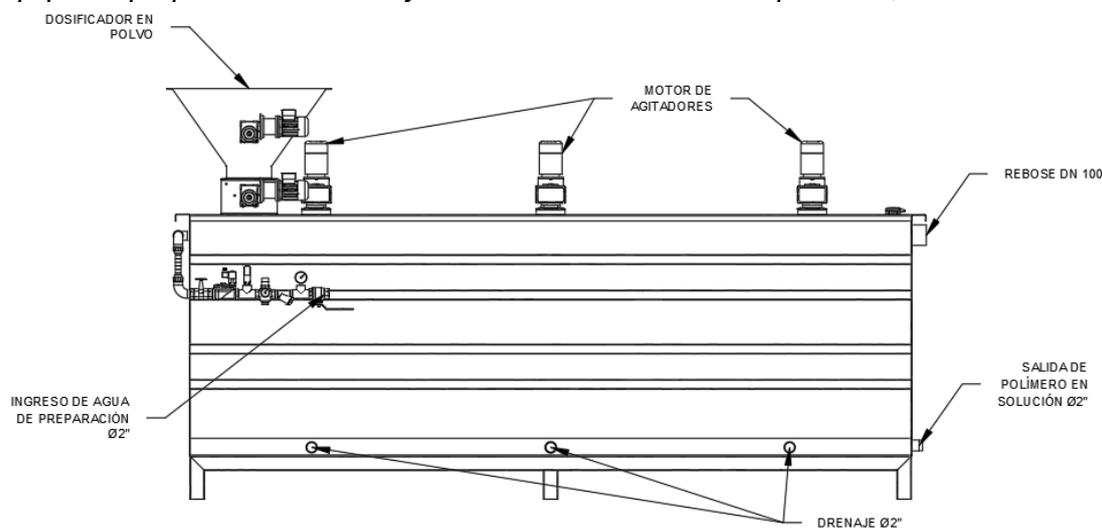
*Características del polielectrolito catiónico para deshidratación de lodo - PTAR Juliaca*

<u>Características del polielectrolito catiónico</u>	<u>Unidades</u>	<u>Año 0</u>	<u>Año 12</u>	<u>Año 18</u>	<u>Año 24</u>
Estado de suministro		polvo			
Concentración preparación		0.5%			
Concentración en producto puro		100%			
Forma de suministro (sacos 25 kg)	kg	25	25	25	25
Consumo diario máximo	kg	81.7	110.2	125.7	141.0
Consumo diario medio	kg	40.9	55.1	62.8	70.5
Autonomía	d	60.0	60.0	60.0	60.0
Cantidad de envases de producto concentrado a consumo medio	sacos	98.1	132.2	150.8	169.1
Cantidad de envases de producto concentrado a consumo máximo	sacos	196.1	264.4	301.6	338.3
Cantidad de envases de producto concentrado por pallet	sacos	40.0	40.0	40.0	40.0
Cantidad de pallet de producto concentrado a consumo medio	pallet	2.5	3.3	3.8	4.2
Cantidad de pallet de producto concentrado a consumo máximo	pallet	4.9	6.6	7.5	8.5
Cantidad de pallets adoptado en planta	pallet	9.0	9.0	9.0	9.0
Autonomía	d	110.1	81.7	71.6	63.8

El producto puro será diluido al 0.5% en un equipo de preparación de 1844 L/h de capacidad (uno (01) en operación, (01) en reserva). Por otra parte, la dosificación se realizará por medio de cinco (05, 4 en operación+1 en reserva) bombas dosificadoras del tipo tornillo excéntrico de 420 L/h de capacidad y 2 bar de altura dinámica

**Figura 45**

*Equipo de preparación en seco y dosificador en solución de polímero, PTAR Juliaca*



**Tabla 101***Dosificación de polielectrolito catiónico para deshidratación de lodos - PTAR Juliaca*

<b>Cálculo de la dosificación de floculante</b>	<b>Unidades</b>	<b>Año 0</b>	<b>Año 12</b>	<b>Año 18</b>	<b>Año 24</b>
Consumo horario medio de producto concentrado	kg/h	1.70	2.29	2.62	2.94
Consumo horario máximo de producto concentrado	kg/h	3.40	4.59	5.24	5.87
Consumo horario medio de producto diluido	L/h	340	459	524	587
Consumo horario máximo de producto diluido	L/h	681	918	1,047	1,175
Consumo horario agua de dilución	L/h	339	457	521	584
Consumo horario máximo agua de dilución	L/h	678	913	1,042	1,169

**3.3.4.4.3.6.3 Percolados de deshidratación**

Los líquidos filtrados o percolados del proceso de deshidratado (620.5 m<sup>3</sup>/d al año 24) serán recolectados de cada filtro de banda por medio de tuberías y cajas de registro que descargarán en una cámara húmeda circular con tiempo de retención de 13.5 min y 22.97 m<sup>3</sup> de volumen útil (diámetro interior de 4 m y altura útil de 1.828 m), cabe resaltar que a esta cámara también llegarán los percolados del espesamiento. Posteriormente, serán bombeados a la cámara de ingreso de los tanques de aireación por medio de dos (02) bombas sumergibles de caudal igual a 51.05 L/s y una altura dinámica total de 8.06 mca, manteniendo una (01) bomba en operación y la otra fuera de servicio. Adicionalmente, a esta cámara llegará el agua de lavado de telas de los filtros de banda y espesadores.

**3.3.5 Línea de gases**

Este apartado comprende la descripción del almacenamiento, tratamiento, quemado y aprovechamiento (cogeneración) de biogás producido en los digestores anaeróbicos.

**3.3.5.1 Almacenamiento de biogás**

El biogás previamente será conducido desde la cúpula de los digestores, por medio de tuberías de polietileno de alta de hacia una trampa de condensados ubicada dentro de

una caseta, desde este punto se contarán con dos tuberías de conducción de gas: (1) hacia los gasómetros (2) hacia el quemador de biogás o antorcha.

El biogás será almacenado en dos (02) gasómetros de doble membrana de 780 m<sup>3</sup> cada uno, para un tiempo de retención de 3.8 horas a caudal medio horario de biogás 409.2 m<sup>3</sup>/h. Posteriormente, el biogás será conducido hacia un sistema de tratamiento compacto.

**Tabla 102**

*Selección de gasómetros - PTAR Juliaca*

<b>Almacenamiento del biogás</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
Cantidad de gasómetros	#	2.0
Tiempo de retención	h	3.8
Presión de trabajo	mbar	35.0
Caudal de ingreso máximo	m <sup>3</sup> /h	800.0
Caudal medio de salida	m <sup>3</sup> /h	409.2
Volumen gasómetro	m <sup>3</sup>	1,555.0
Volumen unitario gasómetro	m <sup>3</sup>	777.5
Volumen adoptado gasómetro	m <sup>3</sup>	780.0
Tiempo efectivo de retención	h	3.8

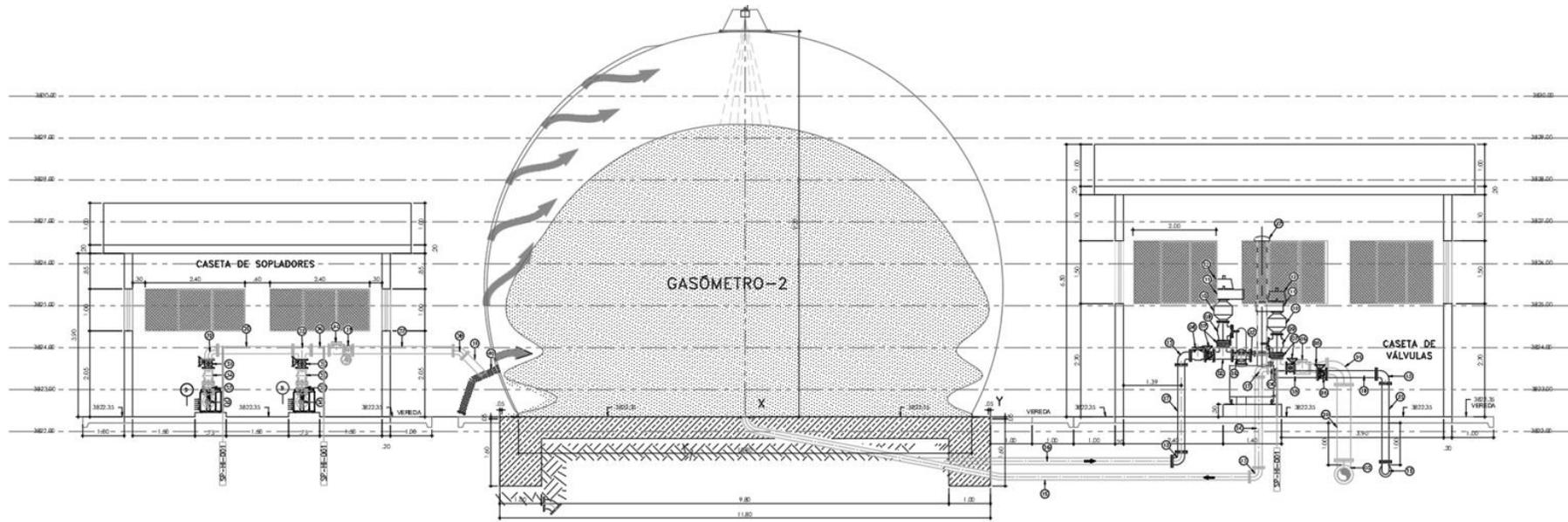
### 3.3.5.2 Quemado de biogás

Se instalará una (01) antorcha de 800 Nm<sup>3</sup>/h para el caudal medio de producción de biogás. El quemador va montado en la parte superior de la antorcha, sobre una pequeña columna, a través de la cual se canaliza el gas.

Las antorchas no requieren una mantención especial. Para limpiar la columna, remover partículas de lodo y condensados se dispone de una línea de lavado y descarga en la base de la columna, Se debe revisar periódicamente el estado de los sellos de válvulas, la limpieza del supresor de llama, el aislante cerámico y los electrodos del piloto del quemador. Cuando la presión de gas en el gasómetro se reduce al mínimo, la alimentación de gas al quemador se cierra automáticamente.

Tabla 103

Gasómetro - corte longitudinal, PTAR Juliaca



### 3.3.5.3 Tratamiento de biogás

Esta etapa persigue la reducción de la humedad relativa del biogás y de siloxanos. Se considera que el nivel de H<sub>2</sub>S estará en niveles bajos con la dosificación de cloruro férrico al lodo previo a su ingreso al digestor. Este sistema de tratamiento incrementará la calidad del biogás producido y alargará la vida de los motores del sistema de cogeneración alimentados con este biogás. El módulo de limpieza garantiza la reducción de tales componentes (vapor de agua, partículas, siloxanos y COV's).

Cabe resaltar que los cálculos y selección del equipo fue realizado por el fabricante del sistema de tratamiento compacto y validado por los ingenieros mecánicos y químicos especialistas en esta etapa.

La línea propuesta para el presente proyecto sería la siguiente:

- Filtros de grava: Retención de espumas e impurezas.
- Sistemas de deshumidificación: Eliminación humedad.
- Filtros de carbón: Eliminación siloxanos y COV's.

**Tabla 104**

#### *Datos de diseño del sistema de purificación de biogás - PTAR Juliaca*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Ingreso biogás</b>	<b>Salida biogás</b>
Caudal de biogás	Nm <sup>3</sup> /h		<480
Número de líneas de secado	#		1
Número de líneas de carbón activado	#		1
Caudal de diseño	Nm <sup>3</sup> /h		409,2
Temperatura del biogás	°C	38	25
Humedad biogás	Kg vapor/h	29,78	4,57
Condensados totales	kg/d		25,2
Densidad del biogás de entrada	Kg/m <sup>3</sup>		1,07
Contenido medio de metano [CH <sub>4</sub> ] al ingreso	% Vol	66	65
[CO <sub>2</sub> ]	% Vol	32,5	32,0
[O <sub>2</sub> ]	% Vol	0,5	0,5
[N <sub>2</sub> ]	% Vol	1,0	0,99
Siloxanos	mg/m <sup>3</sup>	25	0
COV	mg/m <sup>3</sup>	125	NR

### 3.3.5.4 Aprovechamiento de biogás

El biogás tratado será aprovechado de dos formas: 1) para el calentamiento de calderas del digester suministrada por medio de energía térmica de los gases de escape del sistema de cogeneración 2) para cogeneración eléctrica. El análisis de selección de equipo corresponde al contenido energético del biogás en el año 24.

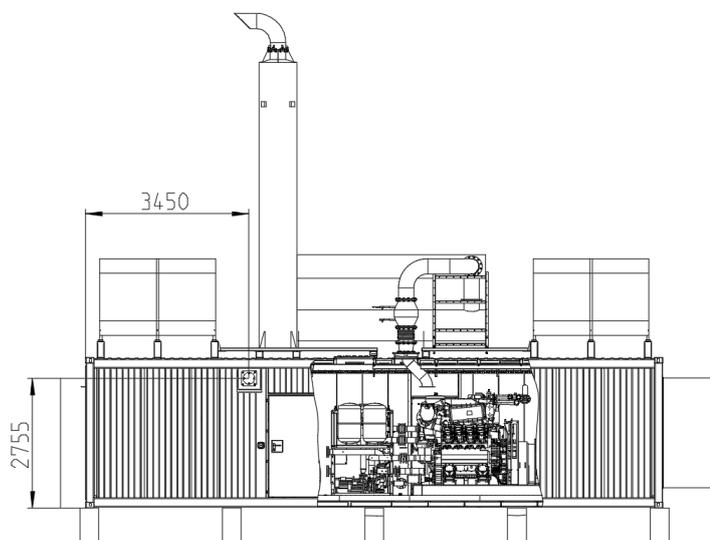
#### 3.3.5.4.1 Aprovechamiento del biogás en cogeneración

El biogás tratado alimentará un sistema de cogeneración eléctrica compuesto por dos (02) grupos electrógenos que utilizan como combustible el biogás, en 60 Hz, 480 VAC. Estos equipos vienen insonorizados y montados en un contenedor de 40 pies<sup>3</sup>, con todos los elementos necesarios para la instalación (plug & play). Cada cogenerador tendrá una potencia seleccionada de 720 kW con una eficiencia eléctrica del 40.2%, eficiencia térmica del 46% y 94% de disponibilidad de uso.

**Tabla 105**

#### *Aprovechamiento del biogás en cogeneración eléctrica - PTAR Juliaca*

<b>En cogeneración</b>	<b>Unidad</b>	<b>Día más frío</b>	<b>Mes más frío</b>	<b>Promedio Anual</b>
Potencia unidad de cogeneración	Kwe	668.39	709.72	716.71
Disponibilidad de uso	%	94.0%	94.0%	94.0%
Eficiencia eléctrica	%	40.2%	40.2%	40.2%
Eficiencia térmica	%	46.0%	46.0%	46.0%
Energía térmica	Kwt	813.65	863.96	872.47
Potencia unitaria	Kwe	668.39	709.72	716.71
Cantidad de generadores	#	2.00	2.00	2.00
Potencia seleccionada	KW	720.00	720.00	720.00
Horas de Operación	h/d	22.28	23.66	23.89
Energía térmica disponible para caldera	Kwt	823.88	823.88	823.88

**Tabla 106***Equipo de cogeneración de energía - esquema, PTAR Juliaca***3.3.5.4.2 Aprovechamiento del biogás en calderas**

La energía térmica generada en los gases de escape (calor residual) del sistema de cogeneración eléctrica será aprovechada por las calderas. Se ha estimado un porcentaje de uso de energía del biogás disponible de hasta el 25.5%, lo que supone un ahorro energético directo de 15467 kWh/d para el día más frío.

**Tabla 107***Cálculo de producción de metano*

<b>Producción de metano</b>	<b>Unidad</b>	<b>Día más frío</b>	<b>Mes más frío</b>	<b>Promedio Anual</b>
Contenido energético del biogás (Año 24)	MWh/año	22,136.29	22,136.29	22,136.29
Poder calorífico del metano	Kwh/m <sup>3</sup>	9.96	9.96	9.96
Energía térmica biogas	Kwh/d	18,196.15	15,571.30	15,127.32
Calor aportado por biogás	Kwh/d	15,466.73	13,235.60	12,858.23
Eficiencia uso biogás caldera	%	85%	85%	85%
Requerimiento de diseño entrega calor por caldera	Kwh/d	32,768.22	30,537.09	30,159.72
Energía disponible en biogás	Kwh/d	60,647.37	60,647.37	60,647.37
Energía disponible en gases de escape cogeneración y camisa	Kwh/d/equipo	17,301.49	17,301.49	17,301.49
Energía disponible en gases de escape cogeneración y camisa	MWh/año	15,494.70	16,452.77	16,614.82
Energía disponible para cogeneración	Kwh/d	42,451.22	45,076.07	45,520.05
% de uso de energía del biogás en caldera	%	25.5%	21.8%	21.2%

### **3.3.6 Control de olores**

El control de malos olores será necesario en las siguientes ubicaciones de la planta de tratamiento:

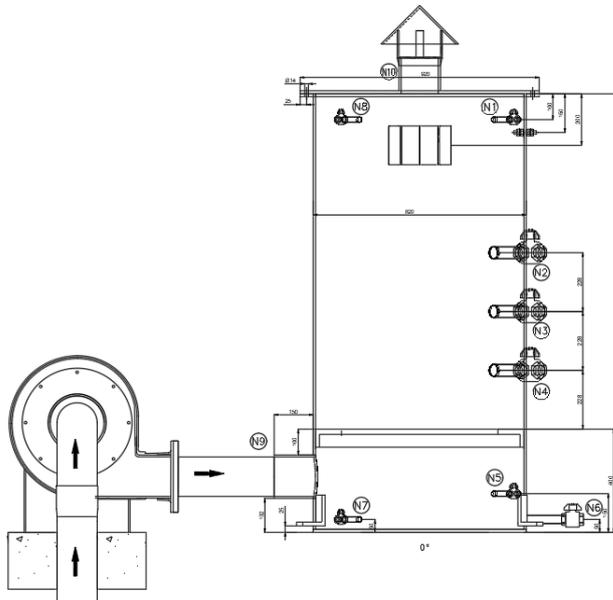
- Pretratamiento: Cámara de ingreso, cámara de rejillas, caja repartidora de caudal a desarenadores, caja repartidora de caudal a sedimentadores primarios.
- Edificio de espesamiento y deshidratación
- Tanques de mezcla de lodo: crudo, espesado y digerido

El sistema está diseñado para remover sulfuros de hidrógeno, mercaptanos y otros olores causados en los componentes proyectados en planta de tratamiento. El equipamiento modular por cada sistema consiste en una columna de adsorción catalítica de carbón activo de flujo ascendente "upflow", dispuesto en un tanque de fibra de vidrio (tanque biofiltro), un filtro separador de gotas, un ventilador centrífugo, tuberías de interconexión de PVC, toma de muestras de manto adsorbente y gases, manómetro diferencial, puesta a tierra, para ser montado sobre una platea de concreto armado.

El aire contaminado con humedad sobresaturada (micro gotas de agua) pasará por el filtro de gotas para eliminar la humedad libre del aire y luego entrará a la columna de adsorción y fluirá a través del lecho de carbón. El carbón activado impregnado catalítico adsorberá los componentes malolientes, continuando el aire tratado su recorrido hacia el venteo final. Una vez adsorbidos los reductores serán oxidados por el oxígeno atmosférico presente en el flujo de aire contaminado. El equipamiento fue seleccionado con base a los requerimientos de calidad de aire desodorizado y a los volúmenes de ventilación, cálculos que fueron realizados por los especialistas en ingeniería mecánica.

**Tabla 108**

*Filtro de control de olores - esquema, PTAR Juliaca*



**Tabla 109**

*Equipamiento de control de olores - PTAR Juliaca*

Etapa	Sistema	Zona de control	Equipamiento
Pretratamiento	Sistema de control de olores N°01	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cámara de ingreso</li> <li>• Cámara de rejillas</li> <li>• Caja repartidora de caudal a desarenadores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 01 tanque biofiltro Ø1100mm, h=2.20 m, capacidad 790 scfm</li> <li>• Carbón activado catalítico</li> <li>• 01 ventilador centrífugo</li> <li>• Válvulas tipo damper Ø6",8"</li> <li>• Tuberías de pvc ds Ø6",8"</li> </ul>
	Sistema de control de olores N°02	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caja repartidora de caudal a sedimentadores primarios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 01 tanque biofiltro Ø1100mm, h=2.20 m, capacidad 790 scfm</li> <li>• Carbón activado catalítico</li> <li>• 01 ventilador centrífugo</li> <li>• Válvulas tipo damper Ø6",8"</li> <li>• Tuberías de pvc ds Ø6",8"</li> </ul>
Edificio de deshidratación	Sistema de control de olores N°03	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Edificio de espesamiento y deshidratación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 01 tanque biofiltro Ø1300mm, h=2.50 m, capacidad 907.9 scfm</li> <li>• Carbón activado catalítico</li> <li>• 01 ventilador centrífugo</li> </ul>

Etapa	Sistema	Zona de control	Equipamiento
			<ul style="list-style-type: none"> <li>Válvulas tipo damper Ø6",8",10"</li> <li>Tuberías de pvc ds Ø6",8",10".</li> </ul>
Cámara de mezcla de lodo crudo	Sistema de control de olores N°04	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tanque de mezcla lodo crudo</li> <li>Tanque de mezcla lodo espesado</li> <li>Tanque de mezcla de lodo digerido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>01 tanque biofiltro Ø1100mm, h=2.20 m, capacidad 789 scfm</li> <li>Carbón activado catalítico</li> <li>01 ventilador centrífugo</li> <li>Válvulas tipo damper Ø6",8"</li> </ul>

### 3.3.7 Edificaciones complementarias

La planta de tratamiento dispondrá de instalaciones complementarias requeridas para la operación, mantenimiento, transporte de personal y vehicular y administración de la misma. En la siguiente tabla, se muestran las edificaciones complementarias:

**Tabla 110**

#### *Edificaciones complementarias - PTAR Juliaca*

Edificación	Descripción
Edificio de administración y laboratorio	<ul style="list-style-type: none"> <li>Oficina personal de operaciones</li> <li>Sala de juntas y capacitación</li> <li>Oficina de control de operación, PLC y jefe de operaciones</li> <li>Oficina de director de operación</li> <li>Oficina gerente de administración</li> <li>Recepción</li> <li>SS.HH mujeres</li> <li>SS.HH hombres</li> <li>SS. HH discapacitados</li> <li>Cuarto de servidores</li> <li>Sala de primeros auxilios</li> <li>Área análisis físico químicos</li> <li>Almacén de reactivos y balanzas</li> <li>Área de análisis bacteriológicos</li> <li>Oficina de jefe de laboratorio</li> <li>Corredor</li> <li>Superficie de jardinería</li> </ul>
Edificio de taller y servicios	<ul style="list-style-type: none"> <li>Oficina de jefe de almacén</li> <li>Almacén general</li> <li>Taller eléctrico/mecánico</li> <li>Comedor</li> <li>Baño de hombres</li> <li>Baño de mujeres</li> <li>Área de lockers</li> <li>Cuarto de limpieza</li> </ul>
Casetas de vigilancia	<ul style="list-style-type: none"> <li>SS. HH hombres</li> <li>Oficina</li> </ul>
Vías de acceso	<ul style="list-style-type: none"> <li>La PTAR dispondrá de una vía principal a lo largo del perímetro y una vía central que divide las instalaciones de la línea de agua y la línea de lodos y gases. Estas a su vez, contarán con desvíos hacia las instalaciones en el</li> </ul>

Edificación	Descripción
	interior de la planta que permitirá el ingreso del personal y de vehículos para el suministro de reactivos, mantenimiento de equipos, recojo de residuos, etc.
Cerco perimétrico	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se dispondrá de un cerco perimétrico con dos accesos para vehículos y peatones.</li> </ul>

### 3.3.7.1 Laboratorio de control de procesos

Estará ubicado dentro del edificio de administración con el fin de monitorear los parámetros operativos de la planta y las condiciones sanitarias del efluente y los lodos producidos en ella, definidas en las normas de aplicación.

**Tabla 111**

#### *Ambientes del laboratorio de control de procesos - PTAR Juliaca*

N°	Sector	Ambientes
1	Análisis físico químicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recepción de muestras</li> <li>Ducha de emergencia y lavajojos</li> <li>Área de análisis físico químicos</li> </ul>
2	Análisis bacteriológicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Área de análisis microbiológicos</li> </ul>
3	Balanzas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Área de pesaje</li> </ul>
4	Almacén y reactivos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Área de almacén y reactivos</li> </ul>
5	Oficina de jefe de laboratorio	<ul style="list-style-type: none"> <li>Área de jefe de laboratorio</li> </ul>

#### 3.3.7.1.1 Parámetros a ser medidos en laboratorio

Para la definición de los grupos de parámetros a medir se tuvo en cuenta el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, aprobado por la Resolución del Ministerio de Vivienda N°273/2013. Además, se tuvo en consideración los procesos y operaciones unitarias de la planta de tratamiento.

**Tabla 112**

#### *Parámetros de control en agua residual y lodo - PTAR Juliaca*

N°	Parámetros en agua residual:	Tipo de análisis
1	pH	Fisicoquímico
2	Temperatura	Fisicoquímico
3	Aceites y grasas	Fisicoquímico
4	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	Fisicoquímico
5	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Fisicoquímico
6	Sólidos suspendidos	Fisicoquímico
7	Sólidos sedimentables	Fisicoquímico
8	Alcalinidad	Fisicoquímico

<b>N°</b>	<b>Parámetros en agua residual:</b>	<b>Tipo de análisis</b>
9	Conductividad	Fisicoquímico
10	Coliformes totales	Bacteriológico
11	Coliformes termotolerantes	Bacteriológico
<b>N°</b>	<b>Parámetros en lodo:</b>	<b>Tipo de análisis</b>
1	Sólidos totales	Fisicoquímico
2	Sólidos volátiles	Fisicoquímico
3	Índice Volumétrico de lodo (IVL)	Fisicoquímico

Adicionalmente, se dispondrá de equipos de prueba de jarras para la determinación de dosis óptima de cloruro férrico en la cámara de mezcla y floculación (línea de agua) y el tanque de mezcla de lodo espesado (línea de lodos). De forma similar, para la determinación de dosis óptima de polímero para el espesamiento y deshidratación de lodos.

#### 3.3.7.1.2 Equipamiento de laboratorio

El laboratorio dispondrá de mobiliario y equipamiento de uso común para los diferentes sectores de trabajo y también de equipamiento específico para realizar las tareas analíticas correspondientes.

- Área de parámetros fisicoquímicos

Para realizar este trabajo, el sector dispondrá de un espacio cerrado provisto de campanas de extracción de humos y lavatorios para descartar muestras. El sector contará con un refrigerador para la preservación de muestras y soluciones que deban mantenerse a baja temperatura.

El equipamiento clave constará de lo siguiente:

- Incubadora para DBO<sub>5</sub>
- Digestores para medición de DQO
- Medidor de oxígeno disuelto
- Equipo de extracción de gases
- Espectrofotómetro
- Estufa 103/105 °C

- Equipo de filtración al vacío 3 posiciones
- Mufla 450°C
- Conductímetro
- Medidor multiparámetro digital
- Medidor de cloro digital
- Equipo de prueba de jarras
- Turbidímetro digital
- Equipo de destilación
- Instrumental y material de vidrio general
- Área de parámetros microbiológicos

En este sector se realizará las determinaciones de coliformes totales y coliformes termotolerantes.

- Incubadora calibrada a 35°C
- Incubadora calibrada a 44.5°C
- Autoclave
- Equipo de extracción de gases flujo laminar
- Instrumental y material de vidrio general
- Áreas de uso común

El laboratorio contará con un sector para la recepción de muestras, área de pesaje o balanzas y área de almacén de reactivos.

### 3.3.7.2 Sistema de pesaje de vehículos de carga

La planta de tratamiento dispondrá de un sistema de pesaje de vehículos pesados con capacidad de carga hasta 54 Tn para el control de cantidades de ingreso y salida de: (1) abastecimiento de reactivos (cloruro férrico, polímero, cloro gas), (2) transporte de lodo deshidratado a disposición final. Estará en la ubicado en la vía principal de acceso frente a

los equipos de cogeneración. El pesaje se realizará utilizando dos básculas (3.7m de ancho x 7.1 m de largo cada una) para vehículos pesados con plataforma de concreto que combina una superficie de rodadura en concreto con una estructura sólida inferior de acero. Este diseño compuesto se basa en las resistencias del concreto y del acero para producir una estructura durable. En los extremos del sistema de básculas se instalarán rampas de acceso sobre los cuales los vehículos rodarán para efectuar el pesaje.

### **3.3.8 Hidráulica de la planta**

El diseño hidráulico de la PTAR Juliaca ha sido concebido para funcionar de forma gravitacional desde la obra de llegada, en la cámara de ingreso, hasta el canal de salida de la cámara de contacto con cloro. Asimismo, de acuerdo a los resultados del levantamiento topográfico realizado en el terreno de la planta, el nivel de terreno fluctúa entre 3822.00 a 3823.00 msnm, en efecto es predominantemente llano, por ende, de acuerdo al análisis de corte y relleno se adoptó una cota de terreno 3822.20 msnm para toda el área de terreno.

#### **3.3.8.1 Línea de agua**

El perfil hidráulico a través de la línea de agua de la planta de tratamiento fue determinado con el caudal máximo considerando el efecto de una unidad de proceso fuera operación, a efectos de establecer los niveles máximos de operación y evitar el desbordamiento de las unidades, de modo de garantizar un borde libre adecuado y el flujo gravitacional en toda la línea de agua. Cabe resaltar que el perfil hidráulico fue elaborado una vez definido los planos de las unidades de tratamiento, el diagrama de procesos, planta de distribución general, vertederos, tuberías, canales y los caudales de diseño.

**Tabla 113**

*Caudales de diseño para el cálculo de perfil hidráulico - PTAR Juliaca*

N	Tramos de interconexión	Caudal de diseño (L/s)	Total	Cond. diseño en operación		Caudal (L/s)	
				En operación	En reserva		
1	Cámara de rejas	Qmax=	1866	4	3	1	622
2	Caja repartidora de caudal a desarenadores	Qmax=	1866	3	2	1	933
3	Desarenadores	Qmax=	1866	3	2	1	933
4	Canal parshall	Qmax=	1866	1	1	0	1866
5	Tramo: canal parshall - sedimentadores primarios	Qmax=	1866	3	2	1	933
6	Tramo: sedimentadores primarios-reactores biológicos	Qmax=	1866	3	2	1	933
7	Bypass de rebose: ingreso reactor biológico-cámara de contacto	Qmax-Qmh=	298.56	1	1	0	298.56
8	Tramo: reactor biológico - cámara de mezcla y floculación	Qmh+Qrec=	1887.8 4	3	2	1	943.92
9	Tramo: cámara de mezcla y floculación - sedimentadores secundarios	Qmh+Qrec=	1887.8 4	3	2	1	943.92
10	Tramo: sedimentadores secundarios-cámara de contacto	Qmh=	1567.4 4	3	2	1	783.72
11	Canal parshall de salida	Qmh+Qbypass =	1866	1	1	0	1866

El perfil hidráulico fue calculado en sentido inverso, tomando como base la ubicación de la cámara de contacto (semienterrada) hacia las unidades de tratamiento previas aguas arriba, siendo los vertederos, puntos de quiebre del perfil hidráulico.

Como resultado del perfil hidráulico, el pelo de agua en la obra de llegada (cámara de ingreso) tendrá una cota de 3828.396 msnm, mientras que el pelo de agua en el canal de salida de la cámara de contacto tendrá una cota de fondo 3820.34 msnm. Por tanto, se producirá una pérdida de carga total de 8.06 metros. Por tanto, el sistema de tratamiento preliminar estará 6.91 metros sobre el nivel de terreno.

### 3.3.8.2 Línea de lodos

Como lo mostrado en el Ítem 6.3.4 Línea de lodos. La conducción de los lodos será por bombeo casi en su totalidad a excepción de dos tramos: 1) la conducción de lodo espesado a tanque de mezcla 2) la conducción de lodo digerido a los tanques de mezcla de lodo digerido.

### 3.3.9 Demanda energética

De acuerdo al cuadro de cargas de todo el equipamiento de la PTAR Juliaca, se estima que tendrá una potencia instalada de 2414.31 kW y una máxima demanda de 2051.87 kW. De lo cual, el proceso de lodos activados (tanques de aireación y sedimentación secundaria) tendrá una máxima demanda de 1413.02 kW (68.8%). En la siguiente tabla se resume la máxima demanda y potencia instalada por línea de tratamiento:

**Tabla 114**

#### *Demanda energética de la PTAR Juliaca*

	<b>Potencia instalada, kW</b>	<b>Máxima demanda, kW</b>	<b>%</b>
Línea de agua	1749.40	1535.13	74.81
Línea de lodos	568.64	442.20	21.55
Línea de gases	72.38	57.64	2.80
Edificios	17.90	13.90	0.84
Total	2414.31	2051.87	100

### 3.3.10 Presupuesto de obra

El presupuesto de obra para la construcción de la PTAR Juliaca asciende a S/. 257,290,354.43 incluyendo IGV del 18%. Del cual, el costo directo hace un total S/. 192,226,636.03 (88.16% del total sin IGV) este monto incluirá las obras provisionales, obras preliminares, obras civiles, obras estructurales, obras hidráulicas, obras mecánicas, obras de piping, obras eléctricas, obras de instrumentación, y obras varias. Y el costo indirecto (11.84% del total sin IGV) la suma de los gastos generales (5.43% del costo directo) S/.10,437,906.34 y la utilidad (8.0% del costo directo) S/. 15,378,130.88.

## **Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados**

En el presente capítulo se hace un análisis y discusión sobre los resultados de los principales diseños realizados de la PTAR Juliaca.

### **4.1 Línea de agua**

#### **4.1.1 Cribado**

El diseño del canal de rejillas está gobernado por criterios hidráulicos entre ellos, la velocidad de aproximación a las rejillas, velocidad entre las rejillas y la pérdida de carga. Según los resultados obtenidos (Tabla 46 y 47) se cumple la velocidad de aproximación en el rango 0,4 a 0,90 (Water Environment Federation, 2010). Sin embargo, las velocidades entre las rejillas con 50% de obstrucción superan el valor recomendado de 1,20 m/s (Water Environment Federation, 2010), alcanzando velocidades de 1,41 m/s en las rejillas de 15 mm y 1,69 m/s en las rejillas de 6 mm. Al respecto, es importante señalar que el caudal máximo *maximorum* 1866 L/s ocurrirá en el año final de diseño en condiciones de simultaneidad de todas las estaciones de bombeo de aguas residuales, por tanto, la mayor parte del tiempo se las rejillas trabajarán con menores velocidades. Por otra parte, es inevitable que se produzcan velocidades menores a las recomendadas durante las noches, para este escenario se ha diseñado las rejillas considerando que con el caudal máximo se produzca por lo menos una velocidad de 0,76 m/s (Water Environment Federation, 2010) que permita la resuspensión de sedimentos. Y en los casos, que no se produzca ese caudal máximo que permita resuspender los sedimentos, será necesario emplear bombas sumidero.

#### **4.1.2 Lodos activados**

El sistema de lodos activados fue diseñado en dos etapas. En la primera etapa, se realizó un cálculo en estado estático considerando la metodología presentada en

(Metcalf&Edyy, 2014). Con el predimensionamiento obtenido se realizó el balance de masas utilizando el software de simulación Biowin. En ambas etapas se utilizó la DQO como parámetro de diseño principal. En el software se consideraron las fracciones de la DQO por defecto que son resultados de análisis de calidad realizados en plantas de Europa y Estados Unidos. Como resultado se obtuvo una edad de lodo baja de 2,9 días, recomendable según (López, 2017) ya que se encuentra en el rango de 1 a 5 días para remoción de DQO únicamente y evitar nitrificación. Esta recomendación difiere con lo mencionado en la norma peruana OS 090 que recomienda edad de lodo entre 5-15 días. Se optó por utilizar la recomendación de (López, 2017) dado que se basa en investigaciones realizadas recientemente en plantas con sistema de lodos activados.

Por otra parte, para el diseño del sistema de aireación se aprovechó el software para realizar la simulación de la optimización del proceso de aireación, dividiendo el volumen total del tanque de aireación en tres partes en forma decreciente, luego se determinaron los requerimientos de oxígeno y aire en cada zona manteniendo la concentración de oxígeno disuelto de 2 mg/L constante en cada tanque. Como resultado se obtuvieron zonas de aireación con una mejor distribución de aireadores de burbuja fina.

Luego de la sedimentación secundaria se espera una concentración de sólidos en suspensión de 10 mg/L, para alcanzar esta concentración de sólidos y mejorar las condiciones de sedimentabilidad del lodo se consideró la dosificación de cloruro férrico en tanques de mezcla y posterior floculación. La dosis calculada se estimó estequiométricamente, sin embargo, se recomienda que sea realizado mediante prueba de jarras.

## **4.2 Línea de sólidos y lodos**

### **4.2.1 Selección de equipamiento**

Todo el equipamiento de los procesos de la línea de lodos fue seleccionado para cubrir la producción de sólidos y lodos de la PTAR (cribados, arenas, grasas y lodos). Sin embargo, no fue parte del trabajo elegir el tipo de tecnología, ya que este fue preseleccionado por el concesionario OPETI S.A. Entendiendo que fue un trabajo previo de OPETI S.A. realizar el análisis técnico económico de todo el equipamiento propuesto.

## **4.3 Línea de gases**

La producción de biogás fue estimada con base a la masa de sólidos suspendidos volátiles removida en los digestores anaeróbicos de alta tasa, multiplicada por una tasa de producción de 0,80 Nm<sup>3</sup>/kgSSV removido tomado de (Qasim, 2018), dando como resultado 9,821 Nm<sup>3</sup>/d de biogás con 62% concentración de metano. Este dato fue el punto de partida para la selección de todo el equipamiento de la línea de gases.

## Conclusiones

1. El diseño propuesto cumplirá con los niveles de servicio (Ítem 6.2.4) exigidos por el contrato de concesión del proyecto PTAR Titicaca.
2. Se alcanzarán altas eficiencias de remoción de DQO (93%) y DBO (98.3%) para las condiciones de diseño del proyecto. Esto ocurrirá siempre que se mantengan los parámetros de operación adecuados como la edad de lodo (SRT), el caudal de purga de lodo en exceso (WAS), el caudal de recirculación de lodo (RAS), índice volumétrico de lodos (IVL), entre otros.
3. La sedimentación primaria combinada con la sedimentación secundaria químicamente asistida con dosificación de cloruro férrico logrará una eficiencia de remoción de SST (97%).
4. En relación a la remoción de nutrientes N y P, se concluye que la eficiencia de remoción de TKN será baja (16%). Se removerá una fracción particulada de nitrógeno durante la sedimentación primaria, y, por otra parte, la nitrificación será prácticamente nula debido a la baja edad de lodo seleccionada (2.9 días). El fósforo total se removerá hasta en un 90%. Un 31% de remoción durante la sedimentación primaria y 85% de remoción en la sedimentación secundaria debido a la adición de cloruro férrico.
5. Dada las condiciones topográficas del terreno, predominantemente llano, se optó por establecer una sola explanación en la planta. Por tanto, luego de realizar el cálculo del perfil hidráulico, la obra de cabecera de la planta de tratamiento fue elevada 6.91 m sobre el terreno. La topografía del terreno también condicionó que la conducción de lodos sea mediante bombeo con excepción de dos tramos: mesas de espesado al tanque de mezcla lodo espesado y digestores al tanque de mezcla lodo digerido.
6. Como consecuencia de la baja edad de lodo (2.9 días), el lodo secundario (WAS) debe ser estabilizado, al igual que, el lodo primario. Para estabilizar los lodos se optó por un sistema de digestión anaeróbica de alta tasa, con recirculación, calefacción de lodos y aprovechamiento de biogás para la cogeneración de energía.

7. La demanda energética de la PTAR será alta (2051.87 kW), de la cual, alrededor del 68.8% (1413.02 kW) será requerido por el equipamiento del proceso de lodos activados.
8. El requerimiento energético de las calderas para la calefacción de lodos será cubierto al 100% por la energía disponible de los gases de escape del cogenerador (17,301.49 kWh/d) y una fracción (25.5%) de la energía disponible del biogás (15,466.73 kWh/d).
9. Mediante el uso de sistema de cogeneración de energía la demanda de energía de la planta de tratamiento se reducirá hasta un 35.10%, valor estimado para el final del periodo de diseño.

## Recomendaciones

1. El programa de simulación Biowin permite definir al usuario las fracciones, coeficientes cinéticos, y coeficientes estequiométricos o usar valores por defecto según la bibliografía especializada. Sin embargo, dichos parámetros deberían ser determinados en laboratorio y mediante ensayos en plantas de tratamiento piloto, para obtener un modelo más ajustado al diseño.
2. Durante el dimensionamiento de las unidades de tratamiento, se recomienda asumir criterios de diseño conservadores y con mediana holgura (Ejm: tasas de sedimentación, tiempos de retención hidráulico, velocidades de paso). Dado que es habitual que ante modificaciones menores de caudales u otros parámetros, el diseño original no implique un redimensionamiento sustancial. Lo que implica mayores tiempos en la elaboración del proyecto.
3. Se recomienda diferenciar claramente dos conceptos clave: 1) el diseño de los procesos y 2) el diseño hidráulico. El primero, implica el dimensionamiento de las unidades de tratamiento. Mientras que en el diseño hidráulico se verifica que la planta de tratamiento tenga la infraestructura hidráulica necesaria para la conducción de agua residual, en condiciones máximas, para que no se produzca desbordamiento y se asegure la carga hidráulica disponible, y, por otra parte, en condiciones mínimas, verificar que se produzcan velocidades adecuadas para evitar la sedimentación en canales y obstrucción de tuberías.
4. La selección y dimensionamiento del equipamiento electromecánico en una PTAR debe ser flexible y adaptable a las diferentes condiciones de operación de la planta. Ejemplo de ello, es el uso de variadores de frecuencia en los sistemas de bombeo y aireación, que permite la graduación de los caudales de bombeo y tasas de aireación para condiciones de bajo caudal por las noches o, por el contrario, caudales punta sostenido.

## Referencias bibliográficas

- GIZ México. (2017). *Guía técnica para el manejo y aprovechamiento de biogás en plantas de tratamiento de aguas residuales*. Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento.
- Lopez, C. (2017). *Tratamiento biológico de aguas residuales: principios, modelación y diseño*. IWA Publishing.
- Rocha, A. (2007). *Hidráulica de tuberías y canales*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Rodríguez, P. (2008). *Hidráulica de canales*.
- Qasim, R. (2018). *Wastewater treatment and reuse: theory and design examples*. CRC Press.
- Ramalho, R. (1990). *Tratamiento de aguas residuales*. Editorial Reverté S.A.
- Turovskiy, I. (2006). *Wastewater sludge processing*. John Wiley & Sons, inc.
- Metcalf&Eddy (2014). *Wastewater engineering: treatment and resource recovery, fifth edition*. McGraw-Hill Education.
- Van Haandel, A. (2012). *Handbook of biological wastewater treatment, second edition*. IWA Publishing.
- Von Sperling, M. (2007). *Activated sludge and aerobic biofilm reactors*. IWA Publishing.
- Water Environment Federation (2005). *Clarifier design: WEF Manual of practice No. FD-8*. McGraw-Hill Professional.
- Water Environment Federation (2010). *Design of municipal wastewater treatment plants ASCE manuals and reports on engineering practice No.76, fifth edition*. McGraw-Hill Education.

## Anexos

Anexo 1: Resumen de presupuesto .....	1
Anexo 2: Diagrama de procesos .....	5
Anexo 3: Perfil hidráulico .....	6
Anexo 4: Planta general de distribución.....	11

**PTAR JULIACA**  
**RESUMEN DE PRESUPUESTO**

<b>01</b>	<b>OBRAS PROVISIONALES</b>	<b>S/ 1,529,029.35</b>
<b>02</b>	<b>OBRAS PRELIMINARES / MOVIMIENTO DE TIERRAS MASIVO</b>	<b>S/ 3,926,204.76</b>
<b>03</b>	<b>OBRAS CIVILES</b>	<b>S/ 103,828,758.20</b>
03.01	MEJORAMIENTO DE SUELO	S/ 40,305,587.20
03.02	ZONA ADMINISTRATIVA, GENERALES Y CASSETAS ELECTRICAS	S/ 3,905,811.09
03.02.01	CASETA DE VIGILANCIA	S/ 70,307.49
03.02.02	EDIFICIO DE ADMINISTRACIÓN Y LABORATORIO	S/ 427,399.36
03.02.03	EDIFICIO DE TALLER Y SERVICIOS	S/ 267,269.41
03.02.04	CUARTO DE TRANSFORMACION, SALAS ELECTRICAS Y GRUPO ELECTROGENO	S/ 1,297,689.69
03.02.05	CERCO PERIMETRICO	S/ 1,784,443.92
03.02.06	BASCULA	S/ 58,701.22
<b>03.03</b>	<b>LINEA DE AGUA</b>	<b>S/ 49,061,859.20</b>
03.03.01	CAMARA DE INGRESO	S/ 160,534.31
03.03.02	CAMARA DE REJAS	S/ 561,204.57
03.03.03	CASETA DE COMPACTADORES DE RESIDUOS SOLIDOS	S/ 180,138.04
03.03.04	CAJA REPARTIDOR DE CAUDAL	S/ 189,113.57
03.03.05	DESARENADOR - DESENGRASADOR	S/ 525,681.10
03.03.06	CANALETA PARSHALL	S/ 383,516.23
03.03.07	CAMARA DE BOMBEO DE AGUA DE RECHAZO CBD-01	S/ 705,366.81
03.03.08	SEDIMENTADOR PRIMARIO	S/ 10,941,615.64
03.03.09	CLASIFICADOR DE ARENAS	S/ 388,061.44
03.03.10	CASETA DE TAMIZADO	S/ 214,855.21
03.03.11	REACTOR BIOLOGICO	S/ 6,452,423.28
03.03.12	CASETA DE SOPLADORES	S/ 344,032.82
03.03.13	CAMARAS DE MEZCLA Y FLOCULACIÓN	S/ 779,195.76
03.03.14	CASETA DE ALMACENAJE DE CLORURO FERRICO	S/ 306,463.47
03.03.15	SEDIMENTADOR SECUNDARIO	S/ 23,582,716.75
03.03.16	SALA DE CLORACIÓN	S/ 686,006.58
03.03.17	CAMARA DE CONTACTO DE CLORO	S/ 1,939,683.25
03.03.18	ESTACION DE BOMBEO DE AGUA TRATADA	S/ 597,883.73
03.03.19	CAMARA DE BOMBEO DE DESAGUE CBD-02	S/ 62,376.54
03.03.20	CISTERNA DE AGUA POTABLE	S/ 60,990.10
<b>03.04</b>	<b>LINEA DE LODOS</b>	<b>S/ 10,555,500.71</b>
03.04.01	CAMARA DE BOMBEO DE NATAS (CBNTP) DE SEDIMENTADORES PRIMARIOS	S/ 78,415.86
03.04.02	BOMBAS DE RECIRCULACION DE LODO PRIMARIO (WAS) EBL-1	S/ 136,324.09
03.04.03	CASETA DE ALMACENAJE DE CLORURO FERRICO - LODO ESPESADO	S/ 160,538.28
03.04.04	LODO CRUDO (CASETA Y TANQUE)	S/ 362,393.66
03.04.05	CAMARA DE BOMBEO DE NATAS (CBNTS) DE SEDIMENTADORES SECUNDARIOS	S/ 68,910.09
03.04.06	BOMBAS DE RECIRCULACION DE LODO SECUNDARIO (RAS) Y BOMBAS DE PURGA DE LODO SECUNDARIO (WAS) EBL-2	S/ 327,198.02
03.04.07	TRATAMIENTO DE BIOGAS 481 N m3/H	S/ 219,622.74
03.04.08	GASOMETROS - CASETA DE SOPLADORES	S/ 85,917.89
03.04.09	GASOMETRO 1	S/ 159,708.41

**PTAR JULIACA**  
**RESUMEN DE PRESUPUESTO**

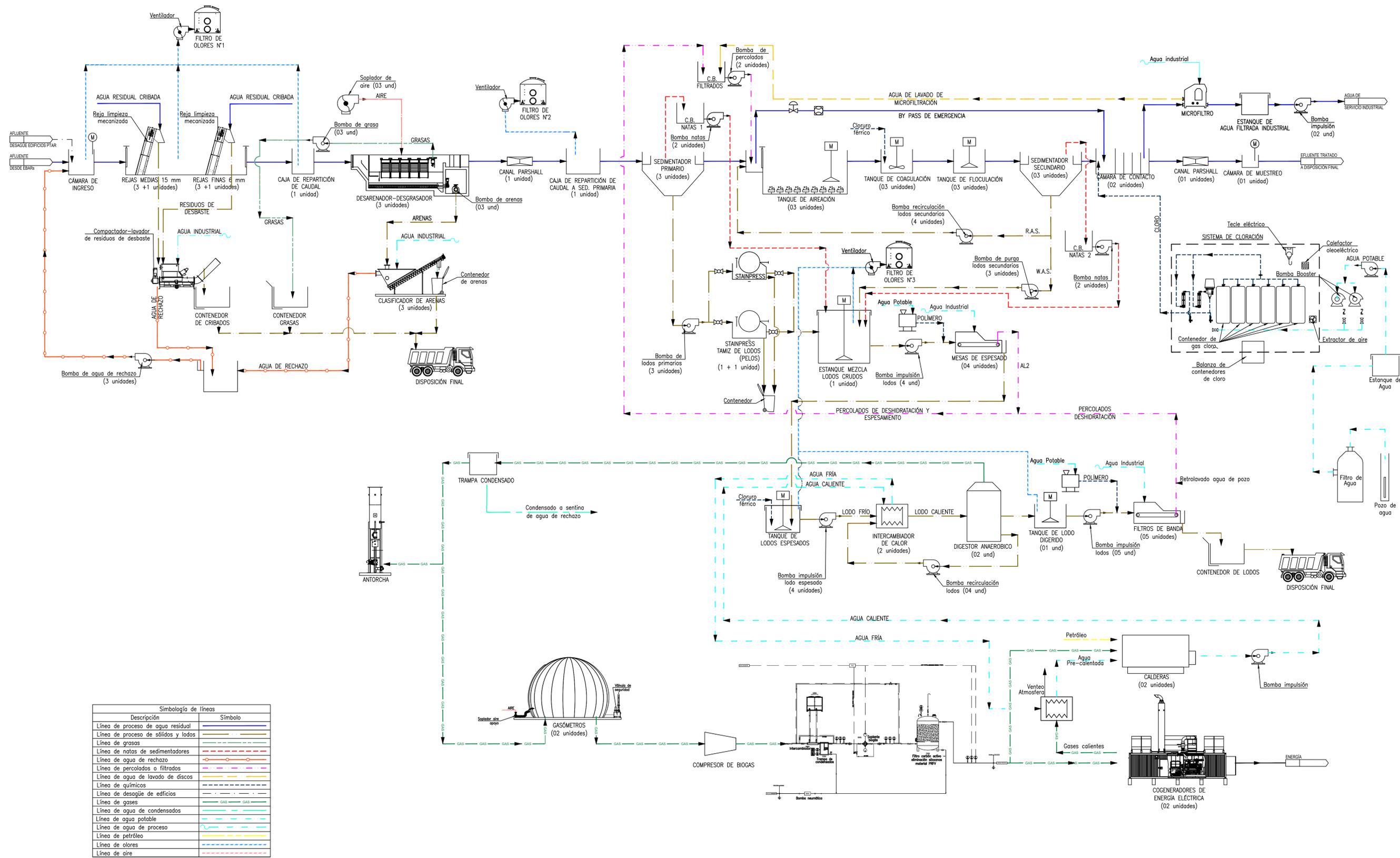
03.04.10	GASOMETRO 2	S/ 159,708.41
03.04.11	GASOMETROS - CASETA DE VALVULAS 1	S/ 89,666.64
03.04.12	GASOMETROS - CASETA DE VALVULAS 2	S/ 89,666.64
03.04.13	CASETA DE TRAMPA DE CONDENSADOS	S/ 105,122.47
03.04.14	BOMBAS DE RECIRCULACION DE LODO EBL-5	S/ 144,680.22
03.04.15	BOMBAS DE RECIRCULACION DE LODO EBL-6	S/ 144,680.22
03.04.16	DIGESTOR ANAEROBIO 1	S/ 2,643,733.39
03.04.17	DIGESTOR ANAEROBIO 2	S/ 2,643,733.39
03.04.18	LODO ESPESADO - CASETA	S/ 73,092.09
03.04.19	LODO ESPESADO - TANQUE	S/ 315,769.29
03.04.20	LODO DIGERIDO - TANQUE	S/ 72,833.21
03.04.21	LODO DIGERIDO - CASETA	S/ 310,985.89
03.04.22	EDIFICIO DE ESPESAMIENTO Y DESHIDRATACIÓN	S/ 1,830,247.70
03.04.23	CAMARA DE BOMBEO DE FILTRADOS - CBL	S/ 112,939.27
03.04.24	ANTORCHA	S/ 1,917.86
03.04.25	LOSA DE COGENERACION	S/ 217,694.98
<b>04</b>	<b>OBRAS ESTRUCTURALES</b>	<b>S/ 210,460.68</b>
04.01	LINEA DE AGUA	S/ 115,241.07
04.02	LINEA DE LODOS	S/ 95,219.61
<b>05</b>	<b>OBRAS MECANICAS</b>	<b>S/ 45,540,401.50</b>
05.01	SUMINISTRO E INSTALACION DE EQUIPAMIENTO MECANICO	S/ 45,540,401.50
05.01.01	CAMARA DE REJAS	S/ 4,832,607.88
05.01.02	DESARENADOR-DESENGRASADOR	S/ 3,103,226.71
05.01.03	CLASIFICADOR DE ARENAS	S/ 1,340,160.05
05.01.04	SEDIMENTADOR PRIMARIO	S/ 5,435,609.87
05.01.05	TANQUE DE LODO CRUDO	S/ 359,616.62
05.01.06	REACTOR BIOLOGICO	S/ 2,571,358.06
05.01.07	CAMARA DE MEZCLA Y FLOCULACION	S/ 847,221.50
05.01.08	SEDIMENTADOR SECUNDARIO	S/ 6,233,482.57
05.01.09	CAMARA DE CONTACTO	S/ 672,324.95
05.01.10	TANQUE DE LODOS ESPESADOS	S/ 249,235.54
05.01.11	EDIFICIO DE CALDERAS	S/ 2,424,733.06
05.01.12	TANQUE DE LODOS DIGERIDOS	S/ 157,500.79
05.01.13	DESHIDRATADO DE LODOS	S/ 1,682,923.75
05.01.14	GASOMETRO	S/ 810,175.88
05.01.15	SISTEMA DE HUMIDIFICACIÓN	S/ 1,756,902.59
05.01.16	SISTEMA DE COGENERACION	S/ 2,556,918.40
05.01.17	ANTORCHA	S/ 176,399.79
05.01.18	CANAL PARSHAL	S/ 291,174.94
05.01.19	REPARTIDOR DE CAUDAL	S/ 76,582.13
05.01.20	CASETA DE COMPACTADORES DE CRIBADOS	S/ 498,297.13
05.01.21	CASETA DE TAMIZADO	S/ 1,320,257.62

**PTAR JULIACA**  
**RESUMEN DE PRESUPUESTO**

05.01.22	ESTACIÓN DE BOMBEO DE LODO PRIMARIO EBL-01	S/ 201,983.30
05.01.23	ESTACIÓN DE BOMBEO DE NATAS PRIMARIO CBN-1	S/ 88,451.96
05.01.24	ESTACIÓN DE BOMBEO DE LODO SECUNDARIO EBL-02	S/ 1,508,739.18
05.01.25	ESTACIÓN DE BOMBEO DE NATAS PRIMARIO CBN-2	S/ 24,703.42
05.01.26	CASETA DE ALMACENAJE DE CLORURO FERRICO	S/ 80,064.15
05.01.27	EDIFICIO DE ESPESAMIENTO Y DESHIDRATACIÓN	S/ 2,539,622.53
05.01.28	CASETA DE ALMACENAJE DE CLORURO FERRICO - LODO ESPESADO	S/ 76,147.02
05.01.29	DIGESTOR ANAEROBICO	S/ 1,185,407.80
05.01.30	ESTACIÓN DE BOMBEO DE LODO DIGERIDO EBL-05	S/ 270,694.28
05.01.31	ESTACIÓN DE BOMBEO DE LODO DIGERIDO EBL-06	S/ 268,718.28
05.01.32	CAMARA DE BOMBEO DE AGUA DE RECHAZO CBD-01	S/ 167,524.02
05.01.33	ESTACIÓN DE BOMBEO DE LODO SECUNDARIO CBF-01	S/ 104,823.61
05.01.34	CÁMARA DE BOMBEO DE DESAGÜE - CBD-02	S/ 24,894.81
05.01.35	PTAR - ESTACIÓN DE BOMBEO DE AGUAS RESIDUALES	S/ 1,476,811.52
<b>06</b>	<b>OBRAS PIPING</b>	<b>S/ 17,864,785.74</b>
06.01	REDES DE INTERCONEXION Y SERVICIOS	S/ 17,682,873.84
06.01.01	REDES DE LA LINEA DE AGUA	S/ 71,483.91
06.01.02	REDES DE LA LINEA DE LODOS	S/ 101,043.01
06.01.03	REDES DE LA LINEA DE RECIRCULACION DE LODOS	S/ 2,240,733.38
06.01.04	RED LINEA DE QUIMICOS	S/ 20,689.98
06.01.05	RED LINEA DE AIRE	S/ 138,147.33
06.01.06	RED LINEA DE GAS	S/ 4,874,215.29
06.01.07	RED DE AGUA DE SERVICIOS	S/ 8,802,353.91
06.01.08	RED CONTRAINCENDIOS	S/ 1,434,207.03
06.02	PIPING DE PROCESO	S/ 181,911.90
06.02.01	CAMARA DE DISTRIBUCION PRIMARIA	S/ 26,621.25
06.02.02	SEDIMENTADOR PRIMARIO	S/ 34,432.65
06.02.03	CAMARA DE NATAS PRIMARIAS CON BOMBAS DE PURGA	S/ 3,602.63
06.02.04	BOMBAS DE PURGA LODOS PRIMARIOS	S/ 7,003.07
06.02.05	REACTOR BIOLOGICO	S/ 2,954.81
06.02.06	COAGULACION Y FLOCULACION	S/ 5,920.39
06.02.07	SEDIMENTADOR SECUNDARIO	S/ 64,603.07
06.02.08	CAMARA DE NATAS SECUNDARIAS CON BOMBAS DE PURGA	S/ 4,635.04
06.02.09	BOMBAS RECIRCULACION DE LODOS	S/ 5,468.40
06.02.10	BOMBAS PURGA DE LODOS SECUNDARIOS	S/ 7,863.11
06.02.11	SALA SISTEMA DE DOSIFICACION DE CLORO	S/ 3,400.92
06.02.12	BOMBAS DE ALIMENTACION A LINEA DE TRATAMIENTO DE LODOS	S/ 7,694.95
06.02.13	INTERCAMBIADOR DE CALOR	S/ 3,740.00
06.02.14	DESHIDRATADO DE LODOS	S/ 2,649.07
06.02.15	SISTEMA DE HUMIDIFICACIÓN	S/ 1,322.54
<b>07</b>	<b>OBRAS ELECTRICAS</b>	<b>S/ 13,282,047.32</b>
07.01	LINEAS ELECTRICAS BAJA TENSION	S/ 3,901,871.07

**PTAR JULIACA**  
**RESUMEN DE PRESUPUESTO**

07.01.01	SALIDAS PARA ALUMBRADO, TOMACORRIENTES, FUERZA Y SEÑALES DEBILES	S/ 2,118,917.28
07.01.02	ARTEFACTOS	S/ 82,333.53
07.01.03	VARIOS	S/ 92,725.00
07.01.04	INTERCONEXION ENTRE BUZONES	S/ 402,415.68
07.01.05	SISTEMA DE ALUMBRADO EXTERIOR	S/ 793,411.52
07.01.06	SUMINISTRO E INSTALACION DE PARARRAYOS	S/ 84,251.00
07.01.07	SUMINISTRO E INSTALACION DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA	S/ 327,817.06
07.02	SISTEMA DE UTILIZACIÓN EN MEDIA TENSION EN 22.9 KV	S/ 1,400,596.70
07.03	CCM1	S/ 2,998,139.95
07.04	CCM2	S/ 2,955,028.05
07.05	CCM3	S/ 2,026,411.55
<b>08</b>	<b>OBRAS INSTRUMENTACION</b>	<b>S/ 5,633,940.28</b>
08.01	EQUIPOS CONTROL PARA SALA ELECTRICA N°01	S/ 122,006.05
08.02	EQUIPOS CONTROL PARA SALA ELECTRICA N°02	S/ 394,649.38
08.03	EQUIPOS CONTROL SALA DE CLORACIÓN	S/ 394,649.38
08.04	EQUIPOS CONTROL SALA DE DOSIFICACIÓN DE REACTIVOS	S/ 221,664.98
08.05	CAMARA DE INGRESO	S/ 97,104.25
08.06	CAMARA DE REJAS	S/ 145,406.31
08.07	SEDIMENTADOR PRIMARIO	S/ 23,148.35
08.08	DESARENADOR	S/ 50,338.89
08.09	REACTOR BIOLOGICO	S/ 74,482.62
08.10	COAGULACION FLOCULACION	S/ 358,448.41
08.11	CASETA DE BOMBEO DE CLORACIÓN	S/ 309,150.19
08.12	SALA DE SOPLADORES	S/ 125,249.22
08.13	DIGESTOR ANAEROBIO	S/ 101,911.69
08.14	SALA DE MESA DE ESPESADOS Y FILTROS BANDA	S/ 24,789.32
08.15	RED PRINCIPAL DE CONTROL, AUTOMATIZACIÓN Y COMUNICACIÓN	S/ 97,814.31
08.16	RED DE COMUNICACIÓN PRINCIPAL DE FIBRA OPTICA	S/ 160,956.86
08.17	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA SCADA EN LA PTAR	S/ 2,232,396.88
08.18	PRUEBAS E INTEGRACION AL SCADA	S/ 564,402.32
<b>09</b>	<b>OBRAS VARIAS</b>	<b>S/ 411,008.20</b>
09.01	VIAS, VEREDAS Y ESTACIONAMIENTO	S/ 46,996.33
09.02	ÁREAS VERDES	S/ 364,011.87
	<b>COSTO DIRECTO</b>	<b>S/ 192,226,636.03</b>
	<b>GASTOS GENERALES (5.43%)</b>	<b>S/ 10,437,906.34</b>
	<b>UTILIDAD (8.00%)</b>	<b>S/ 15,378,130.88</b>
	<b>SUBTOTAL</b>	<b>S/ 218,042,673.25</b>
	<b>IGV (18.00%)</b>	<b>S/ 39,247,681.18</b>
	<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>	<b>S/ 257,290,354.43</b>



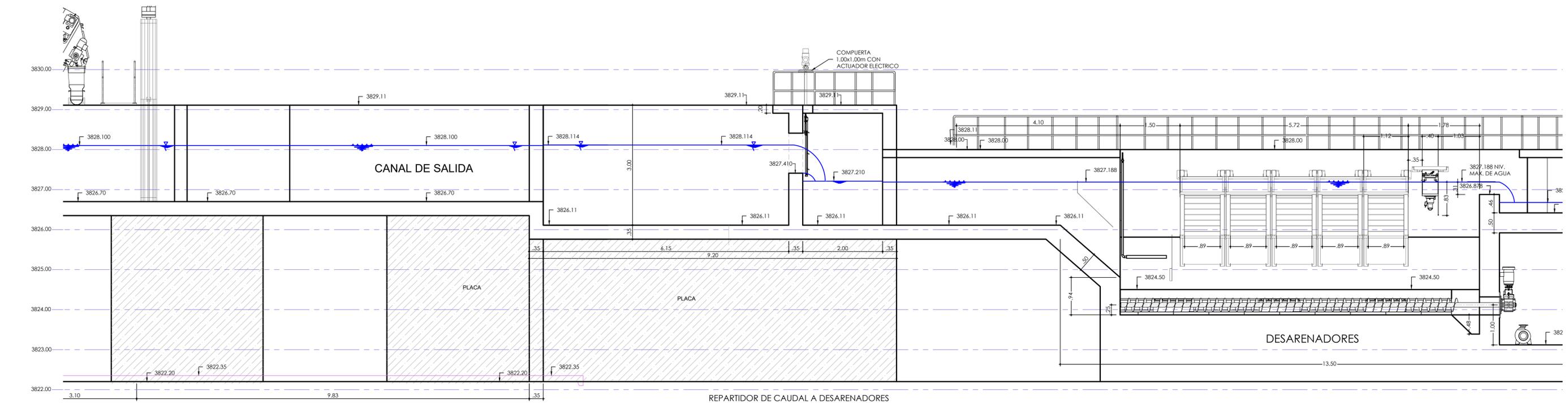
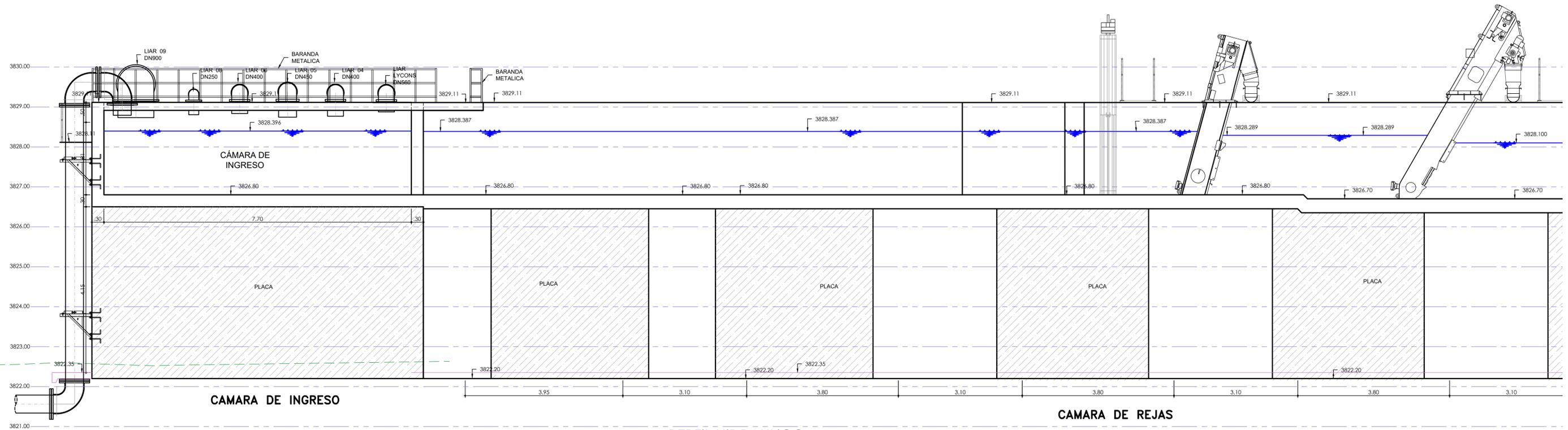
Simbología de líneas	
Descripción	Símbolo
Línea de proceso de agua residual	
Línea de proceso de sólidos y lodos	
Línea de grasas	
Línea de natas de sedimentadores	
Línea de agua de rechazo	
Línea de percolados o filtrados	
Línea de agua de lavado de discos	
Línea de químicos	
Línea de desagüe de edificios	
Línea de gases	
Línea de agua de condensados	
Línea de agua potable	
Línea de agua de proceso	
Línea de petróleo	
Línea de olores	
Línea de aire	

Rev	VERSIÓN	FECHA	EJECUTADO POR	REVISADO POR	APROBADO POR	PLANOS/DOCUMENTOS DE REFERENCIAS	TÍTULO

CONCEDENTE: **PERÚ**  
 SUPERVISOR: **CONSORCIO LAGO AZUL TITICACA**

PROYECTO: **"SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CUENCA DEL LAGO TITICACA"**  
 PLANO: **PTAR JULIACA DIAGRAMA DE PROCESOS**  
 PROVINCIA: **SAN ROMÁN**    DISTRITO: **JULIACA**    LOCALIDAD: **JULIACA**

COORDINADOR DE COMPONENTE: **CIP**    N° DE CONTRATO: **1 de 1**    PLANO N°: **001**  
 ESPECIALISTA: **CIP**    COMPONENTE: **COMPONENTE 2**    N° DE LAMINAS: **1 de 1**  
 SUPERVISIÓN: **CIP**    DIBUJO: **REVISION**    REVISION: **Rev.0**  
 ESCALA: **INDICADA**    FECHA: **ABR - 2021**    COD. DE PLANO: **OPT-ST-C2-JCA-PLA-PRT-1-PTAR-002**



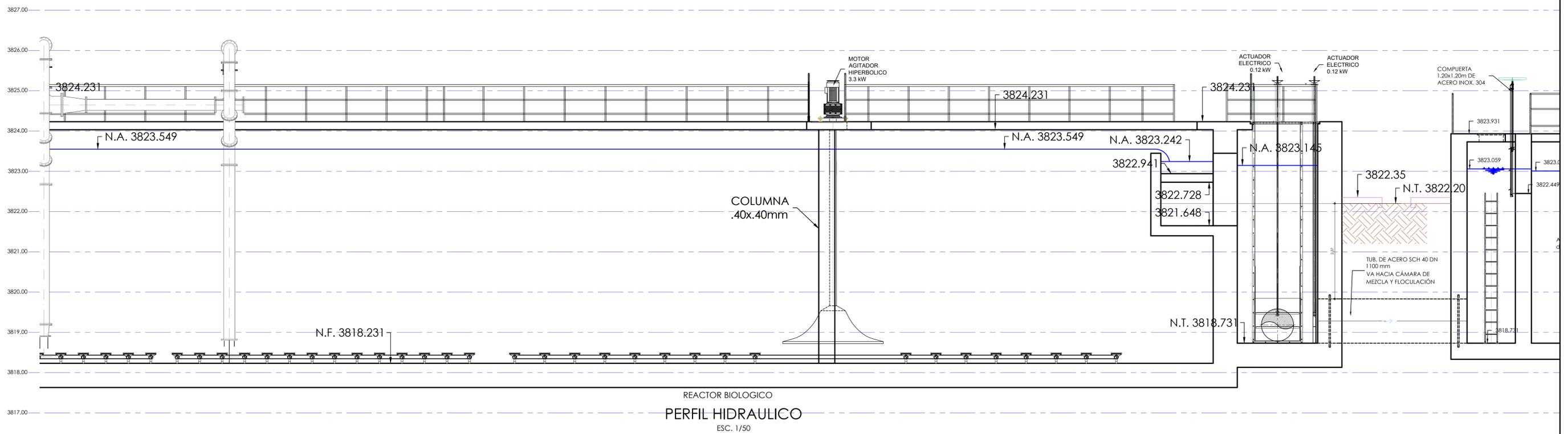
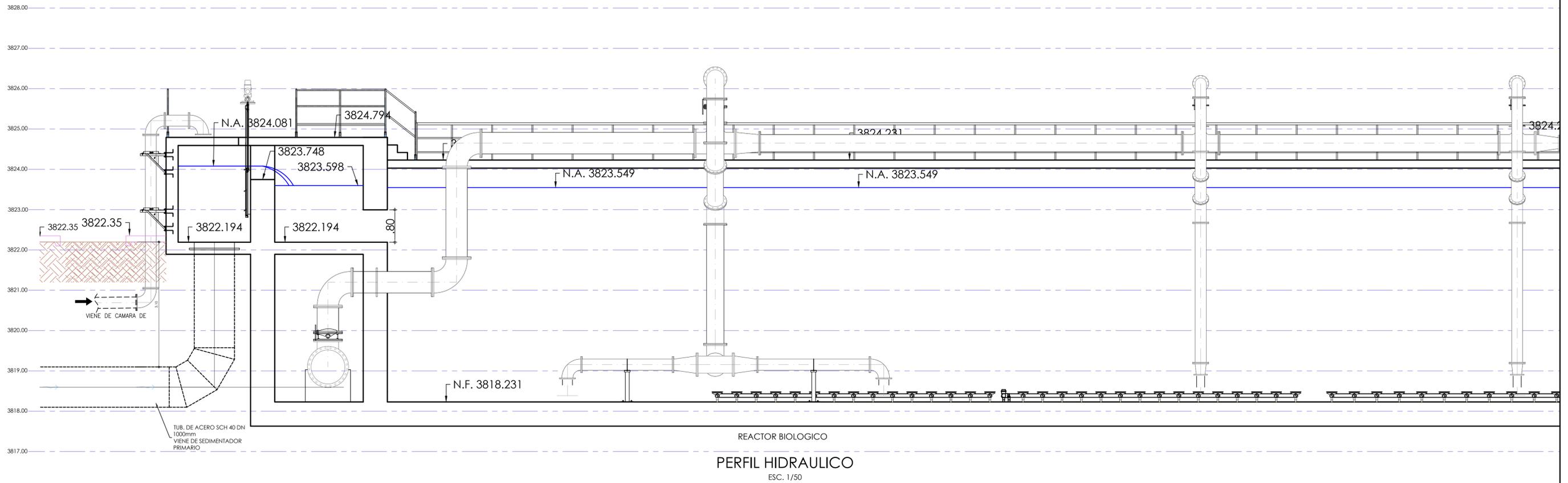
Rev	VERSION	FECHA	EJECUTADO POR	REVISADO POR	APROBADO POR	PLANOS/DOCUMENTOS DE REFERENCIAS	TITULO



PROYECTO:	"SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CUENCA DEL LAGO TITICACA"		
PLANO:	HIDRAULICA PTAR JULIACA PLANO DE PERFIL HIDRAULICO (LAMINA 1)		
PROVINCIA:	SAN ROMÁN	DISTRITO:	JULIACA
LOCALIDAD:	JULIACA		

COORDINADOR DE COMPONENTE	CP	Nº DE CONTRATO	PLANO Nº
ESPECIALISTA	CP	COMPONENTE	001
SUPERVISIÓN	CP	DIBUJO	Nº DE LAMINAS
ESCALA	INDICADA	FECHA	1 de 5
INDICADA	ABR - 2021	COD. DE PLANO	Rev.0
			OPT-ST-C2-JCA-PLA-HID-1-PTAR-002.

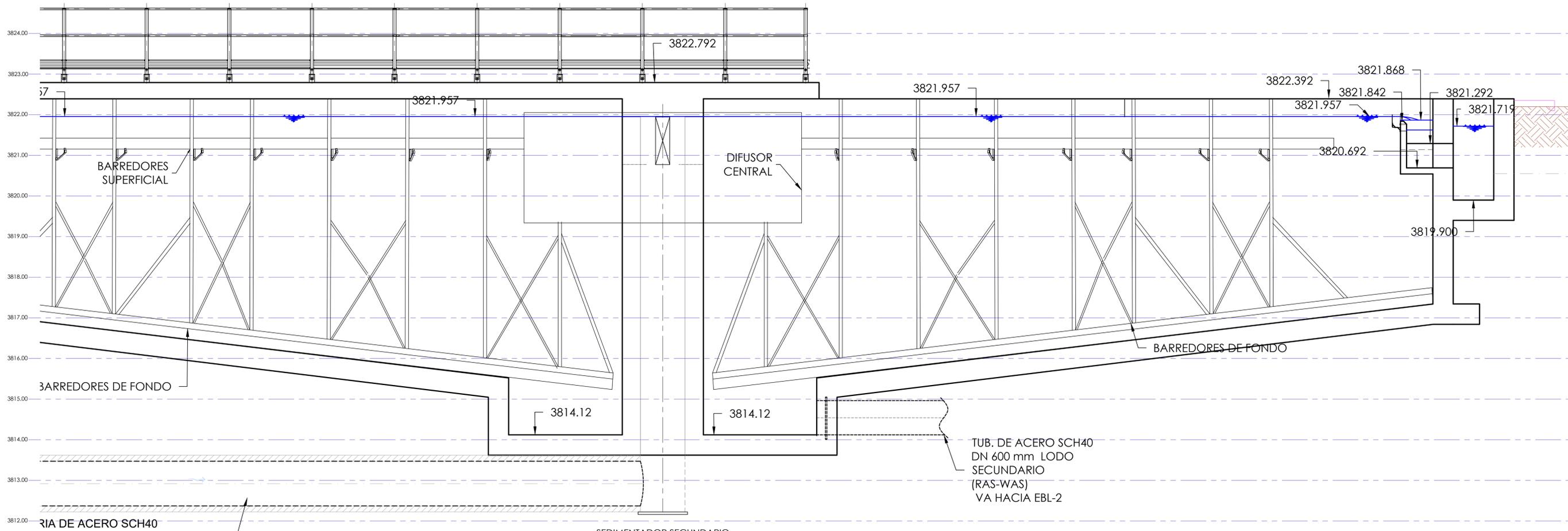
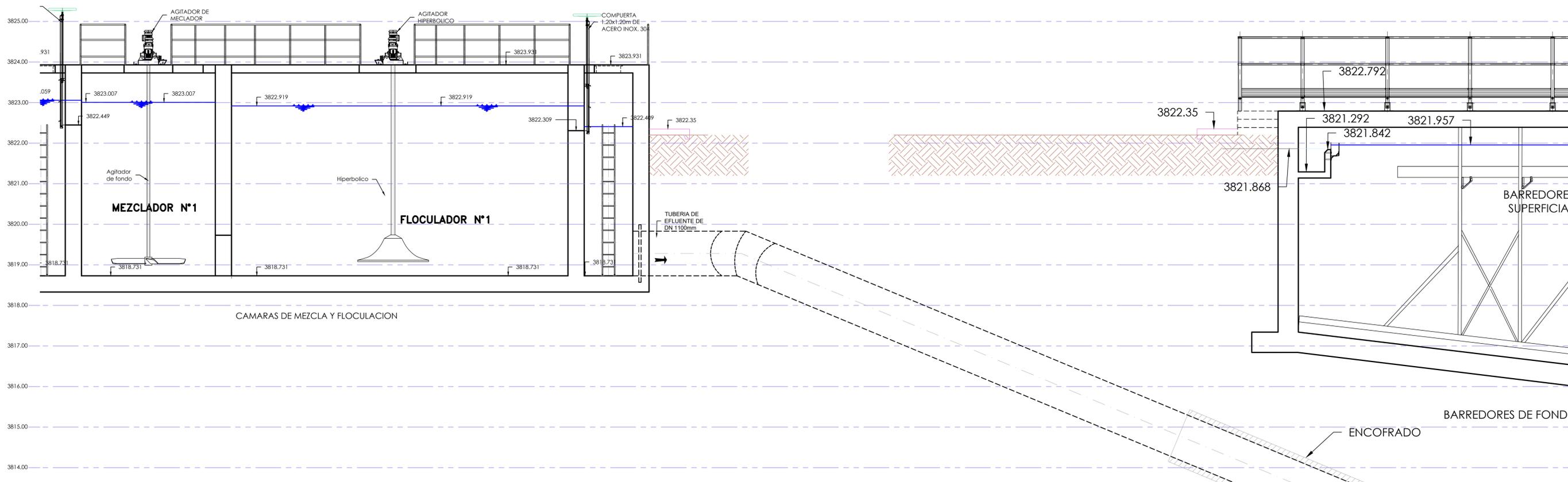




Rev	VERSION	FECHA	REVISIÓN			PLANOS/DOCUMENTOS DE REFERENCIAS
			EJECUTADO POR	REVISADO POR	APROBADO POR	



PROYECTO:	"SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CUENCA DEL LAGO TITICACA"			COORDINADOR DE COMPONENTE:	CP	Nº DE CONTRATO:	PLANO Nº
PLANO:	HIDRAULICA PTAR JULIACA PLANO DE PERFIL HIDRAULICO (LAMINA 3)			ESPECIALISTA:	CP	COMPONENTE:	003
PROVINCIA:	SAN ROMÁN	DISTRITO:	JULIACA	SUPERVISIÓN:	CP	DIBUJO:	3 de 5
LOCALIDAD:	JULIACA	FECHA:	ABR - 2021	ESCALA:	INDICADA	COD. DE PLANO:	Rev.0
							OPT-ST-C2-JCA-PLA-HID-1-PTAR-002.



Rev	VERSION	FECHA	EJECUTADO POR	REVISADO POR	APROBADO POR	PLANOS/DOCUMENTOS DE REFERENCIAS	TITULO

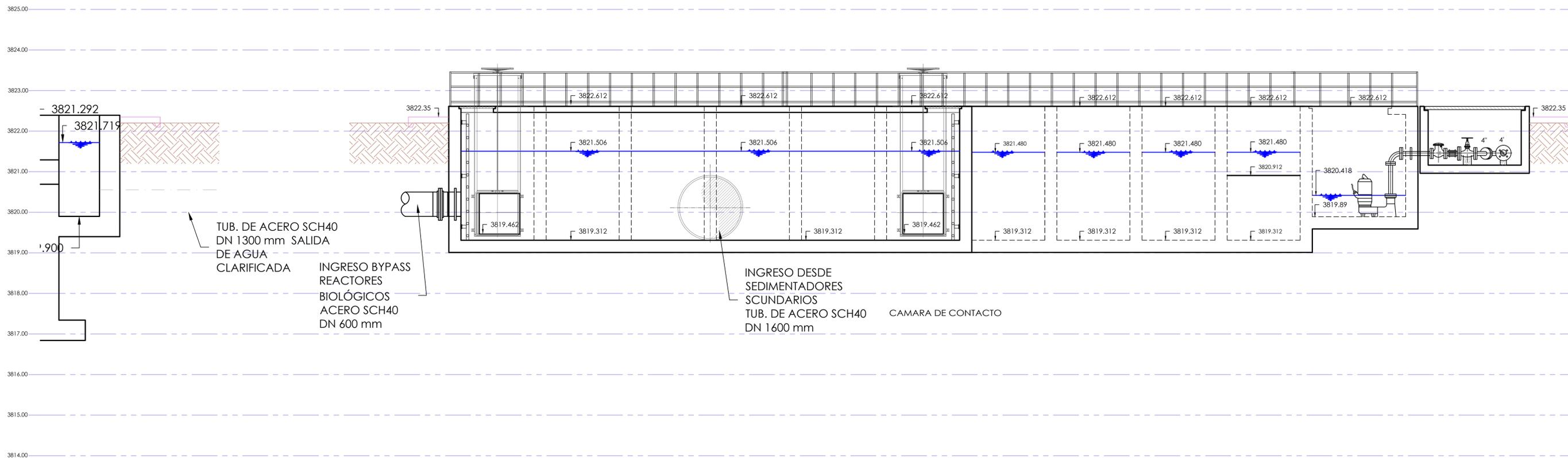




CONCEDENTE: **PERU** Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento  
 SUPERVISOR: **LAGO AZUL TITICACA**

PROYECTO:	<b>"SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CUENCA DEL LAGO TITICACA"</b>		
PLANO:	<b>HIDRAULICA PTAR JULIACA PLANO DE PERFIL HIDRAULICO (LAMINA 4)</b>		
PROVINCIA:	SAN ROMÁN	DISTRITO:	JULIACA
LOCALIDAD:	JULIACA		

COORDINADOR DE COMPONENTE	CP	N° DE CONTRATO	PLANO N°
ESPECIALISTA	CP	COMPONENTE	<b>004</b>
SUPERVISOR	CP	DIBUJO	<b>4 de 5</b>
ESCALA	INDICADA	FECHA	REVISION
INDICADA	ABR - 2021	COD. DE PLANO	<b>Rev.0</b>
<b>OPT-ST-C2-JCA-PLA-HID-1-PTAR-002.</b>			



Rev	VERSION	FECHA	REVISIÓN			PLANOS/DOCUMENTOS DE REFERENCIAS
			EJECUTADO POR	REVISADO POR	APROBADO POR	

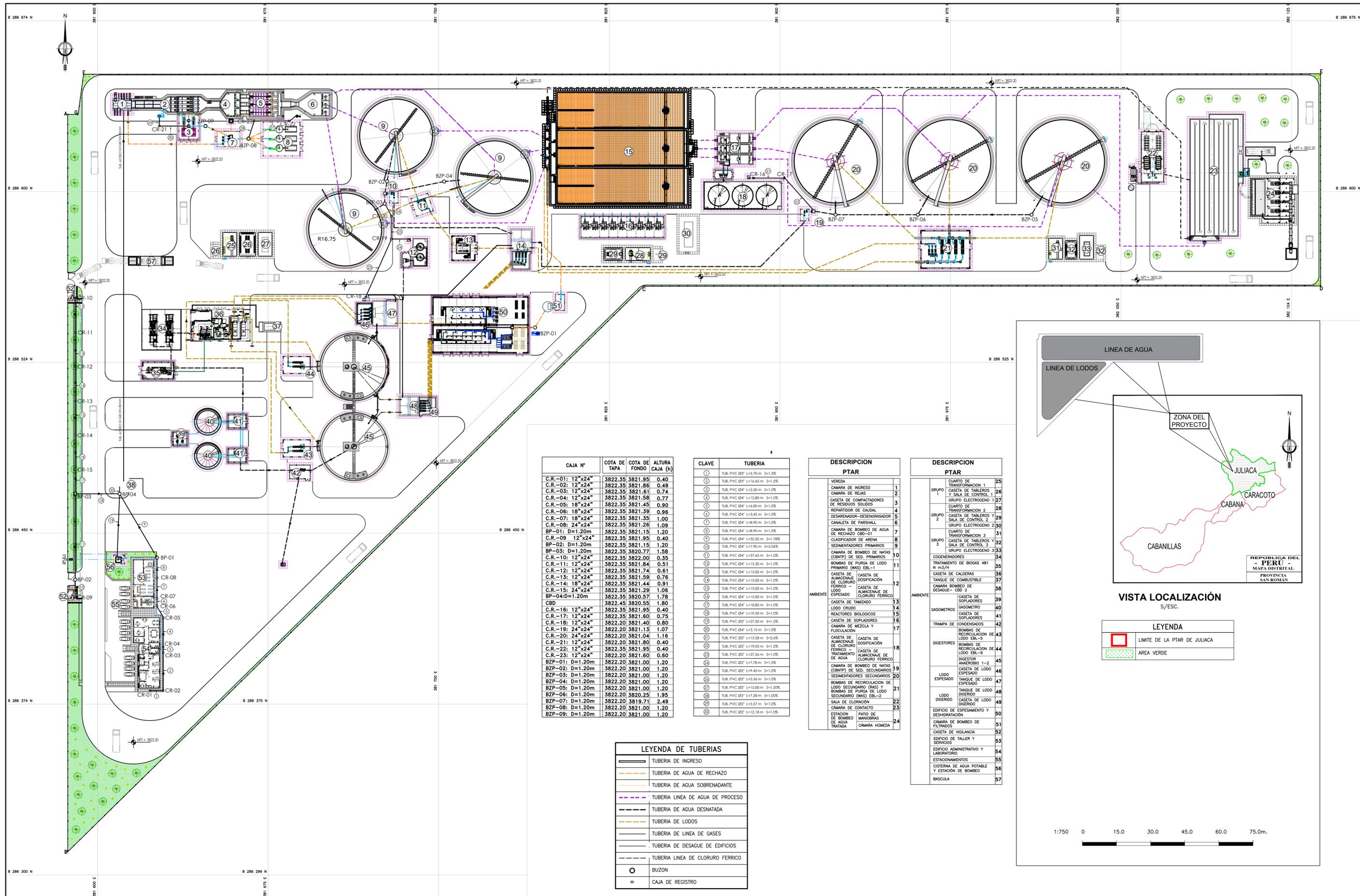


CONCEDENTE: **PERÚ** Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento

SUPERVISOR: CONSORCIO LAGO AZUL TITICACA

PROYECTO:	<b>"SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CUENCA DEL LAGO TITICACA"</b>		
PLANO:	<b>HIDRAULICA PTAR JULIACA PLANO DE PERFIL HIDRAULICO (LAMINA 5)</b>		
PROVINCIA:	SAN ROMÁN	DISTRITO:	JULIACA
LOCALIDAD:	JULIACA		

COORDINADOR DE COMPONENTE	CP	Nº DE CONTRATO	PLANO Nº
ESPECIALISTA	CP	COMPONENTE	<b>005</b>
SUPERVISIÓN	CP	DIBUJO	Nº DE LAMINAS
ESCALA	INDICADA	FECHA	<b>5 de 5</b>
FECHA	ABR - 2021	REVISIÓN	Rev.0
COD. DE PLANO	<b>OPT-ST-C2-JCA-PLA-HID-1-PTAR-002.</b>		



CAJA N°	COTA DE TAP.	COTA DE FONDO	ALTURA CAJA (h)
C.R.-01: 12"x24"	3822.35	3821.95	0.40
C.R.-02: 12"x24"	3822.35	3821.86	0.49
C.R.-03: 12"x24"	3822.35	3821.61	0.74
C.R.-04: 12"x24"	3822.35	3821.58	0.77
C.R.-05: 18"x24"	3822.35	3821.45	0.90
C.R.-06: 18"x24"	3822.35	3821.39	0.96
C.R.-07: 18"x24"	3822.35	3821.35	1.00
C.R.-08: 24"x24"	3822.35	3821.26	1.09
BP-01: D=1.20m	3822.35	3821.15	1.20
C.R.-09: 12"x24"	3822.35	3821.95	0.40
BP-02: D=1.20m	3822.35	3821.15	1.20
BP-03: D=1.20m	3822.35	3820.77	1.58
C.R.-10: 12"x24"	3822.35	3822.00	0.35
C.R.-11: 12"x24"	3822.35	3821.84	0.51
C.R.-12: 12"x24"	3822.35	3821.74	0.61
C.R.-13: 12"x24"	3822.35	3821.59	0.76
C.R.-14: 18"x24"	3822.35	3821.44	0.91
C.R.-15: 24"x24"	3822.35	3821.29	1.06
BP-04: D=1.20m	3822.35	3820.57	1.78
CBD	3822.45	3820.55	1.80
C.R.-16: 12"x24"	3822.35	3821.95	0.40
C.R.-17: 12"x24"	3822.35	3821.60	0.75
C.R.-18: 12"x24"	3822.20	3821.40	0.80
C.R.-19: 24"x24"	3822.20	3821.13	1.07
C.R.-20: 24"x24"	3822.20	3821.04	1.16
C.R.-21: 12"x24"	3822.20	3821.80	0.40
C.R.-22: 12"x24"	3822.35	3821.95	0.40
C.R.-23: 12"x24"	3822.20	3821.60	0.60
BZP-01: D=1.20m	3822.20	3821.00	1.20
BZP-02: D=1.20m	3822.20	3821.00	1.20
BZP-03: D=1.20m	3822.20	3821.00	1.20
BZP-04: D=1.20m	3822.20	3821.00	1.20
BZP-05: D=1.20m	3822.20	3821.00	1.20
BZP-06: D=1.20m	3822.20	3820.25	1.95
BZP-07: D=1.20m	3822.20	3819.71	2.49
BZP-08: D=1.20m	3822.20	3821.00	1.20
BZP-09: D=1.20m	3822.20	3821.00	1.20

CLAVE	TUBERIA
1	TUB. PVC Ø3" L=3.70 m S=1.5%
2	TUB. PVC Ø3" L=16.65 m S=1.5%
3	TUB. PVC Ø4" L=2.50 m S=1.0%
4	TUB. PVC Ø4" L=2.80 m S=1.0%
5	TUB. PVC Ø4" L=4.00 m S=1.0%
6	TUB. PVC Ø4" L=3.45 m S=1.0%
7	TUB. PVC Ø4" L=8.90 m S=1.0%
8	TUB. PVC Ø4" L=32.50 m S=1.32%
9	TUB. PVC Ø4" L=7.90 m S=5.50%
10	TUB. PVC Ø4" L=37.65 m S=1.0%
11	TUB. PVC Ø4" L=15.30 m S=1.0%
12	TUB. PVC Ø4" L=15.00 m S=1.0%
13	TUB. PVC Ø4" L=15.00 m S=1.0%
14	TUB. PVC Ø4" L=15.00 m S=1.0%
15	TUB. PVC Ø4" L=15.00 m S=1.0%
16	TUB. PVC Ø4" L=15.00 m S=1.0%
17	TUB. PVC Ø4" L=10.85 m S=1.0%
18	TUB. PVC Ø4" L=19.50 m S=1.0%
19	TUB. PVC Ø2" L=27.50 m S=1.5%
20	TUB. PVC Ø4" L=3.15 m S=1.0%
21	TUB. PVC Ø2" L=3.58 m S=2.4%
22	TUB. PVC Ø2" L=19.05 m S=1.5%
23	TUB. PVC Ø2" L=27.26 m S=1.5%
24	TUB. PVC Ø2" L=7.78 m S=1.5%
25	TUB. PVC Ø2" L=9.45 m S=1.0%
26	TUB. PVC Ø2" L=5.36 m S=1.0%
27	TUB. PVC Ø2" L=15.00 m S=1.50%
28	TUB. PVC Ø2" L=7.28 m S=1.00%
29	TUB. PVC Ø2" L=3.57 m S=1.0%
30	TUB. PVC Ø2" L=12.18 m S=1.0%

DESCRIPCION	PTAR
VEREDA	1
CAMARA DE INGRESO	2
CAMARA DE REJAS	3
CAJETA DE COMPACTADORES DE RESIDUOS SOLIDOS	4
REPARTIDOR DE CAUDAL	5
DESINTEGRADOR-DESINTEGRADOR	6
CANALETA DE PARESHALL	7
CAMARA DE BOMBEO DE AGUA DE RECHAZO CBD-01	8
CLASIFICADOR DE ARENA	9
SEDIMENTADORES PRIMARIOS	10
CAMARA DE BOMBEO DE NATAS (CBNT) DE SED. PRIMARIOS	11
BOMBAS DE PURGA DE LODO PRIMARIO (WAS) EBL-1	12
CAJETA DE CASSETA DE ALMACENAMIENTO DE CLORURO FERROSO	13
CAJETA DE DOSIFICACION FERROSO	14
CAJETA DE ALMACENAMIENTO DE ESPESADO	15
CAJETA DE TAMIZADO	16
LODO CRUDO	17
REACTORES BIOLÓGICOS	18
CAJETA DE SOPLOADORES	19
CAMARA DE MEZCLA Y FLOCULACION	20
CAJETA DE CASSETA DE ALMACENAMIENTO DE CLORURO FERROSO	21
CAJETA DE TRATAMIENTO DE AGUA	22
CAMARA DE BOMBEO DE NATAS (CBNT) DE SED. SECUNDARIOS	23
SEDIMENTADORES SECUNDARIOS	24
BOMBAS DE RECIRCULACION DE LODO SECUNDARIO (RAS) Y BOMBAS DE PURGA DE LODO SECUNDARIO (WAS) EBL-2	25
SALA DE CLORINACION	26
CAMARA DE CONTACTO	27
ESTACION DE BOMBEO DE AGUA TRATADA	28
PATIO DE MANIOBRAS	29
CAMARA HOMEDA	30

DESCRIPCION	PTAR
CUARTO DE TRANSFORMACION 1	25
CAJETA DE TABLEROS Y SALA DE CONTROL 1	26
GRUPO ELECTROGENO 1	27
CAJETA DE TABLEROS Y SALA DE CONTROL 2	28
CUARTO DE TRANSFORMACION 2	29
CAJETA DE TABLEROS Y SALA DE CONTROL 3	30
CUARTO DE TRANSFORMACION 3	31
CAJETA DE TABLEROS Y SALA DE CONTROL 3	32
GRUPO ELECTROGENO 3	33
COGENERADORES	34
TRATAMIENTO DE BIOGAS 481 N m³/h	35
CAJETA DE CALDERAS	36
TANQUE DE COMBUSTIBLE	37
CAMARA BOMBEO DE DESAGUE CBD 2	38
CAJETA DE SOPLOADORES	39
GASOMETRO	40
CAJETA DE SOPLOADORES	41
TRAMPA DE CONDENSADOS	42
BOMBAS DE RECIRCULACION DE LODO EBL-3	43
DIGESTORES	44
BOMBAS DE RECIRCULACION DE LODO EBL-4	45
DIGESTOR ANAEROBIO 1-2	46
CAJETA DE LODO ESPESADO	47
TANQUE DE LODO ESPESADO	48
LODO DIGERIDO	49
CAJETA DE LODO DIGERIDO	50
EDIFICIO DE ESPESAMIENTO Y DESHIDRATACION	51
CAMARA DE BOMBEO DE FILTRADOS	52
CAJETA DE VIGILANCIA	53
EDIFICIO DE TALLER Y SERVICIOS	54
EDIFICIO ADMINISTRATIVO Y LABORATORIO	55
ESTACIONAMIENTOS	56
CISTERNA DE AGUA POTABLE Y ESTACION DE BOMBEO	57
BAJOCAL	58

LEYENDA DE TUBERIAS	
	TUBERIA DE INGRESO
	TUBERIA DE AGUA DE RECHAZO
	TUBERIA DE AGUA SOBRENADANTE
	TUBERIA LINEA DE AGUA DE PROCESO
	TUBERIA DE AGUA DESNATADA
	TUBERIA DE LODOS
	TUBERIA DE LINEA DE GASES
	TUBERIA DE DESAGUE DE EDIFICIOS
	TUBERIA LINEA DE CLORURO FERROSO
	BUZON
	CAJA DE REGISTRO



Rev	VERSION	FECHA	EJECUTADO POR	REVISADO POR	APROBADO POR	PLANOS/DOCUMENTOS DE REFERENCIAS	TITULO

CONCEDENTE: MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCION Y SERVICIOS BASICOS

SUPERVISOR: CONSORCIO LAGO AZUL TITICACA

PROYECTO: "SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CUENCA DEL LAGO TITICACA"

PLANO: HIDRAULICA PTAR JULIACA PLANO DE PLANTA GENERAL

PROMOTOR: SAN ROMAN

DISTRITO: JULIACA

LOCALIDAD: JULIACA

COORDINADOR DE COMPONENTE: CP \_\_\_\_\_

ESPECIALISTA: CP \_\_\_\_\_

SUPERVISOR: CP \_\_\_\_\_

ESCALA: INDICADA

FECHA: ABR - 2021

N° DE CONTRATO: \_\_\_\_\_

COMPONENTE: \_\_\_\_\_

DIBUJO: LINO ZUÑIGA C.

COD. DE PLANO: OPT-ST-C2-JCA-PLA-HID-1-PTAR-001

PLANO N°: 001

N° DE LAMINAS: 1 de 1

REVISION: Rev.0