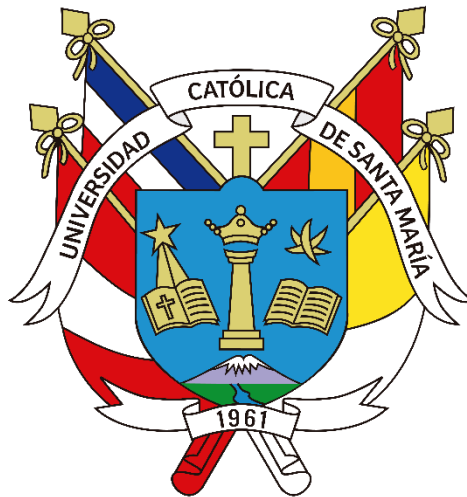


## Universidad Católica de Santa María

### Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

### Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica y Mecatrónica



**“DISEÑO DE UN CLARIFICADOR DE 22 METROS DE DIÁMETRO Y 6.60 METROS DE ALTURA, PARA LA RECUPERACIÓN DE AGUA DE PROCESO EN UNA PLANTA CONCENTRADORA DE MOLIBDENO”**

Tesis presentada por el Bachiller:

**Amado Arias, Abel Saúl**

para optar el Título Profesional de:

**Ingeniero Mecánico Electricista**

Asesor:

**M.Sc. Donayre Cahua, Jesús Manuel**

**Arequipa - Perú**

**2023**

UCSM-ERP

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**  
**INGENIERIA MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA**  
**TITULACIÓN CON TESIS**  
**DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR**

Arequipa, 24 de Agosto del 2022

**Dictamen: 006566-C-EPIMMEM-2022**

Visto el borrador del expediente 006566, presentado por:

**2007245341 - AMADO ARIAS ABEL SAUL**

Titulado:

**DISEÑO DE UN CLARIFICADOR DE 22 METROS DE DIÁMETRO POR 6.60 METROS DE ALTURA,  
PARA LA RECUPERACIÓN DE AGUA DE PROCESO EN UNA PLANTA CONCENTRADORA DE  
MOLIBDENO**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

**1828 - GORDILLO ANDIA CARLOS ALBERTO  
DICTAMINADOR**



**1894 - HUACASI AÑAMURO LUDWIN DAVID  
DICTAMINADOR**



**9185 - SIERRA VASQUEZ JULIO RAUL  
DICTAMINADOR**



## DEDICATORIA

*A mis padres por su infinita paciencia y por creer que podría lograr el objetivo apoyándome en todo momento, a mis hermanos por ser una fuente constante de inspiración y profesionalismo.*

*A mi Universidad por haberme aceptado ser parte de ella, a mis docentes por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimientos y haber tenido la paciencia de guiarme en todo el proceso de mi formación profesional.*

*Agradezco a Dios por darme la dicha de llegar a esta etapa en mi vida.*

## RESÚMEN

La presente investigación tiene por objetivo diseñar un clarificador de 22m de diámetro y 6.60 m de altura, usado para la recuperación de agua de proceso en una planta concentradora de molibdeno tomando como punto de referencia las instalaciones de la empresa Minera Cerro Verde utilizando el estándar API65.

En la fase de recopilación de información se estudió las características del proceso de recuperación de aguas en plantas concentradoras y características del funcionamiento de clarificadores, condiciones de diseño del sistema de recuperación de agua en plantas y la comparación operativa Clarificador – Espesadores.

En el diseño mecánico del clarificador se calculó el espesor de la pared, se seleccionó el puente de acceso, así mismo se diseñó y seleccionó las columnas principales, secundarias, vigas inferiores de diseño de anclaje y se finalizó con la selección de columnas inferiores.

De manera exhaustiva se definieron los sistemas de aseguramiento de calidad de la implementación del clarificador y se evaluaron los costos del tanque clarificador, del soporte estructural y de la implementación del proyecto.

Los resultados de la investigación cumplieron con dar respuesta a los objetivos trazados y de manera principal se determinó que es un proyecto Brownfield en la planta de procesamiento de concentrado de Molibdeno.

Como recomendación prioritaria se sugiere la implementación de clarificadoras en diferentes empresas mineras para contribuir al cuidado del medio ambiente a través del recicle y reutilización del agua que son desechadas, de tal forma que se maximicen los beneficios económicos y sociales, al tiempo que minimizan los impactos ambientales.

**Palabras clave:** Planta concentradora, espesador, clarificador, manto de lodos, turbiedad, y sedimentación

## ABSTRACT

La presente investigación tiene por objetivo diseñar un clarificador de 22m de diámetro y 6.60 m de altura, usado para la recuperación de agua de proceso en una planta concentradora de molibdeno tomando como punto de referencia las instalaciones de la empresa Minera Cerro Verde utilizando el estándar API65.

En la fase de recopilación de información se estudió las características del proceso de recuperación de aguas en plantas concentradoras y características del funcionamiento de clarificadores, tratamiento de fangos y biológicos, condiciones de diseño del sistema de recuperación de agua en plantas, condiciones de diseño del sistema de recuperación de agua en planta y la comparación operativa Clarificador – Espesadores.

En el diseño mecánico del clarificador se calculó el espesor de la pared, se seleccionó el puente de acceso, así mismo se diseñó y seleccionó las columnas principales, secundarias, vigas inferiores de diseño de anclaje y se finalizó con la selección de columnas inferiores.

De manera exhaustiva se definieron los sistemas de aseguramiento de calidad de la implementación del clarificador y se evaluaron los costos del tanque clarificador, del soporte estructural y de la implementación del proyecto.

Los resultados de la investigación cumplieron con dar respuesta a los objetivos trazados y de manera principal se determinó que es un proyecto Brownfield en la planta de procesamiento de concentrado de Molibdeno.

Como recomendación prioritaria se sugiere la implementación de clarificadoras en diferentes empresas mineras para contribuir al cuidado del medio ambiente a través del recicle y reutilización del agua que son desechadas, de tal forma que se maximicen los beneficios económicos y sociales, al tiempo que minimizan los impactos ambientales.

**Keywords:** Concentrator plant, thickener, clarifier, sludge blanket, turbidity, and sedimentation

## INTRODUCCIÓN

Las actividades extractivas, como el caso de la actividad minera, necesariamente deben contar con equipos, maquinarias y procesos eficientes que garanticen una productividad de acuerdo a los requerimientos competitivos del mercado actual.

En una planta de concentrado es necesario el funcionamiento correcto de los sistemas complementarios de recuperación de agua de proceso, con el fin de disminuir la captación de agua fresca y cumplir con los requerimientos gubernamentales aplicados a minería.

En este aspecto, cobra mucha importancia la optimización de plantas existentes, y la búsqueda de oportunidades de mejora. Para nuestro caso, específicamente dentro de una planta de concentrado de Molibdeno la cual cuenta con esperadores y se busca optimizar la recuperación de agua de proceso con la finalidad de aumentar la producción de molibdeno y a la vez disminuir el uso autorizado de agua fresca de los ríos contemplado en el estudio de Impacto ambiental de la mina motivo del presente estudio.

El presente proyecto de investigación optimizó la recuperación de agua en el proceso de Filtrado del concentrado de Molibdeno, esta recuperación mejoró en un 10% adicional a la actual recuperación, optimizando también el sistema de filtrado de Molibdeno al tener menor humedad la pulpa procesada.

El método a emplear fue deductivo, el cual planteó un problema general y soluciones específicas demostrables en el campo del desarrollo y diseño de la Ingeniería Mecánica, aplicando para ello los principios de Diseño Mecánico y selección de equipos de procesos, considerando su operatividad y mantenimiento de los mismos.

Las limitaciones al presente proyectos se presentan en los aspectos de desarrollo de la disciplina eléctrica e instrumentación, así mismo la disciplina civil.

## ÍNDICE

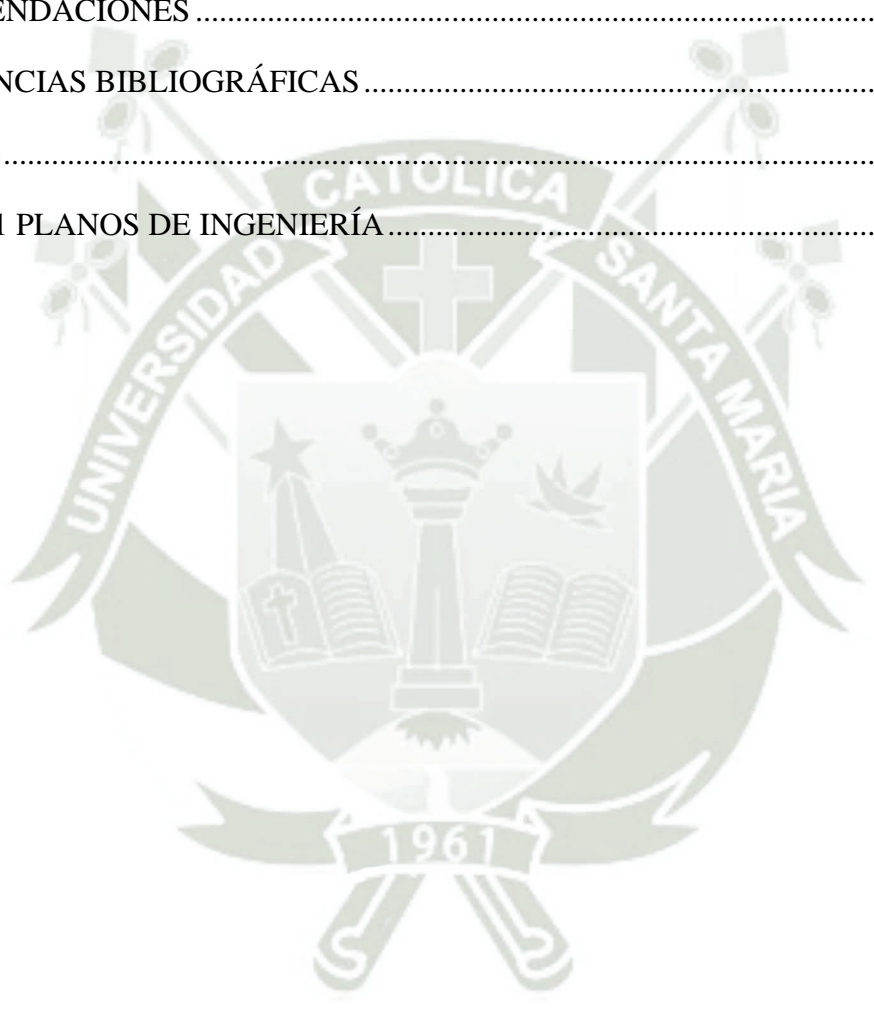
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT .....	v
INTRODUCCIÓN .....	vi
CAPÍTULO I.....	1
1. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	1
1.1. Antecedentes. ....	1
1.2. Objetivo general. ....	1
1.3. Objetivo específico.....	1
1.4. Definición del alcance del proyecto. ....	1
1.5. Restricciones del proyecto. ....	2
CAPÍTULO II .....	3
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Características del Proceso de recuperación de aguas en plantas concentradoras. ....	3
2.1.1. Depósitos de relaves.....	5
2.1.2. Métodos o tecnologías para el tratamiento de las aguas de la industria minero-metalúrgica .....	6
2.1.3. Separación sólido –líquido .....	8
2.1.4. Tratamientos de aguas que contienen cianuros .....	16
2.1.5. DESCRIPCION DEL PROCESO.....	20
2.1.6. Sistema de recuperación de agua de la minera cerro verde.....	24
2.2. Características de Funcionamiento de Clarificadores. ....	44
2.2.1. Clarificadores .....	44
2.2.2. Aplicaciones .....	45
2.2.3. Tecnología.....	46
2.2.4. Operación .....	48
2.2.5. Funciones principales .....	49
2.2.6. Principios básicos de un clarificador.....	49
2.2.7. Clarificadores primarios y secundarios .....	49
2.2.8. Características de un clarificador .....	49
2.3. Comparación operativa Clarificador – Espesadores. ....	51

2.3.1. Espesadores .....	51
2.3.2. Tipos de Espesadores .....	55
2.3.3. Función de los clarificadores.....	59
2.3.4. Diferencia .....	61
2.4. Condiciones de Diseño del sistema de recuperación de agua en plantas. ....	62
2.4.1. Aplicaciones de la reutilización. ....	66
2.4.2. Reutilización en Planta.....	67
2.4.3. Técnicas de remediación de aguas ácidas. ....	74
2.4.4. Tratamientos previos .....	82
2.4.5. Eliminación de sólidos en suspensión.....	83
2.4.6. Eliminación de sólidos disueltos .....	84
2.5. Tratamientos Biológicos .....	85
2.5.1. Coagulación-floculación .....	86
2.5.2. Neutralización .....	87
2.5.3. Precipitación.....	87
2.5.4. Redox .....	88
2.6. Tratamiento de fangos .....	88
2.6.1. Espesamiento.....	88
2.6.2. Estabilización .....	89
2.6.3. Deshidratación.....	89
2.6.4. Regulación y homogeneización .....	90
2.6.5. Objetivos del proceso de regulación y homogeneización .....	91
2.6.6. Regulación del caudal .....	91
2.6.7. Homogeneización del influente.....	93
2.6.8. Formas de operación .....	94
2.6.9. Bases de diseño .....	94
2.6.10. Tratamientos no convencionales .....	96
2.6.11. Filtros percoladores .....	103
CAPÍTULO III .....	107
3. DISEÑO MECÁNICO DEL CLARIFICADOR.....	107
3.1. Calculando el espesor de Pared. ....	107
3.2. Calculo y selección de Puente de Acceso .....	111

3.3. Diseño y selección de Columnas principales y secundarias, vigas inferiores de diseño de anclaje: .....	120
3.3.1. Peso del Truss Superior.....	121
3.3.2. Peso del tanque Clarificador: .....	121
3.3.3. Peso de Greeting: .....	124
3.3.4. Peso Barandas .....	125
3.3.5. Cálculo de vigas inferiores:.....	129
3.4. Selección de columnas inferiores:.....	135
CAPÍTULO IV.....	140
4. DEFINICIÓN DE SISTEMAS DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL CLARIFICADOR.....	140
4.1. Definición de procedimientos de soldadura WPS, PQR, WPQ.....	140
4.2. Definición de pruebas y ensayos no destructivos en la implementación del tanque clarificador. ....	150
4.2.1. Soldadura.....	150
4.2.1.7. Símbolos de Soldeo.....	153
4.2.2. Pruebas y ensayos no destructivos en la implementación del tanque clarificador. ....	155
4.3. Definición de pruebas hidrostáticas: .....	159
4.3.1. Tabla de especificaciones de normas técnicas: .....	163
4.3.2. Procedimiento para la preparación de la prueba hidrostática.....	164
4.3.3. Preinstalación de la bomba para la prueba hidrostática .....	165
4.3.4. Consideraciones técnicas para realizar la prueba hidrostática: .....	166
4.3.5. Consideraciones técnicas para realizar la prueba hidrostática .....	166
4.3.6. Aspectos importantes y técnicos para realizar la prueba hidrostática: .....	168
4.3.7. Detección y corrección de fugas y normalización de líneas .....	169
4.3.8. Normas y procedimientos de seguridad para la aplicación de la prueba ....	169
4.3.9. Conceptos relacionados a la Física de las Pruebas Hidrostáticas.....	170
4.4. Controles y métodos de calidad en pintura. ....	177
4.4.1. Viscosidad .....	177
4.4.2. Densidad.....	177
4.4.3. Extracto seco .....	178

4.4.4. Finura .....	178
4.5. Definición de procedimientos de soldadura WPS, PQR, WPQ. ....	180
4.5.1. ESPECIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (PQR). ....	182
4.5.2. ESPECIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPQ) ....	182
4.5.3. Definición de pruebas y ensayos no destructivos en la implementación del tanque clarificador. ....	182
4.5.4. Funciones principales .....	184
4.6. Definición de pruebas hidrostáticas. ....	185
4.6.1. ¿por qué hacer la prueba de presión? .....	185
4.6.2. ¿Qué es la prueba de presión hidrostática? .....	185
4.6.3. ¿Cuándo y cómo hacer una prueba hidráulica?.....	186
4.6.4. ¿Por qué hacer la prueba de presión? .....	186
4.7. Controles de calidad con ultrasonido en planchas seleccionadas. ....	187
4.7.1. Inspección por Ultrasonido .....	187
4.7.2. Aplicaciones, ventajas y desventajas del ultrasonido.....	188
4.7.3. Inspección por ultrasonido .....	189
4.7.4. Características generales de las ondas ultrasónicas.....	190
4.7.5. Métodos de transmisión .....	191
CAPÍTULO V: .....	192
5. EVALUACIÓN ECONÓMICA: .....	192
5.1. Movilizacion y desmovilizacion de equipos, herramientas y personal. ....	192
5.2. Facilidades temporales. ....	192
5.3. Trazo y Replanteo. ....	192
5.4. Seguridad y Medio Ambiente .....	192
5.5. Fabricacion y montaje de columnas .....	192
5.6. Fabricacion y montaje de vigas .....	193
5.7. Fabricacion y montaje de tanque clarificador .....	193
5.8. Fabricacion y montaje de Pasarela superior .....	193
5.9. Suministro y montaje de Sistema motriz.....	193
5.10. Obras Preliminares y Temporales .....	194
5.10.1. Movilización y desmovilización de equipos, herramientas y personal. ....	194
5.10.2. Facilidades temporales. ....	195
5.10.3. Trazo y replanteo.....	196

5.10.4. Seguridad y Medio Ambiente. ....	197
5.11. Tanque Clarificador.....	198
5.11.1. Fabricación y montaje de columna.....	198
5.11.2. Fabricación y montaje de Tanque Clarificador. ....	206
5.11.3. Fabricación y montaje de Pasarela Superior. ....	211
CONCLUSIONES .....	216
RECOMENDACIONES .....	217
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	218
ANEXOS.....	222
ANEXO 1 PLANOS DE INGENIERÍA.....	223



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 pH de precipitación de distintos hidróxidos metálicos a partir de una disolución 0.01M .....	13
Tabla 2 Producto <a href="https://www.monografias.com/trabajos12/elproduc/elproduc.shtml">https://www.monografias.com/trabajos12/elproduc/elproduc.shtml</a> de solubilidad de hidróxidos metálicos a 25° C.....	14
Tabla 3 Producto de solubilidad de sulfuros metálicos a 25°C.....	15
Tabla 4 Ficha técnica y económica .....	38
Tabla 5. Conformidad de permisos y regulaciones .....	80
Tabla 6 Espesor mínimo de pared de Tanque (Fuente API650) .....	108
Tabla 7 Esfuerzos de material permisibles en MPa .....	108
Tabla 8 Perfiles de Doble Angulo .....	115
Tabla 9 Datos de materiales para fabricación de Greeting.....	124
Tabla 10 Calculo de peso de Greeting .....	124
Tabla 11 Datos de materiales para fabricación de Barandas.....	126
Tabla 12 Datos de materiales para fabricación de Barandas.....	127
Tabla 13 Cálculo de peso de barandas .....	128
Tabla 14 Resumen de pesos en clarificador .....	129
Tabla 15. Momentos de carga .....	135
Tabla 16. Tipos de Viga W8 .....	136
Tabla 17 Equivalencias de unidades de presión.....	172
Tabla 18 Movilización y desmovilización de equipos, herramientas y personal.....	194
Tabla 19 Facilidades temporales .....	195
Tabla 20 Trazo y replanteo.....	196
Tabla 21 Seguridad y Medio Ambiente .....	197
Tabla 22 Fabricación y montaje de columna .....	198
Tabla 23 Fabricación y montaje de Tanque Clarificador .....	206
Tabla 24 Fabricación y montaje de Pasarela Superior .....	211
Tabla 25 Resumen del Presupuesto.....	215

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama del Área de Relaves y Recuperación de Agua .....	6
Figura 2. Descarga de las tuberías de conducción de las aguas de mina en la poza de acopio y sedimentación.....	23
Figura 3. Pozas de placas paralelas, de clarificación .....	24
Figura 4. Diagrama de entradas y salidas.....	25
Figura 5. Diagrama de Ubicación general.....	26
Figura 6. Disposición de los Espesadores de Relaves y sus Componentes.....	26
Figura 7. Esquema de un Espesador Industrial Continuo .....	28
Figura 8. Principio de sedimentación .....	29
Figura 9. Descripción de equipos .....	34
Figura 10. Clarificador .....	44
Figura 11. Clarificador .....	49
Figura 12 .Espesador de Cono Profundo. Fuente: Manual de Espesador. ....	52
Figura 13. Espesador y sus Partes. ....	53
Figura 14. Proceso de espesor .....	54
Figura 15. Partes del espesador de conos profundos.....	55
Figura 16.Espesador convencional.....	56
Figura 17. Espesador de Alta capacidad .....	57
Figura 18. Tanques de Espesadores .....	58
Figura 19. Diagrama de proceso de Recuperación de Agua .....	59
Figura 20. Función de clarificador .....	60
Figura 21. Condiciones de Diseño del sistema de recuperación de agua en plantas.....	63
Figura 22: Estudio de viabilidad .....	67
Figura 23. Formas de operación .....	94
Figura 24. Bosquejo de tanque clarificador .....	107
Figura 25. Esquema de puente de acceso .....	111
Figura 26. Diagrama de cargas y reacciones en estructura. ....	113
Figura 27. Sección de estructura .....	114
Figura 28. Proceso de cálculo mediante Autodesk Robot Estructural .....	117
Figura 29. Proceso de cálculo mediante Autodesk Robot Estructural .....	117
Figura 30. Proceso de cálculo mediante Autodesk Robot Estructural .....	118
Figura 31. Proceso de cálculo mediante Autodesk Robot Estructural .....	118

Figura 32. Análisis de Esfuerzos mediante Autodesk Robot Estructural .....	119
Figura 33. Esquema de distribución de vigas en Clarificador.....	120
Figura 34. Esquema de distribución de cargas en viga inferior .....	120
Figura 35. Esquema de centro de gravedad de viga.....	121
Figura 36. Esquema de Centro de Gravedad en Clarificador.....	122
Figura 37. Esquema de cargas en Vigas.....	130
Figura 38. Momentos de carga.....	130
Figura 39. Tipos de Viga W14.....	132
Figura 40. Proceso de cálculo mediante Autodesk Robot Estructural .....	133
Figura 41. Análisis de Esfuerzos mediante Autodesk Robot Estructural .....	134
Figura 42. Esquema de cargas en Columnas.....	135
Figura 43. Proceso de cálculo mediante Autodesk Robot Estructural .....	138
Figura 44. Análisis de Esfuerzos mediante Autodesk Robot Estructural .....	139
Figura 45. Junta a tope .....	140
Figura 46. Ranura en bisel sencillo .....	141
Figura 47.. Ángulo de ranura y apertura de raíz.....	143
Figura 48. se da a conocer esquema de la raíz de la junta.....	144
Figura 49. Posiciones de uniones soldadas de ranura en láminas .....	145
Figura 50. Proceso de soldadura .....	146
Figura 51.Símbolos .....	153
Figura 52. Símbolos Suplementarios .....	154
Figura 53. Proceso de soldadura .....	156
Figura 54. Proceso de soldadura .....	157
Figura 55. Proceso de soldadura .....	157
Figura 56. Proceso de soldadura .....	158
Figura 57. Al ser sometidos a condiciones extremas de servicio.....	159
Figura 58: Pruebas hidrostáticas .....	161
Figura 59. Diferentes formas del tubo Bourdon.....	175
Figura 60: Dibujo de Prensa Hidráulica.....	176
Figura 61. Proceso industrial de la pintura.....	179
Figura 62. Procedimiento de Soldadura .....	181
Figura 64. Pruebas hidrostáticas.....	185
Figura 65.Ultrasonido.....	188
Figura 66.Imagen que muestra un esquema general del proceso.....	189

## CAPÍTULO I

### 1. OBJETIVOS DEL PROYECTO

#### 1.1. Antecedentes.

Las mejoras en la capacidad de plantas concentradoras en nuestro País, hace un rápido adecuamiento de los equipos a ser optimizados, en este aspecto, muy importante es la recuperación de agua *procesada para su reutilización en el proceso de producción de Cobre y Molibdeno específicamente motivo del presente estudio.*

En este sentido, se propone la implementación de sistemas que permitan recuperar la mayor cantidad de agua posible en el proceso. En este caso específico, recuperar el agua del proceso de concentración de Molibdeno en una planta Concentradora del sur de nuestro país.

Para esto, el área de metalurgia a través de estudio de balance de masas ha determinado la necesidad de implementar un clarificador de 22 m de diámetro el cual se requiere ser unido al proceso productivo, siendo un proyecto Brownfield en la planta de procesamiento de concentrado de Molibdeno.

#### 1.2. Objetivo general.

Diseño de un clarificador de 22m de diámetro y 6.60 m de altura, usado para la recuperación de agua de proceso en una planta concentradora de molibdeno.

#### 1.3. Objetivo específico.

- Diseño de clarificador, determinación de planchas base y planchas del cilindro.
- Diseño del sistema de soporte estructural, vigas y columnas soportes.
- Diseño estructural de pasarelas y barandas peatonales de inspección.
- Establecer procedimientos de soldadura de fabricación y los criterios de aceptación de calidad del clarificador.

#### 1.4. Definición del alcance del proyecto.

En el proceso de descripción de proyecto se estableció de que este proyecto consiste en el diseño de un equipo Clarificador de agua recuperada, para ello se contempla el diseño completo del tanque clarificador en base a medidas determinadas por el área de

Metalurgia y Procesos. Este estudio considera la selección de los perfiles estructurales a utilizar en el clarificador.

También se considera los aspectos de aseguramiento de calidad establecidos para la implementación de este equipo, como son los procedimientos de soldadura y procedimientos de inspección para asegurar la calidad establecida de acuerdo a normativas estructurales y criterios de aceptación de tanques de almacenamiento determinador en el estándar API650.

Por otra parte, el presente trabajo está enfocado en la recuperación de agua procesada para poder reutilizarla en el proceso de producción de cobre Molibdeno, la Planta Concentradora de Molibdeno es la responsable de generar dos productos finales de MLP, concentrado de molibdeno y cemento de cobre. Para ello se consideran dos etapas, las cuales son: flotación y lixiviación férrica, ya que si se realiza un tratamiento inadecuado de las aguas procesadas no permite una reutilización de ellas, ya sea para el uso en el proceso productivo o para otros fines. Como resultado de un adecuado tratamiento y reutilización de aguas, el proceso se vuelve económicamente y ecológicamente más, rentable, y por lo tanto es deseable en todos los aspectos. (Gorshkov & Kharionovsky, 1983)

Para esto, el área de metalurgia a través de estudio de balance de masas ha determinado la necesidad de implementar un clarificador de 22 m de diámetro el cual se requiere ser unido al proceso productivo, siendo un proyecto Brownfield en la planta de procesamiento de concentrado de Molibdeno.

### **1.5. Restricciones del proyecto.**

“Las restricciones contenidas en el presente proyecto se pueden ver al momento de realizar la clarificación para mayores volúmenes de agua, debido a que para este fin se requieren clarificadores con mayor capacidad” (Blooger, 2005). La presente investigación será realizada previa coordinación con la empresa, y también con la autorización del personal encargado para la recolección de la información y estudios previos que serán relevantes para la investigación.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Características del Proceso de recuperación de aguas en plantas concentradoras.

La actividad minera metálica y no metálica, en el Perú es muy importante, siendo de los principales productores a nivel mundial de algunos metales como plata, cobre, zinc, estaño, oro, plomo, molibdeno, selenio, cadmio, hierro. Así mismo en la minería no metálica se produce piedra, caliza, arcilla, puzolana, sílice, sal común, yeso, mica, hormigón, mármol, carbón antracita y bituminoso, roca fosfórica, arena, talco, boratos, feldespato, caolín, diatomita, cal, entre otros.

Ésta gran productividad produce también aguas residuales, que en Perú por norma las llamaremos efluente líquido de actividades minero-metalúrgicas, éste efluente tiene una composición que varía de acuerdo a la empresa minera de la que procede y a las actividades de dicha empresa, por lo que es distinto en cada empresa.

1. Cualquier labor, excavación o movimiento de tierras efectuado en el terreno cuyo propósito es el desarrollo de actividades mineras o actividades conexas, incluyendo exploración, explotación, beneficio, transporte o cierre de minas, así como campamentos, sistemas de abastecimiento de aguas o energía, talleres, almacenes, vías de acceso de uso industrial (excepto de uso público) y otros.
2. Cualquier planta de procesamiento de minerales, incluyendo procesos de trituración, molienda, flotación, separación gravimétrica, separación magnética, amalgamación, reducción, tostación, sinterización, fundición, refinación, lixiviación, extracción por solventes, electrodeposición y otros.
3. Cualquier sistema de tratamiento de aguas residuales asociadas con actividades mineras o conexas, incluyendo plantas de tratamiento de efluentes mineros, efluentes industriales y efluentes domésticos.
4. Cualquier depósito de residuos mineros, incluyendo depósitos de relaves, desmontes, escorias y otros.
5. Cualquier infraestructura auxiliar relacionada con el desarrollo de actividades mineras.
6. Y cualquier combinación de los antes mencionados. (Shames, 1995)

El tratamiento de las aguas, consiste en poner en marcha procesos físicos, químicos o biológicos para poder eliminar los contaminantes físicos, biológicos o químicos de las aguas, con el fin de producir efluentes no dañinos, que se puedan reutilizar; también se produce un residuo biosólido o fango que luego también se reutiliza. Al tratamiento de las aguas también se le conoce como depuración de aguas. No existe un único procedimiento, para la depuración de las aguas de la actividad minera, por la amplia diversificación en la composición de las aguas de ésta actividad. En la actualidad hay una serie de métodos, procesos, tecnologías, para el tratamiento de aguas, los cuales con el pasar del tiempo van actualizándose, modernizándose y haciéndose cada vez más eficientes y eficaces. Las tecnologías para el tratamiento de aguas en minería, pueden ser tecnologías de tratamiento activo y tecnologías de tratamiento pasivo; también se clasifican en tratamientos previo, secundario y terciario, otros las clasifican como tecnologías biológicas, químicas y físicas. Una empresa minera de acuerdo a las características de su efluente líquido puede necesitar no solo un proceso de depuración sino varios o combinaciones de las tecnologías de las que ahora se dispone para retirar los contaminantes del agua que produce su actividad. Les presentamos cada uno de los procesos que pueden utilizar. La industria minera, ya sea por necesidad o conciencia, está avanzando en temas sustentables, si bien aún falta mucho por desarrollar, está mostrando algunos logros significativos. Entre ellos destaca su preocupación por el agua, un bien escaso del que hay que hacerse cargo, particularmente hoy que vive una profunda escasez. Desde ahí es que han surgido diversas alternativas para responder a este problema y una de ellas, dice relación con su recuperación desde los relaves. (Spena Group, 2016)

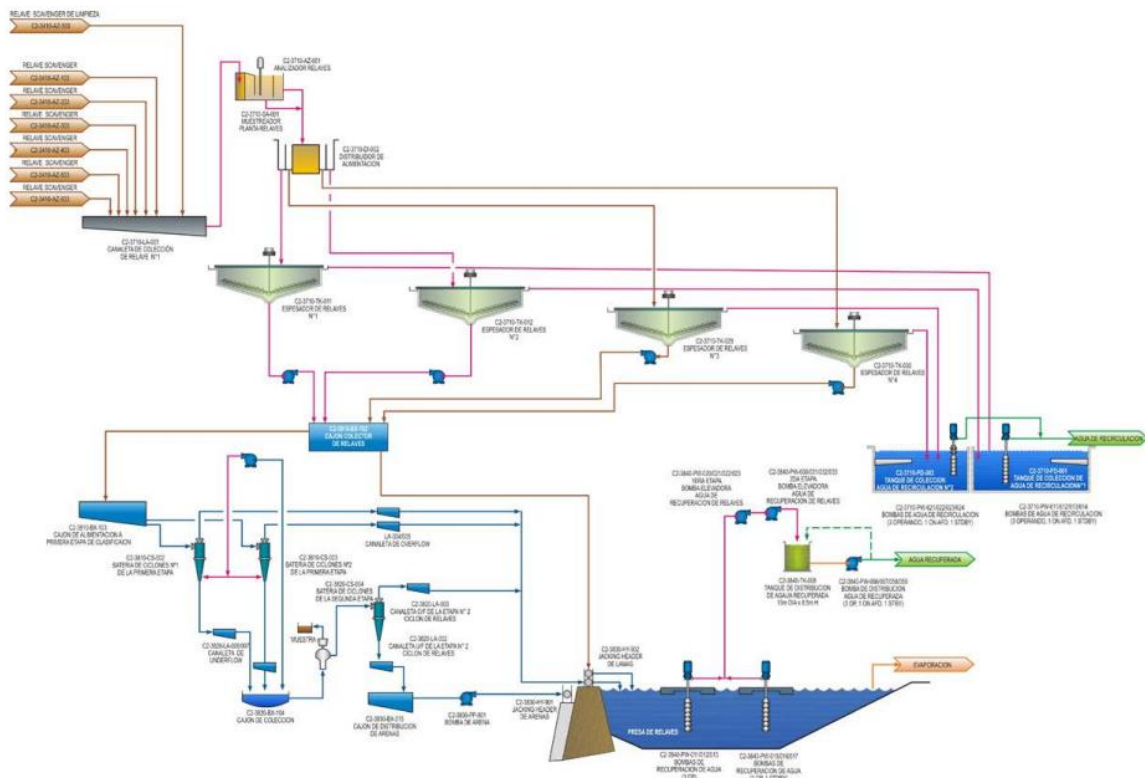
El relave corresponde a un conjunto de desechos tóxicos de procesos mineros de la concentración de minerales, usualmente constituido por una mezcla de rocas molidas, agua y minerales de ganga, (o sin valor comercial), aunque también se encuentran bajas concentraciones de metales pesados, tales como, cobre, plomo, mercurio y metaloides como el arsénico. Asimismo, contienen altas concentraciones de químicos y elementos que alteran el medio ambiente, por lo que deben ser transportados y almacenados en tranques o depósitos de relaves, donde lentamente los contaminantes se van decantando en el fondo y el agua es recuperada mayoritariamente, y otra parte se evapora. El material queda dispuesto como un depósito estratificado de materiales sólidos finos.

El correcto manejo de los relaves resulta clave para recuperar el agua y a la vez, evitar su contaminación por filtraciones hacia napas subterráneas. Es por ello, que su almacenamiento es la única opción. Dado que el costo de manejar este material es alto, las compañías mineras intentan localizar los “tranques o depósitos de relaves” lo más cerca posible a la planta de procesamiento de minerales, minimizando costos de transporte y reutilizando el agua contenida. (Servicio Nacional de Geología y Minería, 2012)

### 2.1.1. Depósitos de relaves

Riveros C. que un depósito es una obra que se construye para contener en forma segura los relaves provenientes de una planta de proceso de minerales. Los relaves se generan principalmente en el proceso de flotación de mineral y están compuestos por material molido (roca) y agua. Estos son dispuestos en depósitos formados por un muro de contención (construido con la fracción gruesa del relave o con material de empréstito), y una cubeta que es donde se descarga el relave. En la cubeta los sólidos decantan y dependiendo de la cantidad de agua presente, puede formarse en la superficie una laguna de aguas claras. (Riveros, 2016)

Estos depósitos deben disponer de sistemas de manejo de aguas superficiales, tales como canales perimetrales que evitan que las aguas limpias ingresen al depósito y evacuadores de crecidas que permite manejar los eventos de lluvias extremas que confluyen al interior del depósito. En cuanto a las medidas de control y mantenimiento que debe tener un depósito de relave, los depósitos son obras que se encuentran en permanente crecimiento, y requieren un constante monitoreo de diferentes variables operacionales que permiten asegurar la mejor operación del depósito, en forma sustentable. En particular se requiere monitorear constantemente las variables que aseguren la estabilidad de los muros de contención. En este sentido, resulta relevante medir la revancha (desnivel entre el coronamiento del muro y la altura de la laguna de aguas claras o del relave en contacto con el muro), los niveles de agua al interior del muro, las características de los materiales empleados para construir el muro y el funcionamiento y materiales de los sistemas de drenaje y control de filtraciones. En general, estas estructuras cuentan con instrumentación que permiten medir los niveles de agua, posibles deformaciones o asentamientos del muro y su comportamiento ante eventos sísmicos. (Interclean, 2021)



**Figura 1. Diagrama del Área de Relaves y Recuperación de Agua**

**Fuente: Ordoñez, (1984)**

### 2.1.2. Métodos o tecnologías para el tratamiento de las aguas de la industria minero-metalúrgica

La solución al problema de las aguas tiene los siguientes enfoques:

- Evitar la formación de aguas
- Disminuir la producción de aguas residuales: Un caso concreto se da en las cunetas de coronación y de escorrentías que se construyen para proteger las desmonteras, las laderas y los taludes que conforman el relieve topográfico, y para captar las aguas de escorrentía en las épocas de lluvia y dirigirlas a los canales de escorrentía, contruidos aguas abajo de las desmonteras.
- Tratar las aguas residuales producidas para eliminar o disminuir sus concentraciones

Los problemas asociados a las aguas residuales que requieren tratamiento son:

- Concentraciones de sólidos suspendidos por encima de la norma
- pH por debajo o por encima de las normas

- Altas concentraciones de metales disueltos tales como plomo, cobre, zinc, hierro, manganeso, arsénico, mercurio, selenio, níquel, cadmio y otros
- Reactivos químicos del proceso como cianuro, cromo y otros
- Carga bacteriológica de los efluentes domésticos (coliformes termo-tolerantes, demanda bioquímica de oxígeno-DBO, demanda química de oxígeno-DQO, etc.) (Benavidesj, 2018)

Las tecnologías disponibles para el tratamiento de aguas residuales minero-metalúrgicas se basan en eliminar los contaminantes, de acuerdo al estado en que se encuentran los contaminantes en las aguas residuales. Los contaminantes pueden estar como: sólidos suspendidos, como coloides o como sólidos disueltos. Muchas de las tecnologías conocidas no son exclusivas, sino que se combinan para obtener un mejor tratamiento; es así que para eliminar los sólidos disueltos y los coloides, se les trata para precipitarlos como sólidos suspendidos y luego se aplica tecnologías de eliminación de sólidos suspendidos.

Para escoger un determinado proceso para tratar las aguas residuales, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- El volumen de las aguas residuales
- La concentración de los elementos contaminantes
- La calidad del efluente deseado
- La disponibilidad de las técnicas de tratamiento y los costos asociados a dichas técnicas

Afín de contar con una visión amplia de estos procesos, a continuación se hace una descripción de los procedimientos disponibles para el tratamiento de aguas residuales, desde los más empleados hasta algunos que están en etapa de experimentación,

Para el caso del tratamiento de las aguas residuales de la industria minero-metalúrgica se cuenta con los siguientes procesos. (Marta, 1998)

### 2.1.3. Separación sólido-líquido

#### 2.1.3.1. Sedimentación o decantación

La sedimentación o decantación es la eliminación de los sólidos suspendidos en un líquido, por asentamiento gravitacional, depositándose los sólidos en el fondo del recipiente. Para que se efectúe la sedimentación, la velocidad del agua debe ser igual a un valor tal que los sólidos se asienten por gravedad, si el tiempo de retención es lo suficientemente grande en el depósito de sedimentación.

La velocidad de asentamiento de las partículas está determinada por: su tamaño, su forma y su densidad, además de la naturaleza del líquido en el cual se encuentran las partículas.

Los equipos donde se lleva a cabo la sedimentación se denominan sedimentadores o clarificadores, existiendo variedades como: los sedimentadores simples, las unidades de contacto de sólidos y los sedimentadores de placas inclinadas. (Puga, 2020)

#### 2.1.3.2. Coagulación/floculación:

Los procesos de coagulación y de floculación se emplean para extraer los sólidos que se encuentran suspendidos en el líquido. En este caso se trata de partículas muy pequeñas que no se asientan por la gravedad y que tienen cargas eléctricas del mismo signo, que las mantienen repelidas eléctricamente y que se denominan coloides.

**Coloides:** materia de tamaño de partículas muy finas, por lo general por debajo de 10 micras (0.01 cm de diámetro). Los coloides están dotados de carga eléctrica del mismo signo, que los mantiene separados. La magnitud de la carga de los coloides se mide en milivoltios y se expresa como potencial zeta. La medida del potencial zeta se usa con éxito para controlar la dosis de coagulantes en las plantas de tratamiento de aguas.

**La coagulación** es el proceso de desestabilización (neutralización) de las cargas de los coloides y se logra al neutralizar las cargas eléctricas que las mantienen repelidas (separadas). Esto se logra añadiendo coagulantes químicos y aplicando energía de mezclado por corto tiempo (menos de un minuto), para destruir la

estabilidad del sistema coloidal y promover la colisión (choque) de las partículas entre sí, para que se aglomeren formando pequeños flóculos.

El cambio de temperatura durante las estaciones, o aún durante el día, afecta el proceso de coagulación, durante las etapas de baja temperatura.

**La floculación** es la etapa de formación de flóculos de mayor tamaño, capaces de asentarse, a partir de los flóculos iniciales de menor tamaño. Esto se logra añadiendo productos químicos denominados floculantes y que tienen como finalidad reunir a las partículas floculadas en una red, formando puentes de una superficie a otra y enlazando las partículas floculadas en aglomerados. Estos aglomerados tienen el peso y el tamaño suficiente para ser separados por asentamiento en sedimentadores. La floculación es favorecida por un mezclado lento; un mezclado demasiado intenso rompe los flóculos, los cuales después de romperse raramente se pueden llegar a juntar nuevamente.

El sulfato de aluminio y el cloruro férrico son los productos químicos de uso más común, actuando ambos como coagulantes y floculantes a la vez. Existen una gran variedad de productos sintéticos en el mercado, que tienen la función de coagulantes, floculantes o ambas. Cuando en las aguas se presentan gran cantidad de coloides, pueden usarse productos químicos conocidos como polielectrolitos. (Benavidesj, 2018)

### 2.1.3.3. Espesamiento

El espesamiento es un método de separación sólido/líquido empleado para incrementar el contenido de sólidos en un lodo, antes del desecamiento o disposición final. Por lo común el espesamiento es una etapa posterior a la sedimentación. El espesamiento se puede conseguir por dos métodos:

- **Espesamiento por gravedad:** es efectivo cuando la gravedad específica de los sólidos es mayor que la de los líquidos. Este tipo de espesamiento se lleva a cabo en tanques con rastrillos mecánicos, con descarga de lodos por la parte inferior. Los floculantes (por lo general polielectrolitos) ayudan al espesamiento por gravedad, ya que forman flóculos más pesados que se asientan rápidamente y forman lodos densos.
- **Espesamiento por flotación:** es efectivo cuando la gravedad específica de los lodos que se desean espesar, es cercana o menor a la del líquido, del cual

deben ser separados. La flotación utiliza aire en forma de burbujas, para aumentar la flotabilidad de las partículas sólidas, haciendo que se eleven a la superficie y se concentren. También se usan productos químicos como auxiliares de la flotación, tales como cloruro férrico, cal y polielectrolitos. Un espesador por flotación, ocupa por lo común, un tercio o menos del espacio que requiere un espesador por gravedad. (Puga, 2020)

#### 2.1.3.4. Filtración

La filtración consiste en la remoción de partículas suspendidas y coloides presentes en una suspensión acuosa, al pasar a través de un medio poroso. Se usa cuando se quiere obtener un efluente con baja cantidad de sólidos suspendidos o baja turbidez (menor a 1 NTU), que no se pueden conseguir con sólo la sedimentación. (Castro, 1986)

La filtración se puede realizar:

##### 2.1.3.4.1. En medio granular:

es aplicable en la eliminación de sólidos suspendidos en aguas con contenidos entre 5 y 50 mg/l, cuando se desea un efluente con baja cantidad de sólidos suspendidos o baja turbidez (menor a 1 NTU). Normalmente se usa arena como medio filtrante, usándose también la antracita triturada. Muchas veces se usan lechos de filtración de dos capas: una de arena y otra de antracita, que permiten jornadas de filtración más largas a mayores velocidades de filtración. (Puga, 2020)

##### 2.1.3.4.2. A través de membranas:

Se puede realizar:

- **Filtración por vacío:** los filtros al vacío son normalmente tambores cilíndricos perforados, que giran en una tina que contiene la solución que quiere filtrarse. El vacío se aplica al interior y la separación sólido líquido se efectúa extrayendo el líquido a través del medio filtrante, dejando los sólidos sobre la membrana (filtro) para que sean colectados por separado.
- **Filtros prensa:** son filtros que operan a presiones entre 100 a 250 lb/pulg<sup>2</sup> y utilizan placas verticales, suspendidas por marcos. El agua pasa a través del medio filtrante y los sólidos se colectan en la superficie del filtro. La

operación es discontinua, para permitir la descarga de los sólidos cuando la velocidad de filtración disminuye. (Puga, 2020)

#### **2.1.3.4.3. Neutralización**

Cuando las aguas de la industria minero-metalúrgica son ácidas, la acidez puede ser neutralizada por la adición de agentes alcalinos.

Los agentes alcalinos más usados son: cal viva, cal hidratada, piedra caliza, caliza en polvo, hidróxido de sodio (soda cáustica), hidróxido de amonio, etc. El escoger alguno de estos materiales estará condicionado por su poder neutralizante y por su costo.

Cuando se usa piedra caliza o caliza en polvo, se debe tener en cuenta que sólo se puede elevar el pH hasta 5.5, debido a que la caliza libera anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>), el cual al combinarse con el agua forma ácido carbónico. Por este motivo sólo se usa como una primera etapa de neutralización, que debe ser seguida de una separación de lodos y luego se puede usar otro agente alcalino, si se requiere de pH más alto. (Puga, 2020)

#### **2.1.3.4.4. Aireación**

Es un proceso mecánico en el cual se procura un contacto íntimo del aire con el líquido. La aireación puede emplearse para: las siguientes funciones:

- Oxidación bioquímica
- Oxidación de impurezas inorgánicas como hierro o manganeso.
- Remoción de gases disueltos (anhídrido carbónico, ácido sulfhídrico, etc.)
- Ayuda en las reacciones de neutralización y/o precipitación

Normalmente la aireación se efectúa en tanques con una profundidad de 3.0 a 4.5 metros y la transferencia de aire se realiza mediante difusores o por agitadores mecánicos. (Ordoñez, 2021)

#### **2.1.3.4.5. Precipitación química**

Cuando los elementos o compuestos químicos que pueden contaminar las aguas se encuentran disueltos, la forma de poder separarlos o removerlos del agua, es mediante la precipitación química, que convierte a los elementos o

compuestos solubles, en compuestos insolubles, quedando como sólidos suspendidos. Después de la precipitación los sólidos suspendidos pueden ser removidos directamente por sedimentación o por coagulación -floculación y posterior sedimentación, o por el uso de clarificadores/espesadores, para la separación de los lodos.

En el caso de los elementos metálicos, los compuestos que se trata de formar son hidróxidos o sulfuros de estos elementos metálicos, por ser estos hidróxidos y sulfuros, compuestos que presentan bajas solubilidades. (Ordoñez, 2021)

#### **2.1.3.4.6. Precipitación como hidróxidos:**

El método más común, usado para remover los iones metálicos solubles en el agua, es precipitar el ión metálico como hidróxido metálico, ya que la mayoría de los iones de metales pesados solubles precipitan fácilmente al elevar el nivel de pH de la solución, formando el compuesto respectivo de hidróxido de metal, con lo cual los compuestos metálicos en solución se convierten en compuestos insolubles y son precipitados en la solución.

Para conseguir la formación de hidróxidos de los metales disueltos se necesita un agente alcalino que pueda alcanzar un pH alto, como el caso del hidróxido de calcio (lechada de cal), hidróxido de sodio (soda cáustica), hidróxido de potasio y los demás hidróxidos de metales alcalinos o alcalino-térreos.

La cal se usa en forma de lechada para permitir un buen control del pH final deseado, consiguiéndose niveles de pH mayores a 10, pH en el cual precipitan todos los metales pesados. (Ordoñez, 2021)

**Tabla 1***pH de precipitación de distintos hidróxidos metálicos a partir de una disolución 0.01M*

Elemento metálico	Hidróxido trivalente	Hidróxido bivalente
Hierro	2.3	5.5
Cobalto	2.5	6.8
Manganeso	2.5	8.4
Aluminio	4.1	-----
Cobre	---	5.6
Zinc	---	6.5
Níquel	---	6.8
Cadmio	---	10.6

**Fuente: Ordoñez, (2021)**

El pH de precipitación teórico es diferente para cada metal, necesiándose en la práctica pHs entre 9.0 y 10.5 para asegurar la precipitación de todos los metales pesados, consiguiéndose concentraciones de dichos metales, por debajo de los LMP. Para los casos del hierro ferroso y el cromo hexavalente, muchas veces es necesario previamente convertirlos a hierro férrico y cromo trivalente, antes de precipitarlos, ya que en estos últimos estados son mucho menos solubles. Para el primer caso se puede usar cloro, aireación o permanganato de potasio, y en el segundo caso se puede usar anhídrido sulfuroso o bisulfito de sodio. Una de las desventajas del uso de la cal en la precipitación química, es el alto volumen de lodos formados y la baja densidad de estos, siendo su mayor ventaja su menor costo. En el caso de los hidróxidos de sodio o amonio se tiene la ventaja de la formación de pocos sólidos, siendo su desventaja su costo.

La elección del agente alcalino a usar estará en función del costo de operación y de las facilidades de adquisición y uso de cada uno. (Ordoñez, 2021)

**Tabla 2***Producto de solubilidad de hidróxidos metálicos a 25° C*

Hidróxido metálico	Producto de solubilidad Ks
Hidróxido de plata	1.95x10 <sup>-8</sup>
Hidróxido manganoso	1.58x10 <sup>-13</sup>
Hidróxido cobaltoso	1.26x10 <sup>-15</sup>
Hidróxido cobáltico	3.16x10 <sup>-45</sup>
Hidróxido de cadmio	4.47x10 <sup>-15</sup>
Hidróxido de níquel	6.31x10 <sup>-16</sup>
Hidróxido ferroso	7.94x10 <sup>-16</sup>
Hidróxido férrico	1.58x10 <sup>-39</sup>
Hidróxido de zinc	3.47x10 <sup>-17</sup>
Hidróxido de cobre	4.79x10 <sup>-20</sup>
Hidróxido de berilio	5.01x10 <sup>-22</sup>
Hidróxido de cromo	1.58x10 <sup>-30</sup>
Hidróxido de aluminio	3.16x10 <sup>-34</sup>
Hidróxido de titanio	1.0x10 <sup>-53</sup>

**Fuente: Smith & Martell, (1976)**

- **Precipitación como sulfuros:** con el uso del ión sulfuro como precipitante de los metales pesados se obtienen precipitados con un producto de solubilidad menor que el de los hidróxidos, pero se deberá mantener un pH adecuado, para evitar la redisolución de los sulfuros formados. Para la precipitación como sulfuros se usan el ácido sulfhídrico, el sulfuro de bario y el sulfuro de sodio como agentes precipitantes. El más usado es el sulfuro de sodio, ya que el uso del ácido sulfhídrico crea muchos inconvenientes de manipulación; incluso cuando se usa el sulfuro de sodio se deben tomar precauciones por la emanación de olores sulfhídricos, cuando este entra en contacto con aguas de bajo pH. La precipitación como sulfuros se puede usar

para la precipitación de todos los metales pesados, pero se usa especialmente para la remoción de mercurio y cromo hexavalente. La precipitación como sulfuros ofrece la ventaja de producir un precipitado relativamente denso y reciclable, y como consecuencia se tiene un manejo de menor cantidad de lodos y la recuperación de los sulfuros metálicos. En caso de presentarse exceso de sulfuro en las aguas residuales, este puede ser removido por aireación. Se debe evaluar el costo del sulfuro, en comparación con otro precipitante, para decidir la forma de precipitación química. (Giles & Ranald, 1994)

**Tabla 3**

*Producto de solubilidad de sulfuros metálicos a 25°C*

Compuesto	Producto de Solubilidad Ks
Sulfuro manganoso	$3.16 \times 10^{-11}$
Sulfuro ferroso	$7.94 \times 10^{-19}$
Sulfuro de Níquel	$3.98 \times 10^{-20}$
Sulfuro de Zinc	$2.00 \times 10^{-25}$
Sulfuro de cobalto	$5.01 \times 10^{-22}$
Sulfuro de plomo	$3.16 \times 10^{-28}$
Sulfuro de Cadmio	$1.58 \times 10^{-26}$
Sulfuro cúprico	$7.94 \times 10^{-37}$
Sulfuro de plata	$7.94 \times 10^{-51}$
Sulfuro mercuríco	$2.00 \times 10^{-53}$
Sulfuro de Bismuto	$1.0 \times 10^{-100}$

• **Fuente: Smith & Martell, (1976)**

• **Depósitos de relaves**

Los depósitos de relaves se pueden considerar como una forma de tratamiento de las aguas residuales de las plantas concentradoras, ya que mediante estos depósitos se obtienen efluentes con bajo contenido de sólidos en suspensión y se consigue la reducción del contenido de cianuro

a valores menores de los límites. El tamaño de los depósitos de relaves condiciona el tiempo de retención, para la sedimentación de las partículas finas (sólidos suspendidos) del relave y el tiempo para la degradación natural del cianuro. Cuando la calidad de los efluentes de los depósitos de relaves no cumpla los estándares de calidad, se debe contemplar el uso de un tratamiento adicional que garantice el cumplimiento de los estándares de calidad vigentes. (Bloofer, 2005)

#### **2.1.4. Tratamientos de aguas que contienen cianuros**

##### **2.1.4.1. Tratamiento del cianuro como reactivo de flotación de metales básicos**

El cianuro de sodio es usado como reactivo en los procesos de flotación. El cianuro en las aguas residuales de los depósitos de relaves incluye cianuro libre y cianuro WAD. Los procesos naturales contribuyen a la degradación natural del cianuro libre y del cianuro WAD. El principal mecanismo de degradación natural es la volatilización y se incrementa notablemente conforme el pH, inicialmente alcalino de los efluentes con contenidos de cianuro, se va transformando en neutro, a medida que el tiempo de retención en el depósito de relaves se incrementa y estas concentraciones son casi siempre rápidamente reducidas por los procesos naturales, con posteriores transformaciones atmosféricas a sustancias químicas menos tóxicas y alcanzan niveles por debajo de los estándares de agua de bebida establecidos por la EPA. Otros factores como la oxidación biológica (degradación microbiana, la foto-descomposición (influencia de los rayos ultravioleta en las capas superficiales), y la precipitación también contribuyen a la degradación del cianuro. En los depósitos de relaves, la gran superficie expuesta, permite la descomposición del cianuro libre y del cianuro WAD. (Simovic, et al, 1984)

##### **2.1.4.1.1. Tratamiento del cianuro en la extracción del oro**

En contraste con su uso en concentraciones bajas como reactivo de flotación de metales básicos, el cianuro en la extracción de oro y plata se usa en concentraciones de varios cientos de miligramos por litro.

Mientras que el proceso natural de degradación del cianuro opera en los depósitos de relaves que contienen estas aguas residuales, en los casos de extracción del oro y plata ellos por sí solos son rara vez suficientes para

alcanzar reducciones en el grado deseado de cianuro, y estos niveles pueden exceder los niveles aceptables para agua de bebida y ser tóxicos para los animales acuáticos y terrestres. En estos casos, para evitar la toxicidad se usan. (Simovic, et al, 1984)

#### **2.1.4.1.2. Procesos de regeneración del cianuro:**

Estos permiten la reutilización del cianuro presente en las soluciones del proceso. La regeneración del cianuro se basa en la conversión del ión CN a HCN mediante la acidificación del efluente de cianuración, seguida de separación del gas HCN por burbujeo y su reabsorción en una solución alcalina para regenerar el NaCN o Ca(CN)<sub>2</sub> y reutilizarlo en la operación. Se puede recuperar más del 92% del cianuro presente. (Simovic, et al, 1984)

#### **2.1.4.1.3. Procesos de destrucción del cianuro:**

Estos transforman el cianuro en formas inocuas que permanecen en la solución o lo destruyen completamente, convirtiéndolo en formas gaseosas también inocuas. Hay muchos oxidantes como el cloro, ozono, oxígeno y peróxido de hidrógeno, que convierten el cianuro en cianato. Entre los tratamientos que se usan para la destrucción del cianuro, figuran: la clorinación alcalina (es el método más antiguo y el más conocido), la adsorción mediante carbón activado, el proceso INCO anhídrido sulfuroso-aire, el proceso Degussa de peróxido de hidrógeno, acidificación, y tratamiento en bio-reactores bacterianos. (Simovic, et al, 1984)

#### **2.1.4.1.4. Adsorción**

La adsorción es la adhesión física de moléculas o coloides a la superficie de un sólido denominado adsorbente, sin que se lleve a cabo una reacción química. La adsorción involucra la acumulación o concentración de sustancias en una superficie o interfase. La adsorción ocurre como resultado, ya sea de de que el soluto tenga carácter liofóbico (aversión por el solvente) por un solvente particular y que el soluto tenga afinidad por el sólido. En este último caso, en algunos procesos de adsorción y de acuerdo a las condiciones en que se llevan a cabo, se producen fenómenos de adsorción-coprecipitación. El adsorbente mas conocido y más ampliamente empleado es el carbón activado, cuyas principales aplicaciones son para: purificación de agua para

bebida, remoción de cloro y cianuro, recuperación de metales de alto valor de aguas residuales, etc.

Otros adsorbentes también usados son: arcillas, arcillas activadas, óxido de magnesio, alúmina activada, hidróxido de aluminio, resinas de intercambio iónico en polvo, xantato de celulosa, etc. (Simovic, et al, 1984)

#### **2.1.4.1.5. Intercambio iónico**

Las resinas de intercambio iónico actúan tomando iones de las soluciones y cediendo cantidades equivalentes de otros iones. La ventaja de estas resinas es que una vez que se agotan, tienen la habilidad de poder recuperar su capacidad de intercambio, mediante el tratamiento con una solución regenerante. Estas resinas son materiales sintéticos, sólidos e insolubles en el agua, que poseen una alta concentración de grupos ácidos o básicos, incorporados en una matriz de un polímero. El intercambio sólo funciona entre iones de igual carga eléctrica: cationes por cationes y aniones por aniones, por lo tanto existen dos tipos de resinas de intercambio iónico: catiónicas y aniónicas. El intercambio iónico se puede usar para la remoción y/o recuperación de metales de los efluentes minero-metalúrgicos e industriales, con un tipo de resinas de intercambio iónico catiónicas, conocidas como resinas quelantes, que tienen un alto grado de selectividad por ciertos iones de los metales. Las resinas aniónicas también se usan para la remoción/recuperación de metales que se encuentran como iones complejos. (Simovic, et al, 1984)

#### **2.1.4.1.6. Ósmosis inversa**

La ósmosis inversa es el proceso en el cual un solvente fluye a través de una membrana y hace que el líquido fluya de la solución más concentrada a la solución más diluida, necesitándose de una fuerza impulsora mayor que la presión osmótica (la cual comúnmente es de 21 kg/cm<sup>2</sup>), dependiendo de las diferencias de concentración. Las membranas usadas son hojas hechas de fibras huecas y delgadas y se forman dentro de tubos y toman la forma de cilindros. Se usa para remover sólidos disueltos o concentrar soluciones diluidas, teniendo aplicación en la desalinización de agua salobre y de agua

de mar, y en la reducción del volumen de efluentes industriales. También se usa para obtener agua des-ionizada. (Simovic, et al, 1984)

#### 2.1.4.1.7. **Electrodialisis**

Es un proceso de separación por membranas, donde la fuerza impulsora es de carácter eléctrico y las membranas usadas son semipermeables, y tienen propiedades de intercambio de cationes y aniones, siendo apiladas en forma alternada, en una prensa de pasajes angostos de líquido entre ellas. Existe la técnica de electrodiálisis inversa, en donde se realiza un cambio periódico del flujo de corriente directa hacia las membranas y el cambio simultáneo de los flujos de producto y efluente, lo cual permite que las superficies de las membranas se mantengan limpias y sin incrustaciones. Se emplea para regenerar soluciones químicas y evitar que su desecho se convierta en problema. También se usan en la desalinización de agua salobre y agua de mar. (Simovic, et al, 1984)

#### 2.1.4.1.8. **Métodos Biológicos Pasivos-Humedales**

Los tratamientos pasivos son los que se basan en el reconocimiento del papel que cumplen los procesos naturales en la eliminación de acidez, sulfatos y metales de las aguas ácidas. El tratamiento recae en la actividad de las especies biológicas o microbiológicas en su lugar natural. Para este tratamiento se usan **los humedales**. Varios estudios referentes a humedales naturales o construidos, usados para el tratamiento de drenajes ácidos de mina han mostrado resultados satisfactorios en la reducción de la cantidad de metales pesados y acidez. Los procesos que se presentan en los humedales son: filtración, sedimentación, inmovilización física y química, y descomposición química y biológica. Los humedales de flujo superficial son llamados también humedales (pantanos) aeróbicos, mientras que los humedales de flujo sub-superficial son conocidos como humedales anaeróbicos. En los humedales se desarrollan procesos aeróbicos y procesos anaeróbicos, los cuales apuntan a retirar el agente contaminado, pero principalmente los procesos anaerobios tales como reducción bacteriana del sulfato muestran un mejor funcionamiento. La presencia de plantas, microorganismos y sustancias orgánicas son esenciales para alcanzar un tratamiento acertado. Las plantas sirven como hábitat para poblaciones

microbianas que actúan en el proceso de remoción y las sustancias orgánicas proporcionan una fuente de carbón para plantas y microorganismos, de tal modo que realizan también el proceso de remoción. Esta tecnología continúa siendo examinada. (Simovic, et al, 1984)

#### **2.1.4.1.9. Métodos Biológicos Activos-Ingeniería Ecológica**

Cuando se usan especies biológicas o microbiológicas mejoradas, en sistemas diseñados para mejorar el tiempo de retención y la oxidación bacteriana natural, y se construye un humedal artificial, sobre un estanque superficial, a esto se le denomina **Ingeniería Ecológica**. Esta tecnología también continúa siendo examinada. (Simovic, et al, 1984)

#### **2.1.4.1.10. Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas**

“El tratamiento de las aguas residuales domésticas puede realizar con diferentes procesos disponibles” (Simovic, et al, 1984)

### **2.1.5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.**

Sistema de Recuperación de Agua tiene como objetivo es captar el agua acumulada en la laguna de aguas claras de la cubeta, constituida por la decantación de las lamas y por el agua de drenaje del muro de arena, recirculada a la cubeta desde la Estación de Bombeo Dren. El agua acumulada en la laguna es retornada al proceso de la Planta El Cobre desde la Estación de Bombeo Balsa.

#### **2.1.5.1. Estación de Bombeo Balsa:**

El sistema de recirculación de aguas desde la laguna de aguas claras está constituido por bombas verticales montadas en una balsa, desde la cual el vital elemento es impulsado hasta un estanque de traspaso y conducido en un acueducto hasta una estación de bombeo intermedia. Desde la estación intermedia el agua es impulsada hasta el estanque de cabeza de la Planta El Cobre. (Giles & Ranald, 1994)

#### **2.1.5.2. Estación de Bombeo Dren:**

Las aguas captadas por el sistema de drenes existente en el muro de arena, son conducidas gravitacionalmente a la sentina de bombeo de la Estación de Bombeo Dren, desde donde son impulsadas a la cubeta del Tranque de Relaves. Para ello se cuenta con un sistema de bombeo compuesto por bombas centrífugas

verticales, 2 tuberías de HDPE (de 16”y 14”, con una longitud de 1.300 [m] y 1.000 [m] respectivamente) y un grupo electrógeno para emergencias en caso de corte de alimentación eléctrica. La recuperación de aguas residuales en las empresas concentradoras están directamente relacionadas al tipo de aguas residuales que generan en sus operaciones y estos tratamientos incluyen el conjunto de procesos destinados a alterar las propiedades o la composición física, química o biológica de las aguas residuales, de manera que se transformen en vertidos inoocuos más seguros para su transporte, capaces de recuperación y almacenaje, o más reducidos en volumen. (Giles & Ranald, 1994)

#### 2.1.6. Minas:

En las minas se pueden presentar los siguientes casos:

- a. Que no haya agua de mina:
- b. Que las aguas tengan un pH, sólidos suspendidos y metales disueltos dentro del rango de la norma y no necesitan tratamiento
- c. Muy pocas veces se encuentran que un solo parámetro de las aguas de mina exceden las normas; en este caso se puede optar por un solo tratamiento para el parámetro excedido:

Cuando las aguas excedan a la norma sólo en lo relacionado a los sólidos suspendidos, el tratamiento es con pozas de sedimentación o decantación, con o sin uso de coagulantes y/o floculantes. Estas pozas de sedimentación van desde las más simple a las complejas, dependiendo de la cantidad de sólidos en suspensión en las aguas residuales.

Cuando las aguas tengan valores de pH menores a lo normado (aguas ácidas) el tratamiento será de neutralización con productos alcalinos como cal, soda cáustica o cualquier otro producto alcalino.

Cuando las aguas contengan metales disueltos que excedan las normas vigentes el tratamiento será de precipitación química como hidróxidos (usando lechada de cal, hidróxido de sodio u otro hidróxido alcalino) o como sulfuros (usando sulfuro de sodio, sulfuro de potasio u otro sulfuro)

- d. En la mayoría de los casos se presentan dos o más parámetros combinados excediendo las normas, necesitándose de dos o más tratamientos para cumplir

las normas, optándose en la mayoría de los casos por una Planta de Tratamiento. (Cruz, 2017)

#### **2.1.6.1. Relaves:**

En la mayoría de los casos las aguas decantadas que se descargan de las pozas de relaves cumplen con las normas de pH, sólidos suspendidos, metales disueltos e incluso con el contenido de cianuro. Si alguno de los parámetros no cumpliera la norma, deberá realizarse un tratamiento del o de los parámetros que excedan las normas. (Industrias Brentwood, Inc., 2013)

#### **2.1.6.2. Desmontes:**

El tratamiento de las aguas ácidas de desmontes tienen el mismo tratamiento que las aguas ácidas de minas, por lo cual deben ser colectadas y enviadas a la Planta de Tratamiento. La manera de evitar que las aguas ácidas se produzcan sería evitando la llegada de agua a los depósitos de desmontes, mediante canales de colección de las aguas de precipitación pluvial. (Gorshkov & Kharionovsky, 1983)

#### **2.1.6.3. Aguas excedentes:**

En el tratamiento de oro a tajo abierto, en épocas de lluvia el agua del sistema de recirculación se incrementa, y el exceso debe ser descargado al ambiente. Estas aguas deben ser tratadas antes de su descarga, pues contienen residuos contaminantes propios del proceso tales como cianuro, mercurio y metales que podrían alterar la calidad de las aguas de ríos y quebradas. Para el tratamiento de dicho excedente se tiene que regular el pH y se elimina la presencia de cianuro y metales mediante la adición de reactivos en las diferentes etapas que tienen las plantas de tratamiento. (Cruz, 2017)

#### **2.1.6.4. Aguas residuales de plantas concentradoras, fundiciones y/o refinерías, o tratamiento de cualquier mineral, concentrado, metal, o subproducto**

En estos casos en las aguas residuales, más de uno de los parámetros no cumplen lo normado y poseen Plantas de Tratamiento que pueden contar con: estanque de homogenización, etapa de neutralización y/o precipitación química, aireación, coagulación/floculación, separación sólido-líquido, pozas de retención y depósitos de lodos. (Castro, 1986)

### 2.1.6.5. Aguas Residuales Domésticas

Para el tratamiento de las aguas residuales domésticas las empresas mineras usan:

- Pozos o tanques sépticos con pozos de percolación
- Pozos o tanques sépticos con posterior tratamiento en sedimentadores y desinfección antes de la descarga a cuerpos receptores
- Tanques Imhoff con desinfección antes de la descarga a cuerpos receptores
- Tanques Imhoff con posterior tratamiento en sedimentadores y desinfección antes de la descarga a cuerpos receptores
- Tanques Imhoff con posterior tratamiento en lagunas de oxidación, sedimentadores y desinfección antes de la descarga a cuerpos receptores
- Lagunas de estabilización
- Lagunas aireadas con desinfección a la descarga
- Plantas de lodos activados o aeración extendida. (Gorshkov & Kharionovsky, 1983)



**Figura 2. Descarga de las tuberías de conducción de las aguas de mina en la poza de acopio y sedimentación.**

**Fuente: Elaboración propia**



**Figura 3. Pozas de placas paralelas, de clarificación**

**Fuente: Elaboración propia**

### **2.1.7. Sistema de recuperación de agua de la minera cerro verde**

El sistema de espesamiento de relaves y de recirculación de agua recibe el relave del circuito de flotación de cobre. En esta etapa del proceso se hará la separación sólido-líquido, la cual consiste en la sedimentación de las partículas solidas en suspensión del relave, enviando de regreso el agua del overflow a los tanques de agua de proceso, o agua recirculada, y la pulpa del underflow será enviada hacia las instalaciones de almacenamiento de relaves. El relave de la planta es un flujo de pulpa con 26.9% de sólidos en promedio, el cual está constituido en su mayor parte por las colas de los circuitos de flotación rougher-scavenger, cleaner-scavenger mas el overflow del clarificador, los cuales se juntan en la canaleta de colección (launder) C2- 3710-LA-001 para ser espesados, hasta llegar a un porcentaje de solidos de aproximadamente 55%. Todos los minerales de interés que pueden ser recuperados a estas alturas del proceso ya han sido separados de la pulpa, quedando un relave que estará conformado principalmente por ganga. Luego, este flujo de relaves pasa a través del muestreador C2-3710-SA-001 y un analizador en línea C2-3710-AZ-001 antes de fluir hacia el distribuidor de flujo de alimentación C2- 3710-DI-002, donde el relave es dividido entre los 04 espesadores C2-3710- TK-011/012/029/030 (de 80 metros de diámetro), uniformemente para su sedimentación. El overflow proveniente de los espesadores fluirá por gravedad

hacia los tanques de colección de agua reciclada C2-3710-PD-001/003 y de ahí será bombeada hacia los tanques de agua de proceso. La pulpa espesada del underflow con 55% sólidos en promedio, será bombeada hacia el cajón de colección de relave C2-3810-BX-102, de donde fluirá por gravedad hacia las instalaciones de almacenamiento de relaves para su clasificación, almacenamiento y conformación del dique de relaves. El underflow podrá también ser bombeado de regreso hacia el espesador cuando no hay alimentación a este (Recirculación). (Cruz, 2017)

El sistema de floculantes para relaves proporciona una solución para los 04 espesadores de relaves, la cual hará más rápida y eficiente la sedimentación de los sólidos en suspensión del relave dentro de los espesadores. Este sistema mezcla el floculante sólido con agua fresca y proporciona la dosis requerida para cada espesador.

El equipo auxiliar incluye bombas de sumidero para el área de los espesadores y para la planta de floculantes. Para controlar derrames potenciales que se pueden presentar por debajo del espesador, así como los overflows desde la poza de recirculación, existe un drenaje de emergencia hacia el área para almacenamiento de relaves.

El sistema de relaves y recuperación de agua para tal fin consumirá energía eléctrica, agua, materiales consumibles, lubricantes y floculante.



**Figura 4. Diagrama de entradas y salidas**  
**Fuente: Elaboración propia**

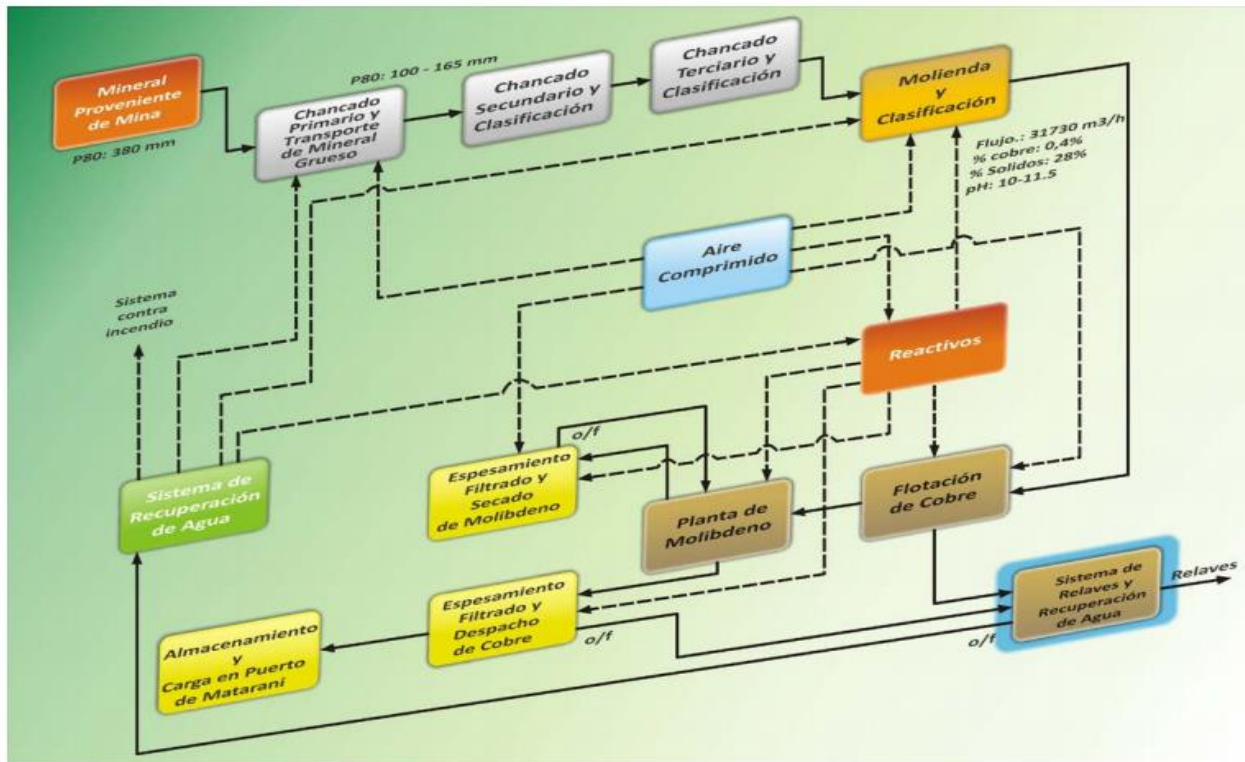


Figura 5. Diagrama de Ubicación general

Fuente: Elaboración propia

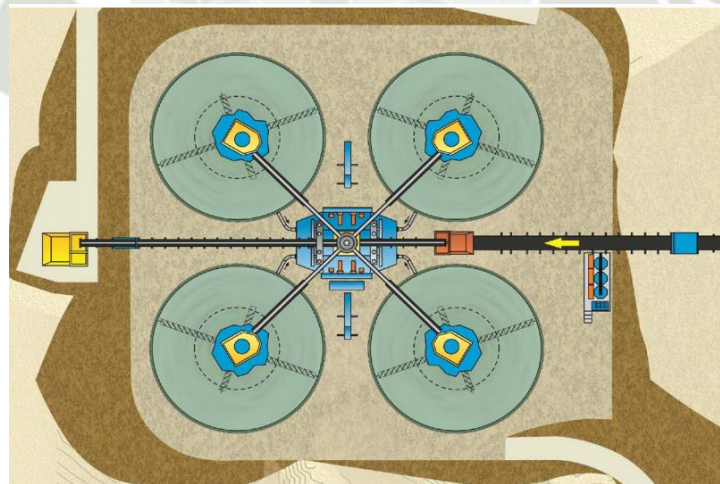


Figura 6. Disposición de los Espesadores de Relaves y sus Componentes.

Fuente: Elaboración propia

### 2.1.7.1. Espesadores para relaves.

El objetivo primordial de los espesadores de relaves es recuperar tanta agua clarificada (overflow) como sea posible mientras se envía la pulpa espesada (underflow) sin inconvenientes hacia la presa de relaves. La recirculación del

agua de proceso proveniente del overflow de los espesadores reduce los requerimientos de agua de bombeo desde el área de retención de relaves. Los 04 espesadores de relave de 80 mts. de diámetro son alimentados por el distribuidor DI-002, el relave ingresa a los espesadores a través de los ductos E-Duc, los cuales cuentan con conductos de mezcla que conducen la pulpa al Feed Well. El sistema E-Duc diluye la alimentación con el overflow clarificado de la parte superior de los espesadores y la adición del floculante será mediante las 05 bombas C2-3710-PP-132/133/134/135/136 dentro de los conductos de mezcla y tiene por finalidad ayudar a la sedimentación en los espesadores.

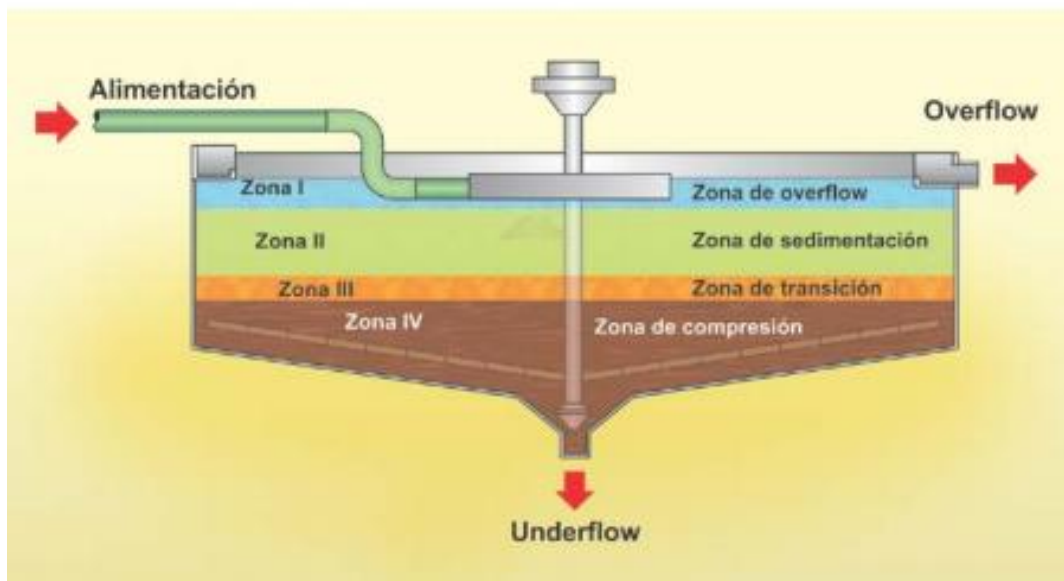
El agua clara del overflow de los espesadores fluirá por gravedad hacia el tanque de colección de agua recirculada C2-3710-PD-001/003, los sólidos contenidos en el relave sedimentan en el fondo de los espesadores C2-3710- TK-011/012/29/30 por la acción de la gravedad y del floculante adicionado previamente. Una vez sedimentados los sólidos, son trasladados hacia el centro de los espesadores mediante las rastras, las cuales forman parte del mecanismo de espesamiento C2-3710-TM-011/012/029/030. Si el torque en la rastra es demasiado alto, esta es elevada gradualmente por un dispositivo de elevación hasta llegar a un torque normal.

Los sólidos sedimentados fluyen desde el fondo de los espesadores hacia las bombas de underflow del espesador C2-3710-PP-030/031/040/041 ubicadas por debajo de este. Los mecanismos de espesamiento son accionados por sistemas hidráulicos, que constan de enfriadores de aceite, calentadores y bombas. Este sistema acciona un motor hidráulico, el cual, a su vez acciona la rastra y los dispositivos de elevación de esta. Los calentadores de aceite se sumergen en los reservorios, los cuales alimentan a las bombas que fuerzan al aceite a través de los filtros de presión y luego alimentan las unidades de accionamiento de los rastrillos. (Steel, 1979)

#### **2.1.7.2. Espesador continuo**

La sedimentación continua se lleva a cabo en un estanque cilíndrico con la alimentación de pulpa en la parte central superior y una descarga del sedimento, también central en la parte inferior (underflow). Una estructura metálica soporta las rastras que barren el fondo del estanque para descargar el sedimento. El agua recuperada en el proceso sale del equipo por un rebalse en toda la periferia del

estanque (overflow). La Figura, muestra un esquema de un espesador industrial continuo. (Cruz, 2017)



**Figura 7. Esquema de un Espesador Industrial Continuo**

**Fuente: Elaboración propia**

**Zona I** La zona I corresponde al de agua clara que se recupera y se ubica en la parte superior del espesador, por encima de la alimentación. Esta región recibe el nombre de Zona de Rebose ya que es por esta zona por dónde se recupera el agua clarificada.

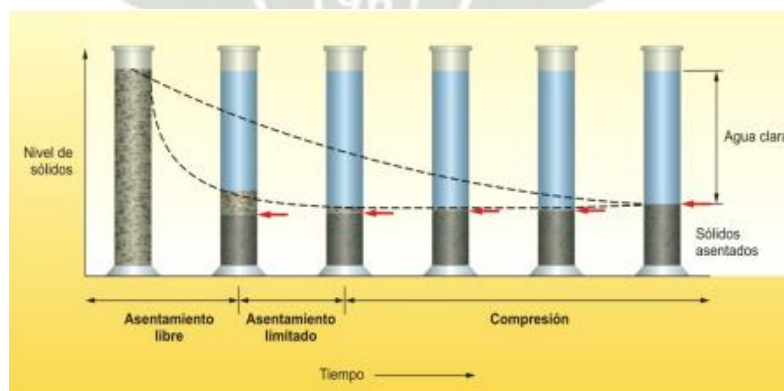
**Zona II** Esta zona esta debajo del agua clara y se denomina Zona de Sedimentación En una operación normal, la pulpa que entra a un espesador se diluye, por lo que la zona II tiene una concentración mucho menor que la concentración de la alimentación. Este hecho es ignorado muy frecuentemente, especialmente debido a las aseveraciones de Mishler y de Coe y Clevenger. Fue Comings quien descubrió mediante experimentos en el laboratorio que la concentración de la zona II depende del flujo de sólidos en la alimentación y es independiente de la concentración de ésta. A medida que el flujo de alimentación aumenta, aumenta la concentración de la zona II, pero esta concentración llega a un límite, y flujos mayores no aumentan esta concentración sino que llevan el sólido en exceso al rebalse. Esto significa que la zona II tiene un límite de capacidad para aceptar sólido. Coe y Clevenger llamaron a este límite la “capacidad de tratamiento de sólido” (solid handling capacity).

Zona III Bajo la zona de sedimentación constante está la zona III, denominada “zona de transición”, porque lleva la concentración del espesador a un estado intermedio en la cual la pulpa está en un estado de transición entre la sedimentación y la compresión (aumento de % de sólidos)

Zona IV Finalmente la zona IV corresponde a la “Zona de compresión”. Cuando las partículas que forman la pulpa están bien dispersas el sedimento tiene una concentración única y característica del material, pero cuando las partículas que forman la pulpa están floculadas, el sedimento se comprimirá y seguirá eliminando agua dependiendo del peso que soporta, por lo que se aumenta la concentración. A esta zona también se le conoce como altura de cama. (Cengel, Yunus, & Cimbala, 2006)

### 2.1.7.3. Principio de sedimentación

Si un depósito de vidrio lleno de pulpa que contiene una mezcla de tamaños de partículas (de la misma gravedad específica) se agita y luego se deja de estático, las partículas gradualmente sedimentan en la parte inferior de la del depósito por la fuerza de la gravedad, dejando el líquido claro en la parte superior. El régimen de asentamiento depende de muchos factores, de los que usualmente el tamaño de partículas es el más importante. En general, las partículas más grandes se asientan más rápidamente y las partículas más pequeñas más lentamente. Este principio se ilustra en la Figura N° 8.6, que también muestra tres condiciones diferentes de asentamiento, las cuales son:



**Figura 8. Principio de sedimentación**

**Fuente: Elaboración propia**

Para mantener una operación normal de los espesadores de relaves se tendrán que tener en cuenta principalmente las siguientes variables:

#### **2.1.7.3.1. Amperaje del motor de la rastra:**

Es una medida del grado de compresión de la pulpa en el fondo y esta directamente relacionado al torque de las rastras del espesador ya que al aumentar el torque, aumentará también el amperaje de los motores de la rastra.

#### **2.1.7.3.2. Torque:**

Es la fuerza generada por el motor de la rastra actuando sobre la pulpa. Se produce debido al aumento de la fuerza de la rastra sobre la pulpa (mediante las aspas de la rastra), debido al arrastre de la pulpa hacia el cono de descarga. (Giles & Ranald, 1994)

Este parámetro puede variar según el porcentaje de solidos en la descarga, el flujo de alimentación y la cantidad de floculante que esta siendo adicionado al espesador, pero en general a mayor porcentaje de solidos en el underflow se tendrá un aumento del torque y por ende un mayor amperaje de los motores de propulsión de la rastra.

#### **2.1.7.3.3. Altura de cama:**

La cama o altura de cama es aquella zona del espesador donde la pulpa empieza a comprimirse y estabilizarse dando como resultado una pulpa con menor cantidad de agua. El torque también se vera reflejado directamente en la altura de la cama, ya que al tener una mayor altura se estará aumentando la presión que ejerce la pulpa sedimentada sobre las rastras, aumentando así la fuerza para desplazarse lo cual se traduce en un mayor torque, mayor amperaje y un mayor consumo de energía eléctrica y a su vez se tendrá un overflow con contenidos de solidos altos. En una operación normal se tendrán valores de torque y amperaje constantes y muy por debajo del nivel critico.

#### **2.1.7.3.4. Floculación:**

Es la operación unitaria en donde a través de un polímero orgánico denominado “Floculante” es posible agrupar las partículas finas suspendidas en una pulpa, provocándose una aceleración en la sedimentación de ellas, a

lo cual se le denomina “Floculación”. En una suspensión o pulpa de minerales, pueden existir partículas muy grandes que sedimentan rápidamente en forma natural, mientras que las partículas muy finas, tienden a quedar suspendidas, sin sedimentar en forma natural. Estas partículas muy finas deben ser agrupadas entre sí para que aumenten su peso y puedan sedimentar. La velocidad de sedimentación de cualquier partícula sólida dependerá de:

- Tamaño y peso.
- pH de la suspensión o pulpa
- Viscosidad del medio que la suspende.
- Densidad relativa del medio que la suspende.
- Fuerzas que interactúan entre las partículas suspendidas, ya sean atrayentes o repelentes. (Gorshkov & Kharionovsky, 1983)

#### **2.1.7.4. Sistema de recirculación de agua (overflow).**

El objetivo del sistema de recirculación es coleccionar el agua clarificada del overflow de los espesadores y bombearla a los tanques de agua de proceso.

El overflow de los espesadores fluirá por gravedad hacia los tanques de colección del agua recirculada PD-001/003, desde donde las bombas lo transfieren hacia el tanque de agua de proceso. Estos tanques rebosarán dentro de unas canaletas de overflow C2-3710-LA-011/012, ubicadas dentro de los mismos, cuando se tenga nivel alto. Esta canaleta descarga en el pozo de drenaje de la bomba del underflow de los espesadores.

Las bombas de recuperación de agua al proceso C2-3710-PW611/612/613/614 del tanque PD-001 y C2-3710-PW-621/622/623/624 del tanque PD-003, montadas en la cubierta de los taques, bombean el agua de recirculación hacia los tanques de agua del proceso, donde una válvula check estará ubicada después de cada bomba, seguida por un interruptor de flujo, un indicador de presiones, una válvula de drenaje y una válvula de aislamiento.

La cabeza de la bomba posee una línea de drenaje de retorno a la poza y una línea separada de drenaje a nivel, la cual se une a la línea de drenaje de la poza.

Un indicador de presiones y un flujómetro, fijados al DCS, monitorean el flujo total de recirculación hacia los tanques de agua de proceso.

Las bombas operan usando un control automatizado on/off. Aunque se tienen válvulas de aislamiento anuales delante de cada uno de los tanques de agua de proceso, estas no están destinadas para el control del flujo o restricción alguna del sistema de tuberías. (Villa, 2020)

#### **2.1.7.5. Sistema underflow del espesador de relaves.**

La pulpa de underflow con aproximadamente 55% de sólidos es recolecta por 4 líneas ubicadas por debajo de cada espesador, cada una de estas líneas posee una válvula manual de compuerta tipo cuchilla operada por cadenas, seguida por una válvula neumática automatizada de compuerta tipo cuchilla controlada por el DCS. Después de cada válvula neumática, se dispone de una línea de lavado con agua del proceso controlada por válvulas automatizadas tipo cuchilla. Estas líneas pueden usarse para lavar la línea del underflow, el fondo del espesador o para diluir el underflow del espesador, y finalmente después de la línea de lavado el underflow se tiene otra válvula automatizada de compuerta tipo cuchilla. Una operación normal no requiere de una adición de agua de proceso.

Las 2 válvulas automatizadas permiten un aislamiento de los espesadores para el lavado de las líneas de underflow o del cono de cada espesador y la válvula manual permite un aislamiento de la línea del underflow para el mantenimiento de otras válvulas. Las cuatro líneas de Underflow de cada espesador son unidas inicialmente a dos líneas de 20" (2 por cada línea) luego estas 2, a una de 28" fluyendo hacia las bombas de underflow del espesador C2-3710-PP-030/031/40/41. Estas bombas poseen válvulas automatizadas de compuerta tipo cuchilla tanto en la succión como en la descarga para aislar a las bombas en caso de que no estén en operación. Las bombas de underflow requieren de agua de sello del prensaestopas para evitar el ingreso de cualquier agente externo a los rodamientos, después de la bomba de underflow se tendrán flujómetros que miden el caudal hacia las instalaciones del área para relaves.

El underflow será bombeado hacia el cajón de colección de relaves C2-3810-BX-102 de donde fluirá por gravedad al cajón de alimentación de los ciclones C2-3810-BX-103 con un flujo de 6300 m<sup>3</sup>/h, al dique de contención con un flujo

de 4725 m<sup>3</sup>/h y directamente a su almacenamiento en la presa de relaves con un flujo de 1575 m<sup>3</sup>/h. (Villa, 2020)

#### **2.1.7.6. Sistema de clasificación y disposición de relaves**

Este sistema separa el relave en dos productos, el primero serán las arenas o material grueso que será usado para la conformación del dique de relaves, y el material fino será dispuesto en el lado de embalse del dique para su almacenamiento. En el cajón de alimentación BX-103 se diluye la pulpa del underflow de los espesadores de relaves desde un 55% hasta un 42% de sólidos aproximadamente; esta pulpa alimentará a la primera etapa de clasificación conformada por 02 baterías de ciclones de 17 unidades operativas cada una, de donde se tendrá un underflow por cada batería de aproximadamente 63% de sólidos, ambos flujos convergen en el cajón de colección C2-3820- BX-104 donde se diluirá la pulpa hasta llegar a 42% de sólidos aproximadamente y fluirá por gravedad hacia la segunda etapa de clasificación; en esta segunda etapa se cuenta con una batería de ciclones de 9 unidades operativas, que entrega un underflow de 72% de sólidos, el cual será enviado mediante la bomba C2-3830-PP-801 hacia el jacking header de las arenas que se encarga de distribuir el underflow sobre la parte exterior del dique de relaves uniformemente para su compactación.

Los ciclones de las baterías de la primera etapa de clasificación se encuentran equipados con el sistema ciclowash el cual permite la inyección de agua en la sección media del ciclón para que las partículas finas en el underflow puedan ser desplazadas y descargadas por el overflow, con esto se mejora la clasificación y se obtienen arenas con menor cantidad de partículas finas. El agua de inyección sirve como el agente de desplazamiento de las partículas finas arrastradas en el underflow y son dirigidas hacia el overflow.

El overflow de las 02 baterías de ciclones de la primera etapa de clasificación tendrán aproximadamente 28.8% de sólidos y el de la segunda etapa, 19.9%; estos 03 flujos convergen en una tubería común la cual descargará el flujo mediante el jacking header de lamas, con este dispositivo se depositará el producto fino de la clasificación en el embalse del dique de relaves para su almacenamiento. (Spena Group, 2016)

### 2.1.7.7. Descripción de equipos.

Este circuito consta de una variedad de equipos que trabajan conjuntamente para realizar el proceso de chancado eficientemente y entre los principales tenemos:

DESCRIPCION DE EQUIPO	TAG
Espesador de relaves N° 1	C2-3710-TK-011
Espesador de relaves N° 2	C2-3710-TK-012
Espesador de relaves N° 3	C2-3710-TK-029
Espesador de relaves N° 4	C2-3710-TK-030
Analizador de relave de planta	C2-3710-AZ-001
Muestreador de relaves de planta	C2-3710-SA-001
Distribuidor de alimentación del espesador de relaves	C2-3710-DI-002
Tanques de agua recuperada	C2-3710-PD-001/002
Bombas de agua recuperada	C2-3710-PW-611/612/613/614 C2-3710-PW-621/622/623/624
Bomba del underflow del espesador de relaves	C2-3710-PP-030/031/040/041
Batería de ciclones N°1 de la primera etapa de clasificación.	C2-3820-CS-002
Batería de ciclones N°2 de la primera etapa de clasificación.	C2-3820-CS-003
Batería de ciclones de la segunda etapa de clasificación.	C2-3820-CS-004

DESCRIPCION DE EQUIPO	TAG
Tolvas de alimentación de floculante de relaves	C2-3710-BN-020/030
Agitadores de tolva de alimentación de floculante	C2-3710-AG-013/014
Alimentadores de Tornillo	C2-3710-FE-044/045
Sopladores de floculante para relaves	C2-3710-BL-013/014
Venturis	C2-3710-ZM-089/091
Cabezas hidratadoras de floculante de relaves	C2-3710-ZM-088/090
Tanque mezclador de floculante de relaves	C2-3710-TK-038
Tanque de almacenamiento de floculante de relave	C2-3710-TK-048
Bombas de dosificación del floculante de relave	C2-3710-PP-132/133/134/135/136
Mezclador estático de dilución	C2-3710-ZM020/021/049/050

**Figura 9. Descripción de equipos**

**Fuente: Elaboración propia**



#### **2.1.7.8. Tanque de colección de agua recirculada**

Este tanque colecta el overflow de agua clara de los 04 espesadores. El agua es recirculada hacia el tanque de agua de proceso mediante bombas verticales PW-611/612/613/614 para el tanque PD-001 y PW621/622/623/624 que son montadas sobre los tanques.

En la parte interior del tanque de colección se encuentra una canaleta que proporciona un overflow que descarga a un ducto de drenaje de emergencia que va desde el pozo de la bomba del overflow del espesador hasta las partes superiores de la instalación de almacenamiento de relaves. (Servicio Nacional de Geología y Minería, 2012)

#### **2.1.7.9. Bombas de recirculación de agua**

Cada una de estas 08 bombas son de tipo turbina vertical con impulsores localizados sumergidos en los depósitos en el tanque de agua de recirculación. Una malla de tamiz en la base del eje nos asegura que los desechos grandes no entren a la bomba. El agua es forzada hacia arriba a través de la malla filtradora a causa de la altura estática del pozo sumergido en el primer impeler rotatorio y luego por la segunda etapa del impeler y hacia afuera por el ducto de descarga. El motor está ubicado en el nivel más alto de la bomba para considerar la máxima inundación en el lugar o por condiciones de espacio. La succión está en el extremo inferior de la bomba mientras que la descarga del inyector está justo debajo del impulsor. (Riveros, 2016)

#### **2.1.7.10. ¿Qué es lo que en realidad pasa?**

El paso de 3 electrones ocasiona la liberación de un átomo de aluminio con tres cargas eléctricas positivas  $Al^{3+}$  que en contacto con el medio acuoso se transforma en  $Al(OH)_3$  que tiene un elevado poder coagulante, este coagulante atrae a la materia orgánica dispuesta en coloides formando coágulos esta atracción se debe a que coagulante y coloides tienen diferente carga eléctrica y forman el coágulo.

En un proceso simultáneo los mismos electrones atacan a la molécula del agua y genera un radical hidroxilo y un átomo de  $H^+$  y este se enlazará con otro para formar  $H_2$  g y liberarse. (Riveros, 2016)

### 2.1.7.10.1. Reacciones

El ánodo que provee iones metálicos se le conoce como electrodo de sacrificio, ya que la placa metálica que lo conforma se disuelve, mientras la placa que forma el cátodo permanece sin disolverse.

Cuando un potencial es aplicado a los electrodos, de hierro y aluminio, ocurre el siguiente proceso: el hierro o aluminio del ánodo se disuelven dando origen a iones metálicos, los iones producidos cumplen la función de desestabilizar las cargas que poseen las partículas contaminantes presentes en el agua. Los cuales son hidrolizados inmediatamente para formar hidróxidos y polihidróxidos, estas sustancias son excelentes agentes coagulantes. La coagulación se logra cuando estos cationes son atraídos por las partículas negativas presentes en la solución, coloides.

Cuando estas cargas se han neutralizado, permitiendo la formación de coágulos de los contaminantes e iniciando así el proceso de coagulación, formación, que dependiendo de su densidad pueden flotar o precipitar. Las reacciones más importantes que pueden sufrir las partículas de contaminantes son: hidrólisis, electrólisis, reacciones de ionización y formación de radicales libres

El proceso de electrocoagulación es afectado por diferentes factores.

- La naturaleza y concentración de los contaminantes.
- El pH del agua residual y la conductividad.

Para el caso en el cual el hierro actúa como ánodo, se han propuesto dos mecanismos que explican la formación de dos posibles coagulantes. Estos pueden ser hidróxido ferroso  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  o hidróxido férrico  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ .

- **Mecanismo uno: Formación del hidróxido férrico**

Reacción global:

Mecanismo dos: Formación del hidróxido ferroso.

En el ánodo se dan las reacciones:

Reacciones químicas presentes en la electrocoagulación. (Araúz, 2022)

**Tabla 4**

*Ficha técnica y económica*

DETALLE	ELECTROCOAGULACION
<b>Relación de energía</b>	0.020-0.032 \$/m <sup>3</sup>
<b>Relación de energía</b>	No usa químicos
<b>Tiempo de residencia de la reacción</b>	(10-60)s. En la celda de EC
<b>Tiempo de residencia de la sedimentación</b>	(15-20)min. En el estanque de sedimentación
<b>Desinfección</b>	Uso de ozono

**Fuente: Araúz, (2022)**

## IMPORTANTE

### 2.1.7.10.2. Ventajas

- Tiende a llevar las aguas tratadas cerca de un PH neutro.
- Produce efluentes con menos contenido de TDS en comparación con los tratamientos químicos convencionales.
- Precipita metales pesados, arsénico, etc. Sólidos coloidales (orgánicos e inorgánicos), partículas y contaminantes inorgánicos solubles en medio acuoso.
- Higieniza y desinfecta de patógenos el vertido final debido a la formación de hipoclorito in situ.
- Evita la utilización de productos químicos.
- La planta requieren menos mantenimiento.
- Se produce un desprendimiento de H<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> gaseoso en sus respectivos electrodos. Estos gases al ascender a la superficie provocan:
  - Separación rápida de coloides del electrodo (evitan se ensucien)
  - Arrastre de coloides desestabilizados a la superficie, formando una nata
- Debido a las burbujas de gas, se producen corrientes ascendentes descendentes de la solución, ocasionando así un aumento en la eficiencia de la desestabilización. Esta agitación espontánea, evita la agitación mecánica
- Técnica amiga del medio ambiente.
- Los tiempos de residencia de la electrocoagulación son de 10 a 20 minutos, en comparación con los sistemas biológicos que requieren entre 12 y 24 horas.
- Los costos de inversión son un 50% más bajo que los sistemas biológicos.
- Los consumos de energía eléctrica son menores a los sistemas de tratamiento convencionales. (Araúz, 2022)

### 2.1.7.10.3. Reacciones de la Electrofloclación

Algunas reacciones que ocurren en los electrodos son similares a las que ocurren en los electrodos de la electrocoagulación.

#### Ánodo (Oxidación)

Con presencia de cloruros durante las reacciones de oxidación-reducción que tienen lugar en el ánodo y el cátodo, el cloro y el hipoclorito libres pueden ser generados los cuales son oxidantes muy fuertes y puede llevar a cabo la oxidación indirecta de la materia orgánica y suceden las reacciones siguientes:

La oxidación de la materia orgánica se lleva a cabo por medio de oxígeno generado en la oxidación del agua en el ánodo y el peróxido de hidrógeno creado in situ. Sin embargo, el principal mecanismo para la eliminación de la materia orgánica disuelta se lleva a cabo por la oxidación mediante la capa de ozono añadida y mediante la oxidación indirecta del ánodo con la ayuda de en cloruro generado in situ e hipoclorito.

#### Aplicaciones

##### Aplicaciones Generales

- La industria metalúrgica.
- Industria productora de cromo: Estas aguas residuales son de alta toxicidad y el mejor tratamiento que se las puede dar es la electrocoagulación
- Industria productora de curtientes.
- Industria productora de fertilizantes.
- Industria mecánica.
- Las refinerías.
- Talleres de reparación automotriz.
- Industria alimentaria: estas aguas son caracterizadas por tener altos contenidos de DBO y DQO, además de altos porcentajes de grasas. Mediante la electrocoagulación mostro remociones de 99 y 88% en grasas y DQO respectivamente.

- **Industria Textil:** Donde se han obtenido eficiencias importantes en la remoción de materia orgánica, turbiedad y color.
- **Potabilización de aguas:** Es importante resaltar que el paso de la corriente eléctrica a través del agua a tratar tiene efecto desinfectante en cuanto que destruye, en porcentajes por encima del 99%, los microorganismos presentes en el agua, en esta misma aplicación se ha venido estudiando la electrocoagulación con buenos resultados en el tratamiento de aguas para consumo humano contaminadas con arsénico. (Shames, 1995)

- **Aplicación detallada (ELECTROFLOCULACIÓN).**

La electrofloculación es muy adecuada para tratar los efluentes difíciles. Este proceso puede tratar grandes caudales de aguas residuales con bajos costos de funcionamiento y sin la utilización de productos químicos, con excepción del necesario para mantener un Ph cercano a 7. El filtrado obtenido puede en la mayoría de los casos ser reincorporado al proceso de fabricación o bien reciclado. También se puede, incorporando un equipo complementario, obtener un filtrado limpio, que puede ser utilizado en aquellas aplicaciones que necesitan un fluido de gran pureza. (Castro, 1986)

- **Descripción del proceso**

En primer lugar el Ph de las aguas residuales a tratar debe llevarse a un valor entre 6 y 8. Esto tiene lugar en el depósito de neutralización. Seguidamente el fluido es bombeado a la cuba de trabajo donde se encuentran los electrodos (Fe y Al.). Los electrodos reciben alimentación eléctrica con una corriente de fuerte amperaje y débil voltaje.

El Fe y el Al. se transforman en cationes, formando como en la electrocoagulación.

Esta técnica permite además eliminar los metales pesados disueltos en el agua, la corriente se interrumpe automáticamente y el fluido es evacuado hacia un depósito tampón o regulador.

Durante el vaciado de la cuba de trabajo los electrodos son limpiados. Este depósito regulador o tampón, alimenta un filtro-prensa mediante una bomba de membranas. Cuando el filtro-prensa está lleno, la presión en la bomba llega a su

máximo y se puede proceder a la evacuación de los lodos (prácticamente secos) en un contenedor situado bajo el filtro.

El filtrado que sale del filtro-prensa se envía a otro depósito tampón donde se controlan el pH, la temperatura y la turbidez. Si el filtrado responde a las exigencias requeridas, podrá ser reutilizado como destino final, si no será devuelto al efluente. (Spena Group, 2016)

- **Desinfección UV**

La luz ultravioleta (UV) es una alternativa de desinfección de agua residual evitando así el uso del cloro y ozono., proveen una desinfección efectiva sin producción de subproductos. La luz ultravioleta es una porción del espectro electromagnético que se encuentra entre los rayos x y la luz visible

El mecanismo de desinfección se basa en un fenómeno físico por el cual las ondas cortas de la radiación ultravioleta inciden sobre el material genético (ADN) de los microorganismos o probablemente en las nucleoproteínas que son esenciales para la supervivencia del microorganismo y los virus, y los destruye en corto tiempo, sin producir cambios físicos o químicos notables en el agua tratada.

La cinética de inactivación microbiana por UV es citada a menudo con ley de Chick:

Donde  $N_0$  es la concentración inicial de microbios previa a la aplicación de UV,  $N$  es el número de microbios que restan después de la exposición a la luz UV.  $I$  es la intensidad UV,  $t$  es el tiempo de exposición, y  $k$  es la constante del ritmo de inactivación. La mayoría de los equipos de desinfección ultravioleta utilizan una exposición mínima (en el agua) de  $30.000 \mu\text{Ws}/\text{cm}^2$ . Esto es adecuado para inactivar las bacterias y virus patógenos, pero quizá no sea suficiente para ciertos protozoos patógenos, quistes de protozoos y huevos de nemátodos, que pueden requerir hasta  $100.000 \mu\text{Ws}/\text{cm}^2$  para su inactivación total. (Gorshkov & Kharionovsky, 1983)

- **Reacciones**

Subproductos de la desinfección con rayos ultravioleta

No se conoce que haya efectos directos adversos sobre la salud de los consumidores de agua desinfectada con luz ultravioleta. la luz ultravioleta no altera el sabor ni el olor del agua tratada. (Blooger, 2005)

- **Funcionamiento**

La luz ultravioleta se produce mediante lámparas de vapor de mercurio .La desinfección del agua con luz ultravioleta puede lograrse con longitudes de onda de luz entre 240 y 280 nm y se obtiene la máxima eficiencia germicida a los 260 nm.

Una consideración importante en el diseño del equipo de desinfección es asegurarse de que cada microorganismo reciba la dosis biocida de radiación en la cámara de contacto. Esto se logra determinando el espacio correcto entre las lámparas y las superficies reflectoras del interior de la cámara y agitando adecuadamente el agua cuando pasa por la cámara.

Si el flujo es perpendicular, las propias lámparas , pueden producir la turbulencia necesaria para asegurar que toda el agua quede expuesta a la dosis biocida. Cuando el flujo es paralelo a la longitud de las lámparas, es necesario utilizar mezcladores estáticos (pantallas) para proporcionar la turbulencia necesaria. (Shames, 1995)



## 2.2. Características de Funcionamiento de Clarificadores.

### 2.2.1. Clarificadores

Los clarificadores de agua son tanques de sedimentación con medios mecánicos para eliminar, de forma continua, los sólidos que se depositan mediante la sedimentación. La clarificación es la operación más antigua y ampliamente utilizada en el tratamiento efectivo de aguas residuales.

Por lo general, los clarificadores se emplean para eliminar las partículas sólidas o sólidos suspendidos de los líquidos para su clarificación o espesamiento mediante la sedimentación gravitacional. (Shames, 1995)



**Figura 10. Clarificador**

**Fuente: Tratamiento de aguas de planta**

Un sistema primario de tratamiento de aguas residuales incluye dos tipos de equipos, clarificación primaria y física, la unidad de tratamiento químico depende de los componentes. El propósito principal de un sistema clarificador es producir efluentes más limpios y eliminar los sólidos.

Los clarificadores mecánicos en el **proceso de lodo activado** cumplen un doble propósito. Deben brindar un efluente clarificado y una fuente concentrada de lodo de retorno para llevar un control del proceso, eliminar el sedimento, la turbidez y las partículas flotantes de las aguas residuales. (Shames, 1995)

## 2.2.2. Aplicaciones

### 2.2.2.1. Pretratamiento

Antes de que el agua ingrese al clarificador, se pueden agregar reactivos de coagulación y floculación, tales como polielectrolitos y sulfato férrico. Estos reactivos hacen que las partículas finamente suspendidas se agrupen y formen partículas más grandes y densas, llamadas flóculos, que se depositan de manera más rápida y estable. Esto permite que la separación de los sólidos en el clarificador ocurra de manera más eficiente y fácil; ayudando en la conservación de la energía.<sup>2</sup> Aislar los componentes de las partículas usando primero estos procesos puede reducir el volumen de los procesos de tratamiento del agua aguas abajo, como la filtración. (Industrias Brentwood, Inc., 2013)

### 2.2.2.2. Tratamiento de agua potable

El agua que se purifica para el consumo humano, se trata con reactivos de floculación, luego se envía al clarificador donde se produce la eliminación del coagulado floculado produciendo agua clarificada. El clarificador funciona permitiendo que las partículas más pesadas y grandes se depositen en el fondo del clarificador. Las partículas luego forman una capa inferior de lodo que requiere eliminación y eliminación regulares. El agua clarificada luego pasa por varios pasos más antes de ser enviada para su almacenamiento y uso. (Industrias Brentwood, Inc., 2013)

### 2.2.2.3. Tratamiento de aguas residuales

Los tanques de sedimentación se han utilizado para tratar las aguas residuales durante milenios.

El tratamiento primario de las aguas residuales es la eliminación de sólidos flotantes y sedimentables mediante sedimentación. Los *clarificadores primarios* reducen el contenido de sólidos en suspensión y contaminantes incrustados en esos sólidos en suspensión. Debido a la gran cantidad de reactivo necesario para tratar las aguas residuales domésticas, la coagulación química y la floculación preliminares generalmente no se usan, los sólidos suspendidos restantes se reducen siguiendo las etapas del sistema. Sin embargo, la coagulación y la floculación pueden usarse para construir una planta de

tratamiento compacta (también llamada "planta de tratamiento de paquete") o para purificar aún más el agua tratada.

Los tanques de sedimentación llamados *clarificadores secundarios* eliminan los flóculos de crecimiento biológico creados en algunos métodos de tratamiento secundario que incluyen lodos activados, filtros de goteo y contactores biológicos rotativos. (Steel, 1979)

#### 2.2.2.4. Minería

Los métodos utilizados para tratar los sólidos en suspensión en las aguas residuales de la minería incluyen la sedimentación y la clarificación y filtración de la capa de flóculos. La sedimentación es utilizada por *Rio Tinto Minerals* para refinar el mineral en bruto en boratos refinados. Después de disolver el mineral, la solución saturada de borato se bombea a un gran tanque de sedimentación. Los boratos flotan sobre el licor mientras la roca y la arcilla se depositan en el fondo. (Gorshkov & Kharionovsky, 1983)

#### 2.2.3. Tecnología

Tanques rectangulares de sedimentación con estructura de vertedero de efluentes visibles sobre la superficie del fluido.

Tanque de sedimentación circular drenado que muestra deflectores de entrada central a la derecha con raspador de sólidos y brazos de espumadera visibles debajo del puente giratorio.

Aunque la sedimentación puede ocurrir en tanques de otras formas, la eliminación de sólidos acumulados es más fácil con cintas transportadoras en tanques rectangulares o con rascadores que giran alrededor del eje central de tanques circulares. Los dispositivos mecánicos de eliminación de sólidos se mueven tan lentamente como sea práctico para minimizar la resuspensión de sólidos sedimentados. Los tanques están dimensionados para dar al agua un tiempo de residencia óptimo dentro del tanque. La economía favorece el uso de tanques pequeños; pero si la velocidad de flujo a través del tanque es demasiado alta, la mayoría de las partículas no tendrán tiempo suficiente para asentarse y se transportarán con el agua tratada. Se enfoca una atención considerable en reducir las velocidades de entrada y salida de agua para minimizar la turbulencia y promover un asentamiento efectivo en todo el volumen del tanque disponible.

Los deflectores se utilizan para evitar que las velocidades del fluido en la entrada del tanque se extiendan dentro del tanque; y los vertederos de desbordamiento se usan para distribuir uniformemente el flujo del líquido que sale del tanque sobre un área amplia de la superficie para minimizar la resuspensión de las partículas sedimentadas. (Weber, 1972)

### 2.2.3.1. Depósitos del tubo

Los sedimentadores de tubos se usan comúnmente en clarificadores rectangulares para aumentar la capacidad de sedimentación al reducir la distancia vertical que debe recorrer una partícula suspendida. Los colonos de tubos de alta eficiencia utilizan una pila de tubos paralelos, rectángulos o piezas planas separadas por unas pocas pulgadas (varios centímetros) y que se inclinan hacia arriba en la dirección del flujo. Esta estructura crea una gran cantidad de vías de flujo paralelas estrechas que fomentan un flujo laminar uniforme según el modelo de la ley de Stokes.

Estas estructuras funcionan de dos maneras:

1. Proporcionan un área de superficie muy grande sobre la cual las partículas pueden caer y estabilizarse.
2. Debido a que el flujo se acelera temporalmente entre las placas y luego se ralentiza inmediatamente, esto ayuda a agregar partículas muy finas que pueden asentarse a medida que el flujo sale de las placas. (Weber, 1972)

Estructuras inclinadas entre  $45^\circ$  y  $60^\circ$  puede permitir el drenaje por gravedad de los sólidos acumulados, pero los ángulos de inclinación menos profundos generalmente requieren drenaje y limpieza periódicos. Los sedimentadores de tubos pueden permitir el uso de un clarificador más pequeño y pueden permitir que las partículas más finas se separen con tiempos de residencia inferiores a 10 minutos. Típicamente, tales estructuras se usan para aguas difíciles de tratar, especialmente aquellas que contienen materiales coloidales.

Los sedimentadores de tubos capturan las partículas finas permitiendo que las partículas más grandes viajen al fondo del clarificador en una forma más uniforme. Las partículas finas se acumulan en una masa más grande que luego se desliza por los canales del tubo. La reducción en los sólidos presentes en el flujo de salida permite una reducción en la huella del clarificador al diseñar. Los

tubos hechos de plástico PVC tienen un costo menor en las mejoras de diseño del clarificador y pueden conducir a un aumento de la tasa de operación de 2 a 4 veces. (Blooger, 2005)

#### 2.2.4. Operación

Para mantener y promover el procesamiento adecuado de un clarificador, es importante eliminar primero cualquier componente corrosivo, reactivo y polimerizable, o cualquier material que pueda ensuciar la corriente de salida del agua para evitar reacciones secundarias no deseadas, cambios en el producto o causar daños a cualquiera de los equipos de tratamiento de agua. Esto se realiza mediante inspecciones de rutina y la limpieza frecuente de las zonas de reposo y las áreas de entrada y salida del clarificador para determinar la extensión de la acumulación de sedimentos y para limpiar y eliminar cualquier rastro, basura, malezas o escombros que se hayan acumulado. tiempo extraordinario. (Weber, 1972)

El agua que se introduce en el clarificador debe controlarse para reducir la velocidad del flujo de entrada. La reducción de la velocidad maximiza el tiempo de retención hidráulica dentro del clarificador para la sedimentación y ayuda a evitar turbulencias y mezclas excesivas; promoviendo así la sedimentación efectiva de las partículas suspendidas. Para desalentar aún más la mezcla excesiva dentro del clarificador y aumentar el tiempo de retención permitido para que las partículas se depositen, el flujo de entrada también debe distribuirse uniformemente a través de toda la sección transversal de la zona de sedimentación dentro del clarificador, donde el volumen se mantiene al 37.7 por ciento capacidad.

El lodo formado a partir de las partículas sedimentadas en el fondo de cada clarificador, si se deja durante un período prolongado de tiempo, puede volverse pegajoso y viscoso, causando dificultades en su eliminación. Esta formación de lodos, promueve condiciones anaeróbicas y un ambiente saludable para el crecimiento de bacterias. Esto puede causar la resuspensión de partículas por gases y la liberación de nutrientes disueltos a través del fluido del agua, reduciendo la efectividad del clarificador. Los problemas y problemas de salud más importantes también pueden ocurrir más adelante en el sistema de purificación de agua u obstaculizar la salud de los peces que se encuentran aguas abajo del clarificador. (Torres, 2000)

### 2.2.5. Funciones principales

Veamos las funciones más importantes del clarificador de agua:

- Remoción de los sólidos por sedimentación
- Remoción de espuma por flotación
- Espesar las partículas de lodo para su retiro y posterior tratamiento
- También, se emplean para almacenar temporalmente lodos durante las fluctuaciones del flujo diurnas. Sin embargo, se deben evitar períodos de almacenamiento largos. (Blooger, 2005)

### 2.2.6. Principios básicos de un clarificador

Los clarificadores son brazos que giran lentamente. Un líquido con sólidos suspendidos se vierte en el tanque clarificador. El líquido transparente desborda la parte superior del tanque y se recoge en un canal. (Spena Group, 2016)

### 2.2.7. Clarificadores primarios y secundarios

El clarificador primario ralentiza el agua y remueve los sólidos que flotan en la superficie del tanque con su sistema de descremación de rastrillo. De este modo, las aguas residuales se remueven lentamente del tanque y se envían a lagunas de oxidación para el siguiente paso del proceso.

Los clarificadores más pequeños se emplean cuando el volumen de las aguas residuales entrantes excede la capacidad del clarificador más grande o durante el mantenimiento del clarificador más grande. (Blooger, 2005)

### 2.2.8. Características de un clarificador



**Figura 11. Clarificador**

**Fuente: Blooger, (2005)**

A continuación, te presentamos las características de un clarificador:

- Se puede instalar modificando las instalaciones existentes (tanque primario de sedimentación, tanque de sedimentación de aguas pluviales).
- Es posible un funcionamiento estable, dependiendo de la fluctuación del caudal, porque el paso del agua se emplea tanto en el proceso de tratamiento como en el proceso de lavado.
- No se necesita ningún tanque auxiliar porque el tiempo para lavar el medio filtrante es corto (1 minuto).
- La gestión de las operaciones es más sencilla, ya que el número de dispositivos en el tanque y dispositivos auxiliares es menor. (Benavidesj, 2018)

“Camp y Stein, desarrollaron una expresión que permite calcular el número de colisiones entre partículas en la unidad de tiempo con flujo turbulento, relacionándola con el gradiente de velocidad así” (Cruz, 2017).

$$\frac{dn}{dt} = \frac{G}{6} n_1 n_2 (d_1 + d_2)^3$$

Existen  $n_1$  partículas de diámetro  $d_1$  y  $n_2$  partículas de diámetro  $d_2$  por unidad de volumen y estas son cantidades fijas y el gradiente de velocidad en toda la masa líquida, se puede expresar el número de choques entre los tipos de partículas. Considerando  $d_2$  es mucho mayor que  $d_1$ . (Castro, 1986)

$$-\frac{dn}{dt} = \frac{G}{6} n_1 n_2 d_2^3$$

“Castro desarrollo uno de los primeros estudios teóricos de clarificación de mantos de lodos basado sobre los principios de la floculación ortocinética con el manto, el propuso que la remoción de partículas está basada en la ecuación” (Castro, 1986).

$$\frac{nt}{n_0} = \exp\left(\frac{GC}{\pi}\right)$$

“Donde  $nt$  y  $n_0$  son el número de partículas que han entrado al tanque y después de un tiempo  $t$  respectivamente  $G$  es el gradiente de velocidad  $C$  es la concentración de la suspensión” (Castro, 1986).

$$\frac{\text{Volumen de partículas de floculo}}{\text{Unida de Volumen Unitario}} = r * n_2 d_2^{3/6}$$

$$\frac{\pi * n_2 * d_2^3}{0} = C$$

$$-\frac{dn_1}{dt} = G \left( \frac{n_1 C^3}{R} \right)$$

Integrando entre  $n_0$  y  $tn$

$$nt = n_0 e^{6Ct/r}$$

Por otra parte el tiempo de detención promedio en un manto se define como:

$$t_d = \frac{\text{masa de solidos en el tanque}}{\text{masa afluyente de solidos por unidad de tiempo}}$$

Se puede decir que  $G * T * C_{\text{clarificadores}} > G * T * C_{\text{floculadores y sedimentadores convencionales}}$ . 17Ej Floculadores Horizontales. (Castro, 1986)

### 2.3. Comparación operativa Clarificador – Espesadores.

#### 2.3.1. Espesadores

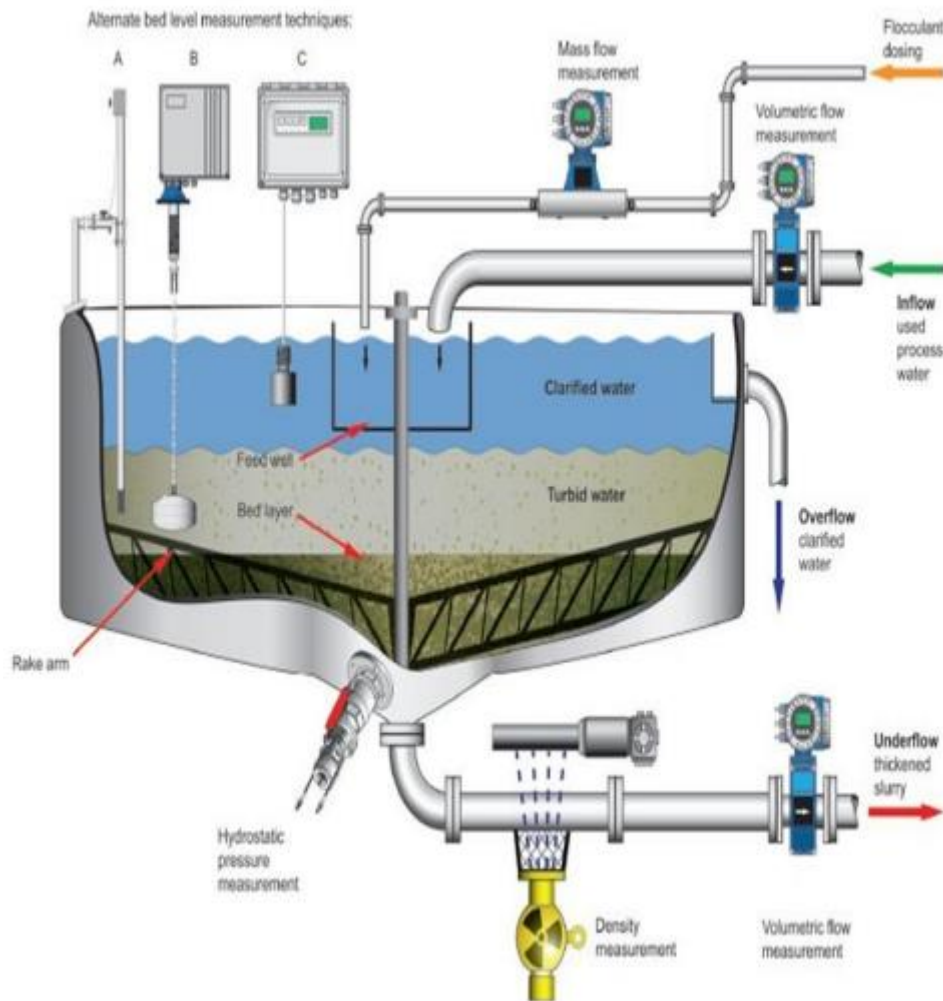
Rubens Sette Ramalho. (1996). Señala que los espesadores son estanques de gran diámetro y de poca profundidad relativa, desde los cuales se separa el líquido claro en su parte superior y la pulpa con alta concentración de sólidos en el fondo. Estos equipos se pueden utilizar en forma batch o en continuo, siendo esta última forma de uso la más común.



**Figura 12 .Espesador de Cono Profundo. Fuente: Manual de Espesador.**

**Fuente: Sette, (1996)**

Los espesadores utilizados en forma continua son estanques cilíndricos de diámetros entre 2 y 180 metros y de profundidad de 1 a 7 metros. La pulpa se alimenta a un cilindro de pequeño diámetro, pozo a alimentación o feed well, ubicado en el centro del espesador, a una profundidad de 1 metro (aprox.) (Anaya, 2016)

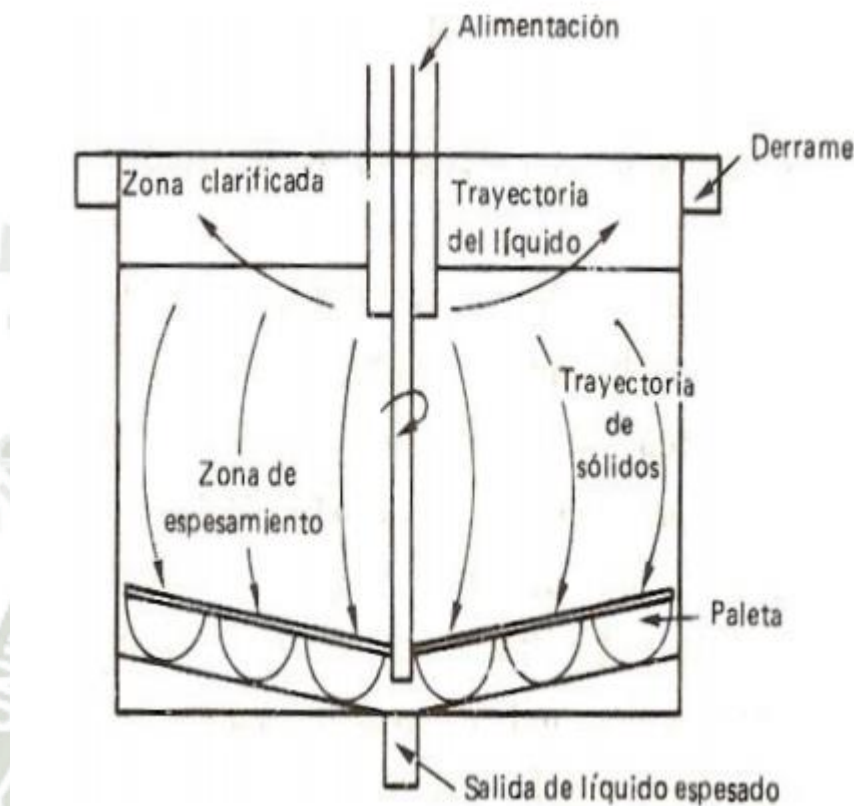


**Figura 13. Espesador y sus Partes.**

**Fuente: Anaya, (2016)**

Esta forma de alimentación permite una buena distribución de la alimentación, una mejor mezcla de la pulpa con el floculante y en mucho caso facilita la dilución de la alimentación cuando se requiere. El líquido claro derrama por un canal periférico, la evacuación debe realizarse a baja velocidad para evitar arrastre de partículas finas (flujo aprox. de 0,1 m<sup>3</sup>/min de agua por metro lineal de canaleta). El sólido se sedimenta sobre el fondo del estanque se saca como una pulpa espesa a través de una salida central. En la Fig. N°2.2, se detalla el funcionamiento del espesador de cono profundo. El interior del estanque tiene uno o más brazos giratorios radiales (rastras), desde cada uno de ellos están suspendidas una serie de aspas acondicionadas para arrastrar los sólidos sedimentados hacia la salida central. En la mayoría de los espesadores estos brazos se elevan automáticamente si el momento

de torsión excede un cierto valor, evitando de este modo el daño debido a la sobrecarga. (Anaya, 2016)

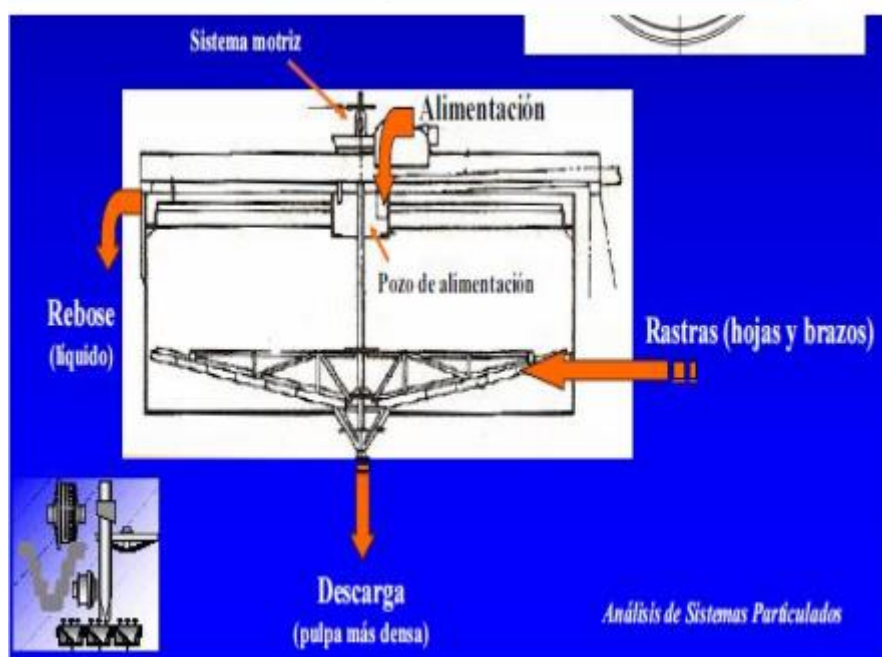


**Figura 14. Proceso de espesor**

**Fuente: Anaya, (2016)**

Las rastras también ayudan a la compactación de las partículas sedimentadas y producen una descarga más espesa que la que se puede alcanzar por la sedimentación simple. La velocidad del mecanismo de rastras en el perímetro, es normalmente de 8 m/min lo cual corresponde a rev/h para espesadores de 15 m de diámetro. El consumo de energía es muy bajo por ejemplo para un espesador de 60 m se requiere de un motor de 10 kW. El sistema de impulsión depende del diámetro del espesador: a) Espesadores relativamente chicos, diámetro menor a 45 m. La cabeza de transmisión se sostiene, generalmente, sobre una estructura que atraviesa el espesador, con los brazos fijos a la flecha motriz (espesadores puente). b) Espesadores de diámetros superiores a 45 m. El mecanismo de impulsión se soporta sobre una columna central estacionaria de concreto o acero. En la mayoría de los casos los brazos de las rastras están sujetos a una columna central que se conecta al

mecanismo impulsor. Los sólidos espesados se descargan a través de un canal anular que rodea la columna central. (Anaya, 2016)



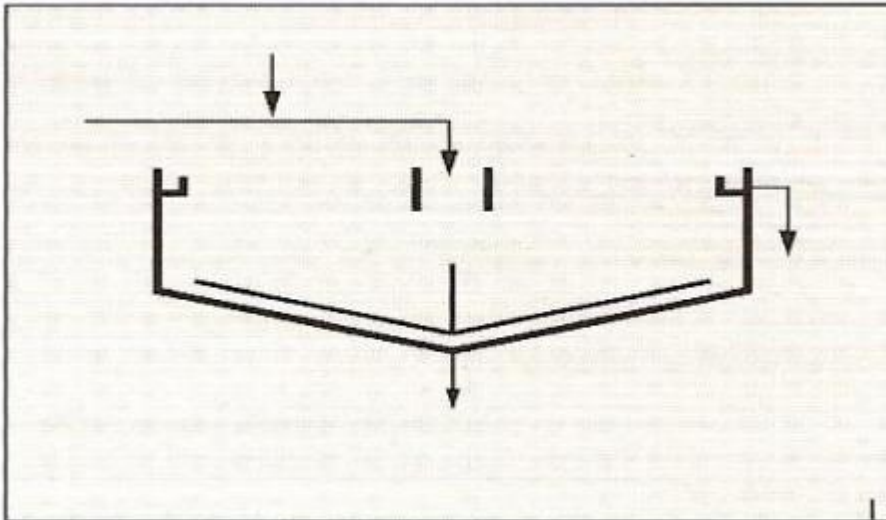
**Figura 15. Partes del espesador de conos profundos.**

**Fuente: Anaya, (2016)**

### 2.3.2. Tipos de Espesadores

Manteniendo las características generales de construcción y sus componentes principales, podemos encontrar los siguientes tipos de espesadores:

- **Convencionales** Se caracterizan porque requieren de grandes áreas de terreno dado que su productividad depende sobre todo del área del espesador, en estos equipos el pozo de alimentación (feed well) tiene una profundidad del orden de 1 m. El flujo de alimentación al entrar al espesador se mezcla con un poco de agua recuperada diluyéndola. La pulpa diluida sedimenta a velocidad constante formando deferentes zonas en el espesador: de agua clara (A), de pulpa de consistencia de alimentación (B) y sedimento (C - D). (Castro, 1986)



**Figura 16. Espesador convencional.**

**Fuente: Anaya, (2016)**

**Alta Capacidad** Se caracterizan por que tienen mayor capacidad que los espesadores convencionales, en estos equipos el pozo de alimentación es más profundo que en el espesador convencional, lo que permite la descarga de la pulpa de alimentación bajo el nivel del sedimento, evitando así el contacto directo entre el líquido que asciende y los sólidos que sedimentan. La alimentación entra en el mismo lugar donde se agrega el floculante y lo dispersa rápidamente, logrando un mezclado gradual en su descenso, con una mejor acción del floculante. Al mezclarse la alimentación con el sedimento forman una pulpa de mayor concentración que la alimentación y, mayor o igual concentración que la concentración crítica (sedimentos entran en compresión). A esto se debe que no exista una zona de sedimentación, la que restringe la capacidad del espesador. (Cengel, Yunus, & Cimbala, 2006)



**Figura 17. Espesador de Alta capacidad**

**Fuente: Anaya, (2016)**

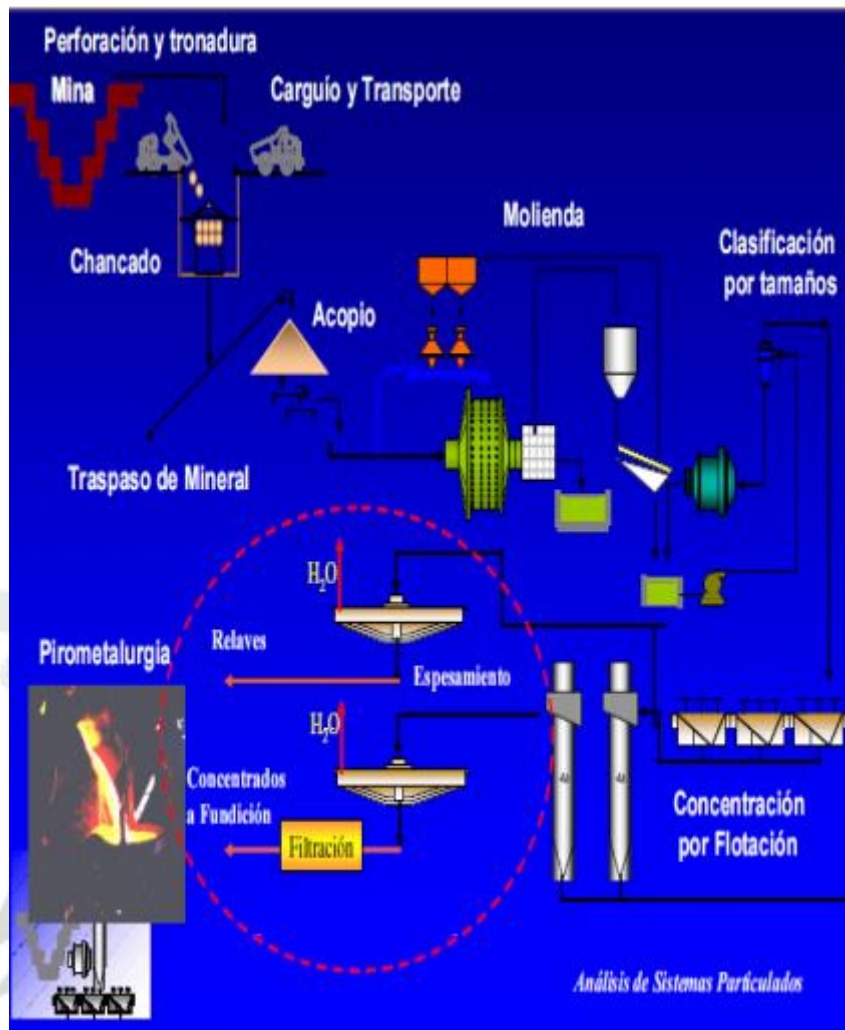
**Alta Densidad** Se caracteriza por su altura, corresponde a un espesor de cono profundo o de alta capacidad, pero de mucha mayor altura. La mayor altura genera un aumento de la presión sobre el sedimento, obteniendo como resultado concentraciones de sólido más altas en la descarga. En muchos casos, estos espesadores poseen un cono pequeño de modo de ayudar a evacuar la descarga. (Spena Group, 2016)



**Figura 18. Tanques de Espesadores**

**Fuente: Anaya, (2016)**

**Separación de Sólido-Líquidos** Rubens Sette Ramalho. señala que en la industria minera el agua es un bien escaso y preciado. La mayor parte de los procesos utiliza cantidades sustanciales de agua, requiriéndose su recuperación mediante etapas de separación sólido - líquido. El agua que se recupera no se descarta y es, en su mayor parte, recirculada al proceso. En las etapas de separación sólido - líquido se separa de una alimentación formada por una suspensión de partículas de un sólido en un líquido, un líquido prácticamente exento de partículas y otro con sólidos en una concentración superior a la de la alimentación. La separación total no es posible de obtener porque, si bien el líquido puede no tener partículas sólidas en suspensión, la corriente con sólidos retendrá líquido entre sus partículas. (Sette, 1996)



**Figura 19. Diagrama de proceso de Recuperación de Agua**

**Fuente: Sette, (1996)**

### 2.3.3. Función de los clarificadores

El proceso de clarificación emplea la fuerza de gravedad, pero a menudo se optimiza con un tratamiento químico. Para alcanzar niveles elevados de limpieza, es posible que haga falta usar un floculante y un coagulante.

El coagulante puede agregarse al principio para neutralizar la carga en la superficie de las partículas y permitir que se adhieran y formen coágulos. El floculante puede agregarse más tarde para unir todos los coágulos y formar flóculos.

Pueden surgir complicaciones en el caso de pulpas de alimentación de muy baja densidad (con una concentración de sólidos inferior al 1 %), en las que las partículas están demasiado dispersas para que el floculante o coagulante las acumule con facilidad. En estos casos, puede que haga falta un mecanismo mejorado de contacto

con los sólidos, para el cual es necesario controlar las condiciones de corte con cuidado. Estos mecanismos garantizan una cantidad suficiente de energía para generar grandes coloides (que además se decantan con mayor rapidez), pero no una fuerza de corte lo suficientemente alta para separar los flóculos unidos por enlaces flojos. (Williams, 2019)



**Figura 20. Función de clarificador**

**Fuente: Williams, (2019)**

Una técnica comúnmente empleada para mejorar el contacto con los sólidos se conoce como lodo de alta densidad (“HDS”). Este método consiste en reciclar una parte del caudal inferior y trasladarla a un tanque antes del contacto para mezclarla con el material de alimentación entrante a fin de reducir el volumen del lodo y aumentar su densidad.

Otra de las técnicas implica decantar los sólidos en placas laminares con una inclinación pronunciada. Con este método, los sólidos caen a mayor velocidad al deslizarse por la superficie de las placas en lugar de entrar en un modo de decantación libre. En principio, se trata de una idea excelente, pero los requisitos para construir una pila de placas que tenga la capacidad estructural para manejar la

carga de sólidos en altura limitan esta ingeniosa idea a aplicaciones de sólidos más pequeñas y livianas.

En caso de que la especificación del proceso requiera una concentración de sólidos suspendidos considerablemente inferior a 100 ppm, y tal vez la descarga a vías fluviales públicas, puede que un proceso de sedimentación por sí solo no resulte una solución rentable. Combinarlo con un filtro de seguridad podría ser una opción. Imagine que un filtro de seguridad es como el filtro de una piscina de natación: el desagüe del clarificador pasa a través de un medio como la arena o un material más exótico. Sin embargo, al igual que ocurre con el filtro de una piscina de natación, es necesario realizar un lavado a contracorriente de manera periódica para limpiar el medio. (Williams, 2019)

#### 2.3.4. Diferencia

Los espesadores y los clarificadores se emplean para separar los líquidos de los sólidos realizando el proceso de asentamiento con una sola diferencia. Los espesadores concentran los sólidos mientras que los clarificadores solo purifican los líquidos.

Los clarificadores pueden ser circulares o de placas paralelas. Además, los clarificadores del puente de apoyo se usan como tratamiento primario de aguas residuales. Los objetos grandes se retiran del agua y el agua cruda se vierte en el clarificador primario.

La mayoría de clarificadores cuentan con un floculador o una zona de floculación para garantizar el diseño adecuado de los químicos. Los clarificadores se encuentran disponibles en unidades de acero prefabricadas o pueden diseñarse, de tal forma que se instalen en un tanque de concreto.

Las estructuras y sistemas existentes, a veces, pueden utilizarse y renovarse para reducir los costos. Los clarificadores funcionan según el principio de gravedad. Los sólidos en suspensión más pesados se asientan en el clarificador y se barren hacia el centro para recoger el lodo.

También, se añaden coagulantes y polielectrolitos para un asentamiento natural. El coagulante neutraliza la carga y los polielectrolitos reúnen la micromasa, la cual se convierte en una masa pesada y se asienta rápidamente. (Bosstech., 2020)

#### 2.4. Condiciones de Diseño del sistema de recuperación de agua en plantas.

Las características técnicas de los proyectos de reutilización son muy variables de unos casos a otros, dependiendo fundamentalmente del tipo de reutilización que se pretende, de las condiciones específicas de disponibilidad de agua residual y de los usuarios del agua regenerada. Por lo tanto, es necesario que la planificación de los sistemas de reutilización se realice sobre la base de unos objetivos claramente definidos. En general, la planificación se lleva a cabo en tres fases sucesivas, que incluyen una primera etapa a nivel conceptual, una investigación preliminar de viabilidad y la planificación de las instalaciones. En todo el proceso es muy importante mantener la participación activa de la opinión pública, que aportará orientación muy valiosa. Inicialmente, los proyectos de reutilización solían tener un propósito único, en el que generalmente se trataba de responder, bien a un problema de control de contaminación, o bien a un problema de abastecimiento. Hoy día, los planteamientos están cada vez más condicionados por dos factores: los niveles crecientes de calidad exigidos para el vertido y la limitada disponibilidad de recursos de primera utilización para hacer frente a demandas crecientes. En la primera fase de planificación conceptual se realiza un esquema del proyecto, una estimación aproximada de costes y se identifican aquellos elementos que conforman el mercado potencial para el agua regenerada. Si el planteamiento es viable, se pasa a la fase de investigación preliminar. !&a comienza con la localización de las posibles fuentes de agua residual susceptibles de aprovechamiento y la elaboración de un censo de consumidores potenciales de agua regenerada. Deben también definirse los aspectos legales y administrativos que afectan al proyecto, identificando posibles trabas regulatorias, así como entidades y organismos competentes en las diferentes materias relacionadas con el proceso de reutilización. (Studylib, 2020)



**Figura 21. Condiciones de Diseño del sistema de recuperación de agua en plantas**

**Fuente: Elaboración propia**

Fundamentales que han de abordarse en esta fase son:

- Fuentes de agua residual que pueden ser adecuadas para reutilizar.
- Mercados potenciales del agua regenerada.
- Problemática de salud pública asociada a la reutilización y modo de afrontarla.
- Posible impacto ambiental del proyecto.
- Costes actuales del agua y su proyección futura en el área del proyecto.
- Legislación existente y10 propuesta que afecta a la reutilización.
- Organismos estatales, autonómicos y locales que han de aprobar el desarrollo de un programa de aprovechamiento de aguas residuales.
- Responsabilidades legales de los proveedores y usuarios del agua regenerada.
- Vías de financiación disponibles para el desarrollo de un posible proyecto de reutilización.
- Tipo de sistema de reutilización que recibiría mejor apoyo e interés por parte de la opinión pública. (Studylib, 2020)

La cuestión más importante suele ser la realización del estudio de mercado, en el que se definan los elementos que lo integran y se identifiquen los principales usuarios potenciales. La determinación de las fracciones de demanda que pueden satisfacerse con agua regenerada, el grado de calidad necesario para cada uno de los usos y los efectos que el empleo de agua regenerada pueda tener en las condiciones de operación y consumo de los usuarios, requerirá en la mayoría de los casos el contacto directo con

los mismos. Terminada la investigación preliminar, se procede a la selección de los mercados potenciales. Esta etapa consiste básicamente en la comparación de costes unitarios del agua potable y del agua regenerada para cada uno de los mercados. En base a información recopilada previamente, podrán esbozarse varios proyectos o alternativas que deben ser estudiadas en detalle. Habitualmente, el paso siguiente es seleccionar el grupo de alternativas más favorables para ser sometidas a evaluación detallada. Es importante que durante la selección se tenga en consideración el mayor número de alternativas posibles. Para ello, no sólo han de considerarse los diferentes tipos posibles de reutilización, sino también factores como los que se enumeran a continuación:

- Diferentes niveles de tratamiento, especialmente en los casos en que para el vertido sea necesario alcanzar el tratamiento avanzado.
- Escala del proyecto, que puede pretender una cobertura amplia de clientes, centrarse sobre un único gran usuario, o cualquier otra combinación.
- Empleo de diferentes redes de distribución. (Torres, 2000)

Una posterior evaluación de los mercados seleccionados permitirá ir conformando el programa de reutilización. Tras la selección, los proyectos deberán clasificarse en función de su factibilidad, y deberán determinarse los costes y consumos actuales de agua potable de los usuarios potenciales. En esta fase, tras un estudio más detallado de las líneas de distribución y necesidades de almacenamiento de cada uno de los proyectos alternativos, pueden afinarse las estimaciones preliminares de costes de distribución a cada usuario. También podrán compararse las alternativas de financiación, los costes para los usuarios, y los costes unitarios de agua potable y agua renovada para cada alternativa. Así mismo, será posible evaluar con más detalle los aspectos medioambientales, institucionales y sociales de cada proyecto. En general, las cuestiones que habrán de detallarse incluyen:

- Requisitos de calidad impuestos por cada usuario y márgenes de tolerancia.
- Patrones de las demandas diaria y estacional de cada usuario potencial.
- Posibilidad de responder a las fluctuaciones de demanda mediante capacidad de bombeo y/o mediante capacidad de almacenamiento, y situación más adecuada de las instalaciones de almacenamiento.

- Régimen de propiedad y operadores de las plantas de tratamiento más favorables para cada proyecto.

- Gastos de conexión de los usuarios a los sistemas de distribución. (Bosstech., 2020)

Posibilidad de aumento de costes de tratamiento de agua residuales para los usuarios industriales, derivados del uso de agua regenerada. Posible influencia sobre sus usos del agua Aceptación de la distribución de costes por parte de los usuario

- Posibilidades de financiación por parte de diferentes organismos y requisitos para la concesión de ayuda económica.
- Influencia sobre los hábitos de riego agrícola
- Períodos de amortización aceptables para los usuarios que deban invertir en instalaciones adicionales de tratamiento, almacenamiento o distribución del agua regenerada.
- Estabilidad de los usuarios, tanto desde el punto de vista de su localización, como de la posible introducción de nuevos procesos que afecten al consumo de agua renovada. (Steel, 1979)

El estudio de las características y rendimiento de las instalaciones depuradoras existentes, permitirá valorar si las fuentes se adecúan a las características de la demanda de agua regenerada, tanto en calidad como en cantidad y frecuencia de disponibilidad. Los factores más importantes que han de entrar en consideración durante esta valoración son:

- Nivel de tratamiento y procesos empleados.
- Calidad final de efluente. Márgenes de fluctuación.
- Cantidad de efluente producido, en términos de caudales medios, mínimos y máximos diarios y estacionales.
- Fracción de aportes industriales al caudal global.
- Fiabilidad del proceso de tratamiento.
- Instalaciones complementarias existentes (almacenamiento, bombeo, distribución, etc.).

Puesto que el cumplimiento de los requisitos de tratamiento para la producción segura y fiable de agua regenerada es una de las claves de la operación de sistemas de reutilización, su diseño precisa un análisis cuidadoso de todos elementos de proceso necesarios para obtener el nivel de tratamiento deseado. Los proveedores de agua regenerada deben adaptarse siempre a las variaciones diarias de la demanda, al igual que ocurre para el agua potable. La producción de aguas brutas también sufre variaciones diarias, que son generalmente más acusadas cuanto menor es la población del área de servicio.

Además, se producen también variaciones estacionales especialmente en zonas turísticas o de temporada. Los aumentos súbitos de población y de los caudales de aguas residuales, tampoco tienen por qué coincidir con los períodos de mayor demanda de agua regenerada. La información sobre caudales y variaciones temporales es crítica para el dimensionamiento de las instalaciones de regulación destinadas a adaptar disponibilidad y demanda. (Spena Group, 2016)

#### **2.4.1. Aplicaciones de la reutilización.**

##### **Normas y criterios técnicos.**

La aplicación de las aguas residuales regeneradas abarca todo el espectro de usos del agua en general. Para su estudio se suelen establecer seis grupos:

- REUTILIZACION EN EL MEDIO URBANO
- USOS INDUSTRIALES
- USOS AGRICOLAS.
- RIEGO
- APLICACION A LA CONSERVACION Y GESTION DE ESPACIOS NATURALES
- RECARGA ARTIFICIAL DE ACUIFEROS
- ADAMACION A RECURSOS DE AGUA POTABLE

Cada uno de estos grupos de aplicación plantea una problemática específica en su desarrollo práctico, cuyo estudio y solución ayudará a una mejor gestión de estos recursos. En los siguientes apartados se analiza brevemente la problemática particular de cada grupo. (Studylib, 2020)



**Figura 22: Estudio de viabilidad**

**Fuente: Elaboración propia**

#### 2.4.2. Reutilización en Planta

La reutilización en usos industriales representa un importante mercado potencial para el agua regenerada. Las industrias cuyos procesos no requieran aguas de alta calidad, y aquellas otras que se encuentren localizadas cerca de poblaciones con capacidad de generación suficiente de agua residual, son las candidatas ideales para incorporar la reutilización en sus procesos industriales.

El agua tratada destinada a este tipo de usos puede proceder, bien de aguas industriales recicladas en la propia instalación, o bien de plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas. El aprovechamiento de los efluentes urbanos en la reutilización industrial todavía no es una práctica muy desarrollada.

Las aplicaciones industriales más frecuentes para las aguas reutilizadas son:

Sistemas de refrigeración Aguas de alimentación de calderas Aguas de proceso siendo el primer grupo el más habitual. Los sistemas de refrigeración se clasifican de forma general en sistemas abiertos y cerrados. En los primeros, el agua se pone en contacto una sola vez con el equipo a refrigerar y después es descargada caliente. Este método requiere grandes volúmenes de fluido y por ello raramente puede considerarse el agua depurada como alternativa viable en el suministro. En los sistemas cerrados, el agua absorbe el calor del proceso y luego lo transfiere por evaporación, siendo posteriormente recirculada al sistema de refrigeración, completándose el ciclo. Este sistema puede emplear torres o balsas de refrigeración para llevar a cabo la evacuación del calor. La reposición de las pérdidas por evaporación suele ser muy variable.

Las exigencias de calidad para aguas de refrigeración están relacionadas con la prevención de los siguientes fenómenos:

- Formación de costras
- Crecimiento biológico
- Obstrucciones
- formación de espumas
- corrosión. (Martínez Acosta, 2019)

### **Agua de alimentación de calderas y aguas de proceso**

El tratamiento adicional que requiere el agua residual tratada con el objeto de ser reutilizada en la alimentación de calderas, difiere poco del que debe afrontar el suministro convencional de agua para estos sistemas. El considerable nivel de tratamiento y las cantidades relativamente pequeñas de agua que se manejan, convierten la reutilización en alimentación de calderas en una pobre alternativa, poco utilizada por el momento. La idoneidad del uso de agua regenerada dentro de los procesos industriales depende de las necesidades específicas de calidad de cada proceso. Hasta la fecha existe poca experiencia en este campo, estando siempre el reciclado orientado a la recirculación dentro de la misma industria. (Cruz, 2017)

### **Las plantas y la protección del medio ambiente.**

Con el desarrollo industrial se genera una serie de daños y perturbaciones, entre ellos la contaminación, que son una amenaza constante para el medio ambiente. Las industrias, sometidas a una enorme presión por el mercado, los precios y las normativas, tienden a maximizar su producción, sus ventas y sus beneficios. Por estas causas, muchas veces no se desarrollan programas de minimización de los daños medioambientales derivados de sus actividades y de su producción. Sin embargo, algunas industrias han empezado a comprometerse, aceptando su responsabilidad y tomando conciencia en materia de medio ambiente. (Cruz, 2017)

Una gestión responsable del medio ambiente, a nivel industrial, debe proponer y aplicar soluciones prácticas, como son:

#### **Creación de un departamento de medio ambiente**

- Promocionar programas de información y formación ambiental de sus empleados, trabajadores y responsables de departamento y directivos.
- Elaborar nuevos códigos de buena conducta medioambiental.
- Asistencia técnica medioambiental, ecoauditorías, ingeniería ambiental, etc.
- Promocionar programas de mejora ambiental de sus productos: productos con coste ambiental de fabricación mínimo, productos ecológicos, productos con posibilidad de reciclado, etc.
- Cambios en los procesos productivos: sustitución de los productos más tóxicos y nocivos por otros menos perjudiciales.
- Participación activa en las campañas de mejora ambiental para las industrias realizadas por el gobierno o por las cámaras de comercio e industria.
- Gestión de los residuos: identificación, transporte, almacenamiento, tratamiento.
- Desarrollo de tecnologías “limpias” de producción, para disminuir la generación de residuos.
- Disminución del consumo de materias primas, recursos, agua y energía, y de las emisiones contaminantes, reutilizando los subproductos de los procesos de fabricación.

- Recuperación, reciclado y reutilización de productos y subproductos.
- Promocionar e incentivar la investigación de nuevas tecnologías y nuevos productos de bajo coste medioambiental y alta rentabilidad económica.
- -Programas de reducción de vertidos y emisiones contaminantes.
- -Minimizar la producción de residuos, y en caso de seguir produciéndolos asegurar su tratamiento ecológicamente más correcto. (Steel, 1979)

### **Los vertidos**

Existe gran número de industrias que de una forma o de otra utilizan el agua, de forma que al terminar el proceso industrial el líquido usado se ha degradado por adición de sustancias o características físicas contaminantes.

Desde el punto de vista ecológico, la degradación de las aguas tiene unos límites a partir de los cuales el daño es irreversible, y esto depende, entre otros factores, de la capacidad de admisión del vertido por parte del receptor, en el sentido de que pueda asimilar las sustancias más o menos nocivas, pero siempre extrañas, presentes en un vertido de origen industrial.

En principio, el criterio de base debe ser que los vertidos industriales sean procesados de forma que se eliminen de ellos los productos contaminantes, que se reciclen y se aprovechen o que se utilicen en aplicaciones sustitutivas. (Almau, 2014)

### **Metales pesados**

Los metales pesados normalmente aparecen en el agua superficial procedentes de las actividades comerciales e industriales y tienen que eliminarse si el agua residual se va a reutilizar.

Se consideran metales pesados aquellos elementos metálicos con gran peso atómico, por ejemplo: mercurio, cromo, cadmio, arsénico, plomo, cobre, zinc y níquel. A bajas concentraciones pueden afectar a los seres vivos y tienden a acumularse en la cadena alimentaria. (Steel, 1979)

Los metales pesados son elementos que tienen pesos atómicos entre 60 y 300 una con una gravedad específica mayor a 4,011.

La mayoría de los elementos de la Tierra están ampliamente distribuidos en la litosfera, la hidrosfera y la atmósfera. El hombre está expuesto a estos elementos cuando ingiere sus alimentos, bebe agua y respira el aire. Algunos de esos elementos son beneficiosos y esenciales para sus procesos vitales, aunque solo se encuentran en cantidades muy pequeñas en los tejidos del cuerpo, donde se pueden encontrar trazas de cobalto, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, vanadio, estroncio y zinc; otros son muy tóxicos. Los metales pesados no esenciales de interés particular para los sistemas acuíferos superficiales son cadmio, cromo, mercurio, plomo, arsénico y antimonio.

Todos los metales tienen niveles óptimos de concentración, por encima de los cuales resultan tóxicos. La toxicidad de un metal depende de su vía de entrada al organismo y del compuesto químico al que está ligado. La combinación de un metal con un compuesto orgánico puede aumentar o disminuir sus efectos tóxicos sobre las células. En cambio, la combinación de un metal con el azufre, en forma de sulfuro, da lugar a un compuesto menos tóxico que el hidróxido u óxido correspondiente, debido a que el sulfuro es menos soluble en los humores corporales que los otros dos tipos de compuestos.

La toxicidad suele resultar:

- Cuando el organismo se ve sometido a una concentración excesiva del metal durante un periodo prolongado.
- Cuando el metal se presenta en una forma bioquímica.
- Cuando el organismo lo absorbe por vía inusitada. (Marta, 1998)

La exposición del hombre a metales pesados ha ido aumentando al ser introducidos en el medio ambiente por la actividad industrial.

Existen tres tipos principales de fuentes de emisión de metales en el medio ambiente. El más evidente es el proceso de extracción y purificación: minería, fundición y refinación. El segundo, menos conocido, es la emisión de metales al quemarse combustibles fósiles como: el carbón. Tales combustibles contienen cadmio, plomo, mercurio, níquel, vanadio, cromo y cobre. La tercera fuente, la más diversa, es la producción y utilización de productos industriales que contienen metales, que aumenta al descubrirse nuevas tecnologías y aplicaciones.

Los metales siguen muchas vías y ciclos en el medio ambiente, y algunos de ellos experimentan transformaciones. Algunas plantas y animales invertebrados acumulan metales hasta niveles potencialmente tóxicos. Cuando se formulan juicios sobre la inocuidad de una determinada descarga con contenido metálico en el medio ambiente, es preciso considerar la posibilidad de que se produzca acumulación y/o transformación. (Araúz, 2022)

### **Parámetros de calidad del agua**

La calidad del agua ha de definirse en relación con el uso o actividad a la que se le quiere dedicar, y por ello no se puede hablar de “buena” o “mala” calidad en abstracto, sino que cada actividad exige una calidad adecuada.

Para evaluar los cambios que las diferentes aplicaciones del agua pueden originar en su calidad, se emplean parámetros físicos, químicos, biológicos, bacteriológicos o radiológicos. A estos parámetros se les denomina indicadores de calidad del agua. De los parámetros que se comentan a continuación, los que se han medido y controlado en este PFC para determinar la calidad del agua, son la conductividad, el pH y el contenido de ciertos iones.

Con el fin de poder establecer los límites dentro de los cuales una modificación de los componentes del agua pueda ser aceptada de manera que resulte impropia para los distintos usos o para el medio mismo, en las reglamentaciones internacionales se establecen distintas limitaciones:

- La concentración máxima recomendada representa un tope que no se debe alcanzar. Si el agua se encuentra dentro de esta limitación se puede asegurar su excelente calidad.
- concentración máxima aceptable representa un límite a partir del cual ya no se puede garantizar la calidad del agua, pues aparecen una serie de factores que resultan incómodos al consumidor.
- La concentración máxima admisible representa el punto a partir del cual las aguas no solo representan características molestas para el consumidor, sino que su ingestión puede resultar peligrosa para la salud, y por tanto el consumo de este tipo de aguas debe quedar prohibido. (Cruz, 2017)

### **Parámetros físicos**

- *Color*

El color azul que presentan los grandes volúmenes de agua pura se puede ver alterado por la presencia de determinadas sustancias en disolución, fruto del vertido de productos industriales de desecho. El principal efecto derivado de las alteraciones intensas del color de las aguas lo constituye la contaminación estética, aunque puede llegar a afectar también su potabilidad. (Almau, 2014)

- *Turbidez*

La turbidez de un agua está ocasionada por la presencia de partículas sólidas en suspensión o coloides, con un diámetro muy pequeño ( $0,1 \mu$ ), que impiden que la luz se transmita tal y como lo haría a través de un agua pura. Las partículas en suspensión pueden ser de naturaleza muy variada, como arcillas, limos, granos de sílice, materia orgánica, etc. Por tanto, la determinación del grado de turbidez del agua nos puede dar información, si no acerca de los elementos contaminantes específicos presentes, sí sobre el grado de contaminación general, y un control de turbidez a la salida de un proceso de tratamiento de aguas nos dará una idea sobre la eficacia del proceso de depuración que haya sido aplicado. (Bosstech., 2020)

- *Temperatura*

La temperatura a la que se encuentre un agua es un parámetro importante a tener en cuenta, ya que de ella dependen los valores de otros muchos parámetros. En primer lugar, la conductividad eléctrica de un agua varía con la temperatura. Ello es debido a que dependiendo de la temperatura aumenta o disminuye la solubilidad de las sales y en especial la de los gases, modificándose por tanto la concentración de las especies iónicas presentes. Por razones análogas se explica la variación del pH con la temperatura. Otro parámetro que es función de la temperatura es la densidad del agua, lo que es importante, pues una alteración de la densidad modifica los movimientos de mezcla de diferentes masas de agua. Además, la temperatura del agua es un dato a considerar, para poder predecir los intercambios térmicos que van a tener lugar entre el líquido y las instalaciones por las que pase. (Cruz, 2017)

- *Sabor y olor*

El sabor y el olor del agua son determinaciones organolépticas de determinación subjetiva, para las cuales no existen instrumentos de observación, ni registro, ni unidades de medida. Tienen un interés evidente en las aguas potables destinadas al consumo humano. (Castro, 1986)

- *Conductividad y resistividad*

La conductividad eléctrica del agua se refiere a la mayor o menor resistencia del agua a permitir el paso de la electricidad. Conductividad y resistividad son valores recíprocos. El agua en estado puro no presenta prácticamente carácter conductor, debido al bajo grado de conductividad iónica que presenta. Por tanto, para que su conductividad aumente será preciso que haya compuestos disueltos en ella y disociados en sus iones. Estos compuestos son, principalmente, las sales minerales. Una medida de la conductividad de un agua dará por tanto una estimación acerca de la concentración aproximada de las sales minerales presentes, lo que es de mucha utilidad en muchos sectores. No aportará sin embargo información acerca de la contaminación orgánica de un agua en el caso de que esta exista, pues las materias orgánicas del agua apenas modifican la conductividad de esta. Para llevar a cabo medidas de la conductividad de un agua se introduce en ella un cátodo y un ánodo de igual superficie conectados a un generador, y se mide la resistencia a que equivale la columna de agua situada entre ambas placas. Los resultados se comparan con los obtenidos a partir de disoluciones de KCl de concentración conocida en las mismas condiciones. Se debe tener en cuenta que, como ya se advirtió anteriormente, la conductividad es una función que varía con la temperatura. (Almau, 2014)

### 2.4.3. Técnicas de remediación de aguas ácidas.

- 1 La remediación de los lugares mineros a menudo sobrepasa la capacidad financiera de casi todas las corporaciones. Grandes depósitos abiertos, suelos, ríos, llanuras, lagos y zonas costeras (tales como fiordos) contaminados abundan, incluso en las naciones más avanzadas y conscientes del problema medioambiental. Dado el número de minas, históricas y actuales, y sus correspondientes escombreras y zonas con ecosistemas acuáticos contaminados, la remediación o al menos la mitigación constituyen tareas monumentales.

- 2 Durante las operaciones de minería, la remediación debería llevarse a cabo lo más posible mientras la mina está produciendo y generando beneficios. Para sitios abandonados en minas operativas, deberían tomarse medidas retroactivas como la revegetación, el de los lixiviados y otras. La viabilidad de las minas de metales a cielo abierto depende de la fluctuación en el ámbito mundial del valor de los metales y de la oferta y la demanda. Cuando una mina a cielo abierto se abandona, normalmente no significa que todos los metales hayan sido extraídos, sino que económicamente era factible hasta el momento del cierre. De este modo, las minas de metales se abren, se cierran y se vuelven a abrir si se necesitara para generaciones futuras cuando se utilicen o desarrollen técnicas de extracción de menas de menor ley o cuando la economía cambie. La remediación de tales depósitos puede únicamente facilitar o incluso impedir la reapertura. (Almau, 2014)

En concreto, tres son los factores fundamentales a considerar al analizar las alternativas de remediación:

- El foco de contaminación (puntual o fijo)
- El mecanismo de infiltración (acceso directo o difuso)
- El tipo de contaminante (partículas en suspensión, sales en disolución, contaminantes físico-químicos, NAPLs: “Non Aqueous Phase Liquid”, como hidrocarburos, DNAPLs: “Dense Non Aqueous Phase Liquid”: como disolventes orgánicos). (Weber, 1972)

Con estas cuestiones básicas, el primer estudio a llevar a cabo para definir las posibilidades de remediación de un problema de este tipo es el de distribución geométrica de los contaminantes en el área problema, que puede ser básicamente de tres tipos:

- Generalizada. Es decir, que afecte aproximadamente por igual a todo un acuífero o a todo un suelo. Suele ser consecuencia de contaminación difusa o directa, y por lo general corresponde a sales en disolución, con un potencial de difusión alto.
- Puntual. Afecta solamente a un área de extensión limitada, y suele estar constituida por un contaminante químico o un líquido inmiscible con agua, con escasa capacidad de infiltración, ya sea por su naturaleza o su escaso volumen,

o por la naturaleza del terreno que la alberga.

- Plumas. Las plumas son la derivación de una contaminación puntual, cuando persiste durante largos periodos de tiempo, o está constituida por un volumen importante de contaminantes. La siguiente figura muestra de forma esquemática la geometría que suelen presentar. (Almau, 2014)

A la vista de la diversidad de problemas que plantea la contaminación de aguas, las alternativas para su solución o mitigación son muy variadas, y en la actualidad prosigue el desarrollo de nuevas posibilidades basadas en diversas tecnologías. En términos generales, las técnicas concretas aplicables se pueden clasificar en dos grandes grupos.

- Técnicas de tratamiento en superficie
- Técnicas de tratamiento ex situ/ in situ. (Weber, 1972)

#### **Criterios de selección de los sistemas adecuados de tratamientos de aguas.**

Para la elección de un sistema de tratamiento de un vertido residual industrial, el primer paso a dar es realizar un análisis exhaustivo del efluente que va a ser tratado. Para ello debe estudiarse a fondo el proceso industrial generador del vertido, a fin de poder calcular cuál puede ser la carga máxima de cada contaminante que puede presentar el vertido, así como la regularidad con que cada una de estas especies es vertida al efluente final. Es muy importante certificar y garantizar la calidad de este análisis, asegurándose de que las muestras estudiadas en el laboratorio se corresponde. Criterios de selección de los sistemas adecuados de tratamientos de aguas. Para la elección de un sistema de tratamiento de un vertido residual industrial, el primer paso a dar es realizar un análisis exhaustivo del efluente que va a ser tratado. Para ello debe estudiarse a fondo el proceso industrial generador del vertido, a fin de poder calcular cuál puede ser la carga máxima de cada contaminante que puede presentar el vertido, así como la regularidad con que cada una de estas especies es vertida al efluente final. Es muy importante certificar y garantizar la calidad de este análisis, asegurándose de que las muestras estudiadas en el laboratorio se corresponde con el efluente que se va a tratar, y que a lo largo de la investigación han sido conservadas correctamente, evitando cualquier riesgo de contaminación externa o de degradación no deseada. Una vez que se conoce la carga contaminada del vertido, se decide el grado de calidad que se desea en el agua

tratada. Este punto reviste suma importancia, ya que a partir de esta información se diseñará la estación de tratamiento adecuada para alcanzar el rendimiento que se desea obtener. Otro aspecto importante a tener en cuenta en todo momento es el presupuesto de que se dispone para llevar a cabo el proyecto. Como es evidente, cuanto mayor sea el rendimiento de la estación depuradora mayor también será su coste; por lo tanto, se debe llegar a una situación de equilibrio coste-rendimiento, buscando la salida más beneficiosa económicamente, pero respetando los límites mínimos de calidad exigidos por las normativas pertinentes. Es necesaria una buena planificación del aspecto económico para evitar posibles problemas posteriores. A la hora de realizar el presupuesto no se deben dejar de lado aspectos tales como la mano de obra, la compra de productos químicos, la energía necesaria, los gastos de mantenimiento, etc. Por otro lado, se deben tener en cuenta los posibles ahorros que se pueden derivar de la instalación de un sistema de tratamiento más eficaz, como son los incentivos o subvenciones institucionales, la posibilidad de reciclar determinados productos, evitar posibles multas, etc. Para minimizar el coste del sistema de tratamiento es bueno procurar minimizar primero la producción de vertidos. Para ello se debe analizar detenidamente todo el proceso y actuar allí donde se detecten fugas o consumo indiscriminado de productos intermedios. A modo indicativo, se debe tener en cuenta al elegir el sistema de tratamiento que si bien los procesos físico-químicos precisan del aporte de reactivos químicos, no consumen grandes cantidades de energía, como sucede en los procesos biológicos, a los que es necesario proporcionar aporte de oxígeno, aunque esto último puede solucionarse en parte utilizando sistemas anaerobios. (Almau, 2014)

### **Técnicas de tratamiento en superficie.**

Una vez contaminada el agua subterránea, la actuación más común es el bombeo, su descontaminación externa en planta y su posterior recarga al acuífero. Sin embargo, estudios recientes han mostrado que la variación de la conductividad hidráulica puede hacer muy difícil el bombeo del agua impidiendo eliminar suficiente cantidad de contaminante para conseguir los estándares de calidad. El bombeo y tratamiento consiste, en primer lugar, en la extracción del agua subterránea mediante tecnología de recuperación, incluyendo pozos y sistemas de drenaje. Posteriormente, el agua extraída es tratada utilizando algunas de las tecnologías de tratamiento de agua existentes, tales como adsorción en carbón o tratamientos biológicos para los compuestos orgánicos y métodos físicos-químicos para los inorgánicos. El agua tratada puede ser reincorporada de nuevo al acuífero. Las implicaciones de esta solución son altamente antiecológicas, ya que deberían perforarse cientos de pozos, lo que alteraría las propiedades físicas del terreno, además de causar un impacto visual permanente de considerable magnitud. Por lo tanto siempre que se pueda se utilizarán técnicas de tratamiento en superficie, que se basan en el aislamiento de las aguas o suelos contaminados, de forma que su objetivo básico es evitar que esa contaminación se transfiera lateralmente. Por lo general son de aplicación cuando la contaminación está muy localizada y no resulta viable ninguna de las demás alternativas. La base de estos sistemas pasivos es la de crear condiciones fisicoquímicas que promuevan los procesos de precipitación rápida de los contaminantes. La idea de los sistemas de tratamiento pasivo, es el intentar reproducir en sistemas contruidos con este fin, las reacciones que producen la mejora de la calidad del agua, produciéndose los precipitados sólidos en un lugar dedicado a este fin, en vez de permitir que se produzcan en un medio natural. (Weber, 1972)

Dentro de estos tratamientos encontramos las técnicas que se nombran a continuación:

Humedales.

Drenaje anóxico en caliza (ALD). (Almau, 2014)

### **Conformidad de permisos y regulaciones**

Se necesita que la operación de la concentradora cumpla con una variedad de criterios ambientales rigurosos. Estos criterios fueron identificados y establecidos durante el proceso de evaluación de impactos ambientales (EIA) que formaron la base para los permisos de operación del Proyecto de Sulfuros Primarios de SMCV. Además, los estándares ambientales y sociales establecidos por las organizaciones financieras internacionales para créditos deben ser también cumplidos. Para asegurarse que estos estándares sean cumplidos, se desarrolló un plan ambiental y de gestión social (ESMP). Los objetivos del plan ambiental y de gestión social son:

1. Resumir los impactos potenciales ambientales y socioeconómicos causados por el proyecto (concentradora) tal como se identificaron en el EIA.
2. Definir las medidas que se aplicarán para reducir estos impactos ambientales potenciales.
3. Establecer procedimientos de control para controlar la eficacia de las medidas de reducción.
4. Delinear un proyecto de relaciones comunitarias y de desarrollo social.
5. Resumir un plan de respuesta de emergencia para la operación de las instalaciones.

La construcción y operación de la concentradora tendrán efectos sobre el medio ambiente. El proceso (EIA) identificó diez aspectos del medio ambiente que podrían verse afectados por la operación de la concentradora. Los impactos específicos en el medio ambiente que podrían ocurrir debido a la operación del equipo dentro del área de espesamiento de relaves, y las estrategias de reducción implementadas para afrontar los impactos ambientales potenciales, son delineados más abajo. (Vela, 2020)

**Tabla 5.**

*Conformidad de permisos y regulaciones*

Ítem	Aplicable	Comentarios
Topografía y paisaje	No	
Calidad de la tierra	Si	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Minimizar los derrames de aceite en el terreno nativo y reducir los derrames que ocurran.</li> </ul>
Calidad del aire	No	
Agua subterránea	Si	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reducir los derrames de aceite en el terreno nativo y reducir los derrames que ocurran.</li> <li>▪ Reducir los derrames de reactivos sobre el terreno nativo y reducir los derrames que ocurran.</li> <li>▪ Minimizar y reducir los derrames de pulpa y agua del proceso sobre el terreno nativo.</li> </ul>
Agua superficial	No	
Flora y vegetación	No	
Fauna	No	
Asuntos geotécnicos	No	
Recursos arqueológicos	No	
Tráfico	No	

**Fuente: Weber, (1972)**

Responsabilidades del operador

La concentradora será operada dentro Fuente: Regulación

de las condiciones del plan ambiental. Es responsabilidad de todo el personal de la planta concentradora:

1. Familiarizarse con las indicaciones del plan ambiental y de gestión social especialmente con aquellas relacionadas a los impactos sobre la calidad del aire, la calidad de agua subterránea y contaminación de suelos.

2. Asegurarse de una operación apropiada de equipo de planta que es instalado para reducir o controlar los efectos de la operación de la concentradora sobre el medio ambiente.
3. Conducir las actividades de mantenimientos y operaciones de tal manera que haya un impacto mínimo sobre el medio ambiente y reducir los efectos que se presenten. Son algunos ejemplos, la utilización de procedimientos apropiados para drenar el agua del proceso y las líneas de relaves, y la eliminación de los derrames de aceite durante las actividades de mantenimiento.
4. Entender y seguir las indicaciones establecidas por el SMCV para el manejo y disposición de los residuos sólidos y líquidos así como las sustancias nocivas.
5. Reconocer, reaccionar, e informar de los problemas ambientales de una manera oportuna.

Las responsabilidades específicas del personal en el área de espesamiento de relaves son:

1. Reducir los derrames de aceite sobre terreno nativo y minimizar los derrames que ocurran.
  2. Reducir los derrames de reactivos sobre terreno nativo y minimizar los derrames que ocurran.
  3. Minimizar los derrames de agua y pulpa del proceso sobre el terreno nativo.
- (Weber, 1972)

### **Requerimientos de reportes**

Los derrames deben ser informados al departamento ambiental que tomará una determinación de los procedimientos requeridos de reducción.

La concentradora esta diseñada para reducir los efectos de los derrames más comúnmente encontrados. Estas características de diseño consisten en pisos de concreto dentro de las áreas de operación de la concentradora y de las instalaciones contenedoras para almacenamiento de reactivos.

Los derrames de agua y pulpa del proceso debido a tuberías rotas que ocurran dentro de la base de cimentación de la instalación de almacenamiento de relaves, no son reportables. Los derrames de materiales que impactan en el terreno nativo

necesitan ser informados inmediatamente. Ejemplos de derrames reportables incluyen:

1. Derrames de agua y pulpa del proceso que impactan en terreno nativo dentro del área de la concentradora.
2. Derrames de aceite, sustancias químicas y reactivos que impactan en terreno nativo en cualquier lugar dentro de la instalación.
3. Fugas de agua fresca, agua y pulpa del proceso fuera de los límites operativos permitidos de la instalación. (Vela, 2020)

### **Tratamientos Físicos**

Como ya se ha indicado anteriormente, dentro de este grupo se incluyen todos aquellos procesos de depuración de aguas residuales cuyos principios de eliminación son netamente físicos.

Dentro de los tratamientos físicos, pueden distinguirse tres grandes grupos, en función del tipo o tipos de contaminantes a eliminar, y que son:

1. Tratamientos previos o pretratamientos.
2. Eliminación de sólidos en suspensión.
3. Eliminación de sólidos disueltos. (Weber, 1972)

#### **2.4.4. Tratamientos previos**

La primera operación que se lleva a cabo en cualquier estación depuradora de aguas residuales ya sea urbana o industrial es la de desbaste, consistente en la eliminación de todos aquellos cuerpos de gran tamaño que pueden acompañar al agua residual (trapos, palos, plásticos, piedras, etc.), que son arrastrados por el agua a través de la red de colectores.

Esta operación tiene como fin más inmediato la protección de los equipos mecánicos dinámicos que se encuentran situados posteriormente y evitar obstrucciones en líneas y canales que alterarían el régimen hidráulico de la instalación. (Riveros, 2016)

Igualmente dentro de las operaciones de tratamiento previo, se encuentra el desarenado o eliminación de sólidos en suspensión de alta densidad y tamaño,

fundamentalmente arenas, escorias, objetos metálicos, etc., que son arrastrados por el agua residual.

La eliminación de estos materiales en cabeza de tratamiento, viene condicionada por la abrasión que producirían en los equipos mecánicos dinámicos, su sedimentación o deposición en líneas o canales y la acumulación en balsas, digestores, etc., reduciendo el volumen útil o efectivo de los mismos.

El tercer proceso incluido dentro del pretratamiento es la separación de grasas y aceites en estado libre.

Se entiende que un aceite o grasa se encuentra en estado libre cuando no se encuentre disuelta o emulsionada.

De forma general este proceso no puede ser único en el tratamiento de eliminación de grasas y aceites, pues en el efluente de estas unidades se van a encontrar concentraciones altas de dichos contaminantes, lo que obliga a realizar algún tratamiento posterior antes de su vertido al cauce receptor, cuando los límites en el vertido son bajos.

El realizar esta operación en cabeza de tratamiento viene condicionada por las interferencias que estos contaminantes pueden provocar en procesos posteriores y por razones de seguridad en el caso de que el aceite a separar sea volátil y pueda llegar a formar atmósferas explosivas (ej. hidrocarburos).

Los procesos de eliminación de grasas y aceites son de gran importancia en el tratamiento de determinadas aguas industriales como en el refino de petróleo, petroquímicas, parques de almacenamiento de combustible, etc. (Cruz, 2017)

#### **2.4.5. Eliminación de sólidos en suspensión**

Los dos procesos más utilizados para la eliminación de sólidos en suspensión de un agua residual, son:

Decantación o sedimentación.

Flotación con aire presurizado. (Araúz, 2022)

Ambos procesos se basan en la diferencia de densidad entre el agua residual y la partícula a eliminar. En los mismos se obtiene un agua clarificada por rebose del

equipo y unos fangos más o menos concentrados dependiendo de la densidad y tamaño del sólido.

Al estudiar el sistema de flotación, se verá que es capaz de eliminar sólidos en suspensión de mayor densidad que el agua, así como aceites y grasas en estado libre.

En los dos procesos indicados anteriormente, no se van a separar coloides ni emulsiones, ya que al estar cargadas eléctricamente no va a ser posible su concentración en forma de lodo debido a las fuerzas de repulsión; igualmente en la decantación no se van a separar aquellas partículas con un tamaño muy fino, siendo preciso recurrir a otros tipos de procesos para su eliminación como se verá posteriormente.

Otro grupo de procesos para llevar a cabo la eliminación de sólidos en suspensión y de aplicación en algún caso como tratamiento final del agua es el de filtración sobre diferentes medios y en diferentes condiciones.

Estos procesos sólo se aplican en casos muy específicos y concretos como pueden ser en la reutilización del agua tratada, no siendo en consecuencia de utilización generalizada. (Araúz, 2022)

#### **2.4.6. Eliminación de sólidos disueltos**

En este apartado se incluyen aquellos procesos de eliminación de los sólidos disueltos en un agua residual por medios físicos, como concentración por evaporación total o parcial del agua, separación del contaminante presente como puede ser intercambio iónico, adsorción, extracción mediante disolventes específicos o bien aquellos otros procesos que obtienen una fracción diluida y otra muy concentrada en el contaminante, entre éstos se encuentran ósmosis inversa, carbón activo, electrodiálisis, etc.

De la simple enumeración de los procesos anteriores, se comprueba que se derivan de otros campos de la tecnología, como la potabilización de aguas salobres o salinas, o bien de procesos netamente industriales, requiriendo unos equipos y unos costes de explotación y mantenimiento muy elevados, lo que supone que su utilización en el campo de la depuración de aguas residuales está restringido a aplicaciones muy concretas y específicas. (Spena Group, 2016)

## 2.5. Tratamientos Biológicos

Los tratamientos biológicos, son los encargados de eliminar la materia orgánica biodegradable presente en las aguas residuales. Consisten en provocar el desarrollo de microorganismos capaces de asimilar la materia orgánica biodegradable presente en el agua residual, y a través de reacciones bioquímicas de oxidación y de síntesis de nuevos microorganismos, producir su eliminación.

En las reacciones de oxidación bioquímica se obtienen unos productos finales estables (inertes), y en los procesos de síntesis, nuevos microorganismos que se separan fácilmente por decantación posterior del agua.

Por realizarse este proceso mediante microorganismos, se le conoce con el nombre de tratamiento biológico, y es sencillamente la aplicación de las leyes de la naturaleza de autodepuración natural de los cauces receptores, llevada a cabo en condiciones de operación controladas y antes del vertido final.

Las reacciones bioquímicas tienen lugar de forma natural en los cauces receptores o bajo condiciones controladas en las estaciones de tratamiento de aguas residuales.

Los procesos biológicos se clasifican en dos grandes grupos de acuerdo con los microorganismos que intervengan y de las condiciones del medio en que tenga lugar:

- En presencia de oxígeno, transformando la materia orgánica biodegradable en nuevos microorganismos y unos productos finales estables que son fundamentalmente CO<sub>2</sub> y agua, así como posibles sales minerales como nitratos, sulfatos, etc.
- Los procesos anaerobios se llevan a cabo en ausencia de oxígeno, tomando los microorganismos el oxígeno que precisan para su metabolismo de los compuestos orgánicos que lo contengan en su composición, o bien de sales inorgánicas.
- En este tipo de procesos, los productos finales de la reacción bioquímica son fundamentalmente CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>, así como compuestos inorgánicos en sus formas reducidas, como sulfuros, nitrógeno, etc.
- Al igual que en los procesos aerobios, también tienen lugar reacciones de síntesis o formación de nuevos microorganismos aunque en menor cantidad que en aquellos. (Benavidesj, 2018)

- Los microorganismos responsables de estos procesos son fundamentalmente bacterias.
- Debido a los microorganismos que intervienen en las reacciones de tipo bioquímico, este tipo de procesos se ven afectados por una serie de factores que intervienen de forma decisiva en su mecanismo, como variaciones en la concentración de oxígeno y materia orgánica del agua a tratar, presencia de nutrientes, pH del medio y contenido en sales, compuestos tóxicos o inhibidores del crecimiento bacteriano, etc. (Araúz, 2022)

### **Tratamientos Químicos**

Estos tratamientos se basan en la realización de una reacción de tipo químico entre un reactivo y determinados compuestos presentes en el agua residual, de tal forma que al final se obtienen otro compuesto en el que está involucrado el elemento a eliminar.

Debido a que las reacciones químicas ocurren entre compuestos químicos determinados y no como en los biológicos o físicos, estos procesos son muy selectivos para cada compuesto a eliminar o grupos de compuestos muy afines. Esto lleva consigo que su aplicación sea muy específica y concreta a casos muy determinados y que excepto coagulación-floculación y recientemente la precipitación de fosfatos, sean de aplicación sólo en algunas aguas residuales de tipo industrial. (Casero, 2016)

#### **2.5.1. Coagulación-floculación**

Como ya se indicó al hablar de los procesos físicos, en aquellos era imposible la separación de materia coloidal y emulsionada, ya que al estar las partículas submicroscópicas cargadas eléctricamente, se repelen y en consecuencia no se pueden concentrar en forma de fangos o espumas. El proceso de coagulación consiste en la dosificación de determinados compuestos químicos que provoquen la neutralización de las cargas eléctricas de los coloides y en consecuencia dejarlos en condiciones que puedan ser decantados o flotados posteriormente. (Almau, 2014)

Igualmente se ha indicado que si el tamaño de las partículas es muy pequeño, la decantación de las mismas es muy difícil debido a las fuerzas de rozamiento que se desarrollan al pasar las partículas a través de la masa de agua. Es factible la aglomeración de estas partículas en otras de mayor tamaño mediante la adición de determinados compuestos químicos, como son los polielectrolitos sintéticos. La

aglomeración de partículas muy finas en otras de mayor tamaño que permita su decantación posterior se conoce con el nombre de floculación. De lo indicado anteriormente se deduce que los procesos de coagulación-floculación no pueden utilizarse independientemente sino que se encuentran ligados a un proceso físico posterior de eliminación de sólidos en suspensión, generalmente de decantación o de flotación. (Casero, 2016)

### **2.5.2. Neutralización**

El proceso de neutralización o ajuste de pH a un valor próximo al neutro, es exclusivo de determinadas aguas residuales industriales, ya que las aguas urbanas tienen un valor de dicho parámetro próximo a 7,5, valor óptimo en el caso de los procesos biológicos. La reacción de neutralización es preciso realizarla en muchas ocasiones antes de otros tratamientos con el fin de ajustar el valor del pH a los procesos siguientes. El tiempo de reacción de estos procesos al igual que en el resto de las reacciones químicas es corto, ya que al tratarse de una reacción química de primer orden, la velocidad es muy rápida, siendo necesario aumentar los tiempos de residencia cuando la reacción sea de tipo sólido-líquido como es el caso del empleo de cal como agente neutralizante. El control de pH debe ser muy estricto ya que una dosificación en exceso o en defecto, impedirá alcanzar los objetivos previstos en la operación. (Almau, 2014)

### **2.5.3. Precipitación**

Los procesos de precipitación química se basan en la eliminación de un contaminante determinado que se encuentra en disolución por adición de un producto químico que lo transforma en un compuesto sólido. Esto lleva consigo la necesidad de un tratamiento posterior de eliminación del sólido precipitado mediante el proceso de decantación correspondiente.

Ejemplos típicos de este proceso son la eliminación de metales pesados, fluoruros, sulfuros, fosfatos, etc. (Casero, 2016)

Estos procesos son exclusivos de algunas aguas residuales industriales, excepto la eliminación del fosfato, que se utiliza en determinadas ocasiones en aguas urbanas para evitar la eutrofización de los medios receptores. (Cruz, 2017)

#### 2.5.4. Redox

En este tipo de procesos hay un intercambio de electrones entre el oxidante y el reductor de tal forma que la reacción química tiene lugar entre dos compuestos o iones concretos. El empleo de este tipo de procesos es exclusivo de algunos tipos de aguas residuales industriales, que precisan la eliminación de algún elemento antes de su vertido. Son ejemplos típicos de procesos de depuración mediante reacciones redox, la eliminación de cromatos, cianuros y determinados compuestos orgánicos refractarios a los procesos biológicos. Como oxidantes se emplean el cloro o alguno de sus derivados, así como ozono, agua oxigenada, etc. y como agentes reductores sales ferrosas, bisulfito sódico, etc. Dentro de este grupo se podría incluir el proceso de desinfección con cloro u ozono, pues se trata de la reacción del reactivo con la materia orgánica para su oxidación, lo que afecta indudablemente a la materia de los gérmenes patógenos. (Almau, 2014)

#### 2.6. Tratamiento de fangos

A lo largo de algunos de los procesos de depuración indicados con anterioridad, se van a producir unos lodos o fangos en concentraciones bajas que hay que tratar antes de su evacuación de la depuradora. Por otra parte en la composición de estos fangos pueden existir unas concentraciones de materia orgánica biodegradable muy importante, que será preciso estabilizar antes de su evacuación a destino final. (Casero, 2016)

##### 2.6.1. Espesamiento

Los lodos obtenidos en los diferentes procesos, tienen una concentración muy baja en sólidos, pudiendo llegar al 0,6-0,8% en los procedentes de los decantadores secundarios utilizados en los procesos biológicos, siendo preciso su concentración previa a cualquier tratamiento posterior, con el fin de disminuir su volumen y en consecuencia el tamaño de los equipos posteriores. (Anaya, 2016)

Los sistemas de espesamiento frecuentemente utilizados son de dos tipos:

- Gravedad.
- Flotación.

Ambos procesos se basan en los mismos principios que la decantación y flotación para eliminación de sólidos en suspensión, pero con unos parámetros de diseño diferentes. (Almau, 2014)

### **2.6.2. Estabilización**

Como se ha indicado anteriormente, una parte importante de los lodos (sobre todo los procedentes de un tratamiento biológico), están formados por materia orgánica biodegradable siendo preciso su estabilización antes de su evacuación final.

Mediante el proceso de estabilización se destruye la materia orgánica biodegradable presente en el lodo.

Los sistemas de estabilización pueden ser:

- Vía bioquímica (aerobia o anaerobia), con unos mecanismos similares a los procesos utilizados en la eliminación de materia orgánica del agua.
- Tratamiento o acondicionamiento químico, mediante el empleo de productos químicos, fundamentalmente cal.
- Tratamientos físicos, como incineración. (Almau, 2014)

### **2.6.3. Deshidratación**

Los fangos una vez espesados y estabilizados deben ser deshidratados hasta una concentración que permita su evacuación en forma sólida de la depuradora mediante camión u otro medio de transporte, hasta su destino final. Las concentraciones mínimas en materia seca de las tortas para una buena evacuación, debe ser igual o superior a un 20% en materia seca. Para alcanzar esta concentración o superiores, se utilizan diversos sistemas, siendo los más utilizados:

- Eras de secado
- Filtración (bandas, vacío, presión, etc.)
- Centrifugación
- Procesos térmicos. (Casero, 2016)

El destino final de los lodos generados, una vez deshidratados, en una planta depuradora de aguas residuales urbanas puede ser vertedero o reutilización con fines agrícolas.

En plantas industriales será precisa su caracterización, puesto que, la presencia de determinados compuestos (como metales pesados, hidrocarburos, etc.), les puede clasificar como residuo peligroso, obligando a que su destino final sea el vertedero de seguridad. (Almau, 2014)

#### **2.6.4. Regulación y homogeneización**

Existe una gran cantidad de industrias que debido a su forma de fabricación por lotes o cargas, jornada de trabajo, tipo de producción, etc., originan unas aguas residuales que llegan a la planta depuradora con unas variaciones de caudal y / o composición a lo largo del día muy importantes lo que puede dar lugar a un funcionamiento incorrecto de la depuradora, o bien a un sobredimensionamiento de la misma.

En las plantas depuradoras de aguas residuales urbanas por tratarse de volúmenes de agua elevados y que las variaciones en su caudal y composición pueden ser absorbidos por la depuradora, no se emplean este tipo de procesos, que por otra parte darían lugar a unas balsas de unas dimensiones importantes.

En algunas depuradoras urbanas, al comienzo de la planta, se instalan unas balsas en paralelo o derivación, denominada “*balsa de tormentas*” para recoger los primeros volúmenes de estas aguas, que son las más contaminadas, con el fin de realizar su tratamiento posterior, cuando cesen las lluvias y la planta tenga capacidad de tratarlas.

De lo indicado con anterioridad, se llega a que estos procesos solamente se instalarán en aquellas plantas depuradoras de aguas industriales que lo precisen. Los procesos utilizados son regulación del caudal y homogeneización de composición. (Torres, 2000)

### 2.6.5. Objetivos del proceso de regulación y homogeneización

Mejora los rendimientos de los procesos, fundamentalmente los biológicos. Facilita el control de la instalación. En aquellas plantas de tratamiento de aguas residuales industriales, en las que el caudal o la composición varíen de forma importante a lo largo del día, es preciso llevar a cabo la regulación del caudal o la homogeneización de su composición, con el fin de conseguir que la futura planta depuradora trabaje en las condiciones más uniformes posibles. Entre las ventajas de un influente regularizado u homogeneizado destacan:

- Aumenta la vida de las instalaciones, al trabajar en condiciones constantes.
- Facilita las operaciones y programación de los trabajos de mantenimiento.
- Permite optimizar el tamaño de la instalación.
- Evitar el sobredimensionamiento de la depuradora. (Casero, 2016)

### 2.6.6. Regulación del caudal

#### 2.6.6.1. Fundamentos del proceso

La regulación del flujo de agua que llega a la planta depuradora, consiste en la laminación de los picos y valles de caudal, de tal forma que la instalación de depuración trabaje con un caudal constante, lo que lleva consigo un incremento de la eficiencia de los diferentes procesos y operaciones unitarias que la componen. Si el agua residual tiene sólidos en suspensión, las balsas o tanques de regulación deben estar agitados para evitar su decantación. Básicamente, el proceso de regulación del caudal, consiste en una balsa o tanque de volumen adecuado donde tiene lugar la acumulación del exceso de agua cuando el caudal de llegada es mayor que el caudal medio, y de donde se extrae cuando el caudal de llegada a la planta es menor que el medio. De acuerdo con lo indicado anteriormente la balsa de regulación embalsará agua cuando el caudal que llega a la instalación sea mayor que el caudal medio. La balsa de regulación desembalsará agua, cuando el caudal de agua de llegada a la instalación sea menor que el caudal medio. Por la forma de trabajar de una balsa o tanque de regulación se deduce que su nivel a lo largo del tiempo es variable. (Casero, 2016)

### 2.6.6.2. Formas de operación

Las dos formas básicas de operación de las balsas o tanques de regulación de caudal son en línea o serie, la balsa de regulación está en línea con la alimentación a la planta depuradora y, en consecuencia, todo el agua residual pasará a través del tanque o balsa de regulación. En derivación o paralelo, solamente se deriva a la balsa de regulación el caudal que excede del medio, que es reenviado a la depuradora cuando el caudal de llegada sea inferior al medio. (Blooger, 2005)

### 2.6.6.3. Diseño

Las bases de diseño vendrán definidas por la variación de los caudales de alimentación a la instalación a lo largo de un periodo de tiempo. (Castro, 1986)

### 2.6.6.4. Dimensionamiento

El volumen requerido para la balsa de regulación del caudal se puede determinar mediante la representación gráfica de la variación de caudal a lo largo del día o bien mediante la preparación de una hoja de cálculo. Para llevar a cabo el segundo de los métodos indicados, más exacto y fácil de realizar que el primero, se preparara una hoja de cálculo con las siguientes columnas:

- Tiempo (de hora en hora).
- Volumen de agua que llega a la planta en el referido periodo de tiempo (m<sup>3</sup>).
- Volumen acumulado de agua que llega a la planta desde el tiempo cero (m<sup>3</sup>).  
El volumen de agua acumulado en un día dividido por 24 h dará el caudal medio (m<sup>3</sup>/h).
- Volumen de agua extraído de la balsa desde el tiempo cero, que corresponderá con el caudal medio multiplicado por el número de horas transcurrido.
- Diferencia entre las dos columnas anteriores. (Almau, 2014)

Ésta última columna será un conjunto de valores positivos y negativos.

Los valores positivos corresponden con la cantidad de agua que se precisa almacenar, al ser las cantidades extraídas inferiores a las llegadas.

Los valores negativos representan el agua que se precisa tener almacenada para aquellos periodos de tiempo en que las extracciones sean superiores a las aportaciones.

El volumen de la balsa de regulación será la suma del valor máximo positivo y del valor mínimo negativo en valor absoluto. En el caso de que no existan valores positivos o negativos, estos últimos términos serán cero.

En la tabla incluida a continuación, se recoge un ejemplo de la forma de realizar la tabla indicada con anterioridad.

- *Zona descendente*: significa que se está desembalsando agua, o lo que es lo mismo, el caudal de agua que llega es menor que el que se extrae.
- *Zona ascendente*: el agua que llega es mayor que la que se saca y en consecuencia se está embalsando. (Casero, 2016)

## **2.6.7. Homogeneización del influente**

### **2.6.7.1. Fundamentos del proceso**

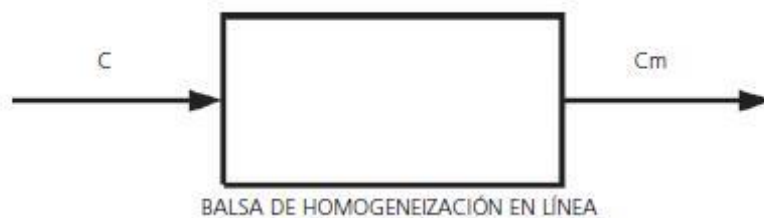
En determinadas plantas industriales, la composición del agua residual de alimentación a la depuradora varía de forma notable a lo largo del día, o bien se producen descargas puntuales con altas concentraciones de sus contaminantes. Si estas variaciones son importantes es preciso llevar a cabo una homogeneización del mismo, con el fin de que la planta depuradora trabaje en las mejores condiciones posibles. La homogeneización de la composición del influente de una estación depuradora de aguas industriales, consiste en la laminación de los picos y valles de contaminación que llegan a la instalación, de tal forma que la alimentación a la misma sea lo más homogénea posible. Básicamente el proceso de homogeneización, consiste en una balsa o tanque del volumen adecuado, trabajando siempre lleno que actúa como pulmón, donde tiene lugar la homogeneización del agua residual. (Araúz, 2022)

De acuerdo con lo indicado anteriormente cuando llegue un influente con una concentración superior a la media, esta se diluirá en el agua acumulada de la

balsa de homogeneización y cuando llegue un influente con una concentración inferior a la media, esta al mezclarse con el agua de la balsa aumentara su concentración. (Casero, 2016)

### 2.6.8. Formas de operación

De acuerdo con lo indicado anteriormente, la forma de trabajar una balsa o tanque de homogeneización es siempre llena, de tal forma que el volumen de agua existente en la misma sirva de amortiguación de los picos o valles de contaminación. Por otra parte para que tenga lugar una correcta homogeneización entre el influente y el agua presente en la balsa, es preciso que la balsa se encuentre agitada. El tipo de agitación precisa en una balsa de homogeneización, es una agitación suave. La única opción de llevar a cabo el proceso de homogeneización es en línea o serie, la balsa de homogeneización está en línea con la alimentación a la planta depuradora, y en consecuencia todo el agua residual pasa a través del tanque o balsa de homogeneización. En el caso de homogeneización no es posible el trabajar en paralelo o derivación. Siendo  $C$ : *concentración en la alimentación* y  $C_m$ : *concentración media*. (Casero, 2016)



**Figura 23. Formas de operación**

**Fuente: Casero, (2016)**

### 2.6.9. Bases de diseño

El volumen de la balsa de homogeneización vendrá definido en función de las variaciones de la calidad del influente, originadas por los procesos productivos. (Anaya, 2016)

#### 2.6.9.1. Dimensionado equipos

La forma de determinar el volumen de una balsa o tanque de homogeneización se puede realizar al igual que en el caso de las balsas de regulación, por representación gráfica, o bien mediante la preparación de una hoja de cálculo,

pero utilizando en este caso kilos de contaminante en lugar de volúmenes de agua como en el caso de la regulación.

Es importante tener en cuenta, que las balsas de regulación cuando están en línea, durante la mayor parte de su tiempo están parcialmente llenas con agua, con lo que se va a conseguir un cierto grado de homogeneización del influente, siempre que dispongan de agitación. (Casero, 2016)

#### 2.6.9.2. Normas generales de diseño

- En el diseño de estos equipos habrá que tener en cuenta:
- Las balsas de regulación trabajan a nivel variable, y no precisan agitación salvo que el agua tenga en su composición sólidos en suspensión para evitar su decantación, o bien se pretenda conseguir un cierto grado de homogeneización.
- Las balsas de homogeneización trabajan a nivel fijo y siempre llenas, precisando agitación.
- Los dos sistemas básicos de agitación son:
- Agitación mecánica. La potencia de mezcla debe ser del orden de 15-25 w / m<sup>3</sup> de agua.
- En el caso de las balsas o tanque de regulación que trabajan siempre a nivel variable, hay que tener en cuenta que los agitadores no pueden quedarse al aire.
- Agitación mediante inyección de aire a través de difusores. La cantidad de aire debe estar entre 0,4 y 0,6 m<sup>3</sup> de aire / m<sup>3</sup> \* hora.
- El tipo de difusores a emplear, son de burbuja media o gruesa. (Almau, 2014)

- En la práctica, el volumen del tanque de homogeneización o bien, el de regulación debe ser superior al determinado teóricamente para tener en cuenta los siguientes factores:
- La operación continua de los equipos de agitación y mezclado de las balsas de homogeneización y las de regulación en el caso de que sean precisos, no permitirán un vaciado total.
- El retorno a cabeza de planta de sobrenadantes y filtrados exige un volumen adicional sobre el previsto.
- Debe tenerse en cuenta un volumen adicional para hacer frente a los imprevistos que puedan producirse por cambios no esperados del caudal o composición diarios.

A pesar de que no puede darse ningún valor fijo, el volumen adicional puede variar entre el 10 y el 20% del valor calculado. (Casero, 2016)

#### **2.6.10. Tratamientos no convencionales**

En pequeños municipios la experiencia ha demostrado que las plantas depuradoras de aguas residuales, basadas en tecnologías convencionales, originan problemas, tanto técnicos como económicos, que hacen que un gran número de éstas instalaciones queden fuera de servicio en un plazo de tiempo muy corto.

Como consecuencia de lo anteriormente expuesto se han desarrollado otras tecnologías denominadas "blandas" o "no convencionales" tratando de minimizar las dificultades reseñadas para los citados municipios.

En este capítulo trataremos de dar una amplia visión de estos métodos "blandos", en lo referente a su concepción, dimensionamiento y explotación.

Estudiaremos el "lagunaje natural", "lechos de turba", "filtros verdes" y "biodiscos". (Casero, 2016)

### 2.6.10.1. Lagunaje

La aplicación de otro tipo de tecnologías respecto a las tecnologías tradicionales, basadas en procesos de autodepuración natural, consigue la reducción de la carga contaminante de las aguas residuales con unos costes de operación inferior y con unas necesidades de mantenimiento menores a los de la depuración tradicional. El tratamiento por lagunaje de aguas residuales consiste en el almacenamiento de éstas durante un tiempo variable en función de la carga aplicada y las condiciones climáticas, de forma que la materia orgánica resulte degradada mediante la actividad de bacterias heterótrofas presentes en el medio. Puesto que en la depuración por lagunaje no interviene para nada la acción del hombre, quien se limita a proporcionar un emplazamiento adecuado para las balsas, el lagunaje es un método biológico natural de tratamiento, basado en los mismos principios por los que tiene lugar la autodepuración en ríos y lagos. Al estar basada esta tecnología en procesos biológicos naturales, los rendimientos de depuración que se alcanzan están muy relacionados con las condiciones climáticas imperantes. Por otra parte, estos procesos biológicos se ven muy afectados por la presencia en el agua residual de sustancias anómalas, procedentes de vertidos industriales que pueden llegar a hacer inviable su tratamiento. Por lo tanto en el lagunaje se obtendrá una eliminación de la materia orgánica presente, de origen urbano fundamentalmente, de una manera económicamente viable sin prescindir de la reducción de gérmenes patógenos. (Torres, 2000)

### 2.6.10.2. Lechos de turba

La aplicación de la depuración mediante filtración en lechos de turba respecto a las tecnologías tradicionales, basadas en procesos de autodepuración natural, consigue la reducción de la carga contaminante de las aguas residuales con unos costes de operación inferiores y con unas necesidades de mantenimiento menores a los de la depuración tradicional. La depuración se realiza, en primer lugar, por retención de los materiales en suspensión y por adsorción en el seno del tejido vegetal fibroso. Además la turba puede ser considerada como un medio vivo en evolución y en ella se mantiene y desarrolla una actividad bacteriana que da lugar a la digestión biológica de la materia orgánica. (Araúz, 2022)

El elemento esencial de una instalación de depuración de este tipo es un lecho de turba a través del cual circula el agua residual. Dicho lecho descansa sobre una delgada capa de arena, soportada a su vez por una capa de grava; un dispositivo de drenaje recoge el efluente en la base del sistema que puede realizarse, simplemente, practicando una excavación que en caso necesario se aísla del terreno circundante mediante una lámina impermeable o cualquier otro método adecuado. Por otra parte, el sistema puede funcionar como lecho inundado o como lecho de percolación (lecho de turba aerobio), lo que depende de la utilización que resulte más eficaz. El lecho inundado no es muy recomendable pues puede entrar en anaerobiosis. En todo caso, se distribuye el agua sobre la superficie del lecho mediante un dispositivo de reparto, a efectos de evitar caminos preferentes de circulación que reducirían, notablemente, el rendimiento de depuración. Los lechos de turba participan de las ventajas de los lagunajes de pequeño calado y poco tiempo de retención, y de los filtros bacterianos donde tienen lugar fenómenos físicos de filtración y de absorción, químicos de oxidación-reducción y biológicos por desarrollo de la biomasa en un soporte fijo; así la turba actúa como un gran catalizador donde el agua residual, sufre un proceso de estabilización biológica y de reducción de sólidos en suspensión. El lecho de turba, o el lagunaje sobre turba, constituye un filtro bacteriano con pequeñas cargas de agua residual y ciclos operativos largos y periódicos de inundación y descanso-aireación y en el que se producen fenómenos biológicos de síntesis-estabilización biológica, de tipo físico con filtración-retención y físico-químicos de adsorción, por las peculiares características que el medio filtrante, compuesto de turba, tiene en relación con las materias coloidales y disueltas. La acción depuradora se basa, en síntesis esquemática, en la infiltración del agua residual a través de la turba, que sirve de soporte físico para el desarrollo de bacterias y microorganismos y pone en contacto esta masa microbiana con los compuestos y elementos que el agua residual lleva disuelta, produciéndose reacciones de tipo físico-químico y de síntesis y estabilización biológica a través de las cuales, las materias en suspensión e incluso un gran porcentaje de las disueltas, son retenidas y transformadas por oxidación-reducción de tipo aeróbico o facultativo, en compuestos más simples o naturales. (Casero, 2016)

La turba, por sus características físico-químicas, constituye un excelente soporte para la fijación y crecimiento de las colonias bacterianas y un medio de filtración de sólidos en suspensión. En el ciclo de descanso, las labores de rastrillado y volteo de la capa de turba favorecen la digestión aerobia, restituyendo las condiciones básicas de filtrabilidad y capacidad de adsorción del material. Además de la reducción de la contaminación física y orgánica se produce una reducción de la concentración de contaminación bacteriana (expresada en "colis"). (Cruz, 2017)

### **2.6.10.3. Filtro verde**

La aplicación de la depuración mediante filtros verde respecto a las tecnologías tradicionales, basadas en procesos de autodepuración natural, consigue la reducción de la carga contaminante de las aguas residuales con unos costes de operación inferior y con unas necesidades de mantenimiento menores a los de la depuración tradicional. Un filtro verde es un sistema formado por terreno cubierto de cultivos agrícolas o plantaciones forestales (generalmente esta última), sobre el que se distribuyen periódicamente aguas residuales procedentes de núcleos urbanos, con el fin de conseguir su depuración mediante la acción conjunta del suelo, microorganismos y plantas, con una triple acción física, química y biológica.

El suelo no sólo actúa como un filtro físico, sino que también trabaja biológicamente produciendo una oxidación bioquímica sobre buena parte de las sustancias contenidas en suspensión de las aguas residuales, de manera que sean asimilables por la vegetación y las que no lo sean pasen al acuífero de forma y proporción que no supongan peligro de deterioro para el mismo.

La depuración de las aguas residuales aplicadas al suelo tiene lugar en los horizontes superiores de éste, en una capa biológicamente activa cuya profundidad no puede rebasar 1,20 metros. En este suelo vivo las aguas que lo atraviesan lentamente al percolar, sufren dos procesos simultáneos:

- a) un filtrado mecánico que retiene los sólidos en suspensión no degradables
- b) una oxidación bioquímica bacteriana que mineraliza la materia orgánica.

(Anaya, 2016)

El oxígeno necesario para esta mineralización de la materia orgánica proviene del aire contenido en esta capa activa del suelo en la que ocupa del orden del 50% de su volumen lo que equivale a un contenido de unos 600 Kg de oxígeno por Ha, que se renueva naturalmente por difusión cada 75 minutos.

La oxidación de la materia orgánica es producida por bacterias anaerobias que se hallan en el suelo formando una tenue película que envuelve las partículas de éste, que son capaces de entrar en acción a partir de 0°C de temperatura en presencia de agua y de materia orgánica adherida a la película que forman. En suelos de textura no gruesa la superficie de esta película está evaluada en cifras del orden de 5.000 m<sup>2</sup> por metro cuadrado de superficie de terreno.

La descomposición bacteriana de la materia orgánica da lugar a que el nitrógeno pase de formas amoniacales a nitritos y nitratos. Este efecto se hace patente en la vegetación espontánea de los campos de aplicación que se compone casi exclusivamente de plantas nitrófilas y en la ausencia de las leguminosas capaces de fijar el nitrógeno atmosférico en los módulos de sus raíces.

El fósforo se oxida y genera con las bases, fosfatos que por una parte se inmovilizan y son retenidos por la vegetación y por otra parte percolan. Este fósforo en presencia de cal queda inmovilizado, y es preciso abonar los cultivos con fósforo a partir de la aportación del contenido en las aguas residuales. (Anaya, 2016)

#### **2.6.10.4. Lodos activos**

El proceso de lodos o fangos activos fue desarrollado en Inglaterra en 1914 por Andern y Lockett y llamado así porque suponía la producción de una masa activa de microorganismos capaz de estabilizar la materia orgánica biodegradable de un agua residual por vía aerobia. En la actualidad se utilizan diferentes versiones del proceso original, pero todas tienen el mismo fundamento. Dentro de los diferentes procesos biológicos utilizados en el tratamiento de aguas residuales, el de lodos activos es el generalmente utilizado en todas las plantas depuradoras de aguas residuales urbanas, así como en aquellas industriales con contaminación por materia orgánica biodegradable. (Benavidesj, 2018)

El objetivo fundamental del proceso de fangos o lodos activos es la eliminación de la materia orgánica biodegradable presente en el agua residual.

El vertido de un agua residual con materia orgánica biodegradable, supone que la reacción bioquímica va a tener lugar en el cauce receptor, lo que va a suponer el consumo del oxígeno disponible, afectando de forma importante al ecosistema.

De acuerdo con lo anteriormente indicado, las funciones más importantes asignadas a este proceso, al igual que al resto de los procesos biológicos son:

- Eliminación de la materia orgánica biodegradable.
- En determinados procesos específicos, la eliminación de compuestos de nitrógeno y fósforo vía bioquímica.
- Cumplir la normativa legal referente a la concentración de DBO.
- Evitar la disminución de la cantidad de oxígeno en el cauce, por el gran impacto que se genera sobre la fauna y flora en el mismo. En aquellos procesos que eliminan compuestos de nitrógeno y fósforo, evitan la eutrofización del cauce receptor. (Casero, 2016)

En el proceso de fangos activos se lleva a cabo la eliminación de la materia orgánica biodegradable presente en el agua residual, de igual forma que tiene lugar en la naturaleza, a través de una biomasa o conjunto de microorganismos que la utilizan como sustrato o fuente de alimentación, descomponiéndola vía aerobia.

La reacción bioquímica que tiene lugar es la siguiente:

$MO + \text{Microorganismos} + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O + \dots + \text{Nuevos Microorganismos}$ .

A diferencia de lo que ocurre en la naturaleza, la población de biomasa que se utiliza en este proceso es elevada, lo que conlleva que en unos tiempos reducidos, tenga lugar la eliminación de cantidades importantes de DBO.

Las unidades básicas de que se compone el proceso de lodos activos son:

- Reactor o balsa biológica
- Decantador secundario.
- Recirculación del lodo activo. (Steel, 1979)

El proceso de lodos activos que tiene lugar es el siguiente:

- El agua residual que llega al sistema es introducida de forma continua en el reactor donde se mantiene una concentración elevada de microorganismos en suspensión.

En esta etapa los microorganismos capturan la materia orgánica biodegradable presente, utilizándola como sustrato o alimentación, provocando su eliminación a través de reacciones bioquímicas de oxidación y síntesis.

El oxígeno preciso para los microorganismos se introduce mediante el empleo de difusores, aireadores mecánicos u otros sistemas que aportan el aire para el proceso (el 23% en peso del aire es oxígeno), al mismo tiempo que provocan la agitación suficiente para mantener la biomasa en suspensión y en mezcla íntima con el agua a tratar.

- El agua que llega al reactor provoca el desplazamiento de la mezcla agua biomasa a un decantador instalado a continuación. En el decantador, los microorganismos se aglomeran sobre pequeñas partículas en suspensión, generando unos flóculos de varios milímetros fácilmente decantables, que sedimentan en el fondo del equipo. Este fango decantado está compuesto fundamentalmente por microorganismos, que han escapado del reactor biológico.

Para mantener la concentración en el reactor, estos lodos decantados son recirculados de nuevo al reactor y así mantener la población necesaria.

- En el proceso de síntesis que tiene lugar en el reactor, se están formando continuamente nuevos microorganismos, que es preciso purgar y extraer del sistema para trabajar con una población de microorganismos fija.
- El agua que sale por el vertedero del decantador, ya se encuentra tratada y es adecuada para su vertido, en el caso de que no disponga de algún otro tipo de contaminación. (Casero, 2016)

### 2.6.11. Filtros percoladores

El sistema de tratamiento biológico mediante filtros percoladores, de desarrollo anterior al de lodos activos, se basa en el proceso que tiene lugar en la naturaleza, consistente en el crecimiento de microorganismos sobre la superficie de rocas presentes en las orillas de los cauces, que llevan a cabo procesos de autodepuración de las aguas.

A este proceso también se le conoce con los nombres de filtros biológicos o lechos bacterianos.

El primer equipo de este tipo se instaló en 1893, siendo en la planta de Reading (EEUU), donde se utilizaron por primera vez en aguas residuales urbanas.

Este es un proceso de tipo biológico aerobio.

La base fundamental de los filtros percoladores consiste en, disponer de una superficie elevada, de tal forma que la masa de microorganismos que se desarrolle sobre la misma sea muy importante, y en consecuencia disponer de una alta capacidad de eliminación de materia orgánica biodegradable.

Un filtro percolador, básicamente se compone de un tanque o recipiente en el cual se encuentra el relleno apropiado y sobre el que se riega con el agua residual, formándose una fina lámina de agua al caer a través del mismo. Sobre la superficie del relleno, se desarrolla una película de biomasa, que captura la materia orgánica disuelta en el agua a su paso. El oxígeno preciso para el proceso es captado por la biomasa del existente en los huecos que quedan entre el relleno.

Un factor muy importante a tener en cuenta en este proceso es el bajo consumo energético, frente a los fangos activos en cualquiera de sus variantes, ya que el paso de aire a través del filtro, es un movimiento de convección, basado en la diferencia de temperatura entre el aire atmosférico y el agua residual.

En la actualidad y sobre todo con rellenos de material plástico, y de elevados volúmenes se suele utilizar circulación forzada de aire, mediante la instalación de soplantes. (Casero, 2016)

El objetivo fundamental de este proceso al igual que del resto de los procesos biológicos, es la eliminación de la materia orgánica biodegradable presente en un agua residual, ya sea de tipo urbana o industrial, a través de un proceso de biodegradación de tipo aerobio.

Como ya se ha indicado en otros temas, la no eliminación de la materia orgánica biodegradable presente en un agua residual, va a tener como consecuencia un consumo del oxígeno disuelto en el receptor, pudiendo llegar a la desaparición de este elemento y en consecuencia, cualquier forma de vida.

La misión fundamental es la protección de los cauces receptores, mediante la eliminación de la materia orgánica biodegradable presente en el agua residual. (Almau, 2014)

#### **2.6.11.1. Procesos anaerobios**

Los efluentes de determinadas plantas industriales, como pueden ser alcoholeras, azucareras, granjas intensivas de cerdos, cerveceras, etc. generan unas aguas residuales con unas cargas muy elevadas de DBO.

La utilización de procesos aerobios como el de fangos activos, descrito en otro capítulo para la eliminación de la DBO de estas aguas, conllevarían unos consumos energéticos muy elevados y en consecuencia unos gastos de explotación de la instalación muy importantes.

Igualmente en las plantas depuradoras los fangos generados en la decantación secundaria y muchas veces en la primaria (si los sólidos presentes están compuestos de materia orgánica), tienen en su composición unas cargas contaminantes en materia orgánica muy elevadas que hay que estabilizar (eliminar la materia orgánica) previamente a su deshidratación y evacuación de las instalaciones de depuración.

En estos tipos de aguas residuales y en el tratamiento de fangos para la eliminación de la materia orgánica biodegradable, los procesos biológicos utilizados generalmente son por vía anaerobia, es decir en ausencia de oxígeno. (Araúz, 2022)

Un problema que surge en los procesos de tipo anaerobio es su baja velocidad.

Como ya se ha indicado en otro capítulo, la velocidad de los procesos biológicos es función de la temperatura, de tal forma que dentro de un rango (hasta 40°C), el incremento de este parámetro conlleva una mayor velocidad, (por cada 10°C que se incremente la temperatura, la velocidad de reacción aproximadamente se duplica), o lo que es lo mismo menores tiempos de retención y en consecuencia equipos mucho más pequeños. Como en la digestión anaerobia se genera biogás, con un poder calorífico elevado, este es utilizado como combustible para generar el calor preciso para aumentar la temperatura del agua residual, lo que conlleva un ahorro energético muy importante y, en consecuencia, la viabilidad de este proceso. En el caso de los lodos de depuradoras o bien de aguas residuales con sólidos en suspensión de naturaleza orgánica, al llevar a cabo el proceso anaerobio, hay una reducción importante de los sólidos en suspensión. Como el éxito del proceso radica en la autosuficiencia energética para el calentamiento del agua a tratar, este sistema solamente puede ser utilizado en aquellos casos que el agua disponga de un contenido en materia orgánica elevada, de tal forma que las cantidades de gas obtenido sean suficientes para obtener la energía térmica del proceso. En algunas aguas residuales industriales muy cargadas en materia orgánica, el proceso anaerobio incluso puede exportar biogás a otras dependencias de la fábrica. El objetivo fundamental de los procesos biológicos anaerobios, es la eliminación de la materia orgánica biodegradable, en todos aquellos casos en que esta se encuentre en elevadas concentraciones, y en consecuencia no sean de aplicación los procesos aerobios, por el alto consumo energético que estos últimos producirían. (Castro, 1986)

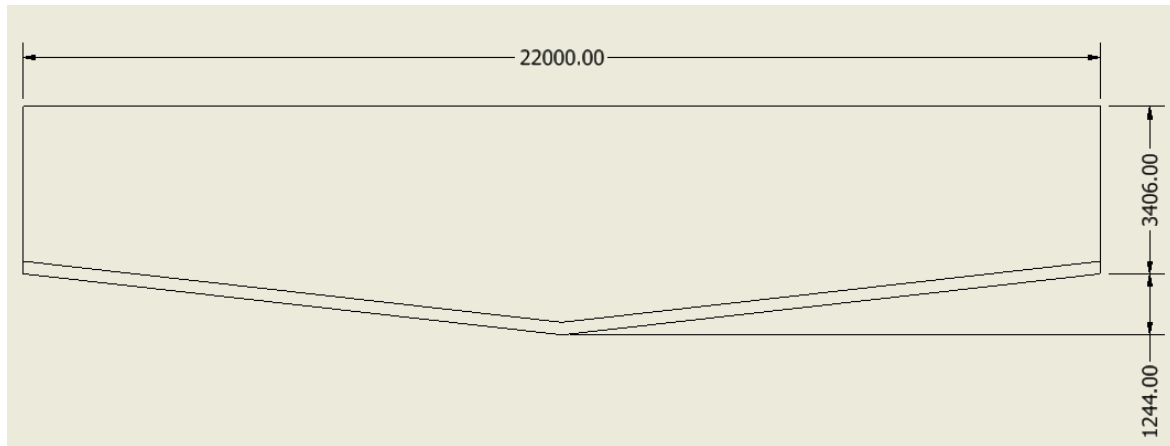
Los fines más importantes a conseguir mediante los procesos anaerobios, son entre otros:

- Evitar el gravísimo impacto que sobre el cauce receptor tendría el vertido de unas aguas residuales con unas elevadas cargas de materia orgánica biodegradable, aunque se tratase de caudales bajos.
- Debido a tratar aguas residuales con una elevada carga orgánica, ser utilizado como una primera etapa de depuración, seguida de un posterior proceso aerobio de afine.
- Estabilización de los fangos generados en las plantas depuradoras, de tal forma que se mineralicen parcialmente y puedan ser evacuados de la instalación sin problemas de fermentaciones posteriores.
- Reducir el contenido de sólidos en suspensión (aquellos de naturaleza orgánica y biodegradable), presentes en el agua residual o fangos a tratar.
- Obtención de energía para la calefacción del proceso con el ahorro económico que conlleva.
- En algunas plantas de tratamiento de aguas residuales muy cargadas, es posible la exportación de ciertas cantidades de gas al exterior de la depuradora, como ya se ha indicado.
- En la digestión anaerobia de fangos en las plantas depuradoras urbanas, tiene lugar una importante reducción de gérmenes patógenos. (Casero, 2016)

## CAPÍTULO III

### 3. DISEÑO MECÁNICO DEL CLARIFICADOR

El Clarificador a diseñar tendrá el siguiente bosquejo:



**Figura 24. Bosquejo de tanque clarificador**

Las dimensiones son:

Diámetro = 22 metros

Altura = 4.65 metros

#### 3.1. Calculando el espesor de Pared.

Mediante recomendaciones de la norma API650 se tomará como espesor mínimo de la pared del cuerpo del tanque el indicado en la tabla adjunta, cabe indicar que el espesor seleccionado será el de mayor dimensión (En formato comercial) que saldrá de la comparación entre los resultados del calculado por condiciones de diseño, por condiciones de prueba hidrostática y la propia tabla proporcionada por API650:

**Tabla 6**

*Espesor mínimo de pared de Tanque*

Diámetro nominal (m)	Espesor mínimo (mm)
$\leq 15.24$	4.76 (3/16 pulg)
$15.24 < 36.576$	6.35 (1/4 pulg)
$36.576 < 60.96$	7.93 (5/16 pulg)
$> 60.96$	9.52 (3/8 pulg)

**Fuente:** Norma Api, (2020)

Por condición de diseño del tanque de 22 metros de diámetro se tomará como referencia el valor de espesor de pared de 1/4" (6.35 mm), a continuación, se realizará la verificación del espesor por condiciones de diseño y por condiciones de prueba hidrostáticas.

**Tabla 7**

*Esfuerzos de material permisibles en MPa*

Especificación ASTM	Grado	Mínimo Esfuerzo Elástico (MPa)	Mínimo Resistencia a la tensión (MPa)	Esfuerzo de Diseño Sd (MPa)	Esfuerzo de Prueba Hidrostática St (MPa)
A283M	C	205	380	137	154
A285M	C	205	380	137	154
A131M	A,B	235	400	157	171
A36M	-	250	400	160	171
A131M	EH36	360	490	196	210
A573M	400	220	400	147	165
A573M	450	240	450	160	180
A573M	485	290	485	193	208
A516M	380	205	380	137	154
A516M	415	220	415	147	165
A516M	450	240	450	160	180

A516M	485	260	485	173	195
A662M	B	275	450	180	193
A662M	C	295	485	194	208
A678M	A	345	485	194	208
A678M	B	415	550	220	236
A737M	B	345	485	194	208
A841M	Class 1	345	485	194	208
A841M	Class 2	415	550	220	236

Fuente: Norma Api 650, (2020)

En nuestro diseño se utilizará planchas de acero A-285.

Se realizará el cálculo de los espesores de diseño y de prueba hidrostática recomendado por la norma API650, para lo cual se considera una sección transversal ubicada a 0.3 metros por debajo de la unión de cada anillo, cabe mencionar que este método es aplicable para tanques con diámetros igual o menores a 61 metros.

$$t_d = \frac{4.9D(H - 0.3)G}{S_d} + CA$$

$$t_t = \frac{4.9D(H - 0.3)}{S_t}$$

Donde:

$t_d$ : Espesor por condiciones de diseño, en mm.

$t_t$ : Espesor por prueba hidrostática, en mm.

D: Diámetro nominal del tanque, en m.

H: Altura de diseño del líquido, en m.

\*Es la altura que va desde la parte baja del anillo hasta el perfil superior de coronamiento o nivel indicado por el usuario, restringido por techo flotante o altura calculada por sismos.

G: Densidad relativa del líquido o lodo a almacenar, en caso de prueba hidrostática es del agua.

CA: Corrosión permisible, en mm (Para nuestro caso 1.5 mm o 1/16”).

$S_d$ : Esfuerzo permisible por condiciones de diseño, en MPa.

$S_t$ : Esfuerzo permisible por condiciones de prueba hidrostática, en MPa.

Resolviendo:

$$t_d = \frac{4.9(22)(4.65 - 0.3)1.6}{137} + 1.5 = 6.97 \text{ mm}$$

$$t_t = \frac{4.9(22)(4.65 - 0.3)}{154} = 3.045 \text{ mm}$$

Comparando espesores:

$$3.04 < 6.35 < 6.97 < 7.93 \text{ (5/16")}$$

Entonces, para nuestro diseño se utilizará una plancha con espesor de **5/16"**

Con el objetivo de lograr la hermeticidad en el cuerpo del tanque se tiene la particularidad que en el fondo, de manera tácita, es donde más se encuentra estos problemas de sellado, entonces una forma de conseguir una hermeticidad deseada es uniendo las planchas de manera traslapada, dado que una soldadura a tope podría contraer errores los cuales se verían reflejados en la fuga de concentrado.

Si bien para el fondo del tanque no es necesario tener el mismo espesor que de las paredes, mantendremos este espesor para darle uniformidad a la selección de planchas del tanque.

### 3.2. Calculo y selección de Truss Superior

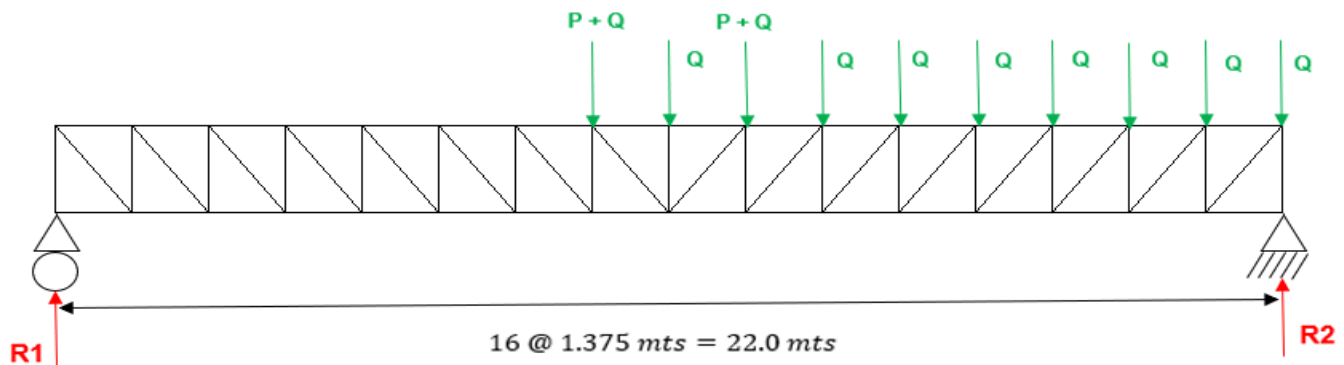


Figura 25. Esquema de puente de acceso

Fuente: Elaboración propia

Para calcular el valor de Q se debe de considerar el peso de la baranda más el Grating:

$$\text{Peso de baranda} = 17 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} * \text{Largo} * 2 \text{ lados}$$

$$\text{Peso de baranda} = 17 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} * 12.375 \text{ m} * 2$$

$$\text{Peso de baranda} = 420 \text{ Kg.}$$

$$\text{Peso de grating} = 49 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} * \text{Largo} * \text{Ancho}$$

$$\text{Peso de grating} = 49 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} * 12.375 \text{ m} * 1.13 \text{ m}$$

$$\text{Peso de grating} = 686 \text{ kg.}$$

Para calcular P, se considera de acuerdo a catálogo de equipos similares

$$\text{Peso de Rastras} = 860 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso de Reductor} = 565 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso de Motor} = 480 \text{ Kg}$$

Estos pesos se deben colocar al centro del equipo en 4 puntos de apoyo

Se debe considerar 02 Truss, uno a cada lado para las cargas: En este caso se halló las cargas P y Q en base a las ecuaciones siguientes:

$$Q = (420 \text{ kg} + 686 \text{ kg})/20 \quad (1)$$

$$Q = 55.3 \text{ kg}$$

También

$$P = (860 \text{ kg} + 565 \text{ kg} + 480 \text{ kg})/4 \quad (2)$$

$$P = 476.25 \text{ kg}$$

Por otra parte, aplicando sumatoria de momentos y tomando en cuenta la ecuación (1) y la ecuación (2) se obtuvo los siguientes resultados:

Cálculo de reacciones en la ecuación (3) fue de:

$$\sum M_{R2} = 0$$

$$Q(1.375)(1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + 8 + 9) + P(1.375)(7 + 9) = R1(22) \quad (3)$$

$$R1 = 631.75 \text{ kg}$$

Aplicando la ecuación (4) se obtuvo resultado de:

$$\sum Fy = 0$$

$$R1 + R2 = 10Q + 2P \quad (4)$$

$$R2 = 873.75 \text{ kg}$$

Analizando Fuerzas internas del Truss superior

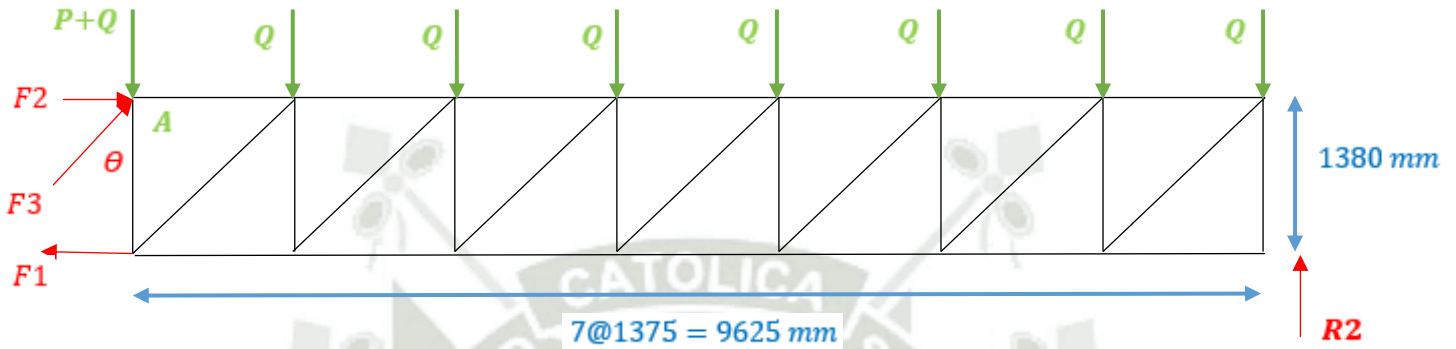


Figura 26. Diagrama de cargas y reacciones en estructura.

Fuente: Elaboración propia

$$\sum MA = 0$$

$$55.3(1.375)(1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7) + F1(1.380) = (873.75)(9.625) \quad (5)$$

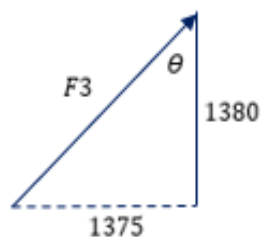
$$F1 = 4551.09 \text{ kg} \Rightarrow \text{Tracción}$$

Por otra parte, tomando en cuenta la ecuación (6) se obtuvo resultado de:

$$\sum Fy = 0 \quad (6)$$

$$P + 8Q - 873.75 = F3 \cos \theta$$

Pero se debe tomar en cuenta la ecuación (5) por lo cual haciendo los cálculos matemáticos respectivos fue:



**Figura 27. Sección de estructura**

**Fuente: Elaboración propia**

$$\tan\theta = \frac{1375}{1380} \quad (7)$$

$$\theta = 44.89^\circ$$

Reemplazando valores y tomando en cuenta la ecuación (7):

$$476.25 + 8(55.3) - 873.75 = F3 \cos 44.89$$

$$F3 = 63.42 \text{ kg} \Rightarrow \text{Compresión}$$

$$\sum F_x = 0$$

$$F2 + 58.96 \sin 44.89 = 4551.09 \quad (7)$$

$$F2 = 4506.33 \text{ kg} \Rightarrow \text{Compresión}$$

De los datos más críticos, seleccionamos F2 por la condición de perfil a compresión

$$F2 = 4506.33 \text{ kg} \approx 9934.76 \text{ lb} \approx 10 \text{ Kips}$$

$$L = 1375 \text{ mm} \approx 4.51 \text{ pie}$$

*fs = 4 para equipos de producción continua*

Resumiendo valores:

$F_2 = 10$  Kips, con un factor de seguridad de 4 entonces:  $F = 40$  Kips

$L = 4.51$  pies

$e = 1/4''$

**Tabla 8**

*Perfiles de Doble Angulo*

		$F_y = 36$ ksi		$F_y = 50$ ksi						No. of Connectors <sup>a</sup>	
		COLUMNS Double angles Design axial strength in kips ( $\phi = 0.85$ ) Equal legs $3/8$ in. back to back of angles									
Size		$2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2}$									
Thickness		$3/8$		$5/16$		$1/4$		$3/16$			
Wt./ft		11.8		10.0		8.2		6.14			
$F_y$		36		50		36		50			
Effective length KL (ft) with respect to indicated axis	X-X AXIS	0	106	147	90	125	73	101	54	70	b
		2	101	137	85	116	69	94	52	66	
		3	94	125	80	106	65	86	48	61	
		4	86	110	73	93	59	76	44	54	
		5	78	98	66	80	53	65	40	47	
		6	66	76	56	65	46	53	35	40	
		7	55	59	47	51	39	42	30	32	
		8	45	46	39	39	32	33	25	25	
		9	36	36	31	31	26	26	20	20	
		10	29	29	25	25	21	21	16	16	
		11	24	24	21	21	17	17	13	13	
		12	20	20	17	17	14	14	11	11	
	Y-Y AXIS	0	106	147	90	125	73	101	54	70	3
		2	101	138	84	114	67	89	46	57	
		3	99	133	82	110	65	86	45	55	
		4	95	126	79	105	63	82	44	53	
		5	90	118	75	98	60	77	42	50	
		6	85	109	71	90	56	71	40	47	
		7	79	98	66	82	52	64	37	44	
		8	73	88	61	73	48	58	35	40	
9	66	77	55	64	44	51	32	35			
10	60	67	50	55	40	44	29	31			
11	53	57	44	47	35	37	26	27			
12	47	48	39	40	31	32	23	23			
13	41	41	34	34	27	27	20	20			
14	35	35	29	29	23	23	17	17			
15	31	31	26	26	20	20	15	15			
16	27	27	22	22	18	18	13	13			
17	24	24	20	20	16	16	12	12			
18	21	21	18	18	14	14	11	11			
19	19	19	16	16	13	13	9	9			
20	17	17	14	14							

Fuente: LRFD Pag. 3.63

De la tabla mostrada, podemos usar el perfil de:

$$2L 2-1/2 \times 2-1/2 \times 1/4''$$

(8)

Verificando:

$$2L 2-1/2 \times 2-1/2 \times 1/4''$$

$$r = 0.769 \text{ pulg}$$

$$\text{Peso lineal} = 8.2 \text{ Lb/pie}$$

Finalmente, por el análisis de teorema de Esbeltez en base a la ecuación (8) se obtuvieron los siguientes resultados:

$$\lambda = \frac{K * L}{r}$$

Donde:

$\lambda$ : Esbeltez de viga

K: Factor de Longitud Efectiva

L: Longitud de la columna entre apoyos, en pulgadas.

r: Radio de giro, en pulgadas.

Reemplazando:

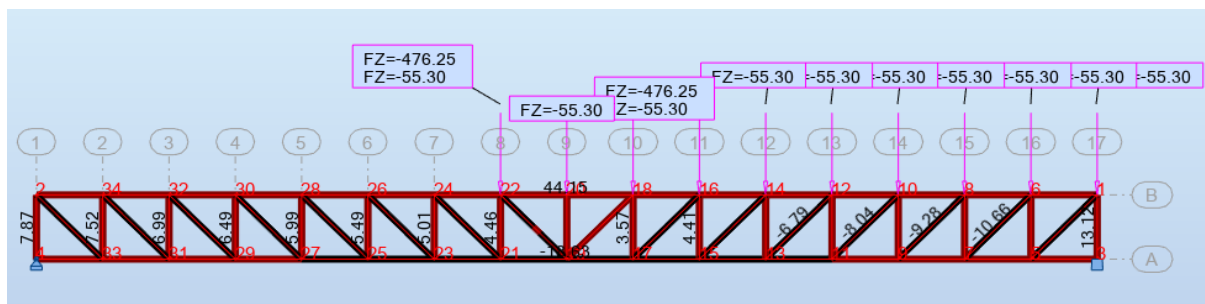
$$\lambda = \frac{1 * 4.51 * 12}{0.769}$$

$$\lambda = 70.38 \quad (9)$$

$$\lambda = 70.38 \leq 200 \text{ Correcto!}$$

Realizamos la comprobación de la viga mediante el programa Autodesk Robot Structural Analysis.

Primero modelamos el Truss y las cargas que soportara la estructura:



**Figura 28. Proceso de cálculo mediante Autodesk Robot Estructural**

Fuente: Elaboración propia

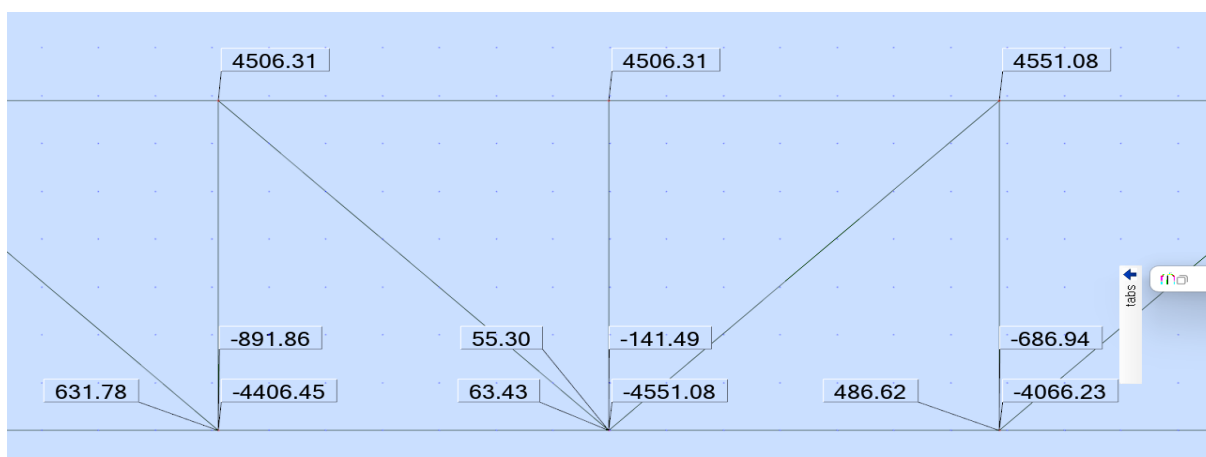
Hallamos las fuerzas internas en el Truss:



**Figura 29. Proceso de cálculo mediante Autodesk Robot Estructural**

Fuente: Elaboración propia

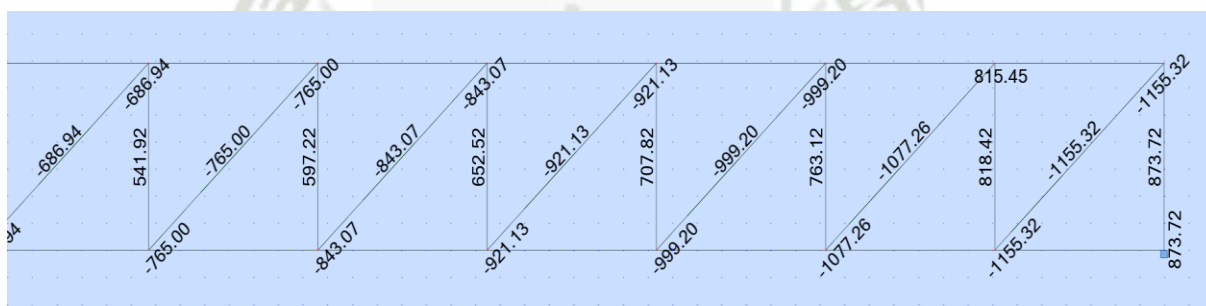
Reacciones en el lado central de Truss



**Figura 30. Proceso de cálculo mediante Autodesk Robot Estructural**

Fuente: Elaboración propia

Reacciones en el lado izquierdo del Truss



**Figura 31. Proceso de cálculo mediante Autodesk Robot Estructural**

Fuente: Elaboración propia

De estos resultados podemos comprobar que la reacción más cargada a compresión es 4506.31 Kgf.

Seleccionamos la viga 2L 2-1/2 x 2-1/2 x 1/4" y realizamos la comprobación mediante el programa:

C:\Users\labt\_\Documents\Autodesk\Output\rd\_res.rtf

File Edit View Insert Format Tools Window Help

CODE: *ANSI/AISC 360-16 An American National Standard, July 7, 2016*  
ANALYSIS TYPE: *Member Verification*

CODE GROUP:

MEMBER: 124

POINT:

COORDINATE:

LOADS:

*Governing Load Case: Manual*

MATERIAL:

STEEL A36  $F_y = 248.21 \text{ MPa}$   $F_u = 399.90 \text{ MPa}$   $E = 199947.96 \text{ MPa}$



SECTION PARAMETERS: **DL 2.5x2.5x0.3125**

d=64 mm	$A_y=1008 \text{ mm}^2$	$A_z=1008 \text{ mm}^2$	$A_x=1884 \text{ mm}^2$
bf=127 mm	$I_y=695106 \text{ mm}^4$	$I_z=1340265 \text{ mm}^4$	$J=36379 \text{ mm}^4$
tw=8 mm	$S_y=15505 \text{ mm}^3$	$S_z=21107 \text{ mm}^3$	
tf=8 mm	$Z_y=28022 \text{ mm}^3$	$Z_z=35232 \text{ mm}^3$	

MEMBER PARAMETERS:



$L_y = 1.38 \text{ m}$

$L_{cy} = 1.38 \text{ m}$

$L_{cy}/r_y = 71.84$



$L_z = 1.38 \text{ m}$

$L_{cz} = 1.38 \text{ m}$

$L_{cz}/r_z = 51.74$

INTERNAL FORCES:

$P_r = 4506.31 \text{ kgf}$

DESIGN STRENGTHS

$F_{ic} * P_n = 32703.21 \text{ kgf}$

SAFETY FACTORS

$F_{ic} = 0.90$

SECTION ELEMENTS:

Flange = Nonslender

Web = Nonslender

VERIFICATION FORMULAS:

$P_r / (F_{ic} * P_n) = 0.14 < 1.00$  LRFD (H1-1a) Verified

$L_{cy}/r_y = 71.84 < (L_c/r)_{max} = 210.00$   $L_{cz}/r_z = 51.74 < (L_c/r)_{max} = 210.00$  STABLE

**Section OK !!!**

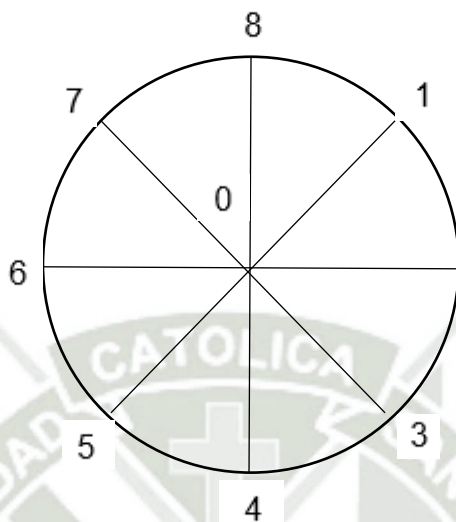
**Figura 32. Análisis de Esfuerzos mediante Autodesk Robot Estructural**

**Fuente: Elaboración propia**

El programa Autodesk Robot Structural nos valida que el perfil escogido es el correcto para el Truss con las consideraciones de diseño establecidas.

### 3.3. Diseño y selección de Columnas principales y vigas inferiores de diseño de anclaje:

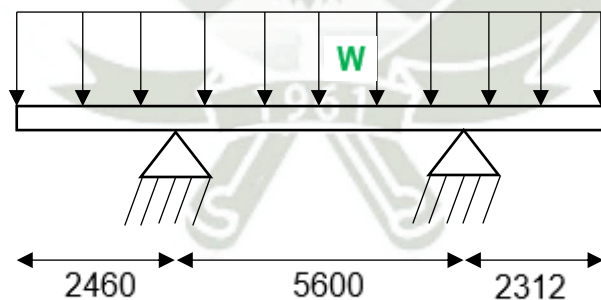
Para verificar el peso y seleccionar el perfil de las vigas de soporte del clarificador, se tendrá en cuenta todos los elementos estructurales y condiciones operativas.



**Figura 33. Esquema de distribución de vigas en Clarificador**

**Fuente: Elaboración propia**

El peso total debe ser soportado por 8 vigas inferiores que distribuyen su peso de la siguiente manera:



**Figura 34. Esquema de distribución de cargas en viga inferior**

**Fuente: Elaboración propia**

### 3.3.1. Peso del Truss Superior

Tendremos como longitud total:

$$L_t = \left[ \left( \sqrt{1380^2 + 1375^2} * 16 \right) + (1380 * 17) + (22000 * 2) \right] * 2 \quad (9)$$

$$L_t = 197256 \text{ mm} \approx 647.16 \text{ pies}$$

Pero el perfil 2L 2-1/2 x 2-1/2 x 1/4 pesa 8.2 lb/pie

$$\text{Peso del Truss} = 647 \text{ pies} * 8.2 \frac{\text{lbs}}{\text{pies}}$$

$$\text{Peso del Truss} = 5306.79 \text{ lbs} \approx 2407.12 \text{ kgf}$$

### 3.3.2. Peso del tanque Clarificador:

Teniendo en cuenta el cilindro de acuerdo a la formula física (10):

- Peso Cilindro

$$P_c = \text{Peso específico} * \text{Longitud} * \text{circunferencia} * \text{altura} * \text{espesor} \quad (10)$$

$$P_c = 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 22 \text{ m} * \pi * 3.406 \text{ m} * \frac{7.93}{1000} \text{ m}$$

$$P_c = 14654.13 \text{ kg}$$

- Por otra parte, analizando el peso de la base metálica:

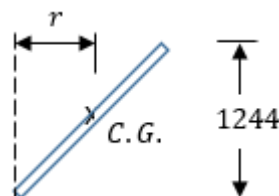


Figura 35. Esquema de centro de gravedad de viga

Fuente: Elaboración propia

$$r = \sqrt{\left(\frac{1244}{2}\right)^2 + \left(\frac{11071}{2}\right)^2}$$

$$r = 5570.34 \text{ mm}$$

Aplicando Teorema de Pappus de acuerdo a la ecuación (11):

$$\text{Area} = 2\pi * (5570.34) * (11071) \text{ mm}^2 \quad (11)$$

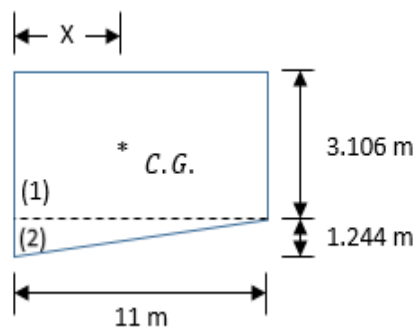
$$\text{Area} = 387.47 \text{ m}^2$$

$$\text{Peso base} = 7850 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}^3} * 387.47 \text{ m}^2 * \frac{7.93}{1000} \text{ m}$$

$$\text{Peso base} = 23966.1 \text{ kgf}$$

Por otra parte, tomando en cuenta el peso de fluido por medio de la ecuación (12):

Hallando Volumen



**Figura 36. Esquema de Centro de Gravedad en Clarificador**

**Fuente: Elaboración propia**

$$X = \frac{A1*x1 + A2*x2}{A1 + A2} \quad (11)$$

$$A1 = 11 * 3.106 = 34.166 \text{ m}^2$$

$$A2 = \frac{11 * 1.244}{2} = 6.842 \text{ m}^2$$

$$x1 = \frac{11}{2} \text{ m} = 5.5 \text{ m}$$

$$x2 = \frac{11}{3} = 3.67 \text{ m}$$

Reemplazando:

$$X = \frac{34.166 \text{ m}^2 * 5.5 \text{ m} + 6.842 \text{ m}^2 * 3.67 \text{ m}}{34.166 \text{ m}^2 + 6.842 \text{ m}^2}$$

$$X = 5.195 \text{ m}$$

Entonces Volumen:

$$V = 2 * \pi * (5.1941) * (34.166 + 6.842)$$

$$V = 1338.32 \text{ m}^3$$

Considerando condición hasta 60% solidos, tendremos:

$$\gamma = 0.4 * 1000 + 0.6 * 2100 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$\gamma = 1660 \text{ kg/m}^3$$

Peso del fluido:

$$P_f = 1338.32 \text{ m}^3 * 1660 \text{ kg/m}^3$$

$$P_f = 2221611.2 \text{ kg}$$

### 3.3.3. Peso de Grating:

Para calcular el peso del grating se considera la siguiente selección de componentes:

**Tabla 9**

*Datos de materiales para fabricación de Grating*

DIMENSIONES (pulgadas)	PESO ESTIMADO		SISTEMA INGLES (pulgadas)	PESO ESTIMADO	
	Kg/m	Kg/6m		Kg/m	Kg/6m
1/8 x 1/2	0.290	1.74	3/8	0.560	3.36
1/8 x 5/8	0.370	2.22	1/2	0.990	5.94
1/8 x 3/4	0.440	2.66	5/8	1.550	9.30
1/8 x 1	0.590	3.52	3/4	2.240	13.44
1/8 x 1 1/4	0.740	4.46	7/8	3.050	18.30
1/8 x 1 1/2	0.900	5.40	1	3.980	23.88
1/8 x 2	1.180	7.06	1 1/8	5.030	30.18
3/16 x 1/2	0.440	2.66	1 1/4	6.220	37.32
3/16 x 5/8	0.550	3.32	1 3/8	7.520	45.12
3/16 x 3/4	0.670	4.00	1 1/2	8.950	53.70
3/16 x 1	0.890	5.32	1 3/4	12.180	73.08
3/16 x 1 1/4	1.120	6.72	2	15.910	95.46
3/16 x 1 1/2	1.320	7.94			
3/16 x 2	1.780	10.68			
3/16 x 2 1/2	2.280	13.70			
3/16 x 3	2.830	16.95			
1/4 x 1/2	0.590	3.54			
1/4 x 5/8	0.760	4.56			
1/4 x 3/4	0.890	5.32			
1/4 x 1	1.180	7.06			
1/4 x 1 1/4	1.490	8.92			
1/4 x 1 1/2	1.780	10.68			
1/4 x 2	2.360	14.14			

**Fuente: Grating Perú SAC, (2020)**

Calculando por metro lineal de Grating se tiene:

**Tabla 10**

*Calculo de peso de Grating*

Descripción	Cantidad (m)	Peso Unitario (kg/m)	Peso Kg
Platina de 3/16" x 1 1/2"	33	1.32	<b>43.56</b>
Fierro liso de 3/8"	9	0.56	<b>5.04</b>
Soldadura	0.4	1	<b>0.40</b>
<b>Total</b>			<b>49.00</b>

**Fuente: Elaboración propia**

Calculando el metrado total se tiene:

$$L_t = 22 * 3.1416 + 11 = 80.1 \text{ mts}$$

Entonces tenemos un peso general de:

$$\text{Peso Grating} = 80.1 \text{ m} * 49 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$\text{Peso Grating} = 3924.9 \text{ Kgf}$$

#### 3.3.4. Peso Barandas

Para calcular el peso de las barandas se considera la siguiente selección de componentes:

**Tabla 11**

*Datos de materiales para fabricación de Barandas*

DIAMETRO DE TUBERIAS										
Diámetro Nominal		Diámetro Exterior		Espesor Pared		Identificación		Peso del Tubo		Área de la superficie exterior en m2 por metro lineal de tubería
Pulgadas In.	Milímetros mm.	Pulgadas In.	Milímetros mm.	Pulgadas In.	Milímetros mm.	Weight Class	Schedule	Lb/Pies	Kg/m	
1/2	15	0.84	21.3	0.109	2.77	STD	40	0.85	1.27	0.067
				0.147	3.73	XS	80	1.09	1.62	
3/4	20	1.05	26.7	0.113	2.87	STD	40	1.13	1.69	0.084
				0.154	3.91	XS	80	1.47	2.2	
1	25	1.315	33.4	0.133	3.38	STD	40	1.68	2.5	0.105
				0.179	4.55	XS	80	2.17	3.24	
1/1/4	32	1.66	42.2	0.14	3.56	STD	40	2.27	3.39	0.132
				0.191	4.85	XS	80	3	4.47	
1-1/2	40	1.9	48.3	0.145	3.68	STD	40	2.72	4.05	0.152
				0.2	5.08	XS	80	3.63	5.41	
2	50	2.375	60.3	0.154	3.91	STD	40	3.65	5.44	0.19
				0.218	5.54	XS	80	5.02	7.48	
2-1/2	65	2.872	73.03	0.203	5.16	STD	40	5.79	8.63	0.229
				0.276	7.01	XS	80	7.66	11.41	
				0.375	9.52		160			
				0.552	14.02	XXS	-			
3	80	3.5	88.9	0.125	3.18	-	-	4.51	6.72	0.279
				0.156	3.96	-	-	5.57	8.29	
				0.188	4.78	-	-	6.65	9.92	
				0.216	5.49	STD	40	7.58	11.29	
				0.25	6.35	-	-	8.68	12.93	
				0.281	7.14	-	-	9.66	14.4	
				0.3	7.62	XS	80	10.25	15.27	

Fuente: Tubisa SAC, (2020)

**Tabla 12**

*Datos de materiales para fabricación de Barandas*



**PLATINA ACERO A36**

Platinas de acero laminado al caliente (LAC), son ampliamente utilizados para toda la fabricación en general y reparaciones en el mantenimiento industrial, implementos agrícolas, equipos de transporte, etc.

Especificaciones: ASTM A36, AISI A36

Fácil de soldar, cortar, dar forma y maquinar. Longitud 6 metros.

Espesor		Ancho		Peso Teórico
mm	pulg	mm	pulg	Kg/6m
3.0	1/8"	12	1/2"	1.92
		16	5/8"	2.34
		19	3/4"	2.88
		25	1"	3.84
		31	1 1/4"	4.80
		38	1 1/2"	5.70
4.5	3/16"	50	2"	7.62
		12	1/2"	2.88
		16	5/8"	3.66
		19	3/4"	4.44
		25	1"	5.88
		31	1 1/4"	7.08
6.0	1/4"	38	1 1/2"	8.52
		50	2"	11.40
		56	2 1/4"	12.84
		63	2 1/2"	14.22
		75	3"	17.10
		12	1/2"	3.84
		16	5/8"	4.80
		19	3/4"	5.70
		25	1"	7.68
		31	1 1/4"	9.48
38	1 1/2"	11.40		
50	2"	15.18		
63	2 1/2"	18.96		
75	3"	22.80		
100	4"	30.36		

**Fuente: Aceros Arequipa, (2020)**

Calculando por metro lineal de baranda se tiene:

**Tabla 13**

*Cálculo de peso de barandas*

Descripción	Cantidad (m)	Peso Unitario (kg/m)	Peso Kg
Tubo diámetro 1 1/2" SCH 40	11.5	4.05	<b>46.58</b>
Platina 1/4" x 4"	3.8	5.06	<b>19.23</b>
<b>Total</b>			<b>65.80</b>

**Fuente: Elaboración propia**

Se considera un metrado total de barandas de:

$$Lt = 22 * 3.1416 + 22 = 91.1 \text{ mts}$$

Entonces tenemos:

$$\text{Peso Baranda} = 91.1 \text{ m} * 65.8 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$\text{Peso Baranda} = 5995.4 \text{ kgf}$$

Resumiendo, total de pesos:

**Tabla 14**

*Resumen de pesos en clarificador*

Peso del Fluido	2'221'910.0
Peso de Tanque	14'654.13
Peso de la base	23'966.1
Peso Truss	2'407.12
Peso Greeting	3'924.90
Peso Baranda	5'995.4
Peso Rastra	860.00
Peso Sistema Motriz	565.00
Peso Feed Well	480.00
Sobrepeso	5'285.4
<b>PESO TOTAL</b>	<b>2'280'362.65</b>

**Fuente: Elaboración propia**

### 3.3.5. Cálculo de vigas inferiores:

De acuerdo con la distribución de vigas soporte ubicadas por debajo del clarificador siendo 16 vigas.

$$\text{Peso por viga} = \frac{2280362.65 \text{ kg}}{16} = 142522.67 \text{ kg}$$

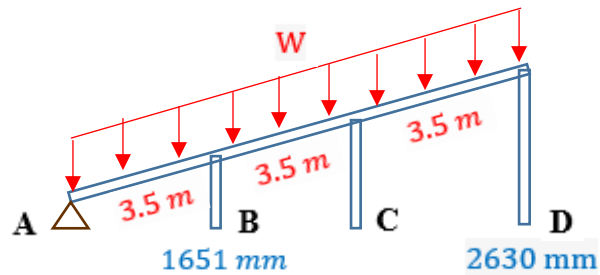


Figura 37. Esquema de cargas en Vigas

Fuente: Elaboración propia

Hallando:

$$W = \frac{142522.67 \text{ kg}}{10.50 \text{ m}} = 13573.59 \text{ kg/m}$$

$$W = 13573.59 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} \approx 760.09 \text{ Lb/Pulg}$$

Hallando el momento máximo

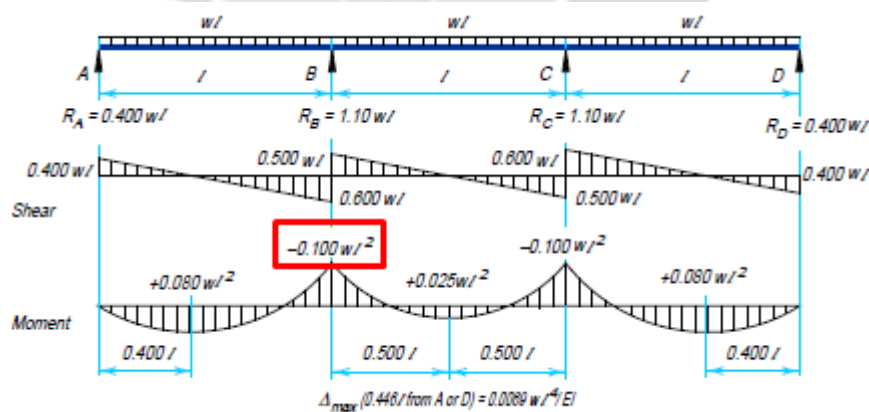


Figura 38. Momentos de carga

Fuente: American Institute of Steel Construction, Inc., (2020)

Se tiene:

$$M_{\text{máx}} = 0.1 * W * L^2$$

Siendo  $L = 3.5 \text{ m}$

$$M_{\text{máx}} = 0.1 * \left( 13573.59 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \right) * (3.5 \text{ m})^2$$

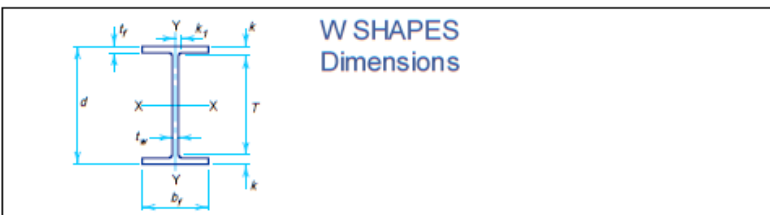
$$M_{\text{máx}} = 16627.65 \text{ kg} - \text{m} \approx 1'443'216.27 \text{ lb} - \text{pulg}$$

Hallando Modulo Resistente S, tomando en cuenta la ecuación (13):

$$S = \frac{M_{\text{máx}}}{0.6 * \sigma_f} = \frac{1443216.27 \text{ lb/pulg}}{0.6 * 36000 \text{ lb/pulg}^2} \quad (13)$$

$$S = 66.82 \text{ pulg}^3$$

Con el valor ingresamos a las tablas LFRD para la selección de la Viga



W SHAPES Properties

Designation	Area A in. <sup>2</sup>	Depth d in.	Web		Flange		Distance			Nominal Wt. per ft lb	Compact Section Criteria			X <sub>1</sub> ksi	X <sub>2</sub> × 10 <sup>6</sup> (1/ksi) <sup>2</sup>	Elastic Properties						Plastic Modulus						
			Thickness t <sub>w</sub> in.	t <sub>w</sub> /2 in.	Width b <sub>f</sub> in.	Thickness t <sub>f</sub> in.	T in.	k in.	k <sub>1</sub> in.		Axis X-X					Axis Y-Y			Z <sub>x</sub> in. <sup>3</sup>	Z <sub>y</sub> in. <sup>3</sup>								
											I in. <sup>4</sup>	S in. <sup>3</sup>	r in.			I in. <sup>4</sup>	S in. <sup>3</sup>	r in.										
W14×132	38.8	14.66	14 <sup>5</sup> / <sub>8</sub>	0.645	5/8	3/16	14.725	14 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	1.030	1	11 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	11 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	15 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	15 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	132	7.1	17.7	—	4180	428	1530	209	6.28	548	74.5	3.76	234	113
×120	35.3	14.48	14 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	0.590	5/16	3/16	14.670	14 <sup>5</sup> / <sub>8</sub>	0.940	15/16	11 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	15 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	15 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	15 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	120	7.8	19.3	—	3830	601	1380	90	6.24	495	67.5	3.74	212	102
×109	32.0	14.32	14 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	0.525	1/2	1/4	14.605	14 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	0.880	7/8	11 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	19 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	7/8	7/8	109	8.5	21.7	—	3490	853	1240	73	6.22	447	61.2	3.73	192	92.7
×99	29.1	14.16	14 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	0.485	1/2	1/4	14.565	14 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	0.780	3/4	11 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	17 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	7/8	7/8	99	9.3	23.5	—	3190	1220	1110	57	6.17	402	55.2	3.71	173	83.6
×90	26.5	14.02	14	0.440	7/16	1/4	14.520	14 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	0.710	11/16	11 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	15 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	7/8	7/8	90	10.2	25.9	—	2900	1750	999	43	6.14	362	49.9	3.70	157	75.6
W14×82	24.1	14.31	14 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	0.510	1/2	1/4	10.130	10 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	0.855	7/8	11	15 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	1	82	5.9	22.4	—	3600	846	882	23	6.05	148	29.3	2.48	139	44.8	
×74	21.8	14.17	14 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	0.450	7/16	1/4	10.070	10 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	0.785	13/16	11	19 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	15/16	74	6.4	25.3	—	3290	1190	796	12	6.04	134	26.6	2.48	126	40.6	
×68	20.0	14.04	14	0.415	7/16	1/4	10.035	10	0.720	3/4	11	17 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	15/16	68	7.0	27.5	—	3020	1650	723	03	6.01	121	24.2	2.46	115	36.9	
×61	17.9	13.89	13 <sup>7</sup> / <sub>8</sub>	0.375	3/8	3/8	9.995	10	0.645	5/8	11	17 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	15/16	61	7.7	30.4	—	2720	2460	640	92.2	5.98	107	21.5	2.45	102	32.8	
W14×53	15.6	13.92	13 <sup>7</sup> / <sub>8</sub>	0.370	3/8	3/8	8.060	8	0.660	11/16	11	17 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	15/16	53	6.1	30.8	—	2830	2250	541	77.8	5.89	57.7	14.3	1.92	87.1	22.0	
×48	14.7	13.74	13 <sup>5</sup> / <sub>8</sub>	0.345	3/8	3/8	7.995	8	0.630	7/8	11	17 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	15/16	48	6.8	32.9	—	2920	2120	70.3	5.85	51.4	12.8	1.91	78.4	19.6		
×43	12.6	13.66	13 <sup>5</sup> / <sub>8</sub>	0.305	5/16	3/8	7.995	8	0.530	1/2	11	15 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	7/8	43	7.5	37.4	46	2320	4900	428	62.7	5.82	45.2	11.3	1.89	69.6	17.3	
W14×38	11.2	14.10	14 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	0.310	5/16	3/8	6.770	6 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	0.515	1/2	12	11 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	5/8	38	6.6	39.6	41	2190	6850	385	54.6	5.87	26.7	7.88	1.55	61.5	12.1	
×34	10.0	13.98	14	0.285	5/16	3/8	6.745	6 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	0.455	7/16	12	1	5/8	34	7.4	43.1	35	1970	10600	340	48.6	5.83	23.3	6.91	1.53	54.6	10.6	
×30	8.85	13.84	13 <sup>7</sup> / <sub>8</sub>	0.270	1/4	1/2	6.730	6 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	0.385	3/8	12	15 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	5/8	30	8.7	45.4	31	1750	17600	291	42.0	5.73	19.6	5.82	1.49	47.3	8.99	
W14×26	7.69	13.91	13 <sup>7</sup> / <sub>8</sub>	0.255	1/4	1/2	5.025	5	0.420	7/16	12	15 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	9/16	26	6.0	48.1	28	1890	13900	245	35.3	5.85	8.91	3.54	1.08	40.2	5.54	
×22	6.49	13.74	13 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	0.230	1/4	1/2	5.000	5	0.335	5/16	12	7/8	9/16	22	7.5	53.3	22	1610	27300	199	29.0	5.54	7.00	2.80	1.04	33.2	4.39	

Figura 39. Tipos de Viga W14

Fuente: American Institute of Steel Construction, Inc., (2020)

Se seleccionará el Perfil W14 x 48 por cumplir con el módulo de Resistencia requerido, siendo sus propiedades:

$$S = 70.3 \text{ pulg}^3$$

$$I = 485 \text{ pulg}^4$$

Realizamos la comprobación, comparando la Deflexión máxima y la Deflexión Permitida:

Deflexión máxima:

$$\Delta_{m\acute{a}x} = \frac{5 * W * L^4}{384 * E * I} = \frac{5 * 760.09 \frac{\text{Lb}}{\text{pulg}} * (137.8 \text{ pulg})^4}{384 * 29000000 * 485 \text{ pulg}^4}$$

$$\Delta_{m\acute{a}x} = 0.25 \text{ pulg}$$

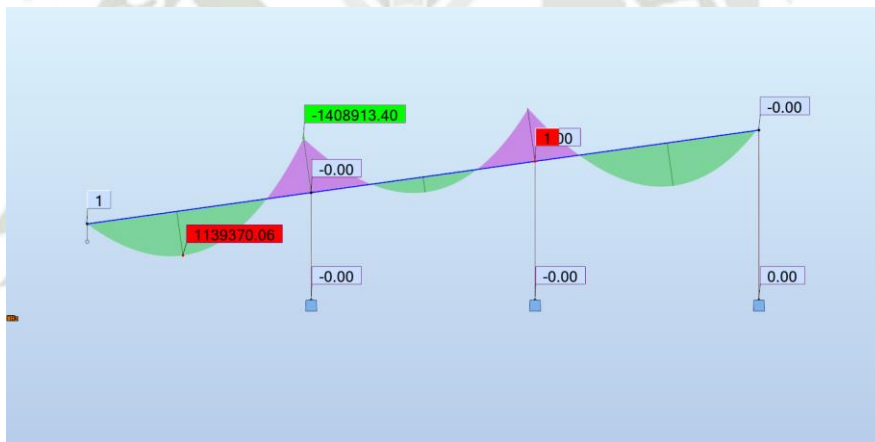
Deflexión permitida:

$$\Delta_{m\acute{a}x} = \frac{L}{240} = \frac{137.8}{240}$$

$$\Delta_{m\acute{a}x} = 0.57 \text{ pulg}$$

Entonces verificamos que la Deflexión permitida es mayor que la Deflexión máxima por lo que la viga seleccionada es correcta.

Ingresamos los valores de la estructura y añadimos cargas mediante el programa Autodesk Robot Structural 2022.



**Figura 40. Proceso de cálculo mediante Autodesk Robot Estructural**

**Fuente: Elaboración propia**

Verificamos que coincide con el valor encontrado difiriendo en cantidad tolerables respecto a cálculos teóricos con reales.

Ingresamos el perfil seleccionado W14\*48 a la viga y verificamos.

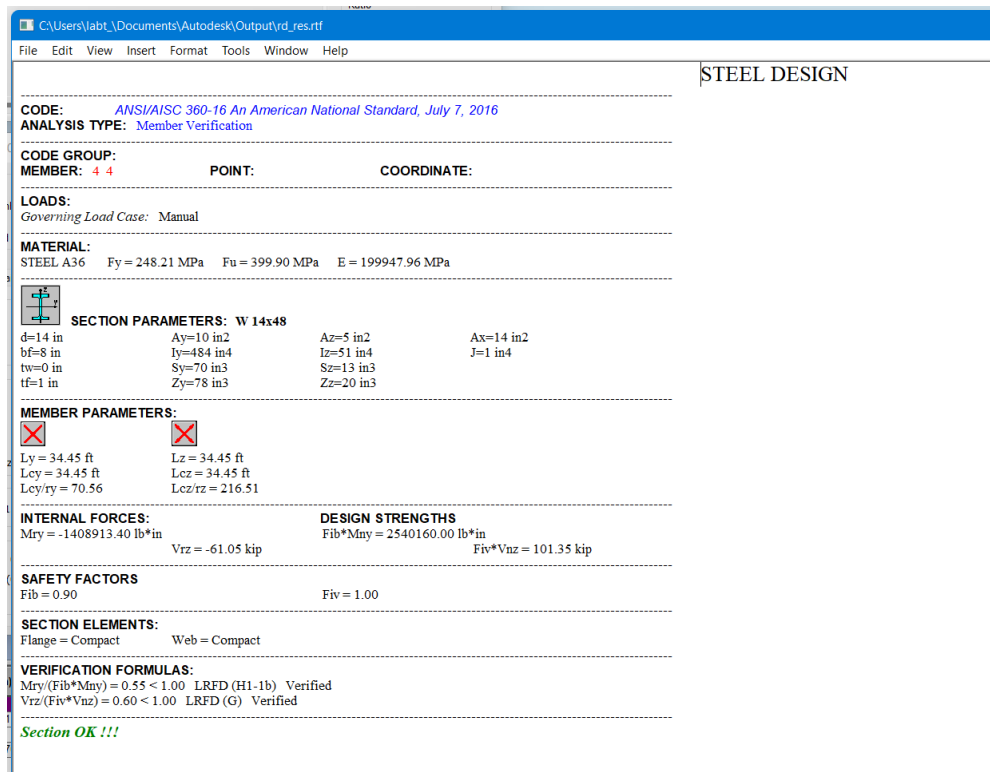


Figura 41. Análisis de Esfuerzos mediante Autodesk Robot Estructural

Fuente: Elaboración propia

Nos valida el programa Autodesk Robot Structural que el perfil seleccionado es el correcto para los tipos de carga que soportará.

3.4. Selección de columnas inferiores:

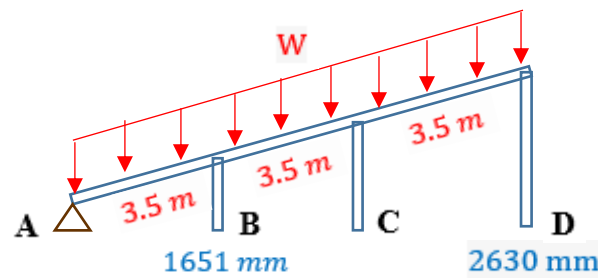


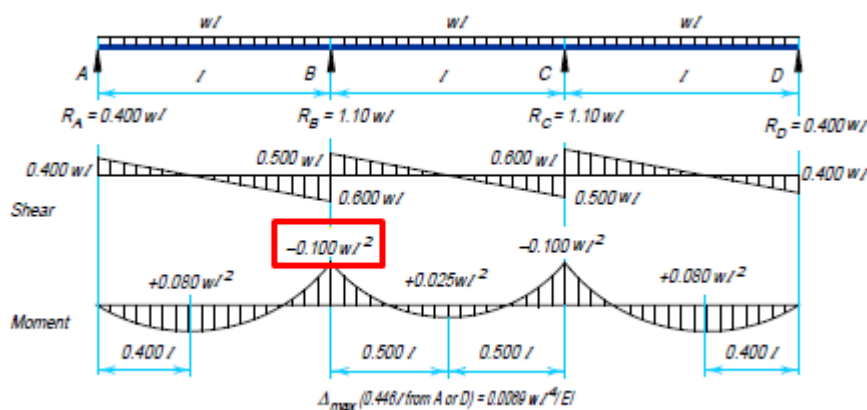
Figura 42. Esquema de cargas en Columnas

Fuente: Elaboración propia

Del grafico mostrado, las fuerzas en las columnas B y C son las de mayor carga, luego analizando la ecuación (14) el valor de FC fue de:

Tabla 15.

Momentos de carga



Fuente: Elaboración propia

$$FB = FC = 1.1 * W * L \quad (14)$$

$$FB = FC = 1.1 * \left( 13573.59 \frac{kg}{m} \right) * 3.5 m$$

$$FB = FC = 52'285.32 kgf \approx 115'269.4 lbf$$

$$FB = FC = 115.3 \text{ kips}$$

Calculamos la altura y seleccionamos la columna C por ser valor crítico:

$$\frac{X + 3.5}{1651} = \frac{X + 10.5}{2630}$$

$$X = 8.31$$

$$\frac{8 + 3.5}{1651} = \frac{8 + 7}{H}$$

$$H = 2.153 \text{ m} \approx 7 \text{ pies}$$

Las condiciones de diseño serán:

$$P = 115.3 \text{ kips}$$

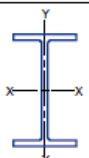
$$KL = 14 \text{ pies}$$

Tendremos:

**Tabla 16.**

*Tipos de Viga W8*



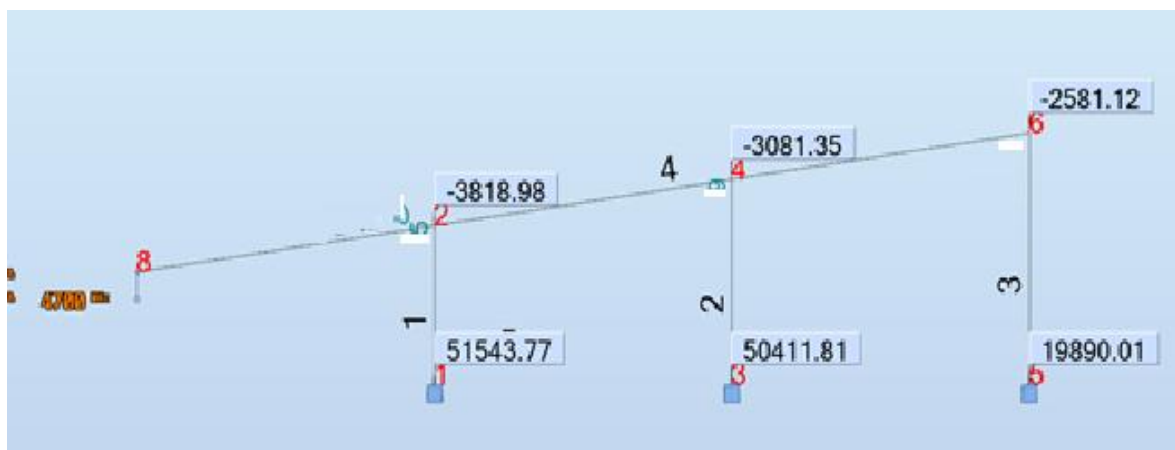
		$F_y = 36 \text{ ksi}$		$F_y = 50 \text{ ksi}$								
		COLUMNS W shapes Design axial strength in kips ( $\phi = 0.85$ )										
Designation		W8				W6						
Wt./ft		28		24		25		20		15		
$F_y$		36	50	36	50	36	50	36	50	36†	50†	
Effective length $KL$ (ft) with respect to least radius of gyration $r_y$	0	252	351	217	301	225	312	180	249	138	188	
	6	228	303	195	260	200	265	159	211	119	158	
	7	219	288	188	247	191	250	152	198	114	148	
	8	210	271	180	232	182	233	145	185	108	137	
	9	200	253	171	217	172	216	137	171	102	126	
	10	189	235	162	200	162	198	128	156	95	115	
	11	178	216	152	184	151	180	119	142	88	104	
	12	167	197	142	168	140	162	111	127	81	92	
	13	155	178	132	151	129	144	102	113	74	82	
	14	143	159	122	138	118	128	93	100	68	71	
	15	132	142	112	121	107	112	84	87	61	62	
	16	121	125	102	106	97	98	76	76	55	55	
	17	110	111	93	94	87	87	68	68	48	48	
	18	99	99	84	84	78	78	60	60	43	43	
	19	89	89	75	75	70	70	54	54	39	39	
	20	80	80	68	68	63	63	49	49	35	35	
	22	66	66	56	56	52	52	40	40	29	29	
	24	56	56	47	47	44	44	34	34	24	24	
	25	51	51	44	44	40	40	31	31			
	26	47	47	40	40							
	27	44	44									

Fuente: American Institute of Steel Construction, Inc., (2020)

Escogeremos el perfil W 8 x 24.

Realizamos la comprobación de resultados mediante el programa Autodesk Robot Structural.

Ingresamos los valores de la estructura y añadimos cargas mediante el programa Autodesk Robot Structural 2022.



**Figura 43. Proceso de cálculo mediante Autodesk Robot Estructural**

**Fuente: Elaboración propia**

Detallamos que la viga mas cargada es la 1-2 con 51 543.77 kg-f, la cual no difiere en una cantidad significativa al valor teórico encontrado.

Por lo cual haciendo los cálculos matemáticos respectivos y simplificando el análisis matemático anterior ya se quedó correctamente diseñado, estructurado y seleccionado correctamente las columnas B y C para el presente trabajo de investigación.

Ingresamos el perfil seleccionado W8\*24 y verificamos:

**STEEL DESIGN**

**CODE:** *ANSI/AISC 360-16 An American National Standard, July 7, 2016*  
**ANALYSIS TYPE:** *Member Verification*

---

**CODE GROUP:**  
**MEMBER:** 2                      **POINT:**                      **COORDINATE:**

---

**LOADS:**  
*Governing Load Case: Manual*

---

**MATERIAL:**  
 STEEL     $F_y = 248.21 \text{ MPa}$      $F_u = 399.90 \text{ MPa}$      $E = 199947.97 \text{ MPa}$

---



**SECTION PARAMETERS: W 8x24**

$d=201 \text{ mm}$	$A_y=3355 \text{ mm}^2$	$A_z=1253 \text{ mm}^2$	$A_x=4568 \text{ mm}^2$
$bf=165 \text{ mm}$	$I_y=34422339 \text{ mm}^4$	$I_z=7617035 \text{ mm}^4$	$J=144016 \text{ mm}^4$
$tw=6 \text{ mm}$	$S_y=341793 \text{ mm}^3$	$S_z=92272 \text{ mm}^3$	
$tf=10 \text{ mm}$	$Z_y=378541 \text{ mm}^3$	$Z_z=140437 \text{ mm}^3$	

---

**MEMBER PARAMETERS:**

  $L_y = 7.04 \text{ ft}$   
 $L_{cy} = 14.08 \text{ ft}$   
 $L_{cy}/r_y = 49.44$

  $L_z = 7.04 \text{ ft}$   
 $L_{cz} = 14.08 \text{ ft}$   
 $L_{cz}/r_z = 105.10$

---

<b>INTERNAL FORCES:</b>		<b>DESIGN STRENGTHS</b>	
$P_r = 113.26 \text{ kip}$		$F_{ic} * P_n = 128.24 \text{ kip}$	
$M_{rz} = 4.39 \text{ kN*m}$	$V_{ry} = -0.77 \text{ kip}$	$F_{ib} * M_{nz} = 31.37 \text{ kN*m}$	$F_{iv} * V_{ny} = 101.09 \text{ kip}$

---

**SAFETY FACTORS**

$F_{ib} = 0.90$	$F_{ic} = 0.90$	$F_{iv} = 0.90$
-----------------	-----------------	-----------------

---

**SECTION ELEMENTS:**  
 Flange = Compact      Web = Compact

---

**VERIFICATION FORMULAS:**  
 $P_r / (F_{ic} * P_n) + 8/9 * M_{rz} / (F_{ib} * M_{nz}) = 1.01 > 1.00$  LRFD (H1-1a) Not verified  
 $V_{ry} / (F_{iv} * V_{ny}) = 0.01 < 1.00$  LRFD (G) Verified  
 $L_{cy}/r_y = 49.44 < (L_c/r)_{max} = 200.00$        $L_{cz}/r_z = 105.10 < (L_c/r)_{max} = 200.00$  STABLE

---

Section OK !!!

**Figura 44. Análisis de Esfuerzos mediante Autodesk Robot Estructural**

**Fuente: Elaboración propia**

Nos valida el programa Autodesk Robot Structural que el perfil seleccionado es el correcto para los tipos de carga que soportará.

### 3.5. Factor de volcamiento

Para desarrollar el factor de volcamiento ya sea en condición estática o dinámica en el presente estudio, sus fórmulas de desarrollo están directamente direccionadas a las fuerzas y momentos aplicados a la base y a la forma de anclaje del clarificador al suelo, lo cual al ser de ámbito de desarrollo de ingeniería civil el presente estudio encuentra su limitación a esta área de estudio.

## CAPÍTULO IV

### 4. DEFINICIÓN DE SISTEMAS DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL CLARIFICADOR

#### 4.1. Definición de procedimientos de soldadura WPS, PQR, WPQ.

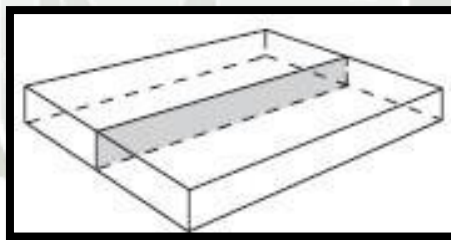
Es un proceso de unión que produce coalescencia de materiales por calentamiento de estos a la temperatura de soldadura, con o sin la aplicación de presión o por la aplicación de presión solamente, y con o sin el metal de aporte.

#### **Términos y definiciones según la norma AWS A3.0M/A3.0:2010**

**Junta.** Ensamble de miembros o los bordes de los miembros que se han unido o deben ser unidos.

**Junta a tope.** Una junta entre dos miembros alineados aproximadamente en el mismo plano.

En la Figura 19, se da a conocer un dibujo esquemático de una junta a tope. (Sánchez, 2022)



**Figura 45. Junta a tope**

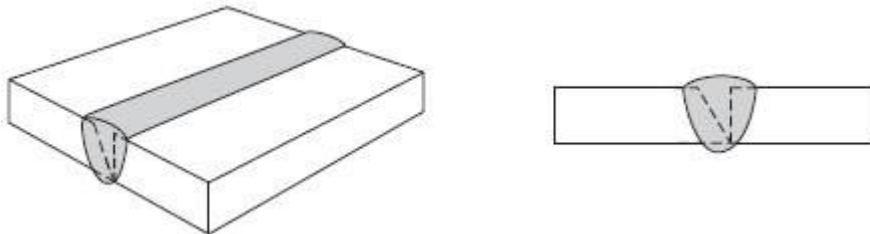
**Fuente Sánchez, (2022)**

**Otros tipos de juntas.** Otros tipos de juntas que deben ser tenidos en cuenta para procedimientos de soldadura son las siguientes:

- Junta en esquina
- Junta en T
- Junta en traslape
- Junta de borde
- Junta en pestaña
- Junta empalmada. (Sánchez, 2022)

**Soldadura De Ranura.** Es aquella soldadura aplicada en una ranura soldada sobre la superficie de una pieza de trabajo, entre los bordes de la pieza de trabajo, entre las superficies de la pieza de trabajo, o entre los bordes de la pieza de trabajo y la superficie.

**Ranura en bisel sencillo.** En la figura 26, se da a conocer una ilustración de una junta en ranura en bisel sencillo. (American Welding Society, 2001)



**Figura 46. Ranura en bisel sencillo**

**Fuente: American Welding Society, (2001)**

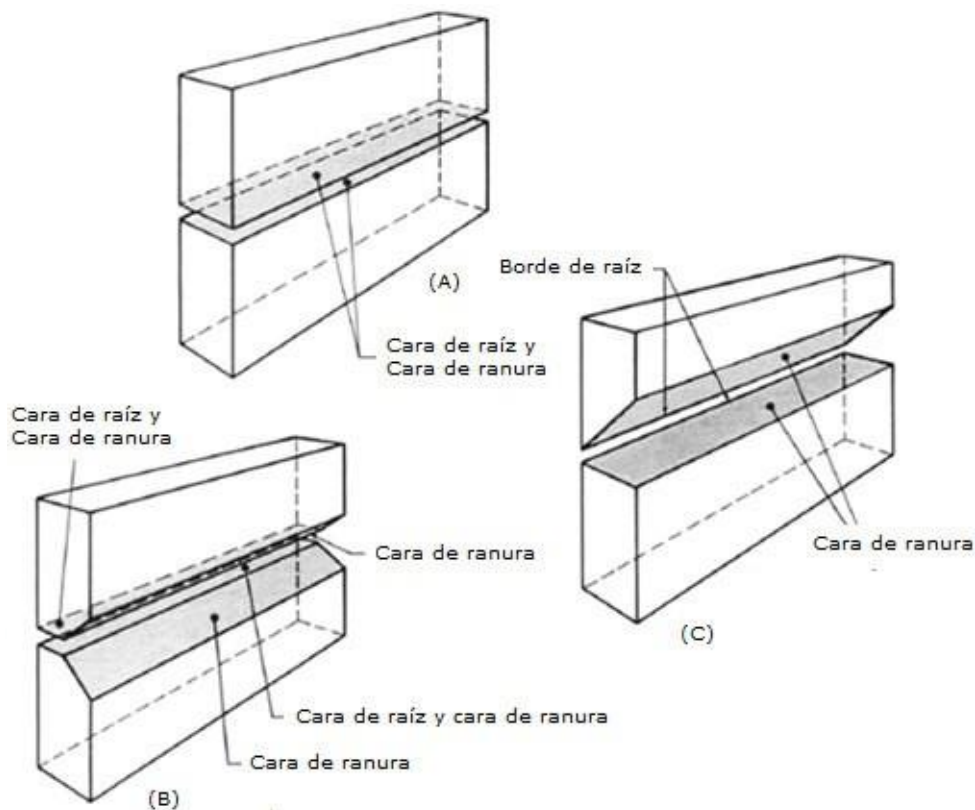
**Otros tipos de ranura.** Otros tipos de ranuras que deben ser tenidos en cuenta para procedimientos de soldadura son las siguientes:

- Soldadura de ranura cuadrada sencilla
- Soldadura de ranura en V sencilla
- Soldadura de ranura en V sencilla con respaldo
- Soldadura de ranura en V sencilla sobre una superficie
- Soldadura de ranura en J sencilla
- Soldadura de ranura en U sencilla
- Soldadura de ranura en bisel ensanchado sencillo
- Soldadura de ranura en V ensanchada sencilla
- Soldadura de ranura cuadrada doble
- Soldadura de ranura en bisel doble
- Soldadura de ranura en V doble
- Soldadura de ranura en J doble con respaldo
- Soldadura de ranura en U doble

- Soldadura de ranura en bisel ensanchado doble

Soldadura de ranura en V ensanchada doble. (American Welding Society, 2001)

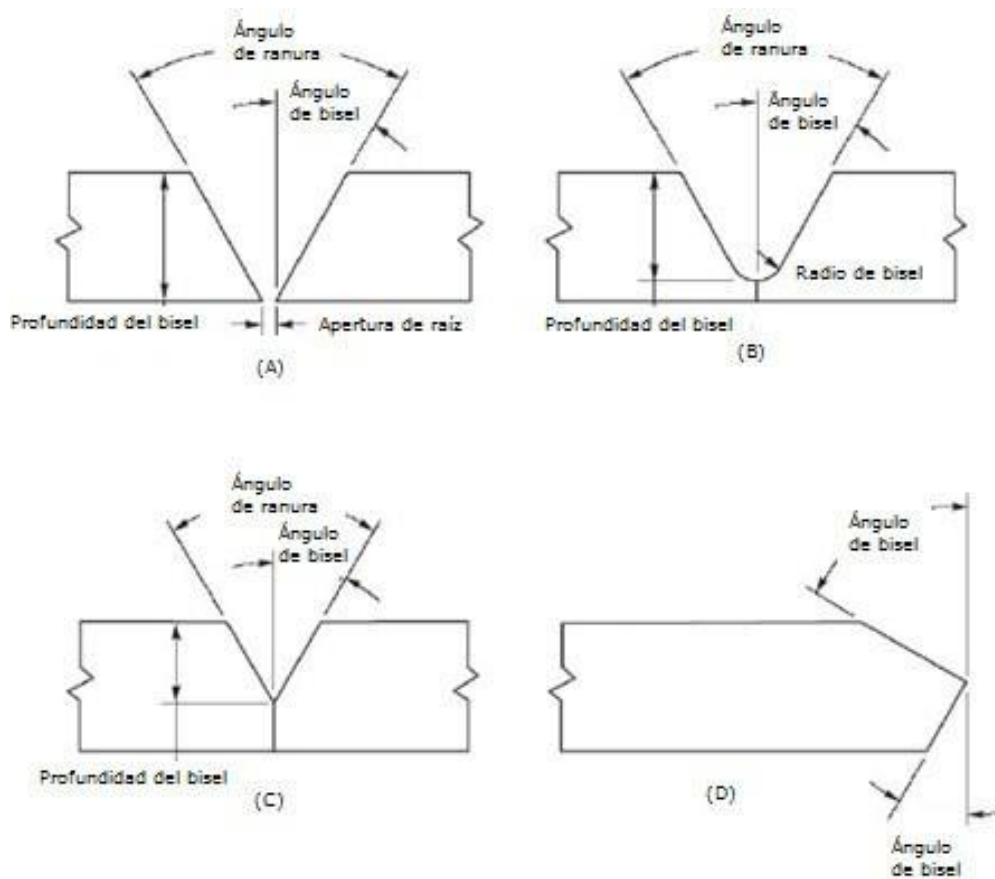
**Cara de la ranura.** Es cualquier superficie en una soldadura de ranura antes del procedimiento de soldadura. En la Figura 27, se da a conocer un dibujo de la cara de la ranura y de cara de la raíz. (Sánchez, 2022)



**Figura 27. Cara de la ranura y cara de la raíz**

**Fuente: American Welding Society, (2001)**

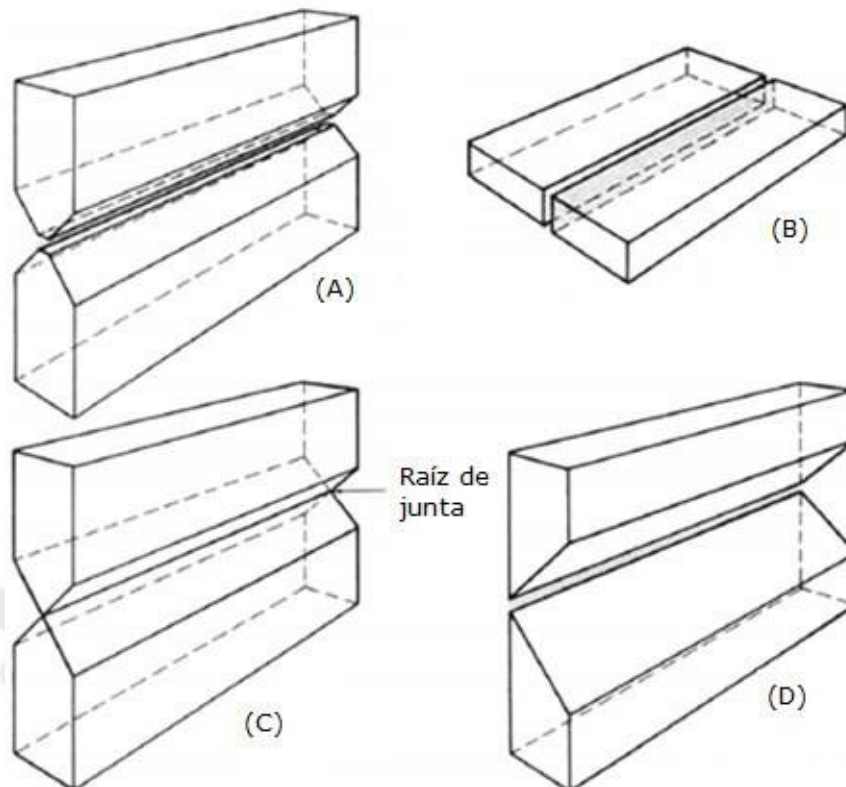
**Ángulo de ranura.** El ángulo incluido entre las caras de la ranura de una ranura soldada. En la Figura 28, se da a conocer descripción del ángulo de ranura y la apertura de raíz. (American Welding Society, 2001)



**Figura 47.. Ángulo de ranura y apertura de raíz**

**Fuente: American Welding Society, (2001)**

**Raíz de la junta.** Aquella porción de una junta a ser soldada donde los miembros se encuentran más cercanos el uno del otro. En sección transversal, la junta puede ser o un punto, una línea o un área. (American Welding Society, 2001)

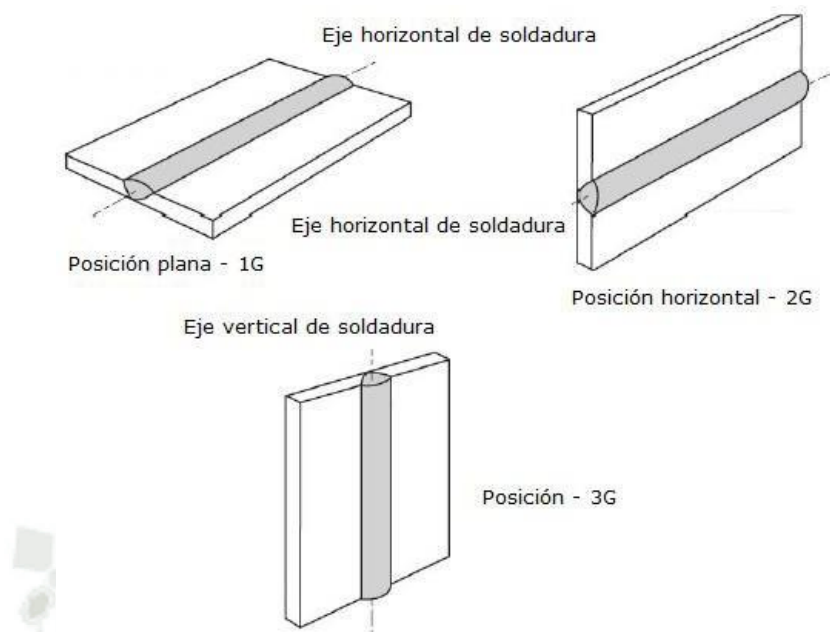


NOTA: La raíz de junta denotada por sombreado

**Figura 48. se da a conocer esquema de la raíz de la junta.**

**Fuente: American Welding Society, (2001)**

Apertura de raíz. Una separación en la raíz de la junta entre las piezas de trabajo (Figura 29). Cara de la raíz. Aquella porción de la cara de la ranura dentro de la raíz de la junta (Figura 29). Saneamiento de raíz. La remoción de metal de soldadura y metal base desde el lado de la raíz soldada de una junta soldada para facilitar la fusión completa y la penetración completa de la junta tras el subsiguiente procedimiento de soldadura desde aquel lado. Metal base. El metal o la aleación que es soldado, soldado por soldadura fuerte, por soldadura blanda, o cortado. Metal de aporte. El metal o la aleación a ser adicionada en la fabricación de una soldadura fuerte, soldadura débil o junta soldada. Temperatura de precalentamiento. La temperatura del metal base en el volumen circundante al punto del procedimiento de soldadura inmediatamente antes de iniciarse el procedimiento de soldadura. Temperatura entre pases. En una soldadura de múltiples pases, la temperatura del área soldada entre los pases de soldadura. Posiciones de uniones soldadas de ranura en lámina. En la Figura 30, se detallan las posiciones de soldeo para uniones soldadas de ranura en láminas. (American Welding Society, 2001)



**Figura 49. Posiciones de uniones soldadas de ranura en láminas**

**Fuente: American Welding Society, (2001)**

WPS (Welding Procedure Specification). Los métodos detallados y prácticas incluyendo todos los procedimientos de juntas soldadas involucradas en la producción de elementos soldados.

Calificación de WPS. La demostración que las soldaduras hechas por un procedimiento específico pueden satisfacer los estándares prescritos.

WPQR (Welding Procedure qualification record). Un registro de las variables del procedimiento de soldadura usadas para producir un ensamble soldado de prueba y los resultados de las pruebas conducidas en el ensamble soldado para calificar una especificación de un procedimiento de soldadura.

Soldador. Quien realiza un procedimiento de soldadura manual o semiautomático.

Elemento soldado. Es un ensamblaje que se compone de partes que están unidas por un procedimiento de soldadura.

Certificación del soldador. Certificación escrita de que un soldador ha producido uniones soldadas que satisfacen un estándar preestablecido del desempeño del soldador. (American Welding Society, 2001)

## Especificación del procedimiento de soldadura (WPS)



**Figura 50. Proceso de soldadura**

**Fuente: Elaboración propia**

En este documento se plasman las variables esenciales y no esenciales que involucran la soldadura, para esto es necesario la participación del inspector de soldadura, supervisor de soldadura y en última instancia, pero no en menor grado, al soldador. Una vez que contemos con el equipo humano se procede a la selección de materiales dependiendo de la norma exigible para proceder enseguida con la calificación del procedimiento de soldadura (PQR)

### Por qué desarrollar un WPS

- Disminución del riesgo por medio de procedimientos de soldadura acertados
- Mantener las dimensiones controlando la distorsión y reducir las tensiones residuales y localizadas
- Cumplimiento de exigencias legales y de gobiernos locales
- Reducción de costos en posibles reprocesos por malos procedimientos de soldadura.
- Aumento de imagen de favorabilidad hacia su empresa por su apropiado sistema de gestión en la calidad. (Dilago, 2022)

Variables que se encuentran en la Especificación del Procedimiento de Soldadura (WPS).

- Uniones

- Metal base.
- Metales de Aporte.
- Posición.
- Pre calentamiento.
- Tratamiento térmico después de soldar.
- Gas (Atmosfera de protección).
- Características eléctricas.
- Se anota la corriente de soldadura y si es alterna (ca) o directa (cd).
- Técnica.
- Registro de clasificación de procedimientos. (Almau, 2014)

Para la calificación de procedimientos de soldaduras se ofrecen los siguientes servicios:

- Pruebas de tensión
- Ensayos de doblez
- Inspección visual
- Radiografía
- Partículas magnéticas
- Ultrasonido
- Ensayos de dureza
- Pruebas de doblez
- Identificación positiva de materiales (PMI)
- Macroataque. (Weber, 1972)

#### **Calificación de procedimientos de soldadura. (PQR)**

Cada procedimiento debe estar respaldado por pruebas verificables, y a su vez estas se deben registrar con los factores esenciales y relevantes en el proceso. Aquellos factores que deben registrarse y, si se alteran de cualquier modo, el procedimiento debe volverse a probar y a recalificar.

Los tres códigos más utilizados amparan las calderas y recipientes a presión, puentes y edificios y la soldadura de tuberías. (Dilago, 2022)

### **Calderas y recipientes a presión según ASME sección IX**

Este código afirma lo siguiente a la responsabilidad: “cada fabricante o contratista es responsable de las soldaduras ejecutadas por su organización y debe llevar a cabo las pruebas para calificar los procedimientos de soldadura que use en la construcción de las partes soldadas fabricadas según este código, y el desempeño de los soldadores y operadores, así como quienes apliquen estos procedimientos de soldadura y calificación de la aptitud de los soldadores y operadores, o quienes apliquen estos procedimientos”

Se deberá llevar una trazabilidad de los resultados por medio de registros obtenidos del WPS y su respectivo PQR que a su vez servirá como criterio para que los operarios realicen una correcta práctica de soldadura.

Hay tres tipos de variables esenciales para las especificaciones WPS. Las “variables esenciales” son aquellas en las que un cambio se considera que afecta las propiedades mecánicas de la unión soldada o de la construcción soldada. Las “variables esenciales suplementarias” son necesarias para metales en los que hay que hacer prueba de impacto. Las “variables no esenciales” son aquellas en las cuales un cambio puede efectuarse en el WPS sin recalificación. (Almau, 2014)

### **Soldadura Estructural según AWS D1.1**

No son tan complicados los requisitos del código estructural de la AWS D1.1 como los del código ASME Sección IX de recipientes a presión. Sin embargo “cada fabricante o contratista debe efectuarse de las pruebas necesarias de acuerdo a este código para calificar los procedimientos de soldadura.

La AWS permite el uso de procedimientos precalificados de soldadura los cuales se deben apegar en todos sus aspectos al código.

Por “precalificada” la AWS entiende que puede estar exenta de pruebas o calificaciones siempre que se apeguen en todos sus aspectos a los requisitos aplicables del código. (American Welding Society, 2001)

### **Tuberías a Campo Traviesa según API 1104**

La norma API 1104 para soldar tuberías e instalaciones relacionadas pide la calificación de procedimiento y de soldador. La especificación del procedimiento incluye el proceso, el material del metal base, el tamaño del tubo, su diámetro y el espesor de pared, los detalles de unión, el tipo de metal base, el tamaño del tubo, su diámetro y el espesor de su pared, los detalles de la unión, el tipo de metal de aporte, tamaño y número de pasos y las características eléctricas empleadas. Para soldadura, la posición para soldar, el tipo de fundente, etc. (Arveng, 2020)

### **Calificación de soldadores (PQR)**

La destreza o aptitud que tenga el soldador es de fundamental relevancia a la hora de completar y conseguir con éxito un procedimiento de soldadura, para esto es necesario que el operario demuestre sus capacidades realizando soldadura específicas según API , ASME o AWS exijan

El soldador que prepara los especímenes del registro de calificación de procedimientos que pasan los requisitos del código está calificado personalmente dentro de sus variables de calificación. Todos los demás soldadores y trabajadores están calificados mediante pruebas específicas de soldadura, que están diseñadas para determinar su capacidad para ejecutar las soldaduras pedidas en el WPS y que se emplean en el trabajo. (American Welding Society, 2001)

El registro de las pruebas de calificación del trabajador o soldador debe incluir las variables esenciales, el tipo de prueba y los resultados de ella, así como la calificación para cada trabajador o soldador. A cada soldador y trabajador se le asigna un número, letra o símbolo, con el fin de identificar el trabajo de cada persona conocido como “estampe”. (Torres, 2000)

#### **4.2. Definición de pruebas y ensayos no destructivos en la implementación del tanque clarificador.**

##### **4.2.1. Soldadura**

La unión de dos elementos: lo habitual es que se realice a través de la **fusión**. Es frecuente que se añada un **plástico** o un **metal** que, cuando se funde, termina uniendo ambas piezas. Este material que se agrega hace que la unión quede fija al enfriarse.

En las soldaduras, dependiendo del material de aportación, tenemos dos tipos:

**Homogénea:** Cuando no se utiliza material de aportación o cuando se utiliza, pero es de la misma naturaleza que las piezas que se van a unir. En este caso los metales que unimos y el material de aportación tienen que ser de la misma naturaleza.

**Heterogénea:** Se efectúa entre materiales de distinta naturaleza, con o sin metal de aportación. También puede ser entre metales iguales, pero con distinto metal de aportación.

Hay 4 tipos de soldadura básicas: Soldadura Blanda, Fuerte, Oxidilénica y por Resistencia o Arco Eléctrica (por arco, por puntos y por costura). También existe la llamada soldadura por fricción, en la que los materiales se unen sin calor externo y por la fricción de los dos materiales a unir, pero este tipo no lo explicaremos aquí la puedes ver explicada si te interesa en el siguiente enlace: Soldadura por Fricción. (Oliva, 2020)

##### **4.2.1.1. Soldadura Blanda**

**Aplicaciones:** Para uniones de hojalata, chapas galvanizadas, piezas de latón y bronce, tubos de plomo y componentes electrónicos y eléctricos. De tipo Heterogénea. **para material de Aportación:** Aleación de Estaño y Plomo, **temperatura de Soldadura:** 400°C, **instrumento:** Soldador eléctrico.

Simplemente tenemos que conectar el soldador o estañador a la corriente eléctrica y dejar que caliente la punta. Una vez caliente se coloca el estaño en la punta y se fundirá sobre las partes a unir. El estaño suele ser una mezcla de estaño y resina. (Oliva, 2020)

#### **4.2.1.2. Soldadura Fuerte**

Aplicaciones: Para uniones de latón, cobre, aleaciones de plata, bronce, acero y fundición, de tipo: Heterogénea, para materiales de Aportación: Latón o Cobre. Temperatura de la Soldadura: 800°C, para instrumento de : Soplete de Gas.

Es una técnica de unión térmica en la que un metal de aportación fundido penetra al interior de un huelgo capilar comprendido entre los metales a unir. Los metales de aportación para soldadura fuerte tienen una temperatura de fusión superior a 450 °C, pero siempre inferior a la de los metales que van a unirse. En las soldaduras por gas el oxígeno actúa como comburente, mientras como combustible se pueden emplear varios gases (propano, butano, acetileno...) en función del tipo de aplicación. Si se usa el material de aporte adecuado, proporciona una unión con características resistentes incluso superior a la del metal base. (Oliva, 2020)

#### **4.2.1.3. Soldadura Oxacetilénica**

Aplicaciones en Láminas de Acero o Hierro. Se utiliza en construcción, en la industria naval y en la automovilística. De tipo: Homogénea. Material de Aportación: El mismo que el de las piezas que se van a unir. Temperatura de Soldadura: Mayor de 3.000°C. Instrumento: Soplete Oxiacetilénico. La soldadura oxacetilénica es la forma más difundida de soldadura autógena. No es necesario aporte de material. Este tipo de soldadura puede realizarse con material de aportación de la misma naturaleza que la del material base (soldadura homogénea) o de diferente material (heterogénea) y también sin aporte de material (soldadura autógena). Para lograr una fusión rápida (y evitar que el calor se propague) se utiliza un soplete que combina oxígeno (como comburente) y acetileno (como combustible). (Oliva, 2020)

#### **4.2.1.4. Soldadura Por Resistencia Eléctrica**

Aplicaciones: tiene gran importancia en la industria moderna, sobre todo en chapa fina. Se emplea en la fabricación de carrocerías de automóviles,

electrodomésticos (por ejemplo, neveras), y en las industrias eléctrica y de juguetería, de tipo: Homogénea, Material de Aportación: No hay. Temperatura de Soldadura: La misma que la temperatura de fusión de los materiales a unir. Instrumento: La temperatura de las partes a unir y del metal de aporte se puede lograr por medio de resistencia a la corriente (puntos), por inducción (costura) o por arco eléctrico. En los tres métodos el calentamiento se da por el paso de la corriente entre las piezas metálicas a unir. Para cada tipo se usa una máquina diferente. Veamos 3 ejemplos de máquinas para soldadura por resistencia eléctrica. Tipos de soldadura por arco eléctrico: Las piezas -generalmente chapas- quedan soldadas por pequeñas zonas circulares aisladas y regularmente espaciadas que, debido a su relativa pequeñez, se denominan puntos. Las chapas objeto de unión se sujetan por medio de los electrodos y, a través de ellos, se hace pasar la corriente eléctrica para que funda los puntos. (Málaga, 2017)

#### **4.2.1.5. Soldadura por Costura**

La soldadura eléctrica por costura se basa en el mismo principio que la soldadura por puntos, pero en este caso las puntas de los electrodos se sustituyen por rodillos, entre los cuales y, presionadas por el borde de éstos, pasan las piezas a soldar. (Málaga, 2017)

#### **4.2.1.6. Soldadura por Arco Eléctrico**

El sistema de soldadura eléctrica con electrodo recubierto se caracteriza por la creación y mantenimiento de un arco eléctrico entre una varilla metálica llamada electrodo, y la pieza a soldar. La soldadura puede ser hecha en muchos ambientes diferentes incluyendo al aire libre, debajo del agua y en el espacio, sin importar la localización. Sin embargo, la soldadura sigue siendo peligrosa, y se deben tomar precauciones para evitar quemaduras, descarga eléctrica, humos venenosos, la sobreexposición a la luz ultravioleta y accidentes propios del taller. No te olvides que también existe otro tipo de soldadura llamada Soldadura por Fricción, quizás la más novedosa de todas y muy utilizada para la unión de metales. Ahora puedes ir al juego interactivo siguiente para ver si has aprendido los diferentes tipos de soldadura: Clases de Soldaduras. (Málaga, 2017)

Símbolos de Soldadura.

Los símbolos se representarán "sobre" la línea de referencia (indicada a trazos con fines

CHAFLAN							
PLANO	INCLINADO	V	BISEL	U	J	V ENSANCHADA	BISEL ENSANCHADO

ANGULO	TAPON U OJAL	ESPARRA- GO	PUNTO O PROYECCION	COSTURA	REVERSO O RESPALDO	RECARGUE	BORDE	
							CANTO	ESQUINA

**Figura 51. Símbolos**

**Fuente: Muñoz, (2020)**

#### 4.2.1.7. Símbolos de Soldeo.

El símbolo de soldeo está constituido por varios elementos. La línea de referencia y la flecha son los únicos elementos requeridos. Pueden incluirse elementos adicionales para facilitar información de soldeo específica.

Alternativamente, la información del soldeo puede ser facilitada por otros medios tales como notas o detalles en planos, especificaciones, normas, códigos u otros planos que eliminen la necesidad de incluir los elementos correspondientes en el símbolo de soldeo. Todos los elementos, cuando se utilicen, estarán en posiciones específicas del símbolo de soldeo como se indica. (Muñoz, 2020)

#### 4.2.1.8. Símbolos Suplementarios.

Los símbolos suplementarios que se utilicen conjuntamente con los símbolos de soldeo se indicarán como se muestra en la Figura. (Muñoz, 2020)

SOLDAR TODO AL- REDEDOR	SOLDADURA EN CAMPO	REFUERZO DE RAIZ	INSERTO CONSUMIBLE (PLANO)	RESPALDO O SEPARADOR (RECTANGU- LAR)	CONTORNO		
					A PAÑO O PLANO	CONVEXO	CONCAVO
							

**Figura 52. Símbolos Suplementarios**

Fuente: Muñoz, (2020)

#### 4.2.1.9. Significado de la Posición de la Flecha.

La información aplicable al lado de la flecha de una unión se situará por debajo de la línea de referencia. (Muñoz, 2020)

#### 4.2.1.10. Símbolos de Soldadura para Angulo, Chaflán y Borde.

Para estos símbolos, la flecha conectará la línea de referencia del símbolo de soldeo con un lado de la unión, considerándose este lado como el lado de la flecha de la unión. El lado opuesto al lado de la flecha de la unión será considerado como el otro lado de la unión. (Muñoz, 2020)

#### 4.2.1.11. Datos Suplementarios.

La cola de las líneas de referencia adicionales puede ser utilizada para especificar datos suplementarios a la información dada por el símbolo de soldeo. (Muñoz, 2020)

#### 4.2.1.12. Símbolo de Soldadura en Campo.

Las soldaduras en campo (soldaduras que no se efectúan en el taller o en el lugar inicial de la construcción) se especificarán añadiendo el símbolo de soldadura en campo. La bandera se situará en ángulo recto con la línea de referencia, a cualquiera de sus lados, en su conexión con la flecha. (Muñoz, 2020)

#### 4.2.2. Pruebas y ensayos no destructivos en la implementación del tanque clarificador.

El personal que ejecuta los ensayos no destructivos (**END**), debe ser calificado de acuerdo con API Std. 650 y los requerimientos suplementarios dados en la misma, sin embargo; deben ser considerados en la evaluación del tanque de almacenamiento por un inspector autorizado. El procedimiento se detalla a continuación:

- a) **Inspección Visual.-** Entre otras inspecciones se requiere para la determinación de cavidades formadas por la remoción de parches, áreas reparadas de la soldadura cuerpo-fondo, áreas de las láminas de fondo reparadas con soldadura, soldaduras de puntos dejados en el lugar, cavidades producidas por la remoción de defectos de soldadura.
- b) **Examen de partículas magnéticas y líquidos penetrantes.-** Se realiza este ensayo para inspeccionar áreas de la lámina del cuerpo reparadas con soldadura, cavidades por remoción de defectos de soldadura, laminas del fondo restaurado por soldadura.
- c) **Examen radiografiado.-** Se inspecciona las uniones nuevas de la lámina anular, laminas insertadas nuevas o reubicadas y soldaduras de las láminas de la puerta, las reparaciones de soldaduras a tope a menos que se hayan examinado con ultrasonido, laminas insertadas para instalar soldaduras de penetración a tope se deben radiografiar completamente.
- d) **Prueba de fuga de aire.-** Es requerida para inspeccionar las soldaduras de lámina de refuerzo-cuerpo, lamina de refuerzo-boquilla, boquilla al cuerpo o para boquillas nuevas alteradas, pase inicial de las soldaduras del cuerpo- fondo por dentro y por fuera del cuerpo.
- e) **Prueba de aceite diésel.-** Es requerida para inspeccionar el primer y último pase de soldaduras nuevas de la unión cuerpo-fondo, las soldaduras del piso del techo flotante y otras uniones que requieren hermeticidad de vapor o de líquido.
- f) **Prueba de gas trazador.-** Es utilizada para evaluar soldaduras nuevas del fondo, a menos que ya se haya realizado la prueba de vacío.

- g) **Prueba de vacío.-** Es requerida para evaluar láminas del fondo a donde puedan presentarse fugas, laminas del fondo restaurado por soldadura, soldaduras nuevas del fondo y para la soldadura cuerpo-fondo. (Muñoz, 2020)

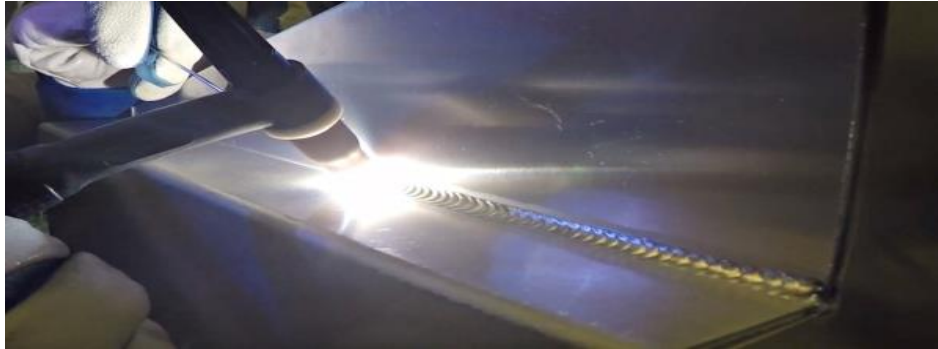
Las primeras pruebas y ensayos que se aplicaron tenían el propósito de de detectar los defectos más amplios y notables del proceso, así como analizar las ductibilidad. (Muñoz, 2020)



**Figura 53. Proceso de soldadura**

**Fuente: Elaboración propia**

La industria metal-mecánica emplea pruebas y ensayos destructivos y no destructivos para la evaluación de soldaduras, ya que cada método tiene sus ventajas únicas, pero, como es lógico, también ciertas limitaciones. Las pruebas destructivas pueden revelar una imagen general de la soldadura; sin embargo, los especímenes especialmente preparados deben romperse. Alternativamente, los métodos no destructivos no afectan la soldadura, pero a menudo son más complicados y menos informativos. (Elkan, 2022)



**Figura 54. Proceso de soldadura**

**Fuente: Elaboración propia**

Las pruebas a las que se someten los cordones de soldadura son tan antiguas como la soldadura misma. Las primeras pruebas y ensayos que se aplicaron tenían el propósito de detectar los defectos más amplios y notables del proceso, así como analizar la ductibilidad; pero en la medida en que los requisitos de calidad aumentaron, se desarrollaron pruebas para determinar características específicas como la composición química y las propiedades mecánicas y metalúrgicas. Así como para identificar, localizar y evaluar discontinuidades, tales como **grietas, inclusiones de escoria, penetración y fusión incompleta.** (Elkan, 2022)



**Figura 55. Proceso de soldadura**

**Fuente: Elaboración propia**

Por tanto, las pruebas que se realizan en la industria de la soldadura, tienen como propósito evaluar los procedimientos de soldadura y las habilidades de los técnicos y operadores; así como para el control de calidad de los **cordones de soldadura y de los metales base.** Las propiedades mecánicas tanto del **metales base,** como de

las uniones soldadas, deben ser verificadas con el objeto de asegurar la calidad del conjunto respecto a su diseño. Actualmente existe una variedad muy amplia de pruebas estandarizadas y éstas se clasifican en base a diversos criterios. (Elkan, 2022)



**Figura 56. Proceso de soldadura**

**Fuente: Elaboración propia**

En una prueba destructiva, la pieza de prueba o la muestra se destruye, en la mayoría de los casos por fractura. Después de las pruebas destructivas, la muestra ya no es aplicable a un uso posterior.

**Pruebas de doblez:** Se le aplica al cordón de soldadura para analizar su comportamiento con los otros materiales que se le fijarán. Se realiza con un dispositivo para doblar.

**Pruebas de impacto:** Para determinar la resistencia del cordón de soldadura mediante un impacto, existen muchas pruebas, pero la más relevante es la Charpy, que permite conocer el comportamiento de los materiales.

**Prueba de tracción:** Uno de los enfoques mecánicos más comunes para evaluar las propiedades de una soldadura es la prueba de tracción, que ayuda a revelar algunas propiedades en el material, tales como la resistencia a la deformación, la curva de tensión-tensión, la resistencia a la tracción, la deformación por fractura y el módulo de Young. Además, la prueba de tracción determina la ductilidad de una soldadura al obtener dos medidas de ductilidad: el porcentaje de alargamiento y el porcentaje de reducción del área. (Elkan, 2022)



**Figura 57. Al ser sometidos a condiciones extremas de servicio.**

**Fuente: Elaboración propia**

**Pruebas de tensión:** Consiste en estirar una probeta de soldadura hasta que se rompa. De allí saldrán diferentes resultados, como la resistencia máxima a la tensión y el porcentaje de reducción en área.

**Pruebas de dureza:** Es la capacidad de resistencia de los metales a ser penetrados.

En las uniones soldadas se determina la dureza en la zona afectada por el calor (ZAC).

Para evitar riesgos de fisuras por las altas temperaturas y por los enfriamientos rápidos que puedan ocurrir. (Elkan, 2022)

#### **4.3. Definición de pruebas hidrostáticas:**

Las pruebas hidrostáticas se encuentran incluidas en los ensayos no destructivos y específicamente en los de hermeticidad.

Es la aplicación de una presión a un equipo o línea de tuberías fuera de operación, con el fin de verificar la hermeticidad de los accesorios bridados y la soldadura, utilizando como elemento principal el agua o en su defecto un fluido no corrosivo. Todo equipo nuevo debe ser sometido a una prueba de presión (hidrostática), en los talleres o de la misma forma se realiza en campo en caso de una construcción, o proyecto industrial.

Los códigos de diseño de los equipos y sistemas de tuberías (ASME, API, TEMA, BS, entre otros), establecen claramente las prácticas recomendadas de cómo realizar la

prueba hidrostática, con el fin de garantizar la integridad física de las personas y los equipos.

Por lo general, un equipo que halla sido probado en los talleres del fabricante no debería ser probado nuevamente después de su instalación, a menos que sea requerido por algunas de las autoridades locales o si existe alguna sospecha de que el equipo halla sufrido algún daño durante el transporte, por lo que la prueba se llevará efecto de acuerdo al código de diseño o a las especificaciones del caso. La prueba hidrostática también aplica cuando se reemplaza o se reparan líneas existentes.

La prueba hidrostática nos permite Determinar la calidad de la ejecución del trabajo de fabricación o reparación de la línea o equipo. Comprobar las condiciones de operación para garantizar la seguridad tanto de las personas como de las instalaciones. Detectar fugas.

Para realizar las pruebas hidrostáticas se requiere utilizar un sistema de tuberías según las normas técnicas ASME, ANSI y API.

En la prueba hidrostática se verifica la estanquidad y resistencia de la instalación. Para realizar la prueba se necesitan:

1. Bomba de baja y alta presión.
2. Manguera de alta presión y conexiones rápidas.
3. Manómetros de diferentes escalas para registrar la presión a la que está sometida el sistema.
4. Registrador gráfico de presión (Pressure Chart Recorder) ó Termógrafo que registre la temperatura.
5. Termomanómetro para registrar gráficamente en el mismo equipo la presión y temperatura. (Diteinco, 2020)



## Figura 58: Pruebas hidrostáticas

Fuente: Elaboración propia

Es la aplicación de una presión a un equipo o línea de tuberías fuera de operación, con el fin de verificar la hermeticidad de los accesorios bridados y la soldadura, utilizando como elemento principal el agua o en su defecto un fluido no corrosivo. Todo equipo nuevo debe ser sometido a una prueba de presión (hidrostática), en los talleres o de la misma forma se realiza en campo en caso de una construcción, o proyecto industrial.

Los códigos de diseño de los equipos y sistemas de tuberías (ASME, API, TEMA, BS, entre otros), establecen claramente las prácticas recomendadas de cómo realizar la prueba hidrostática, con el fin de garantizar la integridad física de las personas y los equipos.

Por lo general, un equipo que halla sido probado en los talleres del fabricante no debería ser probado nuevamente después de su instalación, a menos que sea requerido por algunas de las autoridades locales o si existe alguna sospecha de que el equipo halla sufrido algún daño durante el transporte, por lo que la prueba se llevará efecto de acuerdo al código de diseño o a las especificaciones del caso.

La prueba hidrostática también aplica cuando se reemplaza o se reparan líneas existentes. La prueba hidrostática nos permite:

- Determinar la calidad de la ejecución del trabajo de fabricación o reparación de la línea o equipo.
- Comprobar las condiciones de operación para garantizar la seguridad tanto de las personas como de las instalaciones.
- Detectar fugas. (Saul, 2019)

¿Cuándo y cómo hacer una prueba hidráulica?

El marco legal europeo aplicable es la Directiva de equipos a presión "2014/68/UE", donde se indica la necesidad de realizar esta prueba en todo equipo o línea de tuberías de fabricación nueva, ya sea en las instalaciones del fabricante o en las del propietario y/o usuario cuando se trata de líneas que se terminan de instalar en campo. Adicionalmente, la prueba de presión hidrostática también es necesaria cuando se realizan reparaciones o modificaciones en equipos o líneas puestas en servicio con anterioridad.

Normalmente, un equipo que haya sido probado en los talleres del fabricante no necesita ser probado nuevamente después de su instalación, a menos que sea requerido por algunas de las partes interesadas o si existe alguna sospecha de que el equipo haya sufrido algún daño durante el transporte.

Los códigos de diseño de los equipos y líneas de tuberías establecen cuáles son las condiciones físicas que deben darse antes, durante y después de la realización de la prueba de presión hidrostática, con el fin de garantizar unos resultados fiables. Estas condiciones hacen referencia a la presión de prueba, temperatura ambiente y del fluido, así como las características intrínsecas del material.

Las normativas de aplicación pueden tener orígenes muy diversos, pero CERNEY está capacitada para fabricar bajo cualquier normativa de prestigio

- EN13445 para equipos a presión no sometidos a la llama,
- EN12952 para calderas acuotubulares
- EN12953 para calderas pirotubulares
- AD-Merkblätter, BS, AS, CODAP; americanos tales como: ASME I para calderas, ASME VIII para equipos a presión, ASME B31.1 para tuberías de potencia y B31.3 para tuberías de proceso, ANSI, API, etc.). (Cerney, 2019)

Además, desde el punto de vista de la seguridad la entidad responsable de la realización de la misma debe emitir procedimientos y/o instrucciones técnicas de cómo proceder en su realización. Éstos a su vez, pueden o incluso deben ser aprobados por terceras partes implicadas. (Almau, 2014)

### ¿Por qué hacer la prueba de presión?

Se ha expuesto anteriormente qué es una prueba de presión hidrostática y, además, cuándo y cómo ha de realizarse la misma, pero realmente, ¿cuál es el propósito real de la misma?

Al realizar la prueba de presión hidrostática se somete el material a unas condiciones extraordinarias, mucho más exigentes que aquellas que se encontrarán durante el funcionamiento normal para el que el equipo o línea ha sido diseñado, así pues, se entiende que si el valor de presión interna se mantiene constante durante la prueba, y tras la inspección visual se constata que no existen fugas ni deformaciones permanentes, el equipo o línea ha sido diseñado y fabricado de acuerdo a los criterios requeridos y por lo tanto, puede ser considerado seguro. (Cerney, 2019)

### Normalización para realizar la prueba hidrostática

Para realizar las pruebas hidrostáticas se requiere utilizar un sistema de tuberías según las normas técnicas ASME, ANSI y API. El siguiente cuadro contiene las normas que aplican según el caso y la respectiva utilización de cada una. (Almau, 2014)

#### 4.3.1. Tabla de especificaciones de normas técnicas:

Tipo de norma: Aplicada en:

##### 4.3.1.1. ANSI B31.1

ASME SECCION 1 Líneas de vapor plantas eléctricas, plantas de GLP, gabarras. Transporte de vapor, agua, aceite y en los sistemas de tuberías externos de las calderas. **ANSI B31.2** Transporte de gas combustible. (Saul, 2019)

##### 4.3.1.2. ANSI B31.3

**API RP – 14E** Transporte de gas, vapor, agua, aire, productos químicos, aceites y otros productos del petróleo.

Estaciones de flujo, múltiples de producción y verticales. (Saul, 2019)

##### 4.3.1.3. ANSI B31.4 ANSIB31.8

**API RP – 1111** Transporte de crudos, condensados, productos del gas licuado (GLP), gasolina y amoníaco anhídrido.

Líneas sublacustres de bombeo de crudo, de transmisión y distribución de gas.  
(Saul, 2019)

#### **4.3.1.4. API SPEC – 5A API SPEC – 5AX API BULL – 5C2**

**API BULL – 5C3** Líneas de perforación, tuberías de revestimiento (casing), y tuberías de producción.

**API SPEC – 6A** Cabezales de los pozos. (Saul, 2019)

#### **4.3.1.5. API RP – 53**

**API RP – 7G** Válvulas BOP (equipo impide reventones “blowout preventer”).  
(Saul, 2019)

### **4.3.2. Procedimiento para la preparación de la prueba hidrostática**

Preparar una prueba hidrostática significa que se deben tomar todas las precauciones inherentes a todo el proceso; es como preparar el escenario de un gran acontecimiento. Esto es por el riesgo que presenta la operación. De acuerdo con lo expuesto se debe considerar lo siguiente: Asegurarse de adecuar el sitio para dejar fácil acceso para realizar la inspección. Hacer un análisis razonable de todos los pasos del procedimiento para hacer la prueba, a fin de asegurarse que el equipo o la tubería que esté bajo prueba no sufra un “impacto accidental”. No está permitido por ningún motivo golpear la tubería o equipo, ni tratar de corregir fugas entre bridas con llaves, mientras el sistema este presurizado. Asegurarse que todos los dispositivos de alivio de presión, tales como, placas de orificio, juntas de expansión, válvulas de retención y similares, accesorios de instrumentación, entre otros, están excluidos de la prueba por lo que deben ser sustituidos por piezas provisionales o aislados utilizando discos ciegos. Disponer de adecuadas conexiones de alimentación y descarga del fluido de prueba, de tal manera que el sistema pueda ser llenado y drenado dentro de un tiempo razonable; así mismo, prever adecuado y efectivo aislamiento para tales conexiones, con ventosas en puntos altos para asegurar el completo desplazamiento del aire atrapado. (Torres, 2000)

Disponer de una adecuada bomba para realizar la prueba, con dos (2) manómetros por lo menos calibrados y ubicados donde estos puedan ser vistos fácilmente por el personal responsable de monitorear la prueba.

Asegurarse que cualquier tratamiento térmico post-soldadura que haya sido requerido en el procedimiento de soldadura, se haya completado con suficiente antelación a la prueba. Asegurarse que cualquier soldadura, la cual debe ser cubierta con aislamiento externo por razones de proceso o recubiertas con pinturas por razones de protección, se mantengan libres o al descubierto hasta que sea completada la prueba. Asegurarse que la presión no se exceda del valor fijado durante la prueba. (Saul, 2019)

#### 4.3.3. Preinstalación de la bomba para la prueba hidrostática

Para la instalación de una bomba de prueba hidrostática, se debe tomar en cuenta algunas recomendaciones, tales como:

1. Revisar todo el sistema de conexiones de la bomba, verificando su completo y correcto ajuste.
2. Conectar la manguera de suministro de aire comprimido a la bomba y hacerla funcionar para verificar su estado de operatividad. Instalar el dispositivo de prueba (escopeta) entre el equipo y la bomba de prueba.
3. Usar material sellador (teflón) en todas las juntas roscables de la escopeta. (Anaya, 2016)

**Prueba de hermeticidad:** Esta prueba generalmente es realizada por requerimientos de operaciones, toda vez que el resultado de la prueba hidrostática realizada haya sido exitoso. Como su nombre lo indica, el objetivo es el de probar la hermeticidad de un particular sistema, especialmente en las juntas bridadas y otro tipo de junta mecánica. El medio de prueba generalmente es el mismo fluido del proceso, si su fluidez a temperatura ambiente es compatible con el resultado de la prueba. Otras veces y muy a menudo, esta prueba se realiza durante el proceso de limpieza con vapor o soplado de la planta después de una parada de mantenimiento, usando para ello vapor de baja presión. Como alternativa se permite únicamente el uso de aire seco o gas inerte (generalmente nitrógeno), aunque esto puede generar todos los peligros que presenta una prueba neumática, por lo que será necesario tomar las precauciones correspondientes. (Saul, 2019)

#### 4.3.4. Consideraciones técnicas para realizar la prueba hidrostática:

Tomar en consideración que la presión de prueba en una sección de una línea no debería exceder de la máxima presión permitida en cualquier componente instalado en la línea e incluido en la sección en prueba. Una vez que la prueba haya sido establecida o determinada, es importante asegurarse que tal presión no sea excedida durante la prueba. Comprobar que la resistencia (espesor y material) de los discos ciegos sea la adecuada, de acuerdo con la presión de la prueba hidrostática que se va a ejecutar. En el caso de los hornos cuando se hayan realizado reparaciones o reemplazados de tubos, el serpentín del horno o las secciones e tubería deben ser probados hidrostáticamente. Solamente cuando haya efectuado la limpieza del serpentín, por razones operacionales, una prueba de hermeticidad con vapor será suficiente para chequear tapones y cabezales. En caso de fugas por tapones, no tratar de ajustarlos durante la prueba hidrostática. Un falso movimiento y la energía acumulada en el sistema puede expulsar el tapón a alta velocidad y causar daños irreparables a personas o instalaciones. Chequear posibles fugas en la zona de expansión o expandido de los tubos por la parte externa del cabezal, mientras los tubos están bajo presión. Esta inspección visual puede ser facilitada por el uso de un espejo colocado entre el cabezal y el soporte final de la pared del tubo, obteniendo así una vista de la unión.

**La duración de la prueba deberá ser de una (1) hora como mínimo**, de manera que se tenga el suficiente tiempo para permitir la inspección correspondiente. (Saul, 2019)

#### 4.3.5. Consideraciones técnicas para realizar la prueba hidrostática

El rango de presión de los manómetros que van a ser utilizados para la prueba hidrostática debe ser tal que la presión de la prueba quede comprendida entre el 30% y el 70% de la amplitud del rango del manómetro. Antes de la prueba hidrostática, toda la línea o equipo debe ser revisado asegurándose de que el sistema pueda ser completamente drenado una vez concluida la prueba. Las ventosas, puntos altos y cualquier otra conexión que pueda servir con fines. (Almau, 2014)

Similares, tienen que ser abiertos para eliminar el aire o gas de las líneas durante el llenado. Estas deben ser completamente purgadas de aire o gas antes de la presurización. Inmediatamente después de la prueba, el equipo o sistema debe ser

drenado y soplado con aire. A las líneas para gas o vapor se les debe instalar soportes temporales adicionales, en caso de que sea necesario, para soportar el peso del líquido durante la prueba.

Las líneas para gas o vapor sostenidas por resortes o contrapesos, han de ser temporalmente reforzadas durante la prueba, con el objeto de resistir el peso del fluido de la prueba, los soportes de los resortes que han sido diseñados para llevar la carga de la prueba no requieren ser reforzados. Las secciones cortas de tuberías que tienen que ser sacadas para la instalación de ciegos, tienen que ser probadas separadamente.

Cuando las condiciones requieran que la presión de la prueba haya de ser mantenida por un período durante el cual el medio (fluido) en el sistema esté sujeto a expansión térmica, se deberán tomar previsiones para el exceso de presión. Se recomienda instalar una válvula de alivio ajustada a 1 – 1/3 veces la presión de la prueba hidrostática.

De ser posible se debe instalar un filtro de llenado, para minimizar la posibilidad de que se introduzcan partículas u objetos extraños en el sistema durante el llenado o prueba hidrostática. Si la presión de la prueba para una tubería conectada a un equipo (recipiente de presión, intercambiador de calor, tambor, u otros) es igual o menor que la presión de la prueba para el equipo, la tubería y el equipo podrán ser probados en conjunto a la presión de prueba de la tubería. Siempre prevalecerán las condiciones del recipiente.

Si la presión de prueba de la tubería es mayor que la del equipo conectado, ella debe ser aislada y probada separadamente. (Saul, 2019)

#### 4.3.6. Aspectos importantes y técnicos para realizar la prueba hidrostática:

Por razones de integridad, se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos importantes de consideración antes, al realizar y después de una prueba hidrostática: Los nuevos sistemas de tuberías o equipos que se instalen o aquellos instalados, que han sufrido reparaciones y/o alteraciones, deberán ser probados hidrostáticamente, de acuerdo con las normas y los códigos aplicables.

La prueba se realizará preferiblemente con agua. Si existe el riesgo que el fluido de la operación puede ser contaminado o el material de la tubería puede ser afectado por el agua, por razones de practicidad u operacionales, puede utilizarse cualquier otro líquido diferente que no sea altamente inflamable. Se permite, para tal efecto, emplear hidrocarburos inflamables con puntos de inflamación no menores de 150 grados Fahrenheit (66 grados centígrados). El pH del agua se mantendrá entre 6 y 8 para todos los materiales ferrosos y neutros para materiales no ferrosos.

La calidad del agua usada para la prueba hidrostática de los materiales usados en la construcción de los equipos y tuberías. Cuando se efectúen pruebas hidrostáticas, se colocaran ciegos entre las bridas como aislamiento del sistema. En caso de probarse con válvulas cerradas, la presión de prueba del sistema no excederá a la presión de prueba de los asientos de la válvula. En los sistemas de tuberías que incluyen extremos que terminen en bridas, deberán emplearse bridas ciegas durante la prueba hidrostática. Los manómetros que se van a usar en la prueba deben estar calibrados. Ellos se deben calibrar una vez al mes, con un calibrador de peso muerto.

A los manómetros que se usan para pruebas hidrostática, se les debe fijar una etiqueta con la última fecha de la calibración.

Durante la ejecución de la presión hidrostática, la temperatura del agua y/o del recipiente no podrá exceder de 49°C (120°F) ni ser menor de 18°C la máxima diferencia de temperatura entre el agua y la pared del recipiente no debe exceder de 10°C (50°F). (Arveng, 2020)

En sitios de trabajo tales como: mar, lagos o ríos, antes de comenzar cualquier operación, se procederá a suministrar un número suficiente de salvavidas redondos, chalecos salvavidas, cinturones de seguridad y extintores de incendio. Todo este equipo debe ubicarse en un área de fácil acceso múltiples de gas, estaciones, u otros), la persona que tiene a su cargo la supervisión de la actividad debe dictar previamente una “charla de seguridad” al personal ejecutor, de tal manera que éste sea orientado en la labor y alertado sobre los riesgos inherentes a ella. Es importante hacer énfasis en el uso del equipo de protección personal.

Considerar las acciones a tomar dependiendo del tipo de instalación donde se va a realizar el trabajo, por ejemplo, la conexión de una brida. Es muy importante hacer una inspección ocular del área de trabajo, en busca de algún acto o condición insegura involuntaria, que pueda entorpecer la labor o la buena ejecución del mismo. Se debe hacer un recorrido con la vista a la línea o equipo, con el fin de verificar que están bloqueadas con los accesorios de cegado o con los cierres de válvulas correspondientes. (Saul, 2019)

#### **4.3.7. Detección y corrección de fugas y normalización de líneas**

Para detectar y corregir una fuga existe una serie de pasos que se originarán de acuerdo al equipo que se esté probando, por lo tanto este tema será ampliado con detalles llegada la ocasión de hacer la referencia al respecto, específicamente en el capítulo de aplicación de pruebas hidrostáticas. La normalización de líneas se hace cada vez que se haya probado un equipo y los entes encargados, autoricen su ejecución. Para ello la prueba hidrostática debe haber sido un éxito. Las autoridades encargadas son las de Inspección de Equipos, Ingeniería de Procesos y Operaciones. E cada prueba hidrostática que se haga debe haber una posterior normalización. (Saul, 2019)

#### **4.3.8. Normas y procedimientos de seguridad para la aplicación de la prueba**

Para llevar a cabo la aplicación de pruebas hidrostáticas, han de considerarse las siguientes medidas pertinentes para la prevención y ejecución segura de esa actividad. Antes de la realización de cualquier labor relacionada con la prueba hidrostática, se ha de disponer de todos los recursos auxiliares necesarios, a fin de evitar pérdidas de tiempo y que el personal incurra en actos inapropiados que atenten contra la seguridad. (Saul, 2019)

La ejecución de una prueba hidrostática debe estar amparada por sus respectivos permisos de trabajo, los cuales deben ser emitidos por el personal operador (custodio de instalación). El permiso de trabajo en caliente es un documento el cual constituye una “garantía” de que se han tomado todas las medidas preventivas (pruebas de gas, condición del equipo, dispositivos de protección, recomendaciones adicionales, equipos o implementos de seguridad adicionales, entre otros). No obstante el trabajador y los encargados deben asumir una actitud de alerta ante todo. Algunas organizaciones establecen una reglamentación interna, a fin de controlar y asegurar que ningún trabajador sea expuesto a los peligros que representa la energía estática, durante las labores de mantenimiento u operación. De la misma manera establecen algunos criterios de control. (Almau, 2014)

#### **4.3.9. Conceptos relacionados a la Física de las Pruebas Hidrostáticas**

Conceptos relacionados a la Física de las Pruebas Hidrostáticas

##### **4.3.9.1. Mecánica de fluidos**

“Es la ciencia que estudia el comportamiento de los fluidos en reposo (estática de fluidos) o en movimiento (dinámica de fluidos) y su interacción con el contorno que lo limita” (Cengel, Yunus, & Cimbala, 2006).

##### **4.3.9.2. Hidrostática**

Es la rama de la mecánica de fluidos que estudia los líquidos en estado de equilibrio, es decir, sin que existan fuerzas que alteren su movimiento o posición (reposo). Cuando el fluido en estudio es un gas en reposo, se le denomina aerostática. (Shames, 1995)

“Los principios físicos que respaldan el estudio de la hidrostática son la Ley de Pascal y el Principio de Arquímedes” (Cengel, Yunus, & Cimbala, 2006).

##### **4.3.9.3. Fluidos**

Son sustancias capaces de fluir. Se adaptan a la forma del recipiente que los contiene. Se clasifican en líquidos y gases, cuya diferencia principal radica en que los líquidos son prácticamente incompresibles (volumen constante) y los gases son muy compresibles (volumen variable). (Giles & Ranald, 1994)

Es importante destacar, que a pesar de que la compresibilidad de los líquidos es pequeña, a veces es muy importante. Por ejemplo, puede serlo para presiones

muy altas. Otro autor, describe a los fluidos como sustancias que cambian su forma continuamente cuando se los somete a un esfuerzo cortante, sin importar qué tan pequeño sea. Los fluidos están compuestos por moléculas con movimientos y colisiones constantes. (Shames, 1995)

#### 4.3.9.4. Presión (P)

Es una magnitud escalar que relaciona la fuerza (F) con la superficie (A) sobre la que actúa. Su fórmula general es:

$$P = \frac{F}{A}$$

La presión de un fluido se transmite con igual intensidad en todas las direcciones y actúa a cualquier superficie plana. Es decir, en el mismo plano horizontal, el valor de la presión en un líquido es igual en cualquier punto. En el Sistema Métrico Internacional o Sistema Internacional de Unidades (SI), la presión se mide en una unidad denominada Pascal (Pa) y equivale a una fuerza de 1 Newton (N) actuando sobre un metro cuadrado (m<sup>2</sup>). Es decir, 1 Pa = 1N/m<sup>2</sup>. En el Sistema Inglés la presión se mide en libra fuerza por pulgada cuadrada (pound per square inch o PSI) que es equivalente a una fuerza total de una libra fuerza actuando sobre una pulgada cuadrada (lbf/in<sup>2</sup> o PSI). Otras unidades de presión de uso general en la práctica son el Bar (Bar), la atmosfera (Atm) y el kilogramo fuerza por centímetro cuadrado (Kgf/cm<sup>2</sup>). (Giles R. , 2014)

**Tabla 17**

*Equivalencias de unidades de presión*

=	Kgf/cm <sup>2</sup>	Pa	PSI	bar	atm	mmHg
1 Kgf/cm <sup>2</sup>	-----	9,81 . 10 <sup>4</sup>	14,223	0,981	0,9677	736
1 Pa	1,01 . 10 <sup>-5</sup>	-----	14,49 . 10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-5</sup>	9,8 . 10 <sup>-6</sup>	7,5 . 10 <sup>-3</sup>
1 PSI	0,0703	6897,27	-----	0,0689	0,0680	51,719
1 bar	1,0196	10 <sup>5</sup>	14,503	-----	0,9867	750
1 atm	1,0333	1,01 . 10 <sup>5</sup>	14,697	1,0134	-----	760
1 mmHg	1,35 . 10 <sup>-3</sup>	133,288	1,93 . 10 <sup>-2</sup>	1,33 . 10 <sup>-3</sup>	1,31 . 10 <sup>-3</sup>	-----

**Fuente: Villa, (2020)**

#### 4.3.9.5. Tipos de presión

- **Presión Atmosférica (Patm):**

Es la fuerza que ejerce el aire sobre la superficie terrestre. Los instrumentos utilizados para medir la presión atmosférica se denominan barómetros. Ésta puede variar según los cambios meteorológicos, la altitud, la latitud, etc. Normalmente se toma como referencia la presión atmosférica que existe a nivel del mar cuyo valor es de 1 atm (atmosfera), 1013 mbar (milibares), 760 mmHg (milímetros de mercurio), 160 Torr (torricelli) o 101293 Pa (pascales). (Cengel, Yunus, & Cimbala, 2006)

- **Presión Manométrica (Pman):**

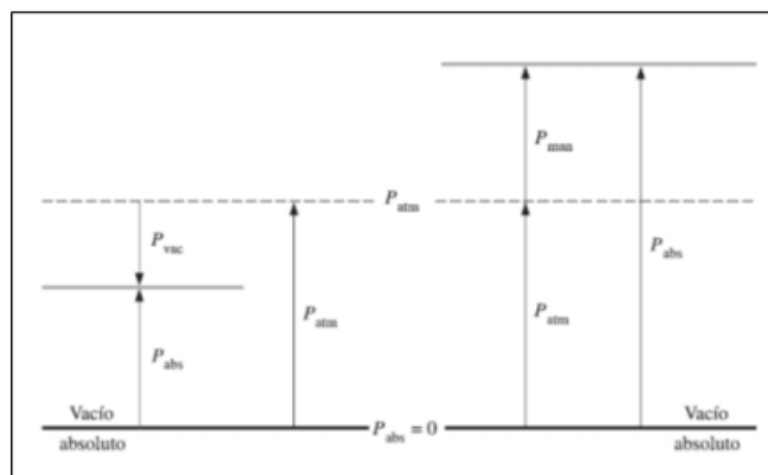
“Es la presión que se mide en relación a la presión atmosférica. Equivale a la diferencia entre la presión absoluta o real y la presión atmosférica. Los instrumentos utilizados para medir la presión manométrica se denominan manómetros” (Cengel, Yunus, & Cimbala, 2006).

- **Presión Absoluta o Real (Pabs):**

“Es la presión que se mide en relación a un vacío total o cero absoluto. Equivale a la sumatoria de la presión manométrica y la atmosférica” (Cengel, Yunus, & Cimbala, 2006).

- **Presión de Vacío (Pvac):**

“Son las presiones por debajo de la atmosférica. Se miden con medidores de vacío o vacuómetros que indican la diferencia entre la presión atmosférica y la presión absoluta” (Cengel, Yunus, & Cimbala, 2006).



$$P_{\text{man}} = P_{\text{abs}} - P_{\text{atm}}$$

$$P_{\text{vac}} = P_{\text{atm}} - P_{\text{abs}}$$

**Interrelación de las presiones absolutas, manométricas y de vacío**

**Fuente: Cengel, Yunus & Cimbala, (2006)**

#### 4.3.9.6. Medidores de presión

Los medidores de presión son instrumentos de precisión fabricados para medir la presión sanguínea, la presión de fluidos en tuberías o tanques de almacenamiento, la presión atmosférica, etc. Existen para cada uso diversos equipos disponibles de acuerdo a las necesidades.

Dependiendo de las aplicaciones de los medidores de presión, son las unidades disponibles para sus resultados, además de que algunos reciben nombres diferentes dependiendo del tipo de presión que van a medir.

Para el caso en estudio, en el proceso de pruebas hidrostáticas, para medir la presión se utilizan aparatos llamados manómetros que pueden ser de diferentes tipos y grados de precisión. (Cengel, Yunus, & Cimbala, 2006)

- **Manómetros**

Son instrumento de medición para la presión de fluidos (líquidos y gases) contenidos en recipientes cerrados. Miden la diferencia entre la presión absoluta y la presión atmosférica, llamándose a este valor, presión manométrica.

Los manómetros industriales suelen tener una escala graduada que mide la presión, normalmente en Kg/cm<sup>2</sup>, lb/in<sup>2</sup>, bares (Bar), pascales (Pa) o en fuerza por pulgada cuadrada (PSI).

Todos los manómetros tienen un elemento que cambia alguna propiedad cuando son sometidos a la presión. Este cambio se manifiesta en una escala o pantalla calibrada directamente en las unidades de presión correspondientes. La aguja mide la presión en el interior del circuito.

Algo muy importante a la hora de utilizar un manómetro es su precisión, la cual se refiere a la diferencia máxima entre el valor verdadero y el valor indicado por el manómetro expresado en porcentaje (%).

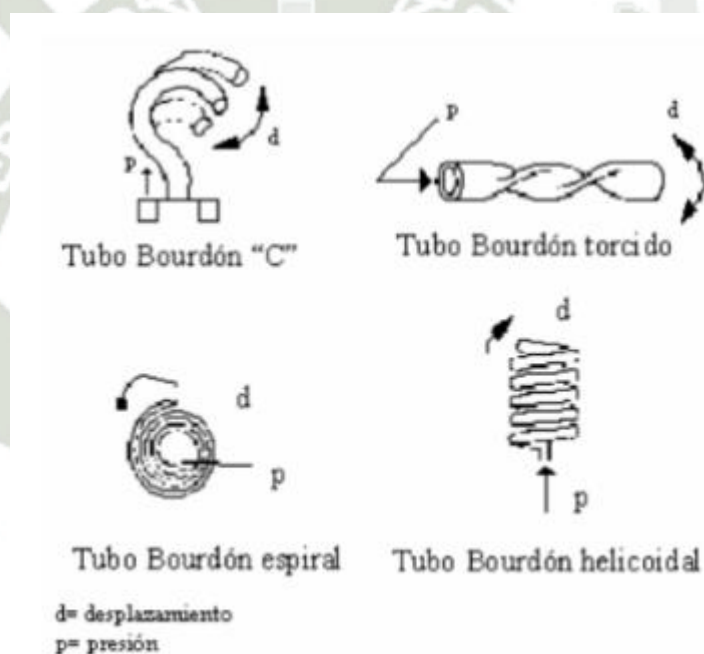
Por sus innumerables aplicaciones en la industria, existe una gran variedad de manómetros en el mercado. Sin embargo, el tipo más utilizado para medir presiones manométricas es el manómetro de Bourdon y sus variantes. (Almau, 2014)

### **Manómetro de Bourdon**

En la actualidad y a pesar del paso del tiempo y las nuevas tecnologías se sigue utilizando en la gran mayoría de los campos industriales el manómetro del tipo Bourdon.

Inventado en el año 1849 por el ingeniero francés Eugene Bourdon. El principio fundamental de este invento es que el movimiento del tubo Bourdon dentro del manómetro es proporcional a la presión aplicada.

Consiste en un tubo enrollado o doblado en circunferencia. Un extremo del tubo está fijo a la entrada de la presión, el otro extremo se mueve proporcionalmente a la diferencia de presiones que hay entre el interior y el exterior del tubo. Este movimiento hace girar la aguja indicadora por medio de un mecanismo de sector y piñón. Para amplificar el movimiento, el curvado del tubo puede ser de varias vueltas formando elementos en “C”, torcido, espiral, o helicoidal. (Almau, 2014)



**Figura 59. Diferentes formas del tubo Bourdon**

**Fuente: Ondetti, (2019)**

Los tubos Bourdon pueden fabricarse casi cualquier tipo de material que tenga las características elásticas adecuadas según sea el intervalo de presión a la cual se someterá y la resistencia al medio en el cual se utilizará. Algunos de los materiales que se usan son latón, aleación de acero, aceros inoxidable, bronce fosforado, cobre-berilio, otros. (Ondetti, 2019)

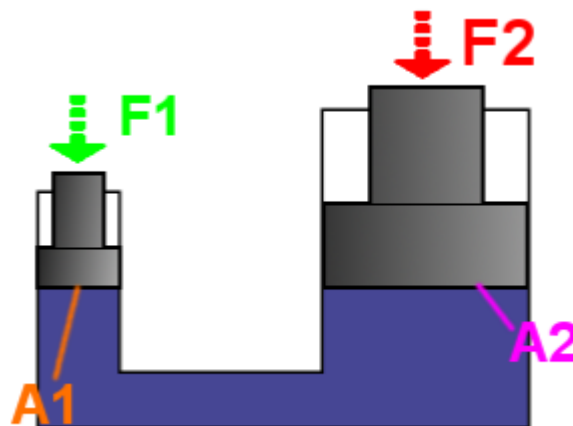
#### 4.3.9.7. Ley o Principio de Pascal (Blaise Pascal, físico-matemático francés)

El principio de Pascal afirma que la presión aplicada sobre un fluido no compresible (líquidos) contenido en un recipiente indeformable se transmite con igual intensidad en todas las direcciones y a todas partes del recipiente. Este tipo de fenómeno se puede apreciar por ejemplo en la prensa hidráulica la cual funciona aplicando este principio.

Una consecuencia de que la presión en un fluido permanezca constante en la dirección horizontal consiste en que la presión aplicada a un fluido confinado aumenta la presión en toda la extensión de éste en la misma cantidad. (Cengel, Yunus, & Cimbala, 2006)

$$P_1 = P_2 \quad \rightarrow \quad \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \quad \rightarrow \quad \frac{F_2}{F_1} = \frac{A_2}{A_1}$$

Formula de la Ley de Pascal Fuente: Libro Cengel, Yunus A. y Cimbala, John M



**Figura 60: Dibujo de Prensa Hidráulica**  
Fuente: Cengel, Yunus, & Cimbala, (2006)

#### 4.4. Controles y métodos de calidad en pintura.

Existen innumerables métodos, normas y ensayos para verificar si una pintura reúne o no las exigencias deseadas.

Entre las normas más conocidas y utilizadas se encuentran las normas UNE las ISO Certificados AENOS, o las ASTM entre otras.

Aunque en algunos casos, ciertas industrias, como la del automóvil, la industria de la madera o incluso la construcción y obras públicas, dictan sus propias normas y certificados sin contravenir en ningún caso con las generales.

Como ensayos generales y normalizados para toda la industria de la pintura se encuentran las siguientes características a controlar. (Sánchez, 2022)

##### 4.4.1. Viscosidad

Podemos definir viscosidad como la mayor o menor resistencia que ofrece un líquido para fluir libremente. Todos los líquidos poseen algo de viscosidad. La viscosidad se determina mediante diferentes métodos, según sea más o menos alta

En la industria de la pintura existen un gran número de métodos de medida, desde las sencillas copas de fluidez hasta los viscosímetros rotacionales controlados por ordenador, que han sido establecidos para la determinación de la viscosidad.

Entre estos métodos podemos encontrar:

- Viscosidad deburbuja
- Copa de inmersión
- Copa de fluidez
- Viscosidad rotacional. (Araúz, 2022)

##### 4.4.2. Densidad

La densidad se define como la relación entre la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa. Así, como en el Sistema Internacional, la masa se mide en kilogramos (kg) y el volumen en metros cúbicos (m<sup>3</sup>) la densidad se medirá en kilogramos por metro cúbico (kg/m<sup>3</sup>), o en el caso de las pinturas en gramos decímetros cúbicos. La metodología utilizada en este caso es muy simple, utilizando un picnómetro con

una capacidad de 100 mm se realiza una pesada en vacío, y otra con el lleno. La diferencia de las dos pesadas nos dará el peso de pintura en 100 mililitros con una simple conversión determinaremos los gramos por mm de pintura. (Almau, 2014)

#### 4.4.3. Extracto seco

La determinación del extracto seco, nos va a indicar los sólidos que tiene una pintura, El método para determinar dicho dato, consiste en pesar una cantidad determinada de pintura, y a continuación proceder a un secado total de la muestra. Una vez esta esté completamente seca y fría se procede de nuevo a su pesada. El diferencial es la cantidad de materiales volátiles y en consecuencia el residuo es su extracto seco o parte de la pintura que se quedará en una superficie una vez seca. (American Welding Society, 2001)

#### 4.4.4. Finura

En el proceso de molienda de una pintura, la finura y grado de dispersión influye en las propiedades físicas y ópticas del recubrimiento.

Los medidores de finura sirve para determinar la finura de molienda y las partículas de mayor tamaño o bien aglomerados en el proceso de dispersión.

Los medidores de finura se emplean para el control de calidad, en los procesos de producción.

El medidor de finura es un bloque plano de acero con dos ranuras longitudinales que transcurren desde una profundidad máxima en un extremo del medidor hasta el punto cero.

La profundidad de la cuna puede leerse en la escala grabada en el lateral.

El grado de dispersión se indica en  $\mu\text{m}$  y en valores Hegman. La escala Hegman va de 0 a 8, siendo el numero mas alto de Hegman el que determine a la partícula pequeña.

#### Método de ensayo

- Colocar el objeto de medición en la parte mas profunda de la ranura de medición
- Extender contra el otro extremo con una rasqueta de canto agudo inclinada
- Colocar inmediatamente el bloque a la altura de los ojos y buscar el punto de medición en el cual se observen partículas gruesas o sus huellas. (Arveng, 2020)

0 Hegman = Tamano de grano 100  $\mu\text{m}$

4 Hegman = Tamano de grano 50  $\mu\text{m}$

8 Hegman = Tamano de grano 0  $\mu\text{m}$

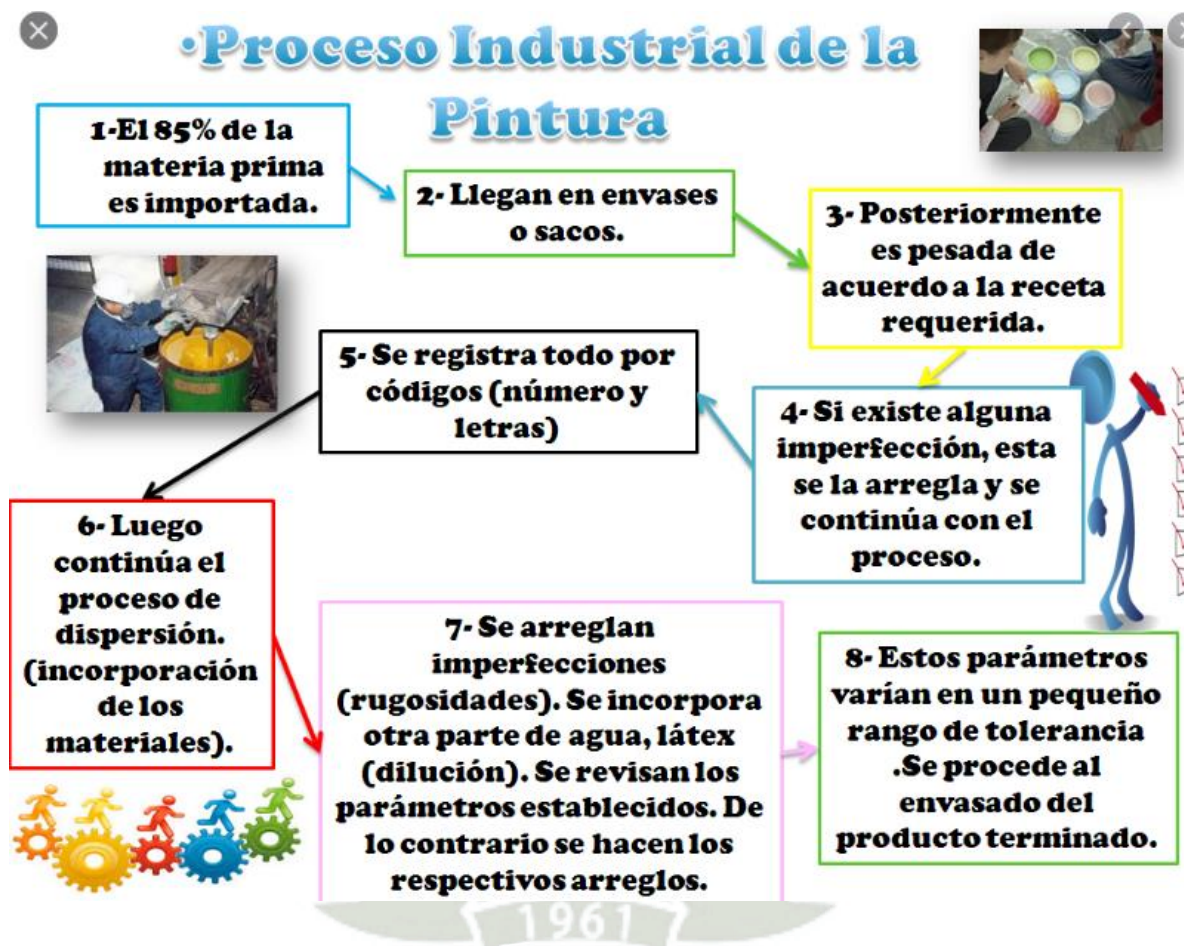


Figura 61. Proceso industrial de la pintura.

Fuente: Elaboración propia

#### 4.5. Definición de procedimientos de soldadura WPS, PQR, WPQ.

##### ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

En este documento se plasman las variables esenciales y no esenciales que involucran la soldadura, para esto es necesario la participación del inspector de soldadura, supervisor de soldadura y en última instancia, pero no en menor grado, al soldador. Una vez que contemos con el equipo humano de proceder a la selección de materiales dependiendo de la norma exigible para proceder enseguida con la calificación del procedimiento de soldadura (PQR)

Por qué desarrollar un WPS?

- Disminución del riesgo por medio de procedimientos de soldadura acertados
- Mantener las dimensiones controlando la distorsión y reducir las tensiones residuales y localizadas
- Cumplimiento de exigencias legales y de gobiernos locales
- Reducción de costos en posibles reprocesos por malos procedimientos de soldadura.
- Aumento de imagen de favorabilidad hacia su empresa por su apropiado sistema de gestión en la calidad. (Torres, 2000)

		<b>Procedimiento de Soldadura (WPS)</b> <b>ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section IX – QW200.1</b>		Departamento de Soldadura
El presente documento ha sido elaborado de acuerdo con el formato sugerido en QW-482 de ASME Sec. IX				
PS No WPS-CC-1207-1	Fecha: 03 Nov 2019	Rev. 0 Fecha . 03 Nov. 2019	Página 1 de 2	
Calificación de Procedimiento de Soldadura: PQR-CC-0107				
Características de la Unión Soldada (QW-402)				
Tipo de Junta: V Respaldo: sin respaldo Material del Respaldo: N/a	Diseño de la Unión: Y $W = 15 \text{ mm}$ , $a = 60^\circ$ , $b = 1.5 \text{ mm}$ , $c = 2 \text{ mm}$			
Metal Base (QW-403)				
	Metal Base 1		Metal Base 2	
P N° y G N°	P N° 1 -- G N° 2		P N° 1 -- G N° 2	
Especificación Tipo y Grado	ASTM A515 Gr 70		ASTM A515 Gr 70	
Dimensiones	Bisel		Filete	
Espesor de Soldadura	15 mm		N/A	
Diámetro de Tubería	254 mm		N/A	
Metal de Aporte (QW-404)				
Proceso de Soldadura	SMAW	-	-	
AWS N°	E7018	-	-	
SFA ASME N°	SFA 5.1&5.5	-	-	
F N°	4	-	-	
Diámetro	3.2 mm	-	-	
Fabricante	-	-	-	
Nombre Comercial	-	-	-	
Análisis Químico	-	-	-	
Insertos	Sin insertos	-	-	
Espesor de Pases	Máx. 4 mm	-	-	
Posiciones (QW-405)				
Posición de Bisel	Progresión de Soldadura		Posición de Filete	
2G (ver QW-203)	-		-	
Observaciones: Evitar soldadura bajo lluvia o en condiciones de humedad superiores al 80%				
Recibido por: Ing. José Chitty		Elaborado por: Carlos Correia CWI-AWS- 00110921/CIV 103462		

**Figura 62. Procedimiento de Soldadura .**

**Fuente: American Welding Society, (2001)**

#### **4.5.1. ESPECIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (PQR)**

PQR es la abreviatura de Procedure Qualification Record, que traducido al español significa “Registro de Calificación del Procedimiento”, para indicar que significa este documento, primero vamos a indicar que solo se utiliza cuando se realizan WPS que son calificados por ensayos, entonces iniciamos con lo que significa, como su nombre lo dice es un registro de calificación, es la etapa previa antes de desarrollar el procedimiento final WPS, aquí es donde proponemos las diferentes variables que se utilizan en la soldadura (material base, material de aporte, posición, diseño de junta, temperaturas de pre y post calentamiento, progresión, técnica, etc), todas estas propuestas salen del conocimiento y experiencia de o las personas que están elaborando el PQR, una vez que se tiene una exitosa soldadura visual es que se extraen probetas para que sean ensayadas en un laboratorio, el tipo y cantidad de ensayos lo define el código o norma que están utilizando, después de obtener un resultado satisfactorio de estos ensayos, es que se procede a plasmar en un documento escrito estas variables utilizadas que inicialmente eran propuestas, ahora ya se vuelven las variables de soldadura calificadas que dicho de otro manera es el Registro de Calificación del Procedimiento PQR las cuales han generado una unión de soldadura exitosa. Entonces es que con este PQR se puede proseguir a elaborar uno o varios WPSs según nuestro requerimiento. (American Institute of Steel Construction, Inc., 2020)

#### **4.5.2. ESPECIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPQ)**

Es la abreviatura de Welder Performance Qualification Record, que traducido al español significa “Registro de Calificación del Rendimiento del Soldador”, en términos simples es el documento escrito que demuestra que un soldador es calificado (conocido comúnmente como Homologado), este documento se obtiene después de que el soldador ha pasado satisfactoriamente una prueba práctica de habilidad para desarrollar un determinado WPS. (Ordoñez C., 2021)

#### **4.5.3. Definición de pruebas y ensayos no destructivos en la implementación del tanque clarificador.**

Como sentencia a la interrogante planteada se puede decir que los ensayos no destructivos (END) son herramientas fundamentales e insoslayables para el control de calidad de materiales de ingeniería, procesos de manufactura, fiabilidad de

productos en servicio y mantenimiento de sistemas. Su fundamento radica en el empleo de principios físicos o químicos de materiales para la evaluación indirecta Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile 2 de materiales sin dañar su utilidad futura; en este sentido los END se caracterizan por no modificar la fisonomía y propiedades físicas o químicas del material a inspeccionar. Los END permiten detectar indicaciones en el material, que una vez interpretadas, se infiere si son producidas por discontinuidades que pueden ser aceptadas o rechazadas según parámetros o criterios (normalizados) de aceptación y rechazo. En el caso de ser rechazada implica que la discontinuidad es defecto (falla) e inhibe un óptimo funcionamiento del equipo/máquina en el proceso productivo, mermando la fiabilidad y vida eficaz de este; y por consiguiente la productividad de la empresa. De acuerdo con lo anterior se puede decir que existe una relación sincrónica entre estos métodos de inspección y el mantenimiento preventivo predictivo, ya que permiten detectar de manera eficaz potenciales fallas con el objeto de asegurar un funcionamiento del equipo/máquina en forma continua, segura y confiable; atenuando costos de producción e inexorablemente aumentando el plus valor de la empresa. Además de usar los END para detectar y evaluar discontinuidades, estos tienen diversas aplicaciones, tales como:

- La medición de dimensiones.
- Detectar fuga y su evaluación.
- Caracterizar estructura o micro-estructura.
- Estimación de propiedades mecánicas y físicas.
- Identificar o separar materiales.
- Uniformidad en la producción.
- Eliminar materia prima defectuosa

Los clarificadores de agua son tanques de sedimentación con medios mecánicos para eliminar, de forma continua, los sólidos que se depositan mediante la sedimentación. La clarificación es la operación más antigua y ampliamente utilizada en el tratamiento efectivo de aguas residuales.

Por lo general, los clarificadores se emplean para eliminar las partículas sólidas o sólidos suspendidos de los líquidos para su clarificación o espesamiento mediante la sedimentación gravitacional. (Benavidesj, 2018)

Un sistema primario de tratamiento de aguas residuales incluye dos tipos de equipos, clarificación primaria y física, la unidad de tratamiento químico depende de los componentes. El propósito principal de un sistema clarificador es producir efluentes más limpios y eliminar los sólidos. Los clarificadores mecánicos en el proceso de lodo activado cumplen un doble propósito. Deben brindar un efluente clarificado y una fuente concentrada de lodo de retorno para llevar un control del proceso, eliminar el sedimento, la turbidez y las partículas flotantes de las aguas residuales. (Casero, 2016)

#### **4.5.4. Funciones principales**

Veamos las funciones más importantes del clarificador de agua:

- Remoción de los sólidos por sedimentación
- Remoción de espuma por flotación
- Espesar las partículas de lodo para su retiro y posterior tratamiento
- También, se emplean para almacenar temporalmente lodos durante las fluctuaciones del flujo diurnas. Sin embargo, se deben evitar períodos de almacenamiento largos. (Studylib, 2020)

##### **4.5.4.1. Principios básicos de un clarificador**

Los clarificadores son brazos que giran lentamente. Un líquido con sólidos suspendidos se vierte en el tanque clarificador. El líquido transparente desborda la parte superior del tanque y se recoge en un canal. (Interclean, 2021)

##### **4.5.4.2. Clarificadores primarios y secundarios**

El clarificador primario ralentiza el agua y remueve los sólidos que flotan en la superficie del tanque con su sistema de descremación de rastrillo. De este modo, las aguas residuales se remueven lentamente del tanque y se envían a lagunas de oxidación para el siguiente paso del proceso.

Los clarificadores más pequeños se emplean cuando el volumen de las aguas residuales entrantes excede la capacidad del clarificador más grande o durante el mantenimiento del clarificador más grande. (Torres, 2000)

#### 4.6. Definición de pruebas hidrostáticas.

La prueba de presión hidrostática se define como la aplicación de presión en el interior de un equipo o línea de tuberías fuera de operación, con el fin de verificar su resistencia y hermeticidad, teniendo en cuenta las uniones soldadas y embridados, utilizando un fluido no corrosivo, normalmente agua. (Anaya, 2016)



**Figura 63. Pruebas hidrostáticas**

**Fuente: Elaboración propia**

##### 4.6.1. ¿por qué hacer la prueba de presión?

Se ha expuesto anteriormente qué es una prueba de presión hidrostática y, además, cuándo y cómo ha de realizarse la misma, pero realmente, ¿cuál es el propósito real de la misma? Al realizar la prueba de presión hidrostática se somete el material a unas condiciones extraordinarias, mucho más exigentes que aquellas que se encontrarán durante el funcionamiento normal para el que el equipo o línea ha sido diseñado, así pues, se entiende que si el valor de presión interna se mantiene constante durante la prueba, y tras la inspección visual se constata que no existen fugas ni deformaciones permanentes, el equipo o línea ha sido diseñado y fabricado de acuerdo a los criterios requeridos y por lo tanto, puede ser considerado seguro. (Málaga, 2017)

##### 4.6.2. ¿Qué es la prueba de presión hidrostática?

La prueba de presión hidrostática se define como la aplicación de presión en el interior de un equipo o línea de tuberías fuera de operación, con el fin de verificar

su resistencia y hermeticidad, teniendo en cuenta las uniones soldadas y embreados, utilizando un fluido no corrosivo, normalmente agua. (Studylib, 2020)

#### **4.6.3. ¿Cuándo y cómo hacer una prueba hidráulica?**

El marco legal europeo aplicable es la Directiva de equipos a presión "2014/68/UE", donde se indica la necesidad de realizar esta prueba en todo equipo o línea de tuberías de fabricación nueva, ya sea en las instalaciones del fabricante o en las del propietario y/o usuario cuando se trata de líneas que se terminan de instalar en campo. Adicionalmente, la prueba de presión hidrostática también es necesaria cuando se realizan reparaciones o modificaciones en equipos o líneas puestas en servicio con anterioridad. Normalmente, un equipo que haya sido probado en los talleres del fabricante no necesita ser probado nuevamente después de su instalación, a menos que sea requerido por algunas de las partes interesadas o si existe alguna sospecha de que el equipo haya sufrido algún daño durante el transporte. Los códigos de diseño de los equipos y líneas de tuberías establecen cuáles son las condiciones físicas que deben darse antes, durante y después de la realización de la prueba de presión hidrostática, con el fin de garantizar unos resultados fiables. Estas condiciones hacen referencia a la presión de prueba, temperatura ambiente y del fluido, así como las características intrínsecas del material. (American Welding Society, 2001)

#### **4.6.4. ¿Por qué hacer la prueba de presión?**

Se ha expuesto anteriormente qué es una prueba de presión hidrostática y, además, cuándo y cómo ha de realizarse la misma, pero realmente, ¿cuál es el propósito real de la misma?

Al realizar la prueba de presión hidrostática se somete el material a unas condiciones extraordinarias, mucho más exigentes que aquellas que se encontrarán durante el funcionamiento normal para el que el equipo o línea ha sido diseñado, así pues, se entiende que si el valor de presión interna se mantiene constante durante la prueba, y tras la inspección visual se constata que no existen fugas ni deformaciones permanentes, el equipo o línea ha sido diseñado y fabricado de acuerdo a los criterios requeridos y por lo tanto, puede ser considerado seguro. (Studylib, 2020)

#### 4.7. Controles de calidad con ultrasonido en planchas seleccionadas.

El método de inspección por ultrasonido tiene su génesis a comienzos de 1930 en Alemania, donde Mulhauser, Trost y Pohlman llegaron a la conclusión de que el ultrasonido se puede utilizar para la realización de ensayos no destructivos; en un principio se basaron en la interceptación de la energía ultrasónica por discontinuidades durante el paso de un haz ultrasónico. Inherente al desarrollo de la técnica y la ciencia, estos equipos ultrasónicos evolucionaron para responder a los nuevos desafíos de la industria, en específico al control de calidad de materiales, como inspección para detectar discontinuidades en forjas internas para rotores de motores en la industria aeronáutica y medición de espesores.

Es así como teóricos de la universidad de Míchigan junto a entes privados investigaron los mecanismos de transductores, el uso de ondas transversales, la aplicación de las ondas superficiales o de Rayleigh, el dispositivo de Raybender para la inspección con haz angular con variación de ángulo y otros más; con el objeto de buscar nuevas funcionalidades y potenciar las existentes.

Hoy en día el método de inspección por ultrasonido se ha masificado y es una técnica utilizada a gran escala en la industria debido a factores que en primer instancia explican el grado ascensional de éste; entre los factores que inciden tenemos:

- Alta velocidad en la aplicación de sistemas automatizados de inspección.
- Instrumento mejorado para obtener gran resolución en la detección de fallas.
- Una mejor presentación de datos.
- Interpretación simple de resultados.
- Estudio avanzado de los cambios finos de las condiciones metalúrgicas.
- Análisis de los fenómenos acústicos involucrados. (Studylib, 2020)

##### 4.7.1. Inspección por Ultrasonido

La inspección mediante la técnica de ultrasonido tiene su fundamento en la siguiente premisa: El ultrasonido se transmite y se propaga dentro de una pieza hasta que es reflejado; el ultrasonido reflejado regresa a un receptor proporcionándole información acerca de su recorrido; la información

proporcionada se basa en la cantidad de energía reflejada del ultrasonido y en la distancia recorrida por el ultrasonido.

#### Componentes Básicos de una Inspección

Para una inspección por ultrasonido donde se requiere determinar espesores o discontinuidades es necesario el uso de un sistema de inspección ultrasónica que consiste de los componentes básicos siguientes:

- Un generador de la señal eléctrica, un instrumento ultrasónico.
- Un conductor de la señal eléctrica, un cable coaxial. • El accesorio que convierte la señal eléctrica en mecánica y/o viceversa, un transductor ultrasónico.
- Un medio para transferir la energía acústica a la pieza y viceversa, el acoplante acústico.
- La pieza inspeccionada. (Sánchez, 2022)



**Figura 64. Ultrasonido**

**Fuente: Elaboración propia**

#### 4.7.2. Aplicaciones, ventajas y desventajas del ultrasonido

El hecho de que la inspección ultrasónica se base en un fenómeno mecánico, permite adaptarse para determinar la estructura de los materiales de ingeniería de manera íntegra; se utiliza en el control de calidad e inspección de materiales en diferentes áreas de la industria

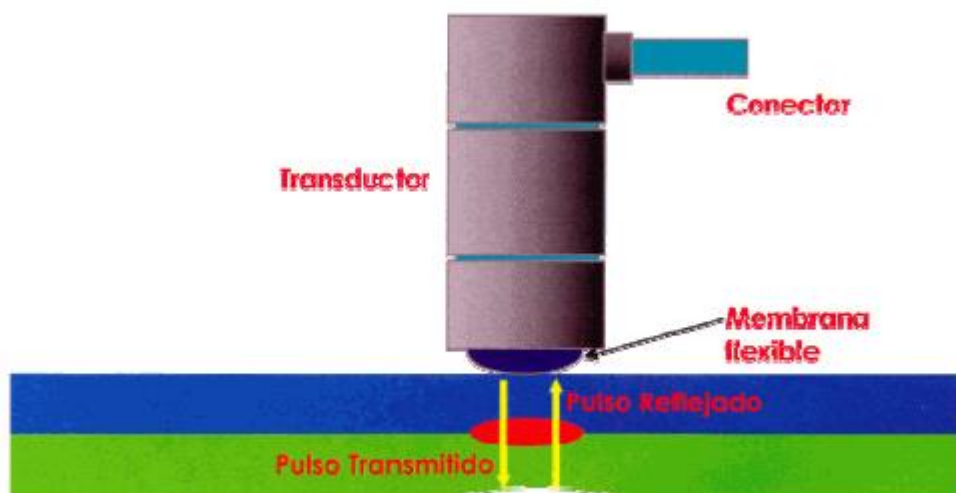
Entre sus aplicaciones más importantes tenemos:

- Detección y caracterización de discontinuidades.

- Medición de espesores, extensión y grado de corrosión.
- Determinación de características físicas, tales como: estructura metalúrgica, tamaño del grano y constantes elásticas.
- Definir características de enlace (uniones).
- Evaluación de la influencia de variables de proceso en el material. (Arveng, 2020)

#### 4.7.3. Inspección por ultrasonido

La inspección por ultrasonido es un método no destructivo en el cual un haz o un conjunto de ondas de alta frecuencia son introducidos en los materiales para la detección de fallas en la superficie y sub-superficie. Las ondas de sonido viajan a través del material disminuyéndose paulatinamente y son reflejadas a la interface. El haz reflejado es mostrado y analizado para definir la presencia y localización de fallas y discontinuidades. El grado de reflexión depende grandemente en el estado físico de los materiales que forman la interface. Por ejemplo: las ondas de sonido son reflejadas casi totalmente en las interfaces gas/metal. Por otro lado existe una reflectividad parcial en las interfaces metal/sólido. Grietas, laminaciones, poros, socavados y otras discontinuidades que producen interfaces reflectivas pueden ser detectadas fácilmente. Inclusiones y otras partículas extrañas pueden ser también detectadas causando baja reflexión. (Anaya, 2016)



**Figura 65.**Imagen que muestra un esquema general del proceso

**Fuente:** Elaboración propia

La mayoría de los instrumentos de inspección ultrasónica detectan fallas monitoreando uno más de los siguientes puntos:

- La reflexión del sonido de las interfaces consistentes en los límites del material o en discontinuidades dentro del material mismo.
- El tiempo de tránsito de la onda de sonido durante la prueba dentro de la pieza desde el punto de entrada del transductor hasta el punto de salida.
- La atenuación de las ondas de sonido en la pieza debido a la absorción y dispersión dentro de la pieza.

La mayoría de las inspecciones ultrasónicas son realizadas en frecuencias entre 0.1 y 25 MHz. Las ondas de ultrasonido son vibraciones mecánicas, las amplitudes de las vibraciones producen esfuerzos en las piezas por debajo de su límite elástico, de esta manera los materiales no producirán deformaciones plásticas. La inspección ultrasónica es el método no destructivo más comúnmente utilizado. Su principal aplicación es la detección de discontinuidades y defectos internos, aunque también es utilizado para detectar defectos superficiales, para definir características de la superficie tales como: medida de corrosión y espesor. Y con frecuencias menores se sirve para determinar el tamaño de grano, estructura, y constantes elásticas. (Viza, 2020)

#### **4.7.4. Características generales de las ondas ultrasónicas**

Las ondas ultrasónicas son ondas mecánicas (en contraste por ejemplo con los rayos X que son ondas electromagnéticas) que consisten en vibraciones oscilatorias de partículas atómicas o moleculares de una sustancia. Las ondas de ultrasonido se comportan igual que las ondas de sonido audible. Se pueden propagar a través de un medio elástico, ya sea sólido, líquido o gaseoso, pero no al vacío. En varios aspectos, un haz de ultrasonido es similar a un haz de luz, ambos son ondas y obedecen a la ecuación general de ondas. Cada onda viaja con características diferentes las cuales dependen del medio en el que se propaguen no de las características de la onda. Como un haz de luz, un haz de ultrasonido es reflejado de las superficies, refractado cuando cruza las fronteras entre dos sustancias que tienen diferentes características de velocidades y difractados en los bordes o alrededor de los obstáculos. (Viza, 2020)

#### 4.7.5. Métodos de transmisión

En este tipo de método la transmisión de es realizada por haz directo o reflectivo, las fallas son detectadas comparando la intensidad del ultrasonido transmitido a través de la pieza contra la intensidad transmitida a través de una referencia estándar fabricada del mismo material. Las pruebas de transmisión requieren de dos unidades de búsqueda, una para transmitir las ondas ultrasónicas y otra para recibirlas. Un buen acoplamiento es crítico para los métodos de transmisión debido a las variaciones de sonido durante la transmisión. (Torres, 2000)



## CAPÍTULO V:

### 5. EVALUACIÓN ECONÓMICA:

#### 5.1. Movilización y desmovilización de equipos, herramientas y personal.

La unidad a considerar es global, aunque debe considerarse los costos de llevar a obra los equipos, herramientas y facilidades para personal en obra, como container de oficina tecnica, almacen temporal y comedor.

#### 5.2. Facilidades temporales.

La unidad a considerar es global, considera el alquiler de container de oficina tecnica, almacen temporal y comedor, se debe incluir los mobiliarios como escritorios, mesas, sillas, anaqueles etc. Estan incluidos en esta partida las PC o laptop para el personal clave de liderazgo, las impresoras

#### 5.3. Trazo y Replanteo.

La unidad a considerar es global, considera los trazos y toma de medidas en campo para asegurar el correcto montaje de equipos y componenets que conforman el clarificador. Considera el equipo topografico si fuera necesario a criterio del montajista. Se debe tener en cuenta que esta partida es de soporte para la instalacion de tal manera que asegure las medidas requeridas en el dossier de calidad del montaje.

#### 5.4. Seguridad y Medio Ambiente

La unidad a considerar es global, considera los recursos necesarios en temas de seguridad y medio ambiente para la ejecucion de la obra, como son, los letreros, formatos, material de difusion de campañas de seguridad y medio ambiente.

#### 5.5. Fabricación y montaje de columnas

La unidad a considerar es USD/Kg, considera los costos unitarios por materiales, mano de obra y equipos para la fabricacion y montaje de columnas que soportan la parte estructural del tanque clarificador. Estas deben ser montadas dentro de los parametros especificados como parte del control de calidad del proyecto. Para las fabricaciones es importante considerar los parametros de control de calidad de la soldadura, control de espesores de pintura y control dimensional.

### **5.6. Fabricacion y montaje de vigas**

La unidad a considerar es USD/Kg, considera los costos unitarios por materiales, mano de obra y equipos para la fabricacion y montaje de vigas que soportan la parte estructural del tanque clarificador. Estas deben ser montadas dentro de los parametros especificados como parte del control de calidad del proyecto. Para las fabricaciones es importante considerar los parametros de control de calidad de la soldadura, control de espesores de pintura y control dimensional.

### **5.7. Fabricacion y montaje de tanque clarificador**

La unidad a considerar es USD/Kg, considera los costos unitarios por materiales, mano de obra y equipos para la fabricacion y montaje de planchas estructurales del tanque clarificador. Estas deben ser montadas dentro de los parametros especificados como parte del control de calidad del proyecto. Para las fabricaciones es importante considerar los parametros de control de calidad de la soldadura, control de espesores de pintura y control dimensional.

### **5.8. Fabricacion y montaje de Pasarela superior**

La unidad a considerar es USD/Kg, considera los costos unitarios por materiales, mano de obra y equipos para la fabricacion y montaje de estructura soporte y pasarela, considera el puente central del tanque clarificador. Estas deben ser montadas dentro de los parametros especificados como parte del control de calidad del proyecto. Para las fabricaciones es importante considerar los parametros de control de calidad de la soldadura, control de espesores de pintura y control dimensional.

### **5.9. Suministro y montaje de Sistema motriz**

La unidad a considerar es global, considera los costos por equipo motriz y su montaje en el puente central del clarificador, se debe considerar la instalacion electrica de poder y control, ademas comisionamiento mecanico, electrico e instrumental. Importante tambien es considerar la nivelacion topografica del sistema motriz.

**5.10. Obras Preliminares y Temporales**

**5.10.1. Movilización y desmovilización de equipos, herramientas y personal.**

**Tabla 18**

*Movilización y desmovilización de equipos, herramientas y personal.*

Presupuesto	<b>2802002</b>	<b>Abel Amado</b>					
Sub presupuesto	<b>020</b>	<b>Tanque Clarificador</b>				Fecha presupuesto	<b>5/07/2022</b>
Partida	<b>01.01.01</b>	<b>MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y PERSONAL.</b>					
Rendimiento	<b>glb/DIA</b>	<b>0.1667</b>	<b>EQ.</b>	<b>0.1667</b>	Costo unitario directo por: glb	<b>21,103.180</b>	
<b>Código</b>	<b>Descripción Recurso</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
<b>Mano de Obra</b>							
0101010010	CAPATAZ MECANICO - CAMPO	hh	0.2000	9.5981	25.000	239.953	
0101010011	PEON MECANICO - CAMPO	hh	3.0000	143.9712	14.375	2,069.586	
						<b>2,309.539</b>	
<b>Equipos</b>							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		10.0000	2,309.539	230.954	
03012200030005	CAMIONETA PICK UP 1ton.	hm	1.0000	47.9904	30.000	1,439.712	
0301220006	CAMION GRUA	hm	1.0000	47.9904	190.000	9,118.176	
0301220017	CAMION PLATAFORMA 30TN	hm	1.0000	47.9904	166.800	8,004.799	
						<b>18,793.641</b>	

**Fuente: Elaboración propia**

5.10.2. Facilidades temporales.

Tabla 19

*Facilidades temporales*

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Equipos</b>						
03011600020010	GRUPO ELECTROGENO DE 50KW	mes		1.0000	1,150.000	1,150.000
03013500010002	CONTENEDOR DE OFICINAS	mes		1.0000	600.000	600.000
03013500010017	CONTENEDOR DE ALMACENES	mes		1.0000	500.000	500.000
03013500010018	CONTENEDOR DE COMEDOR	mes		1.0000	550.000	550.000
0305010010	BAÑOS QUIMICOS	mes		3.0000	450.000	1,350.000
						<b>4,150.000</b>

**Fuente: Elaboración propia**

5.10.3. Trazo y replanteo.

Tabla 20

Trazo y replanteo

Partida	01.01.03		TRAZO Y REPLANTEO				
Rendimiento	glb/DIA	0.5000	EQ. 0.5000		Costo unitario directo por: glb	1,558.340	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	<b>Mano de Obra</b>						
01010200010015	OFICIAL MECANICO - CAMPO	hh	1.0000	16.0000	16.675	266.800	
0101030000	TOPOGRAFO	hh	1.0000	16.0000	26.000	416.000	
0103010013	INGENIERO MECANICO	hh	0.5000	8.0000	43.500	348.000	
						<b>1,030.800</b>	
	<b>Equipos</b>						
0301000020	ESTACION TOTAL	hm	1.0000	16.0000	23.000	368.000	
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	1,030.800	51.540	
0301490003	COMPUTADORA PERSONAL	hm	1.5000	24.0000	4.500	108.000	
						<b>527.540</b>	

Fuente: Elaboración propia

5.10.4. Seguridad y Medio Ambiente.

Tabla 21

*Seguridad y Medio Ambiente*

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Equipos</b>						
0301460011	EPP DE EMPLEADOS	h	8.0000	1,921.9219	1.000	1,921.922
0301460012	EPP DE MECANICOS	h	14.0000	3,363.3634	1.500	5,045.045
0301460013	EPP DE SOLDADORES	h	2.0000	480.4805	2.000	960.961
						<b>7,927.928</b>

Fuente: Elaboración propia

5.11. Tanque Clarificador

5.11.1. Fabricación y montaje de columna.

Tabla 22

*Fabricación y montaje de columna*

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
0101010007	CAPATAZ MECANICO	hh	1.0000	0.0053	19.000	0.101
0101010008	OPERARIO MECANICO	hh	4.0000	0.0212	17.000	0.360
0101010009	PEON MECANICO	hh	4.0000	0.0212	12.000	0.254
01010200010002	SOLDADOR 3G	hh	4.0000	0.0212	16.000	0.339
01010200010009	OFICIAL MECANICO	hh	8.0000	0.0423	15.000	0.635
						<b>1.689</b>
<b>Materiales</b>						
02030300010023	TRANSPORTE DE MATERIALES LIMA-AQP	kg		1.4600	0.250	0.365
02040600010017	ACERO A-36	kg		1.4600	5.750	8.395
0255010001	Acetileno 10 kg	BLN		0.0002	200.000	0.040
0255060006	OXIGENO INDUSTRIAL (BOTELLA DE 10 m3)	bal		0.0007	150.000	0.105

02550800010006	SOLDADURA E6011 DE 1/8"	kg		0.0150	17.500	0.263
02550800030003	SOLDADURA E7018 DE 1/8"	kg		0.0150	15.000	0.225
0276020079	DISCO DE CORTE DE 1/8" X 7/8" X 7"	und		0.0033	7.500	0.025
0276020080	DISCO DE DESBASTE DE 1/4" X 7/8" X 7"	und		0.0033	9.500	0.031
						<b>9.449</b>

**Equipos**

0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	1.689	0.084
03011400070013	TALADRO MAGNETICO	hm	1.0000	0.0053	6.500	0.034
03012100010004	PUENTE GRUA 20TN	hm	0.5000	0.0026	45.000	0.117
03012700010004	MAQUINA DE SOLDAR ELECT. TRIF. ALT/CONT. 350 AMP.	hm	4.0000	0.0212	3.500	0.074
03013300050007	ESMERIL MANUAL BOSCH P/DISCO DE 7"	hm	6.0000	0.0317	2.500	0.079
0301330008	EQUIPO DE OXICORTE (INC. ACCESORIOS, MANGUERA, Y MANOMETROS)	hm	2.0000	0.0106	2.000	0.021
						<b>0.409</b>

**Subpartidas**

M.O.

010119020916	Pintado de estructuras metalicas a 6 mils	m2	1.0000	0.0270	27.630	0.746
011101010500	Granallado de estructuras metalicas SP6	m2	1.0000	0.0270	11.326	0.306
						<b>1.052</b>

Partida

**01.02.01.02**

**Montaje de Columnas**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
0101010010	CAPATAZ MECANICO - CAMPO	hh	1.0000	0.0029	25.000	0.073
0101010011	PEON MECANICO - CAMPO	hh	4.0000	0.0118	25.000	1.180
0101010012	OPERARIO MECANICO - CAMPO	hh	4.0000	0.0118	28.000	1.322
01010200010015	OFICIAL MECANICO - CAMPO	hh	6.0000	0.0176	20.000	2.112
01010200010016	SOLDADOR 3G - CAMPO	hh	2.0000	0.0059	20.000	0.236
						<b>4.922</b>
<b>Materiales</b>						
0271050151	PERNERIA	kg		0.0300	16.250	0.488
0276020079	DISCO DE CORTE DE 1/8" X 7/8" X 7"	und		0.0020	7.500	0.015
0276020080	DISCO DE DESBASTE DE 1/4" X 7/8" X 7"	und		0.0020	9.500	0.019
						<b>0.522</b>
<b>Equipos</b>						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	0.895	0.045
03011400070013	TALADRO MAGNETICO	hm	1.0000	0.0029	6.500	0.019
0301220018	CAMION HIAB 10TN	hm	1.0000	0.0029	160.000	0.464
0301250001	GRUPO ELECTROGENO	hm	0.5000	0.0015	65.000	0.098
03012700010004	MAQUINA DE SOLDAR ELECT. TRIF. ALT/CONT. 350 AMP.	hm	1.0000	0.0029	3.500	0.010

03013300050007	ESMERIL MANUAL BOSCH P/DISCO DE 7"	hm	1.0000	0.0029	2.500	0.007
03013400010014	TORQUIMETRO DE GOLPE 200-1000 LB-PIE	hm	1.0000	0.0029	1.400	0.004
						<b>0.647</b>



Partida	01.02.02.01		Fabricación de Vigas			
Rendimiento	kg/DIA	840.0000	EQ. 840.0000	Costo unitario directo por : kg		12.599
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
0101010007	CAPATAZ MECANICO	hh	1.0000	0.0053	19.000	0.101
0101010008	OPERARIO MECANICO	hh	4.0000	0.0212	17.000	0.360
0101010009	PEON MECANICO	hh	4.0000	0.0212	12.000	0.254
01010200010002	SOLDADOR 3G	hh	4.0000	0.0212	16.000	0.339
01010200010009	OFICIAL MECANICO	hh	8.0000	0.0423	15.000	0.635
						<b>1.689</b>
<b>Materiales</b>						
02030300010023	TRANSPORTE DE MATERIALES LIMA-AQP	kg		1.4600	0.250	0.365
02040600010017	ACERO A-285	kg		1.4600	5.750	8.395
0255010001	Acetileno 10 kg	BLN		0.0002	200.000	0.040
0255060006	OXIGENO INDUSTRIAL (BOTELLA DE 10 m3)	bal		0.0007	150.000	0.105
02550800010006	SOLDADURA E6011 DE 1/8"	kg		0.0150	17.500	0.263
02550800030003	SOLDADURA E7018 DE 1/8"	kg		0.0150	15.000	0.225
0276020079	DISCO DE CORTE DE 1/8" X 7/8" X 7"	und		0.0033	7.500	0.025
0276020080	DISCO DE DESBASTE DE 1/4" X 7/8" X 7"	und		0.0033	9.500	0.031

							<b>9.449</b>
<b>Equipos</b>							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	% mo		5.0000	1.689	0.084	
03011400070013	TALADRO MAGNETICO	hm		1.0000	6.500	0.034	
03012100010004	PUENTE GRUA 20TN	hm		0.5000	45.000	0.117	
03012700010004	MAQUINA DE SOLDAR ELECT. TRIF. ALT/CONT. 350 AMP.	hm		4.0000	3.500	0.074	
03013300050007	ESMERIL MANUAL BOSCH P/DISCO DE 7"	hm		6.0000	2.500	0.079	
0301330008	EQUIPO DE OXICORTE (INC. ACCESORIOS, MANGUERA, Y MANOMETROS)	hm		2.0000	2.000	0.021	
							<b>0.409</b>
<b>Subpartidas</b>			<b>M.O.</b>				
010119020916	Pintado de estructuras metalicas a 6 mils	m2		1.0000	27.630	0.746	
011101010500	Granallado de estructuras metalicas SP6	m2		1.0000	11.326	0.306	
							<b>1.052</b>

**Partida**

**01.02.02.02**

**Montaje de Vigas**

<b>Rendimiento</b>	<b>kg/DIA</b>	<b>979.2000</b>	<b>E Q.</b>	<b>979.200</b>	<b>Costo unitario directo por</b>	<b>8.181</b>
				<b>0</b>	<b>: kg</b>	
<b>Código</b>	<b>Descripción Recurso</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadril la</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>
<b>Mano de Obra</b>						
0101010010	CAPATAZ MECANICO - CAMPO	hh	1.0000	0.0029	25.000	0.073
0101010011	PEON MECANICO - CAMPO	hh	4.0000	0.0118	25.000	1.180
0101010012	OPERARIO MECANICO - CAMPO	hh	4.0000	0.0118	28.000	1.322
01010200010 015	OFICIAL MECANICO - CAMPO	hh	6.0000	0.0176	20.000	2.112
01010200010 016	SOLDADOR 3G - CAMPO	hh	2.0000	0.0059	20.000	0.236
						<b>4.922</b>
<b>Materiales</b>						

0271050151	PERNERIA		kg		0.0300	16.250	0.488
0276020079	DISCO DE CORTE DE 1/8" X 7/8" X 7"		und		0.0020	7.500	0.015
0276020080	DISCO DE DESBASTE DE 1/4" X 7/8" X 7"		und		0.0020	9.500	0.019
							<b>0.522</b>
<b>Equipos</b>							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES		% m o		5.0000	0.895	0.045
03011400070 013	TALADRO MAGNETICO		h m	1.0000	0.0029	6.500	0.019
0301220018	CAMION HIAB 10TN		h m	1.0000	0.0029	160.000	0.464
0301250001	GRUPO ELECTROGENO		h m	0.5000	0.0015	65.000	0.098
03012700010 004	MAQUINA DE SOLDAR ELECT. TRIF. ALT/CONT. 350 AMP.		h m	1.0000	0.0029	3.500	0.010
03013300050 007	ESMERIL MANUAL BOSCH P/DISCO DE 7"		h m	1.0000	0.0029	2.500	0.007

03013400010	TORQUIMETRO DE GOLPE 200-1000 LB-PIE	h m	1.0000	0.0029	1.400	0.004
014						
						<b>0.647</b>
03013300050	ESMERIL MANUAL BOSCH P/DISCO DE 7"	h m	2.0000	0.0163	2.500	0.041
007						
03013400010	ANDAMIOS METALICOS	día	2.0000	0.0020	17.500	0.035
009						
03013400010	TORQUIMETRO DE GOLPE 200-1000 LB-PIE	h m	1.0000	0.0082	1.400	0.011
014						
						<b>2.090</b>

**Fuente: Elaboración propia**

**5.11.2. Fabricación y montaje de Tanque Clarificador.**

**Tabla 23**

*Fabricación y montaje de Tanque Clarificador*

Partida	01.02.03.01	Fabricación de Tanque Clarificador				
Rendimiento	kg/DIA	480.0000	EQ. 480.0000	Costo unitario directo por		12.656
				: kg		

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
0101010007	CAPATAZ MECANICO	hh	0.2000	0.0033	19.000	0.063
0101010008	OPERARIO MECANICO	hh	2.0000	0.0333	17.000	0.566
0101010009	PEON MECANICO	hh	4.0000	0.0667	12.000	0.800
010102000100 02	SOLDADOR 3G	hh	2.0000	0.0333	16.000	0.533
010102000100 09	OFICIAL MECANICO	hh	4.0000	0.0667	15.000	1.001
						<b>2.963</b>
<b>Materiales</b>						
020303000100 23	TRANSPORTE DE MATERIALES LIMA-AQP	kg		1.0500	0.250	0.263
020406000100 72	ACERO A-36 (Correas)	kg		1.0500	5.750	6.038
025508000100 06	SOLDADURA E6011 DE 1/8"	kg		0.0100	17.500	0.175
025508000300 03	SOLDADURA E7018 DE 1/8"	kg		0.0100	15.000	0.150
0276020079	DISCO DE CORTE DE 1/8" X 7/8" X 7"	und		0.0020	7.500	0.015
0276020080	DISCO DE DESBASTE DE 1/4" X 7/8" X 7"	und		0.0020	9.500	0.019
						<b>6.659</b>
<b>Equipos</b>						

0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	2.963	0.148
030114000700 13	TALADRO MAGNETICO	hm	0.5000	0.0083	6.500	0.054
030121000100 04	PUENTE GRUA 20TN	hm	0.2000	0.0033	45.000	0.149
030127000100 04	MAQUINA DE SOLDAR ELECT. TRIF. ALT/CONT. 350 AMP.	hm	2.0000	0.0333	3.500	0.117
030133000500 07	ESMERIL MANUAL BOSCH P/DISCO DE 7"	h m	2.0000	0.0333	2.500	0.083
0301330008	EQUIPO DE OXICORTE (INC. ACCESORIOS, MANGUERA, Y MANOMETROS)	hm	1.0000	0.0167	2.000	0.033
						<b>0.584</b>

**Subpartidas**

011101010500	Granallado de estructuras metalicas SP6	m2		0.0629	11.326	0.712
010119020916	Pintado de estructuras metalicas a 6 mils	m2		0.0629	27.630	1.738
						<b>2.450</b>

Partida **01.02.03.02** **Montaje de Tanque Clarificador**

Rendimiento **kg/DIA** **979.2000** EQ. **979.2000** Costo unitario directo por : kg **7.059**

<b>Código</b>	<b>Descripción Recurso</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>
<b>Mano de Obra</b>						
0101010010	CAPATAZ MECANICO - CAMPO	hh	1.0000	0.0029	25.000	0.073

0101010011	PEON MECANICO - CAMPO	hh	4.0000	0.0118	25.000	1.180
0101010012	OPERARIO MECANICO - CAMPO	hh	4.0000	0.0118	28.000	1.322
01010200010015	OFICIAL MECANICO - CAMPO	hh	6.0000	0.0176	20.000	2.112
01010200010016	SOLDADOR 3G - CAMPO	hh	2.0000	0.0059	20.000	0.236
						<b>4.922</b>
<b>Materiales</b>						
0271050151	PERNERIA	kg		0.0300	16.250	0.488
0276020079	DISCO DE CORTE DE 1/8" X 7/8" X 7"	und		0.0020	7.500	0.015
0276020080	DISCO DE DESBASTE DE 1/4" X 7/8" X 7"	und		0.0020	9.500	0.019
						<b>0.522</b>
<b>Equipos</b>						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	0.895	0.045
03011400070013	TALADRO MAGNETICO	hm	1.0000	0.0029	6.500	0.019
0301220018	CAMION HIAB 10TN	hm	1.0000	0.0029	160.000	0.464
0301250001	GRUPO ELECTROGENO	hm	0.5000	0.0015	65.000	0.098
03012700010004	MAQUINA DE SOLDAR ELECT. TRIF. ALT/CONT. 350 AMP.	hm	1.0000	0.0029	3.500	0.010
03013300050007	ESMERIL MANUAL BOSCH P/DISCO DE 7"	hm	1.0000	0.0029	2.500	0.007
03013400010014	TORQUIMETRO DE GOLPE 200-1000 LB-PIE	hm	1.0000	0.0029	1.400	0.004
						<b>0.647</b>
03013300050007	ESMERIL MANUAL BOSCH P/DISCO DE 7"	hm	2.0000	0.0163	2.500	0.082
03013400010009	ANDAMIOS METALICOS	día	25.0000	0.0020	17.500	0.875
03013400010014	TORQUIMETRO DE GOLPE 200-1000 LB-PIE	hm	1.0000	0.0082	1.400	0.011

**Fuente: Elaboración propia**



5.11.3. Fabricación y montaje de Pasarela Superior.

Tabla 24

*Fabricación y montaje de Pasarela Superior*

Partida	01.02.02.01		Fabricación de Estructuras superiores			
Rendimiento	kg/DIA	840.0000	EQ. 840.0000	Costo unitario directo por : kg		12.599
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
0101010007	CAPATAZ MECANICO	hh	1.0000	0.0053	19.000	0.101
0101010008	OPERARIO MECANICO	hh	4.0000	0.0212	17.000	0.360
0101010009	PEON MECANICO	hh	4.0000	0.0212	12.000	0.254
01010200010002	SOLDADOR 3G	hh	4.0000	0.0212	16.000	0.339
01010200010009	OFICIAL MECANICO	hh	8.0000	0.0423	15.000	0.635
						<b>1.689</b>
<b>Materiales</b>						
02030300010023	TRANSPORTE DE MATERIALES LIMA-AQP	kg		1.4600	0.250	0.365
02040600010017	ACERO A-285	kg		1.4600	5.750	8.395
0255010001	Acetileno 10 kg	BLN		0.0002	200.000	0.040
0255060006	OXIGENO INDUSTRIAL (BOTELLA DE 10 m3)	bal		0.0007	150.000	0.105
02550800010006	SOLDADURA E6011 DE 1/8"	kg		0.0150	17.500	0.263

02550800030003	SOLDADURA E7018 DE 1/8"	kg		0.0150	15.000	0.225
0276020079	DISCO DE CORTE DE 1/8" X 7/8" X 7"	und		0.0033	7.500	0.025
0276020080	DISCO DE DESBASTE DE 1/4" X 7/8" X 7"	und		0.0033	9.500	0.031
						<b>9.449</b>

**Equipos**

0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	1.689	0.084
03011400070013	TALADRO MAGNETICO	hm	1.0000	0.0053	6.500	0.034
03012100010004	PUENTE GRUA 20TN	hm	0.5000	0.0026	45.000	0.117
03012700010004	MAQUINA DE SOLDAR ELECT. TRIF. ALT/CONT. 350 AMP.	hm	4.0000	0.0212	3.500	0.074
03013300050007	ESMERIL MANUAL BOSCH P/DISCO DE 7"	hm	6.0000	0.0317	2.500	0.079
0301330008	EQUIPO DE OXICORTE (INC. ACCESORIOS, MANGUERA, Y MANOMETROS)	hm	2.0000	0.0106	2.000	0.021
						<b>0.409</b>

**Subpartidas**

M.O.

010119020916	Pintado de estructuras metalicas a 6 mils	m2	1.0000	0.0270	27.630	0.746
011101010500	Granallado de estructuras metalicas SP6	m2	1.0000	0.0270	11.326	0.306
						<b>1.052</b>

Partida

**01.02.02.02**

**Montaje de Estructuras Superiores**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
0101010010	CAPATAZ MECANICO - CAMPO	hh	1.0000	0.0029	25.000	0.073
0101010011	PEON MECANICO - CAMPO	hh	4.0000	0.0118	25.000	1.180
0101010012	OPERARIO MECANICO - CAMPO	hh	4.0000	0.0118	28.000	1.322
01010200010015	OFICIAL MECANICO - CAMPO	hh	6.0000	0.0176	20.000	2.112
01010200010016	SOLDADOR 3G - CAMPO	hh	2.0000	0.0059	20.000	0.236
						<b>4.922</b>
<b>Materiales</b>						
0271050151	PERNERIA	kg		0.0300	16.250	0.488
0276020079	DISCO DE CORTE DE 1/8" X 7/8" X 7"	und		0.0020	7.500	0.015
0276020080	DISCO DE DESBASTE DE 1/4" X 7/8" X 7"	und		0.0020	9.500	0.019
						<b>0.522</b>
<b>Equipos</b>						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	0.895	0.045
03011400070013	TALADRO MAGNETICO	hm	1.0000	0.0029	6.500	0.019
0301220018	CAMION HIAB 10TN	hm	1.0000	0.0029	160.000	0.464
0301250001	GRUPO ELECTROGENO	hm	0.5000	0.0015	65.000	0.098

03012700010004	MAQUINA DE SOLDAR ELECT. TRIF. ALT/CONT. 350 AMP.	hm	1.0000	0.0029	3.500	0.010
03013300050007	ESMERIL MANUAL BOSCH P/DISCO DE 7"	hm	1.0000	0.0029	2.500	0.007
03013400010014	TORQUIMETRO DE GOLPE 200-1000 LB-PIE	hm	1.0000	0.0029	1.400	0.004
						<b>0.647</b>
03013300050007	ESMERIL MANUAL BOSCH P/DISCO DE 7"	hm	2.0000	0.0163	2.500	0.041
03013400010009	ANDAMIOS METALICOS	día	2.0000	0.0020	17.500	0.035
03013400010014	TORQUIMETRO DE GOLPE 200-1000 LB-PIE	hm	1.0000	0.0082	1.400	0.011
						<b>2.090</b>

**Fuente: Elaboración propia**

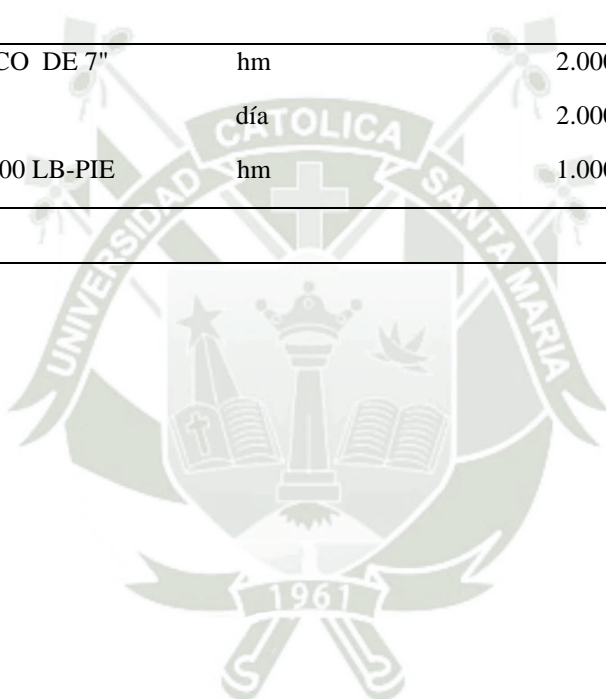


Tabla 25

Resumen del Presupuesto

ITEM	DESCRIPCION	UND	CANT NETA	P.U. S/.	TOTAL S/.	TOTAL S/.
<b>01</b>	<b>FABRICACIÓN Y MONTAJE DE TANQUE CLARIFICADOR</b>					
<b>01.01</b>	<b>OBRAS PRELIMINARES Y TEMPORALES</b>					<b>34,739.45</b>
01.01.01	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y PERSONAL.	glb	1.00	21,103.18	21,103.18	
01.01.02	FACILIDADES TEMPORALES	glb	1.00	4,150.00	4,150.00	
01.01.03	TRAZO Y REPLANTEO	glb	1.00	1,558.34	1,558.34	
01.01.04	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	glb	1.00	7,927.93	7,927.93	
<b>01.02</b>	<b>TANQUE CLARIFICADOR</b>					
<b>01.02.01</b>	<b>FABRICACION Y MONTAJE DE COLUMNAS</b>					<b>84,664.34</b>
01.02.01.01	Fabricación de Columnas	kg	4,530.00	12.60	57,071.66	
01.02.01.04	Montaje de Columnas	kg	4,530.00	6.09	27,592.68	
<b>01.02.02</b>	<b>FABRICACIÓN Y MONTAJE DE VIGAS</b>					<b>135,068.05</b>
01.02.02.01	Fabricación de Vigas	kg	6,500.00	12.60	81,890.90	
01.02.02.04	Montaje de Vigas	kg	6,500.00	8.18	53,177.15	
<b>01.02.03</b>	<b>FABRICACION Y MONTAJE DE TANQUE</b>					<b>591,761.34</b>
01.02.03.01	Fabricación de planchas de fondo y pared	kg	30,015.67	12.66	379,878.32	
01.02.03.04	Montaje de tanque	kg	30,015.67	7.06	211,883.02	
<b>01.02.04</b>	<b>FABRICACIÓN Y MONTAJE DE PASARELA SUPERIOR</b>					<b>60,515.10</b>
01.02.04.01	Fabricación de Estructuras	kg	2,912.18	12.60	36,693.47	
01.02.04.04	Montaje de Estructuras	kg	2,912.18	8.18	23,821.63	
<b>01.02.05</b>	<b>SUMINISTRO DE SISTEMA MOTRIZ</b>					<b>283,000.00</b>
01.02.05.01	Suministro y montaje sistema motriz	Glob	1.00	85,000.00	85,000.00	
01.02.05.02	Suministro y montaje Feed Well	Glob	1.00	78,000.00	78,000.00	
01.02.05.03	Suministro y montaje de rastras	Glob	1.00	120,000.00	120,000.00	
<b>SUB TOTAL COSTO DIRECTO:</b>						<b>1,189,748.27</b>
<b>COSTO INDIRECTO</b>						
GASTOS GENERALES					15.00%	178,462.24
SUPERVISION					12.00%	142,769.79
FINANCIAMIENTO					2.50%	29,743.71
UTILIDAD					10.00%	118,974.83
<b>SUB TOTAL COSTO INDIRECTO:</b>					<b>39.50%</b>	<b>469,950.57</b>
<b>TOTAL PROYECTO :</b>						<b>1,659,698.84</b>
<b>GRAN TOTAL SIN IGV</b>						<b>1,659,698.84</b>
Leyenda und : unidad glb : global m : metro lineal m2 : metro cuadrado m3 : metro cúbico kg : kilogramo						

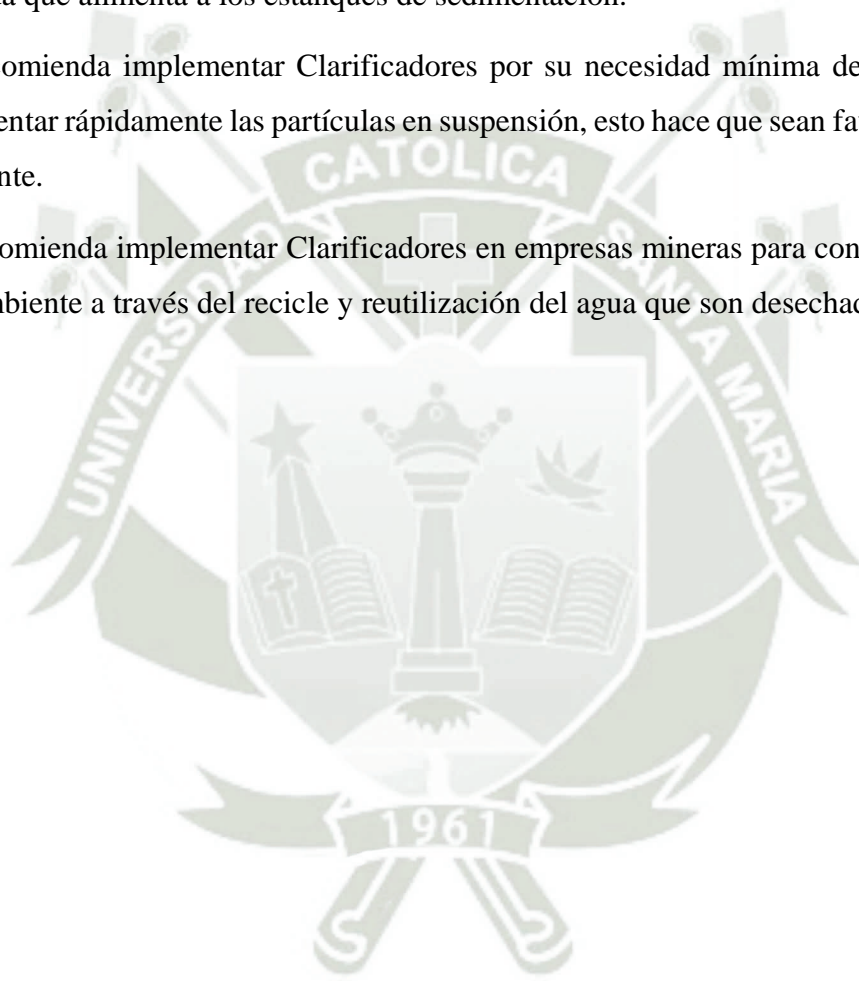
Fuente: Elaboración propia

## CONCLUSIONES

- La implementación del clarificador de 22 m. de diámetro por 6.6 m. de alto necesita ser unido al proceso productivo, siendo un proyecto Brownfield en la planta de procesamiento de concentrado de Molibdeno.
- En el diseño del clarificador se ha seleccionado el espesor de las planchas base y de las planchas del cilindro del tanque que será de 5/16" conseguido a partir de la comparación de los resultados obtenidos por el espesor de diseño, espesor hidrostático y espesor mínimo entregado por el estándar API650.
- En el diseño del clarificador se ha verificado el peso y seleccionado el perfil de las vigas de soporte del clarificador, teniendo en cuenta los estándares estructurales y condiciones operativas. Se ha seleccionado como perfil del Truss superior el perfil de 2L 2-1/2\*2-1/2\*1/4. De acuerdo a la distribución de vigas de soporte, ubicadas por debajo del clarificador las cuales son 16 vigas de perfil W14\*48, las fuerzas en las columnas B y C son las de mayor carga, luego analizando la ecuación el valor de FC fue de 115.3 Kips y el perfil seleccionado es el W8\*24, los cuales fueron validados por la simulación entregada por el programa Autodesk Robot Análisis.
- Se estableció métodos a seguir para la ejecución de los controles de calidad requeridos una vez finalizada la fabricación y montaje del clarificador, los cuales serán, en soldadura, seguir los procedimientos de un PQR, WPS y tener registro de la homologación de los soldadores en las diferentes etapas a realizar en el formato WPQR, se considera la prueba hidrostática una vez terminado el montaje del clarificador y finalmente el control de calidad de la pintura por medio de equipos como el Elcómetro.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda analizar previamente las propiedades mecánicas tanto de los metales base como de las uniones soldadas, una vez concluido el proceso de soldadura se debe verificar con el objeto de asegurar la calidad del diseño.
- Se recomienda implementar Clarificadores por su alto nivel de recuperación de agua ya que mantiene su consumo a niveles sostenibles, así mismo reduce drásticamente el volumen de lechada que alimenta a los estanques de sedimentación.
- Se recomienda implementar Clarificadores por su necesidad mínima de floculantes para sedimentar rápidamente las partículas en suspensión, esto hace que sean favorables al medio ambiente.
- Se recomienda implementar Clarificadores en empresas mineras para contribuir el cuidado del ambiente a través del recicle y reutilización del agua que son desechadas.



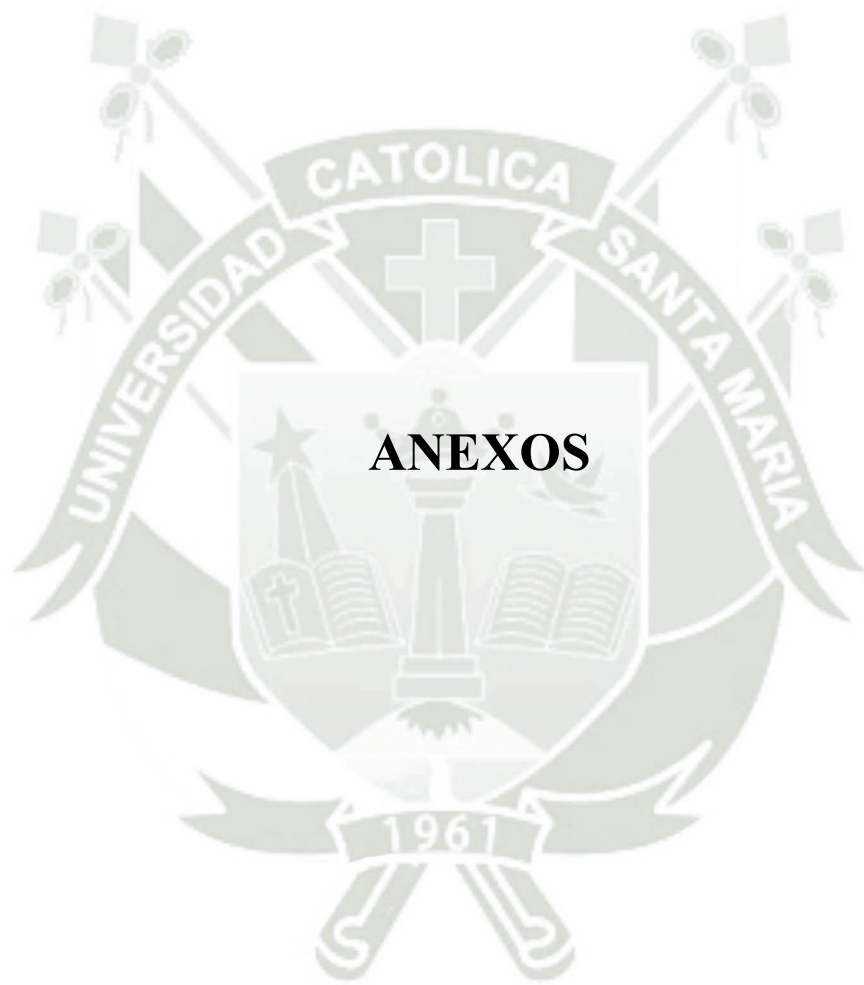
## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aceros Arequipa. (2020). *Datos de materiales para fabricación de Barandas*. Retrieved from <https://www.acerosarequipa.com/>
- Almau. (2014). *Metodología para la descontaminación de aguas procedentes de lavaderos de instalaciones mineras*. Cartagena: [Tesis para optar el título profesional de ingeniero industrial].
- American Institute of Steel Construction, Inc. (2020). *Momentos de carga. LRFD—Manual of Steel Construction*. Retrieved from [https://www.oaxaca.gob.mx/sinfra/wp-content/uploads/sites/14/2016/02/manual\\_of\\_steel\\_construction-load\\_and\\_resistance\\_factor\\_design-2nd\\_edition.pdf](https://www.oaxaca.gob.mx/sinfra/wp-content/uploads/sites/14/2016/02/manual_of_steel_construction-load_and_resistance_factor_design-2nd_edition.pdf)
- American Welding Society. (2001). *Términos y definiciones*. Retrieved from <https://www.aws.org/>
- Anaya, R. (2016). *Estudio de la influencia del espesor de cono profundo, para la recuperación de agua en la Compañía Minera Volcan SA*. Huancayo.
- Araúz, E. (2022). *Tratamiento de aguas residuales de una industria textil a través de procesos electroquímicos*. Retrieved from <https://vsip.info/tratamiento-aguas-residuales-2-pdf-free.html>
- Arveng. (2020). *¿Cuándo usar tanques de almacenamiento? API 650*. Retrieved from <https://arvengtraining.com/cuando-usar-tanques-de-almacenamiento-api-650/>
- Benavidesj. (2018). *Tratamiento, uso y descarga del agua subterránea en minera Yanacocha Perú*. Yanacocha: Departamento de Planeamiento, Minera Yanacocha SRL-Perú.
- Blooger. (2005). *Sistema de Lavado de unidades de maquinaria pesada*. Retrieved from <http://neotecnicawindstar.blogspot.pe/2009/10/111-servicio-de-lavado-de-maquinaria.html>
- Bosstech. (2020). *¿Qué son los clarificadores de agua?* Retrieved from <https://bosstech.pe/ques-clarificador-aguas-residuales/>
- Casero. (2016). *Gestión de Aguas Residuales y Reutilización*. Máster en Ingeniería y Gestión del Agua.
- Castro, C. (1986). *2010, Evaluación de un Clarificador de Monto de Lodos a escala de laboratorio*. Antioquia: Revista Escuela de Ingeniería de Antioquia.

- Cengel, Yunus, A., & Cimbala. (2006). *Mecánica de fluidos: fundamentos y aplicaciones*. McGraw-Hill Interamericana.
- Cerney. (2019). *Prueba de presión hidrostática*. Retrieved from <https://www.cerney.es/noticias/prueba-de-presion-hidrostatica>
- Cruz, C. (2017). *Curso Sistemas de Potabilización con Clarificadores de Contacto*. Bogotá: Universidad del Valle Facultad de Ingeniería -Colombia: Tesis de Pregrado. Retrieved from . <https://campusvirtual.univalle.edu.co/>. [En línea] 20 de 09 de 2016.
- Dilago. (2022). *Especificación del procedimiento de soldadura (WPS)*. Retrieved from [https://dilagoingenieriasas.com/servicios/servicios/calidad\\_en\\_soldaduras/](https://dilagoingenieriasas.com/servicios/servicios/calidad_en_soldaduras/)
- Diteinco. (2020). *Pruebas hidrostáticas*. Retrieved from <http://www.diteinco.com.co/index.php/servicios/ensayos-y-pruebas-no-destructivos/pruebas-hidrostaticas/>
- Elkan. (2022). *Métodos de inspección de soldadura: ensayos destructivos*. Retrieved from <https://gmaweneromarzo22.blogspot.com/2022/02/metodos-de-inspeccion-de-soldadura.html>
- Giles, & Ranald. (1994). *Mecánica de los fluidos e hidráulica*.
- Giles, R. (2014). *Schaum's outline of fluid mechanics and hydraulics*. McGraw-Hill Education.
- Gorshkov, V., & Kharionovsky, A. (1983). *Principales métodos y técnicas de tratamiento de agua de mina en los Estados Unidos*. España: Revista Internacional de Agua de Minas, 4 (.
- Grating Perú SAC. (2020). *Datos de materiales para fabricación de Grating*. Retrieved from <https://grating-prodac.pe/>
- Industrias Brentwood, Inc. (2013). *Sistemas de asentamiento de tubos para clarificación*. Wayback Machine. : Archivado el 29 de octubre de 2013 .
- Interclean. (2021, Octubre 23). *Sistema de Lavados de Vehículos*. Retrieved from Sistema de Lavados de Vehículos: [file:///C:/Users/PC/Downloads/InterClean\\_Brochure\\_ES%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/PC/Downloads/InterClean_Brochure_ES%20(1).pdf)
- Málaga. (2017). *Formación profesional básica/F.P.B. Fabricación y Montaje*. Retrieved from [http://mecanizadomlozano.blogspot.com/p/blog-page\\_1.html](http://mecanizadomlozano.blogspot.com/p/blog-page_1.html)
- Marta, L. (1998). *Tratamiento pasivo de aguas ácidas*. Biología: Módulo V del Proyecto Palma.

- Martínez Acosta, M. A. (2019). *Diseño de un sistema de logística inversa en el tratamiento de efluentes del proceso de teñido para jean índigo, sector carvajal de bogotá*. Soacha: Trabajo tipo monográfico para optar por el título de ingeniero industrial.
- Muñoz. (2020). *Soldar Tarea de Isaias*. Retrieved from <https://es.scribd.com/document/394936811/Soldar-Tarea-de-Isaias>
- Oliva. (2020). *Soldadura*. Retrieved from <https://vsip.info/soldadura-17-pdf-free.html>
- Ondetti, C. (2019). *Análisis de riesgos laborales presentes en el proceso de pruebas hidrostáticas de líneas de alta presión en la empresa Alpha Piper Service SRL*. Arequipa.
- Ordoñez. (2021). *Canchas de relaves de concentradoras mineras: análisis de estabilidad de presas*. Lima: Informe Final.
- Ordoñez C. (2021). *Canchas de relaves de concentradoras mineras: análisis de estabilidad de presas*. Lima: Informe Final.
- Ordoñez, A. (1984). *Canchas de relaves de concentradoras mineras: análisis de estabilidad de presas*. Lima: Informe Final.
- Puga, B. (2020). *Tratamiento de aguas en la industria minerometalúrgica*. Retrieved from <https://idoc.pub/documents/tratamiento-de-aguas-en-la-industria-minero-6klz9d8v6e4g>
- Riveros, C. (2016). *Relaves Arcadis*. Lima.
- Sánchez. (2022). *Principio de soldadura*. Retrieved from <https://www.rmb.com.ar/principio-de-soldadura/#:~:text=DEFINICI%C3%93N%20DE%20SOLDADURA%3A&text=Entonces%2C%20podemos%20decir%2C%20que%20la,uso%20de%20material%20de%20aporte>.
- Saul. (2019). *Que Es Una Prueba Hidrostática*. Retrieved from <https://idoc.pub/documents/idocpub-1d471gr6742>
- Servicio Nacional de Geología y Minería. (2012). *El relave*. Lima: Sernageomin.
- Sette, R. (1996). *Tratamiento de aguas residuales*. Editorial REVERTÉ, SA.
- Shames, I. (1995). *La Mecánica De Los Fluidos/por Irving H. Shames*.

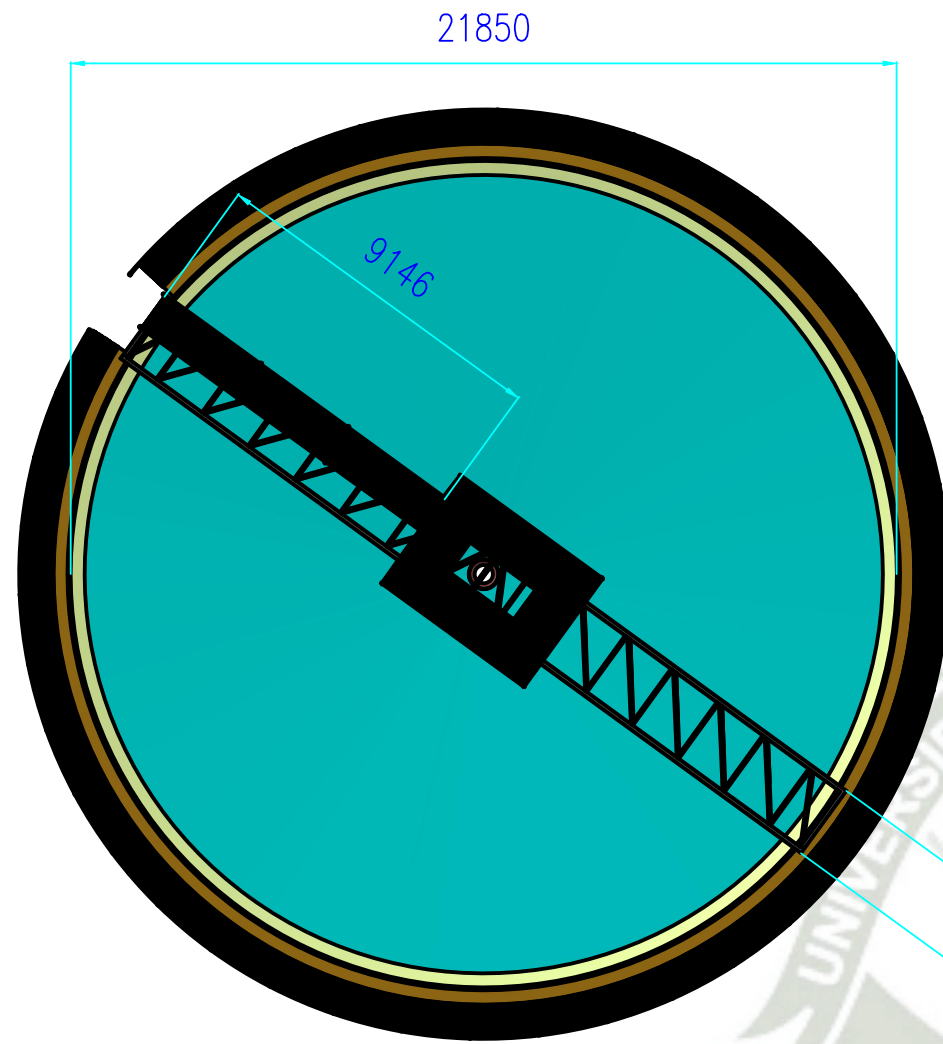
- Simovic, et al. (1984). *Kinetics of natural degradation of cyanide from gold mill effluents*. Ontario: McMaster University.
- Smith, & Martell. (1976). *Critical stability constants: inorganic complexes*. New York: Plenum Press.
- Spena Group. (2016). *Tratamiento de aguas residuales en minería*. Retrieved from <https://spenagroup.com/tratamiento-aguas-residuales-mineria/v>
- Steel, E. (1979). *Water supply and sewerage (5th ed edición)*. Mexico: McGraw-Hill.
- Studylib. (2020). *Reutilización de las aguas residuales*. Retrieved from <https://studylib.es/doc/4698648/cap%C3%ADtulo-ii.-reutilizaci%C3%B3n-de-las-aguas-residuales>
- Torres. (2000). *Instalaciones de lavado de vehículos*. Retrieved from [https://www.msssi.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/agenBiologicos/pdfs/12\\_leg.pdf](https://www.msssi.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/agenBiologicos/pdfs/12_leg.pdf)
- Tubisa SAC. (2020). *Datos de materiales para fabricación de Barandas*. Retrieved from <http://www.tubisa.com.pe/>
- Vela, V. (2020). *Manual de Operaciones Planta Concentradora Sociedad Minera Cerro Verde*. Retrieved from <https://vsip.info/molinos--4-pdf-free.html>
- Villa. (2020). *Técnicas de vacío*. Retrieved from <https://slideplayer.es/slide/1116805/>
- Viza. (2020). *Inspección por Ultrasonido*. Retrieved from <https://www.monografias.com/trabajos60/inspeccion-ultrasonido-materiales/inspeccion-ultrasonido-materiales>
- Weber, J. (1972). *Procesos fisicoquímicos para el control de la calidad del agua*. Wiley-Interscience.
- Williams. (2019). *Espesador o clarificador: ¿cuál es la diferencia?* Retrieved from <https://www.mclanahan.com/es/blog/espesador-o-clarificador-cu%C3%A1l-es-la-diferencia>



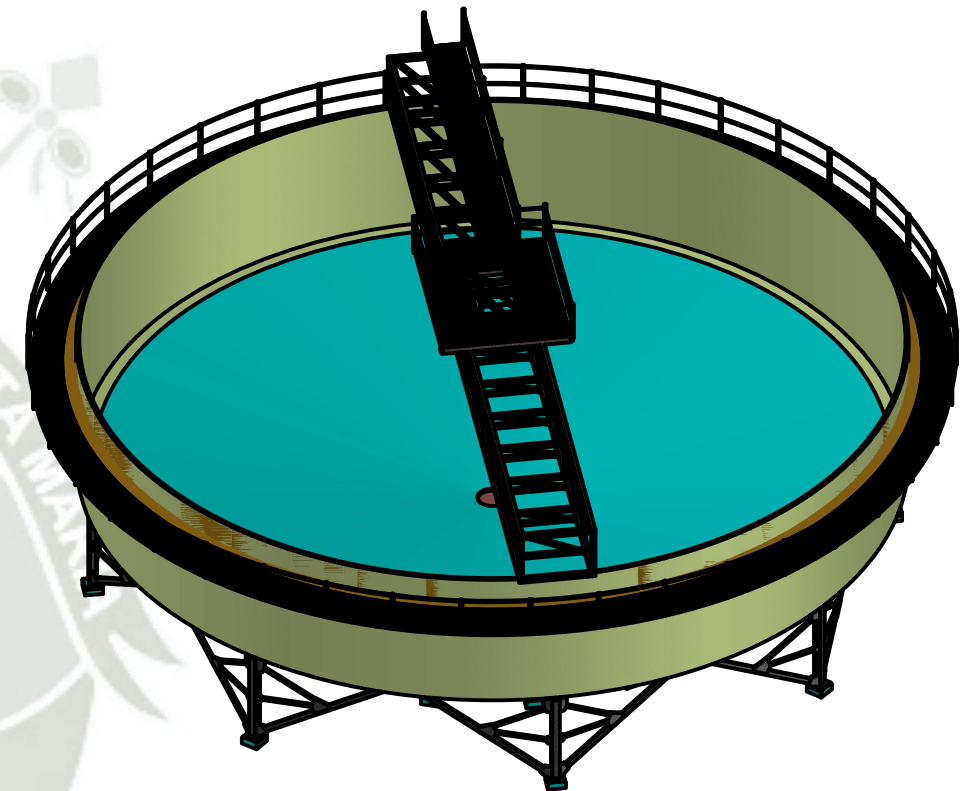


**ANEXO 1**

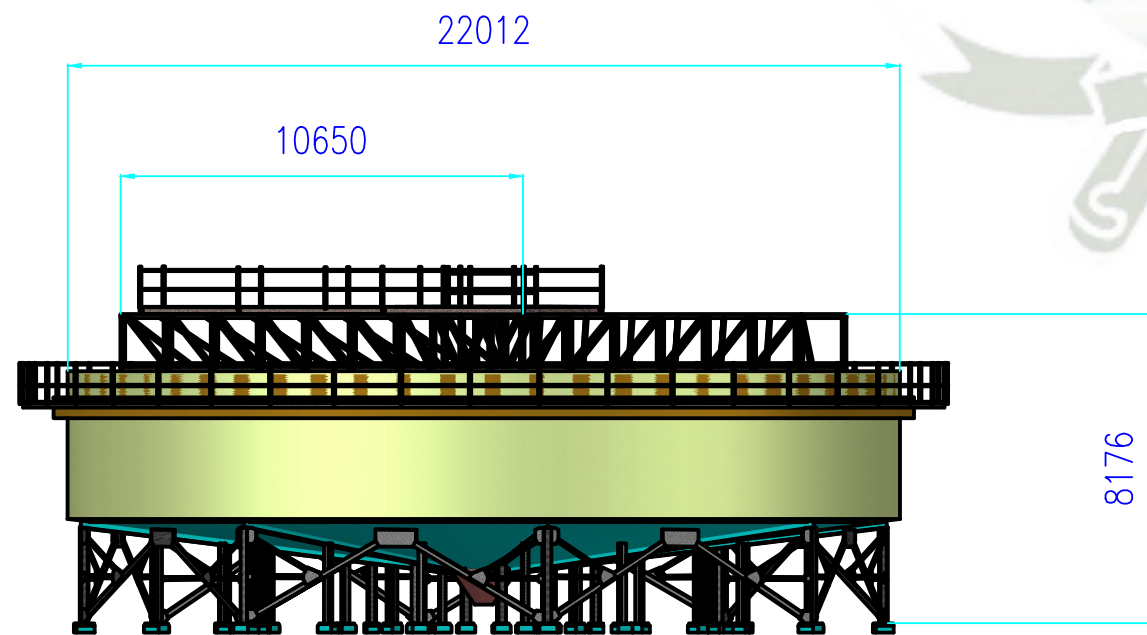






VISTA EN PLANTA  
ESC.: 1/100

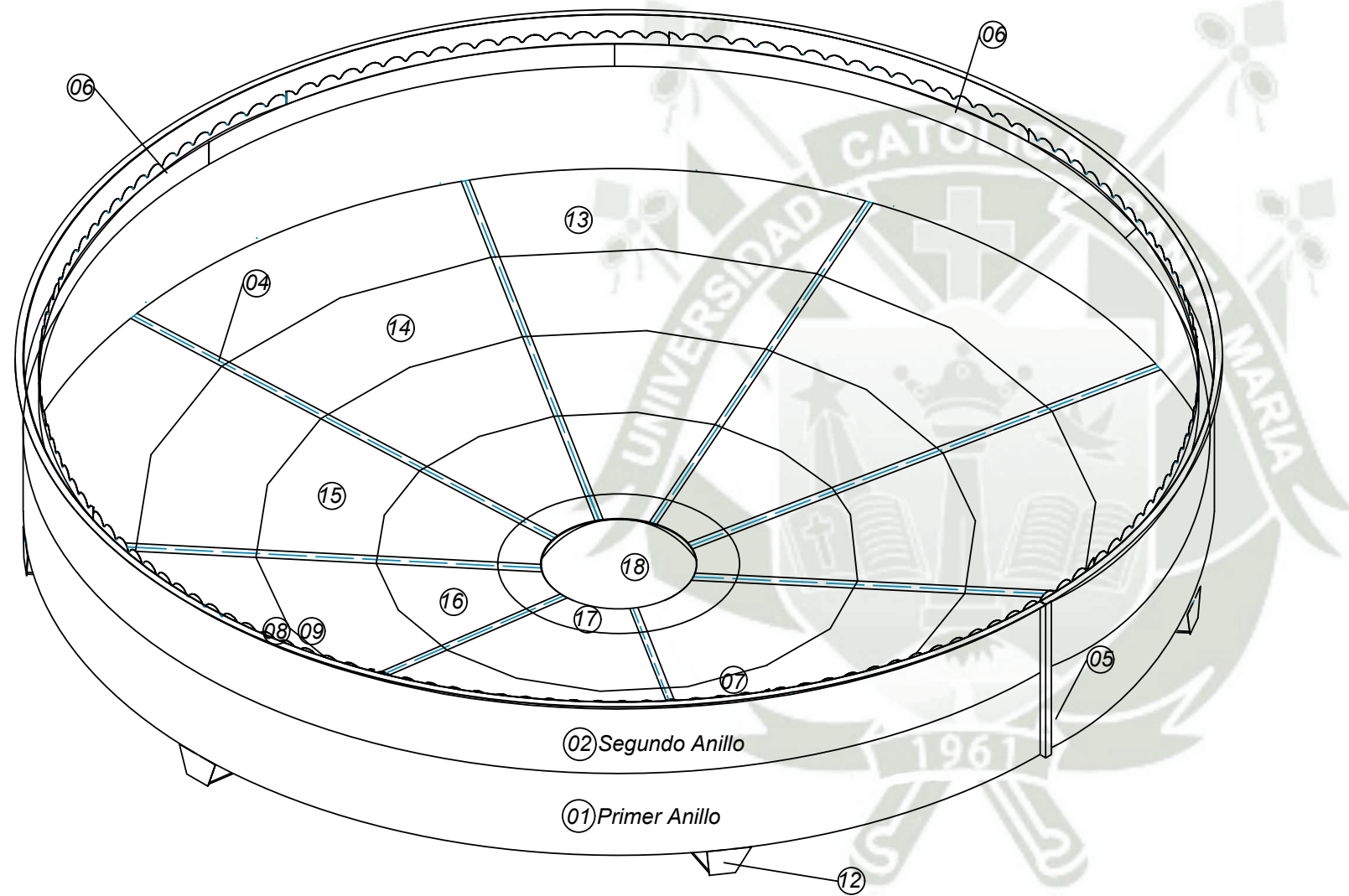


ISOMETRICO  
ESC.: 1/100



VISTA FRONTAL  
ESC.: 1/100

Escala : INDICADA # DE PLANO : <b>01</b> PROYECCION : 	Nombre : Diseñado : ABEL AMADO ARIAS Dibujado : ABEL AMADO ARIAS Revisado : .	UNIVERSIDAD CATOLICA SANTA MARIA INGENIERIA MECANICA U.C.S.M. 
Título : CLASIFICADOR	Plano : VISTAS DE CLASIFICADOR	

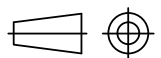


**ISOMETRICO - TANQUE Ø21m**  
CANT.: 01 Unidad

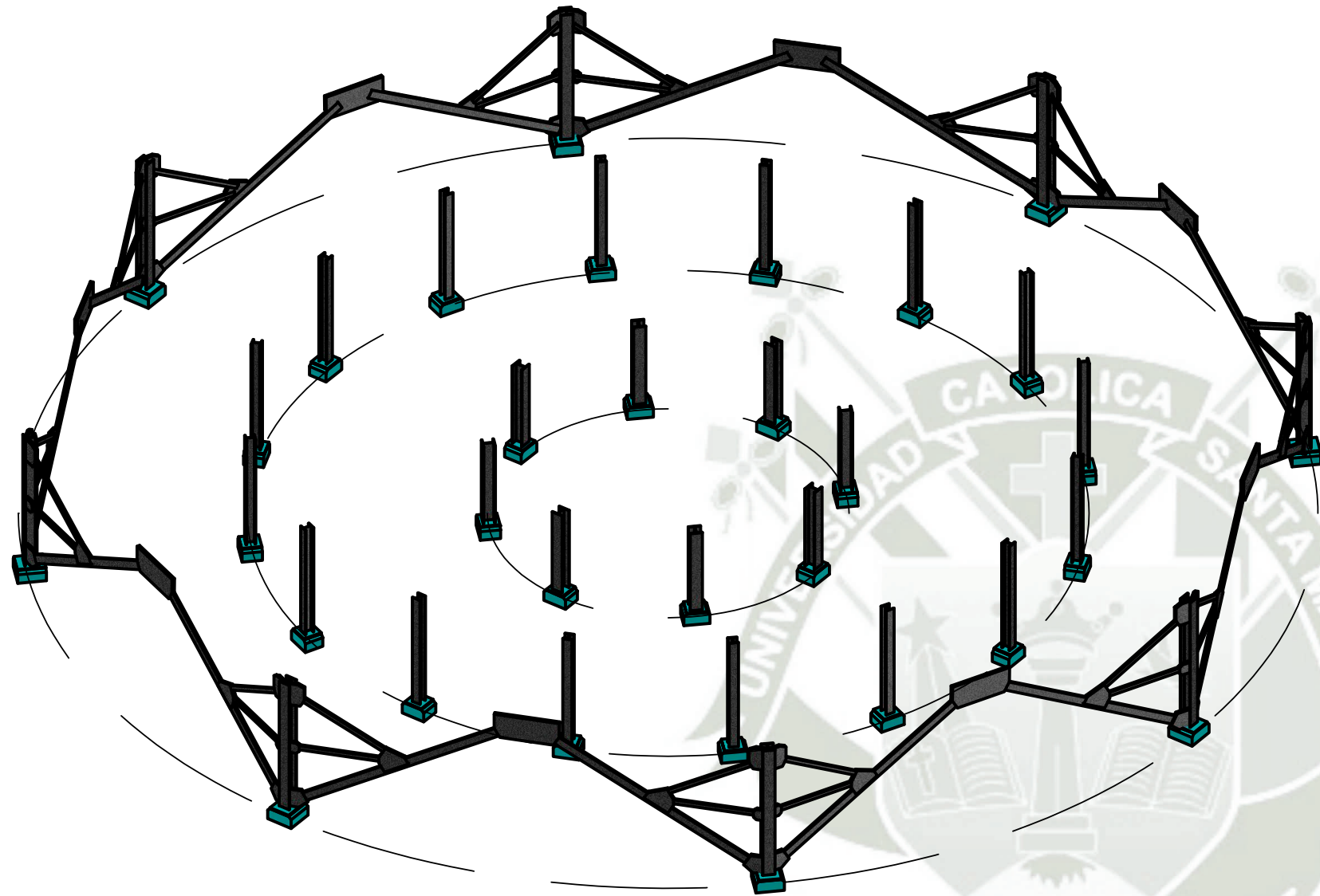
<b>TANQUE</b>			
ITEM	CANT.	DESCRIPCION	LONGITUD
01	01	Primer Anillo - Pl 6mm.	1550x5985
02	01	Segundo Anillo - Pl 6mm.	945x5985
03	08	Perfil L 4"x4"x3/8"	6000
04	08	Perfil I 350x200	6671
05	02	Perfil L 4"x4"x3/8"	2400
06	07	Canaleta Tipo 1 - Pl. 4.5mm	2990 x 344
07	01	Canaleta Tipo 2 - Pl. 4.5mm	2990 x 344
08	01	Canaleta Tipo 3 - Pl. 4.5mm	1916 x 258
09	01	Box Overflow - Pl. 4.5mm	200 x 190
10	15	V-Notch Tipo 1 - Pl.6mm	200x3000
11	01	V-Notch Tipo 2 - Pl.6mm	290 x 210
12	08	Tapa de Viga Radial - Pl 6mm.	750 x 250
13	08	Plancha fondo tipo 1 - Pl 6mm.	2615 x 1550
14	08	Plancha fondo tipo 2 - Pl 6mm.	2107x1550
15	08	Plancha fondo tipo 3 - Pl 6mm.	1562 x 1550
16	08	Plancha fondo tipo 4 - Pl 6mm.	1017 x 1550
17	01	Spool - Tipo AØ2"	515 x 292
18	01	Cono - Plancha 6mm.	--
19	01	Spool - Overflow Ø8"	180
20	02	Spool Discharge Ø8"	415
21	01	Spool Drain Ø6"	300
22	02	Spool - Tipo BØ1 1/2"	200
23	01	Spool - Tipo C Ø 3"	300

**NOTA GENERALES**

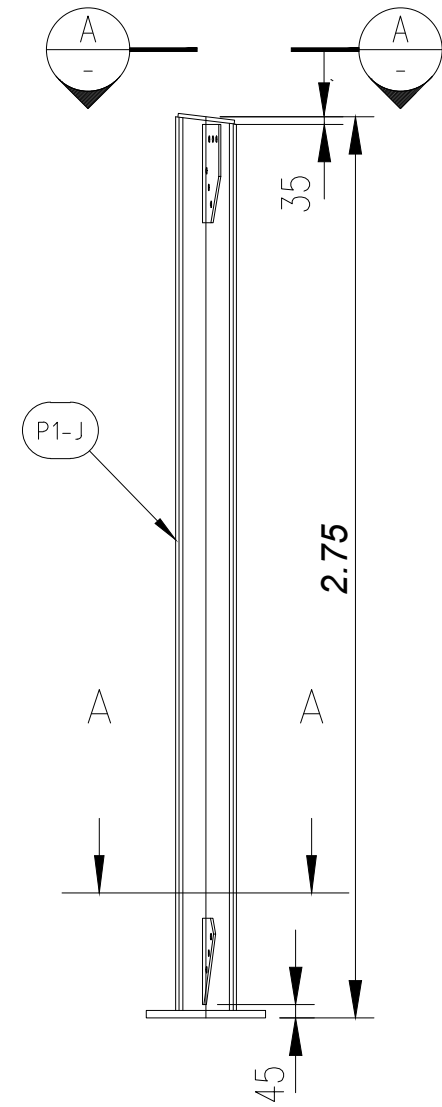
- 1 TODAS LAS DIMENSIONES INDICADAS EN LOS PLANOS ESTAN EN MILIMETROS.
- 2 LA ESTRUCTURA DE ACERO DEBE ESTAR DE ACUERDO CON LA NORMA ASTM A36
- 3 CONEXIONES:
  - 3.1 LAS CONEXIONES SERAN SOLDADAS EN EL TALLER Y EMPERNADAS EN CAMPO SALVO INDICACION CONTRARIA EN LOS PLANOS.
  - 3.2 TODAS LAS CONEXIONES EMPERNADAS SE EFECTUARAN CON PERNOS DE ALTA RESISTENCIA A325

Escala :		Nombre :	UNIVERSIDAD CATOLICA SANTA MARIA INGENIERIA MECANICA U.C.S.M. 
INDICADA	Diseñado :	ABEL AMADO ARIAS	
# DE PLANO :	Dibujado :	ABEL AMADO ARIAS	
<b>02</b>	Revisado :	.	
PROYECCION :	Titulo :		Plano :
	CLASIFICADOR		ISOMETRICO TANQUE

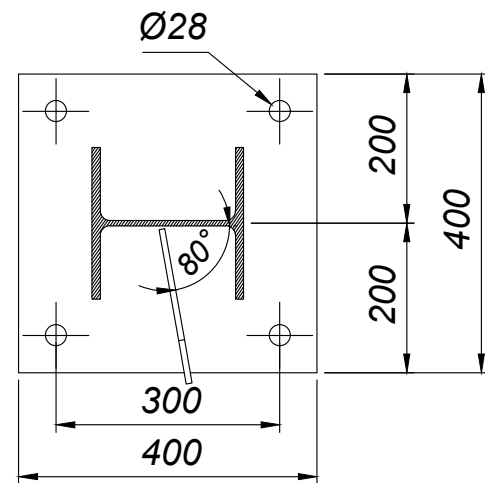




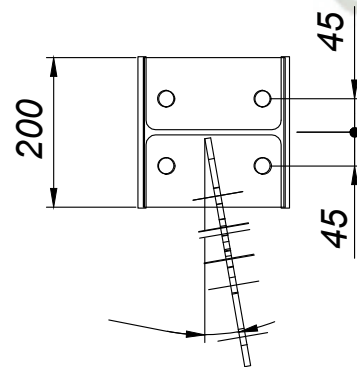
ISOMETRICO - ESTRUCTURA SOPORTE CLASIFICADOR Ø21m  
ANILLO EXTERIOR - INTERIORES



COLUMNA PORTICO Nro1

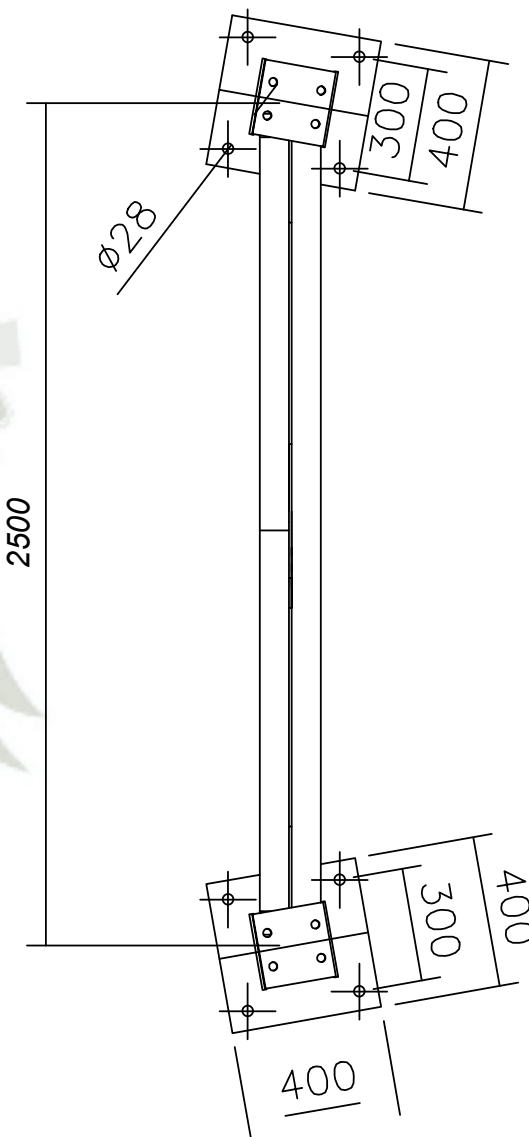
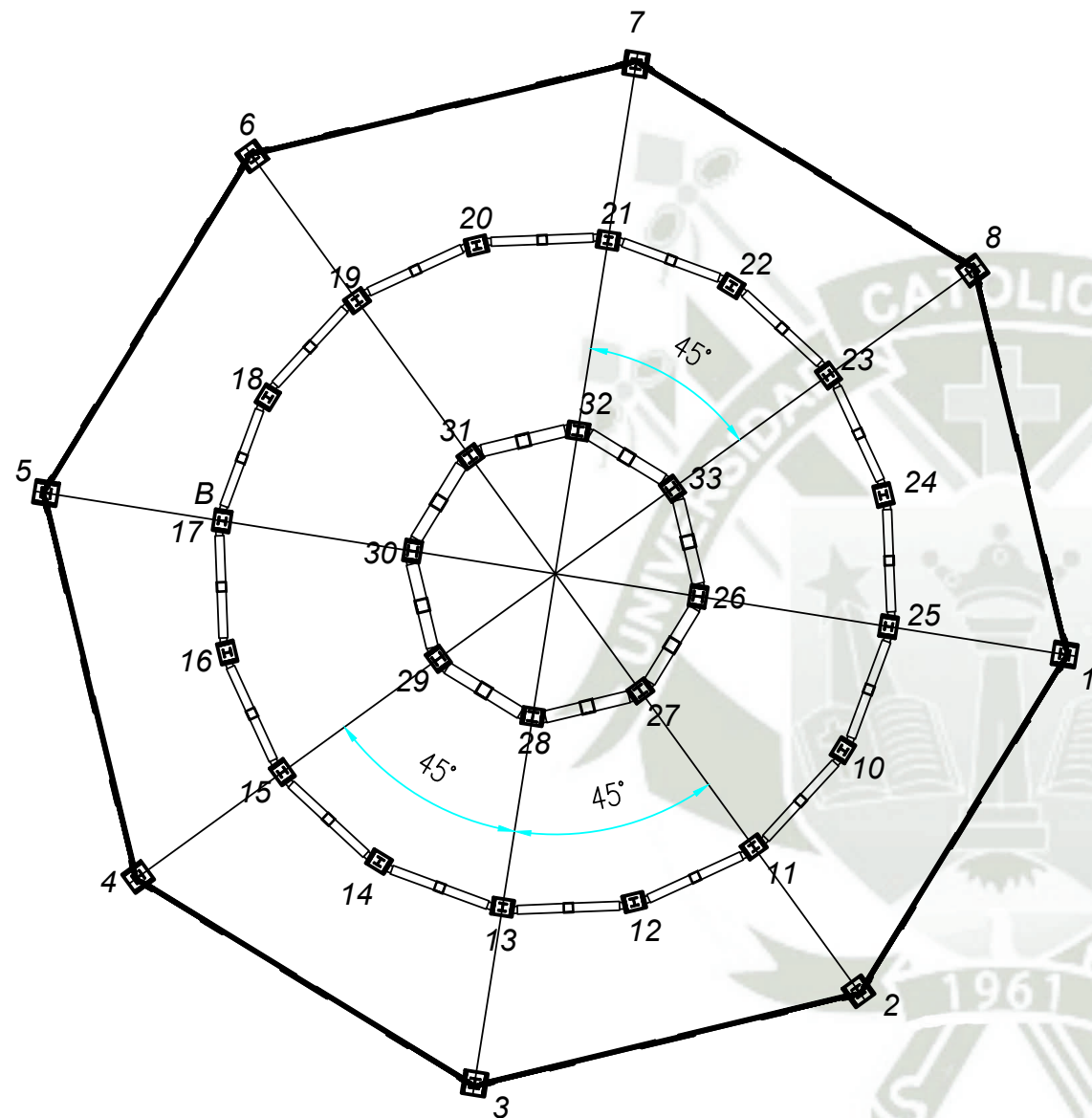


CORTE A-A  
ESC.: 1/10



VISTA A-A  
ESC.: 1/10

Escala :	INDICADA	Nombre :	UNIVERSIDAD CATOLICA SANTA MARIA INGENIERIA MECANICA U.C.S.M. 
# DE PLANO :	04	Diseñado : ABEL AMADO ARIAS	
		Dibujado : ABEL AMADO ARIAS	
PROYECCION :		Revisado : .	Plano : DISTRIBUCION DE SOPORTES
		Titulo : CLASIFICADOR	



DETALLE "B"  
ESC.: 1/20

VISTA DE PLANTA  
ANILLO EXTERIOR E INTERIOR

Escala :	INDICADA	Nombre :	UNIVERSIDAD CATOLICA SANTA MARIA INGENIERIA MECANICA U.C.S.M.
# DE PLANO :	05	Diseñado :	ABEL AMADO ARIAS
		Dibujado :	ABEL AMADO ARIAS
		Revisado :	.
PROYECCION :		Titulo :	CLASIFICADOR
		Plano :	DETALLE DE SOPORTE