

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

"Rediseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de una
Fábrica de Baterías de Plomo Ácido"

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Materia Integradora

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Luis Fernando Luna Tenecela

Daniel Andrés Salas Márquez

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2016

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestras familias, amistades y profesores que permitieron la culminación satisfactoria de esta etapa de estudios y también a los colaboradores externos que brindaron su apoyo para la elaboración de este proyecto.

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Luis Fernando Luna Tenecela

Daniel Andrés Salas Márquez

Andrea Boero Vera, MSc.

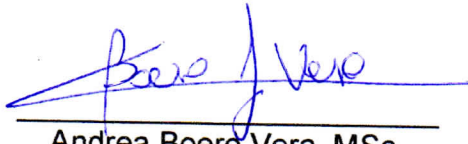
y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.



Luis Luna Tenecela



Daniel Salas Márquez



Andrea Boero Vera, MSc.

RESUMEN

Se rediseñó la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de una fábrica de baterías de plomo-ácido. El objetivo de este proyecto fue el optimizar el manejo de los afluentes, de manera que los efluentes cumplan con la normativa ambiental vigente. Actualmente se lleva a cabo una ampliación de la fábrica, lo que aumentaría la producción, y a su vez la generación de aguas residuales. El funcionamiento de la PTAR en su estado actual satisface los límites permisibles para los efluentes, sin embargo, se estima un aumento de la producción de 28% lo cual significa un aumento de 15% de generación de aguas residuales. El rediseño incluye mejoras en el sistema de neutralización y una mejora estructural en el sistema de disposición de los lodos. En el desarrollo de este proyecto se tomaron como referencia los estándares definidos por: AICHE, AISC, INEN y además el TULSMA libro VI anexo 1. Se realizaron pruebas experimentales para el dimensionamiento del nuevo sistema de neutralización utilizando hidróxido de calcio, lo cual incluyó también el diseño de un tanque agitador. Los resultados de neutralización obtenidos con esta sustancia resultan favorables en cuanto a la calidad de agua y costos de adquisición, en comparación con la soda cáustica utilizada actualmente. La desventaja es la generación de mayor cantidad de sólidos, cuya gestión implica un gasto adicional.

La mejora estructural consiste en la elevación del filtro prensa con una plataforma, de modo que los lodos sean dispensados directamente a donde serán almacenados de forma tal que este proceso tome menos tiempo por parte del trabajador y no comprometa su salud física por realizar trabajo repetitivo. La estructura diseñada tiene una altura de 1,50 metros y cumple las normas ANSI/AISC 360 y AWS D1.1. Esta mejora estructural disminuye los costos de limpieza del filtro prensa y permite dispensar más rápidamente el exceso de lodos que se formaría por la implementación del nuevo sistema de neutralización.

Palabras Clave: afluente, efluente, neutralización, estructuras de acero, PTAR.

ABSTRACT

The wastewater treatment plant (WWTP) of a lead battery production factory is redesigned. The objective is to optimize the affluent management so the effluents are in accordance with the environmental normative and to improve the processes.

Currently, an extension of the factory is being developed, so the batteries production and the wastewater generation will increase. The currently state of the WWTP fulfills the effluent limits, however an increase of 28% of the production is expected, which would generate a 15% increase in wastewater generation. The redesign includes an improvement in the neutralization system and a structural modification for the elevation of the filter press. The development of the project was based on the following normative: AICHE, AISC, INEN and TULSMA book VI appendix 1. Experimental tests were elaborated for the dimensioning of the neutralization system with calcium hydroxide, which includes as well the design of an agitation tank. The results show that neutralization with this substance generates an improved output of water quality and lower acquisition costs. The drawback is the generation of higher amounts of sludge, which would increase the solid waste management costs.

The filter press generates solid waste that must be extracted and stored, for further derivation to waste management, by the worker in charge of its operation. This activity, which consist on removing the filter cake with a shovel, besides requiring high strength, is a repetitive work, which is considered a risk factor for the worker's health. The objective of elevating the filter press is dispensing all the filter cake directly where it will be temporarily stored. This would reduce the execution time and the health issue related to the repetitive work will not be of concern anymore. A 1,50 meters high steel platform for the filter press elevation was designed in accordance with ANSI/AISC 360 and AWS D1.1 normative.

Keywords: wastewater treatment, neutralization, agitation tank, steel structure.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE PLANOS	X
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo General	2
1.2.2 Objetivos Específicos	2
1.3 Marco teórico	2
1.3.1 Características de aguas residuales	3
1.3.2 Aguas residuales industriales.....	4
1.3.3 Afluentes hacia la PTAR desde el proceso de fabricación de baterías	4
1.3.4 Tratamiento de aguas residuales	6
CAPÍTULO 2.....	9
2. Metodología del Diseño.....	9
2.1 Identificación del estado actual de la PTAR.....	10
2.2 Identificación de los equipos y procesos de la PTAR	12
2.3 Verificación de cumplimiento de estándares y requerimientos	12

2.4	Identificación de falencias en la PTAR.....	13
2.4.1	Proceso de neutralización y floculación	13
2.4.2	Remoción del residuo sólido generado por el filtro prensa.....	13
2.5	Análisis de posibles procesos y operaciones a modificar o implementar.....	13
2.5.1	Modificación del proceso de neutralización	14
2.5.2	Base del filtro prensa.....	14
2.6	Selección de procesos a implementar o modificar.....	14
2.7	Re-diseño de la PTAR	18
2.7.1	Proceso de neutralización	18
2.7.2	Diseño de los sistemas de agitación	20
2.7.3	Diseño de la estructura base para el filtro prensa; Error! Marcador no definido.	
CAPÍTULO 3.....		34
3.	Resultados	34
3.1	Pruebas experimentales de neutralización con $\text{Ca}(\text{OH})_2$	34
3.2	Resultados del sistema agitador.....	36
3.3	Plataforma elevada para el filtro prensa	38
3.3.1	Columnas y vigas	39
3.3.2	Uniones	40
3.4	Análisis de costos	44
3.4.1	Neutralización	44
3.4.2	Costo de sistema de agitación	46
3.4.3	Costos de plataforma de elevación del filtro prensa.....	47
CAPÍTULO 4.....		50
4.	Discusión y Conclusiones.....	50
4.1	Conclusiones	50

4.2	Recomendaciones	52
	BIBLIOGRAFÍA.....	54

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM	American Society of Testing and Materials
AICHE	American Society of Testing and Materials
AISC	American Institute of Steel Construction
AWS	American Welding Society
NACE	National Association of Corrosion Engineer
SSD	Sólidos Suspendidos
TDS	Sólidos Disueltos Totales
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
TPH	Hidrocarburos Totales de Petróleo
DBO	Demanda Biológica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
MTD	Mejores Técnicas Disponibles
RPM	Revoluciones Por Minuto
AR	Agua Residual
PRAR	Pozo Recolector de Aguas Residuales
WWTP	Wastewater Treatment Plant

SIMBOLOGÍA

pH	Potencial de Hidrógeno
m	Metro
s	Segundo
mg	Miligramo
L	Litro
Pb	Plomo
m ³	Metros cúbicos
NaOH	Hidróxido de sodio
H ₂ SO ₄	Ácido Sulfúrico
PbO	Óxido de Plomo
Ca(OH) ₂	Hidróxido de calcio
Kg	Kilogramo
rad	radianes
Pa	Pascal
N	Newton
N-m	Newton metro
kN	Kilo newton
MPa	Mega pascales
GPa	Giga pascales

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Diagrama de flujo del proceso de fabricación de baterías	6
Figura 2.1: Diagrama de flujo de actividades para la metodología de resolución del problema.....	9
Figura 2.2: Caracterización de afluentes a la PTAR	11
Figura 2.3: Diagrama actual de procesos y operaciones de la PTAR.....	12
Figura 2.4: Diagrama de flujo del sistema de neutralización, en dos etapas con cal .	18
Figura 2.5: Equipo de ensayo de jarras forma típico de tanque agitador.....	19
Figura 2.6: Diseño de forma típico de tanque agitador	21
Figura 2.7: Potencia requerida para la suspensión completa de sólidos en tanques agitados utilizando turbinas de palas inclinadas.	23
Figura 2.8: Tiempos de mezclado en tanques agitadores.	25
Figura 2.9: Pre-sedimentador	26
Figura 2.10: Plataforma elevada típica para filtro prensa.....	27
Figura 2.11: Cargas que soporta la estructura.....	29
Figura 2.12: Desplome en estructuras	30
Figura 2.13 Viga principal	31
Figura 2.14: Viga secundaria	31
Figura 3.1: Plataforma de elevación diseñada	39
Figura 3.2: Unión viga a viga a columna.....	41
Figura 3.3: Cordón de soldadura entre placa 1 viga principal.....	42
Figura 3.4: Cordón de soldadura entre columna y placa para unión empernada	43
Figura 3.5: Unión viga columna	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Metodología de diseño.....	10
Tabla 2.2. Calificación utilizada para las matrices de decisión	14
Tabla 2.3. Descripción de los criterios y definición de las ponderaciones	15
Tabla 2.4. Matriz de decisión de alternativas para tratamiento químico	15
Tabla 2.5. Descripción de criterios y definición de ponderaciones.....	16
Tabla 2.6. Matriz de decisión para alternativas estructurales del filtro prensa.....	17
Tabla 2.7. Especificaciones dimensionales según el decreto 2393	27
Tabla 3.1. Preparación de solución de soda cáustica al 10%.....	34
Tabla 3.2. Preparación de solución de Hidróxido de calcio	34
Tabla 3.3. Resultado de prueba estable con hidróxido de calcio.....	36
Tabla 3.4. Parámetros de reductores seleccionados	37
Tabla 3.5. Parámetros de reservorios seleccionados	37
Tabla 3.6. Parámetros de impellers diseñados.....	38
Tabla 3.7. Perfil seleccionado para columnas	40
Tabla 3.8. Perfil seleccionado para vigas	40
Tabla 3.9. Parámetros para uniones empernadas y soldadas.....	41
Tabla 3.10. Parámetros de la unión viga a viga (Unión 1)	42
Tabla 3.11. Diseño de soldadura de columna a placa	43
Tabla 3.12. Unión empernada viga a columna	44
Tabla 3.13. Insumos y costos actuales de neutralización y floculación	45
Tabla 3.14. Costos actuales vs propuesto	45
Tabla 3.15. Costo de gestión de residuos y tratamiento de los neutralizantes	46
Tabla 3.16. Costo de los sistemas de agitación a implementar	46
Tabla 3.17. Costo de materiales (CM) para estructura	47
Tabla 3.18. Costo de montaje (MM) para estructura.....	47
Tabla 3.19. Costo de mano de obra (MO)	48
Tabla 3.20. Costo total de la estructura	48
Tabla 3.21. Comparación antes y después del rediseño	49

ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO 1 Tanque Agitador
- PLANO 2 Pre-Sedimentador Rediseñado
- PLANO 3 Estructura Base para el Filtro Prensa
- PLANO 4 P&ID de la PTAR antes del rediseño
- PLANO 5 P&ID de la PTAR después del rediseño

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

La producción de baterías de plomo ácido, las cuales son utilizadas para el arranque y otras funciones eléctricas en vehículos, genera contaminantes tóxicos, parte de los cuales se disuelven en los fluidos utilizados en los diferentes procesos, generando aguas residuales que deben ser tratadas antes de ser descargadas a un cuerpo externo o ser recirculadas. Para este fin se cuenta con una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). Originalmente la PTAR de la fábrica fue diseñada para trabajar con 60m³ de afluentes, luego con el aumento de producción el volumen de afluentes a la PTAR aumentó a 100 m³, lo cual causó una disminución de la calidad de los efluentes, por lo que ya se realizó anteriormente un rediseño modificando las etapas de la planta para ajustarse a las normas vigentes. Actualmente, se proyecta un aumento de la producción de baterías, entre 20 a 28%, debido a que la fábrica se encuentra en proceso de ampliación, lo que a su vez generará un aumento de los afluentes hacia la PTAR entre un 10 a 15%. La capacidad de tratamiento actual de la misma no satisfará los niveles requeridos por la normativa ambiental (TULSMA). Dado este panorama se requiere el rediseño de la PTAR de acuerdo a los nuevos niveles de producción estimados.

La mayor parte de la producción de plomo se utiliza para la fabricación de baterías y la demanda de las mismas va en aumento. La intoxicación por plomo es una de las más graves para los infantes y es de las más importantes en lo que respecta a las enfermedades laborales, ya que se va acumulando en el cuerpo con el paso de los años. Esto, a largo plazo, puede resultar en daños neurológicos, daño a los riñones, al tracto gastrointestinal, al sistema circulatorio y al sistema reproductor (Uddin M. J, Mondal P. K, Rahman M. A, & Lemon M. H. R, 2013)

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Rediseñar la PTAR de una fábrica de baterías de plomo ácido tomando en cuenta el nivel actual y proyectado de generación de aguas residuales, de tal manera que los efluentes cumplan con las normativas técnicas y ambientales vigentes y aplicables.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Analizar el flujo de producción de la fábrica para identificar los procesos que contribuyen con afluentes, caracterizando el tipo de contaminante de cada proceso.
- Determinar y analizar el estado actual de la PTAR para identificar las partes y condiciones de la misma que impiden un funcionamiento óptimo.
- Verificar el estado actual de los equipos y accesorios hidráulicos de la PTAR.
- Diseñar un sistema más eficiente en calidad de agua, que promueva el cumplimiento de los parámetros establecidos en la descarga de efluentes.
- Diseñar una base para el filtro prensa de la PTAR que permita remover los residuos sólidos del mismo con mayor facilidad.
- Analizar los costos y viabilidad del proyecto de rediseño.

1.3 Marco teórico

En esta sección se describe: la generación de afluentes en los procesos de fabricación de baterías, las técnicas de tratamiento de aguas residuales aplicables a este tipo de fábricas y el marco legal que incluye las normativas que aplican y las ordenanzas municipales concernientes. El marco legal aplicable a los límites de descarga de dichas aguas residuales TULSMA Libro VI Anexo 1 se encuentra en el Anexo A de este documento.

Las normas y especificaciones utilizadas en el desarrollo del proyecto son:

- Texto Unificado Legislación Secundaria, Medio Ambiente (TULSMA) Libro VI Anexo 1.
- American Institute of Chemical Engineers (AIChE) Equipment Testing Procedures Committee / Mixing Equipment - Impeller Type.
- Decreto Ejecutivo 2393, Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo.
- American National Standards Institute (ANSI) / American Institute of Steel Construction (AISC) 360.
- American Welding Society (AWS) D1.1.

1.3.1 Características de aguas residuales

Las aguas residuales cuentan con características físicas, químicas y biológicas. El conocimiento de las características de las aguas residuales a tratar es de fundamental importancia para implementar sistemas adecuados para cada caso. Las características físicas y químicas de las aguas residuales se describen a continuación.

Las características físicas más importantes de las aguas residuales son el contenido total de sólidos y también el olor, temperatura, densidad, color y turbiedad. Los sólidos totales incluyen la materia en suspensión, sedimentable, coloidal y disuelta. Los sólidos totales se pueden clasificar en filtrables y no filtrables mediante el paso de los mismos a través de un filtro, usualmente de fibra de vidrio o de membrana de policarbonato. La parte no filtrable se denomina sólidos en suspensión, mientras que la parte filtrable contiene sólidos coloidales y sólidos no disueltos. Los sólidos coloidales contienen partículas de entre 0.001 y 1 micrómetro de tamaño. Los sólidos compuestos contienen moléculas orgánicas, inorgánicas e iones.

Las características químicas incluyen el contenido de materia orgánica, materia inorgánica y gases. Según Metcalf & Eddy (1998), aproximadamente 75% de los sólidos en suspensión y 40% de los sólidos filtrables son materia orgánica. Entre muchos otros componentes que constituyen la materia orgánica se encuentran los agentes tensoactivos,

los cuales están formados por moléculas de gran tamaño y solubles en agua y son los causantes de la espuma que se puede observar en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Dentro de los parámetros de calidad que permiten caracterizar tanto las aguas naturales como residuales se encuentra el pH. El agua residual con un pH inadecuado puede presentar dificultades en su tratamiento y el efluente puede alterar el pH del cuerpo de agua receptor. La alcalinidad provista por compuestos como el hidróxido de sodio (NaOH), conocido como soda cáustica, sirve para neutralizar cuerpos de agua ácidos. Otro tipo de materia inorgánica como cloruros, nitrógeno, fósforo, compuestos tóxicos y metales pesados pueden formar parte de los caudales de aguas residuales.

De especial importancia para el presente proyecto es el contenido de plomo (Pb), el cual es un metal pesado y es considerado un contaminante prioritario ya que es tóxico tanto por ingestión e inhalación de sus vapores o de polvo y además puede causar daños a largo plazo al cerebro y riñones (Metcalf & Eddy, 1998).

1.3.2 Aguas residuales industriales

Las aguas residuales industriales se podrían definir como la combinación de residuos líquidos y aguas portadoras de residuos procedentes de procesos industriales (Metcalf & Eddy, 1998). No intervienen aguas residuales domésticas y de escorrentía pluvial. Muchos de los compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos en aguas residuales industriales son objeto de regulación especial debido a su toxicidad o a sus efectos biológicos a largo plazo.

1.3.3 Afluentes hacia la PTAR desde el proceso de fabricación de baterías

Debido a que el enfoque del presente trabajo es la PTAR, al utilizar los términos afluentes y efluentes se hará referencia a las entradas y salidas, respectivamente, de flujos de aguas residuales hacia y desde la PTAR. Los afluentes provenientes de la fábrica presentan un alto contenido de

sólidos disueltos y en suspensión, también una alta acidez y turbiedad. Debido a la naturaleza del producto y de los procesos de manufactura los afluentes contienen metales pesados. Por otro lado, la gran acidez del agua se debe a la presencia de sales derivadas de la reacción del ácido sulfúrico con los diversos elementos presentes como el plomo que son la materia prima para la elaboración de placas de acumuladores de plomo. El ácido sulfúrico (H_2SO_4) utilizado en la fabricación de las baterías incide en el nivel de pH de los afluentes. El plomo (Pb) y óxido de plomo (PbO) utilizados tienen una alta concentración en los afluentes provenientes de los respectivos procesos. Del proceso de carga de la batería, de las actividades en el taller de reparaciones y del laboratorio se generan afluentes acidulados, mientras que del proceso de empastado de rejillas se generan afluentes acidulados-metálicos.

En la Figura 1.1 se puede observar el diagrama de flujo del proceso de fabricación de baterías de plomo ácido y los procesos paralelos a la producción que lleva a cabo la fábrica. Este proceso es detallado en el Anexo A.1.

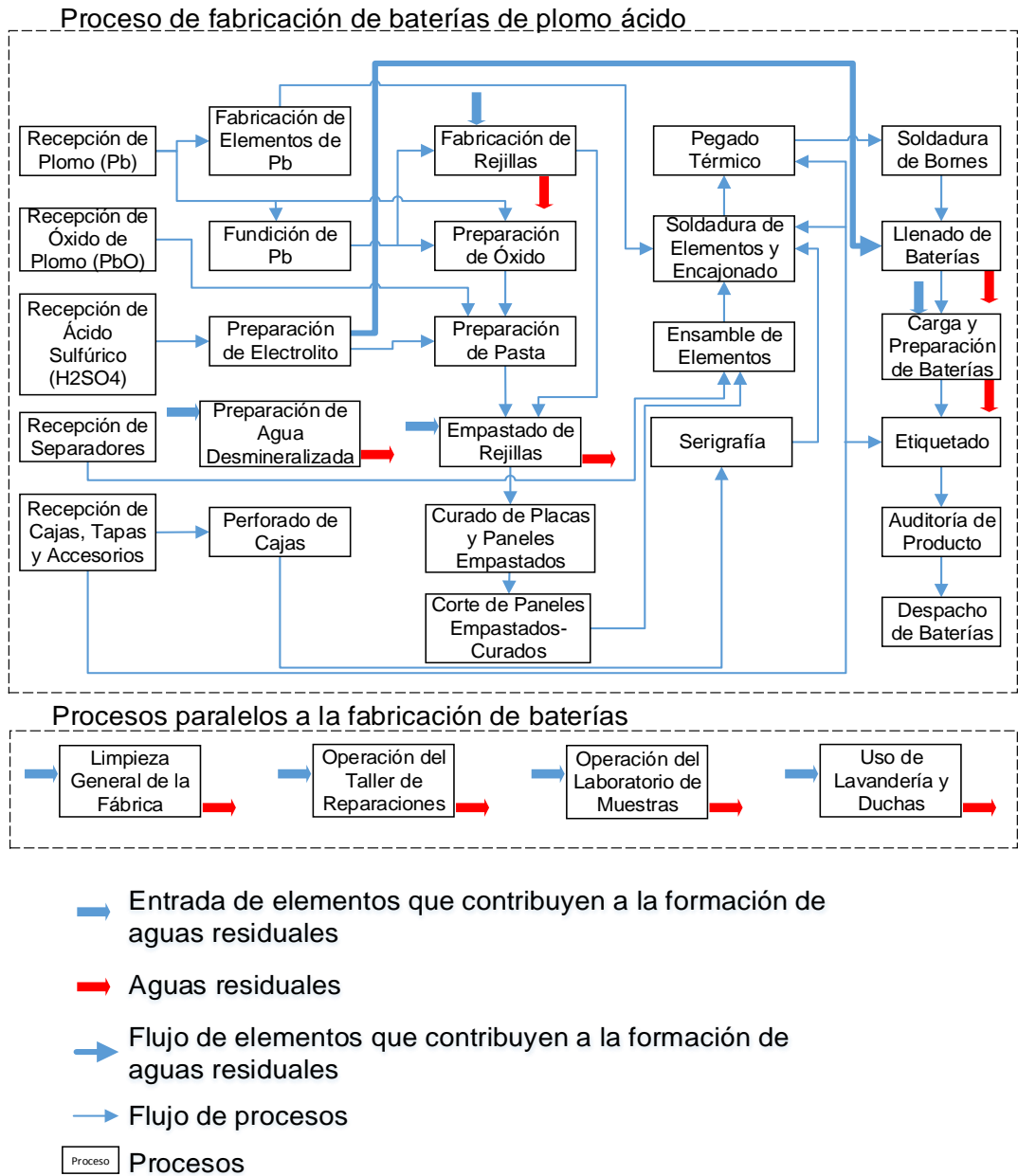


Figura 1.1: Diagrama de flujo del proceso de fabricación de baterías

Elaboración propia basada en (Altamirano & Peñafiel, 2012)

1.3.4 Tratamiento de aguas residuales

En el ámbito de la tecnología de tratamiento de aguas residuales, los métodos de tratamiento en los que predominan fenómenos físicos son conocidos como operaciones unitarias, mientras que los métodos que

aplican procesos químicos o biológicos son conocidos como procesos unitarios. Combinaciones diferentes de operaciones y procesos unitarios dan lugar a los tipos de tratamiento primario, secundario y terciario.

Los tratamientos primarios eliminan los sólidos sedimentables y flotantes mediante operaciones físicas como la sedimentación y desbaste. Los tratamientos secundarios eliminan la mayor parte de la materia orgánica mediante procesos químicos y biológicos. Los tratamientos terciarios, también llamados tratamientos avanzados, eliminan los componentes cuya eliminación no es significativa con los tratamientos anteriores, mediante combinaciones adicionales de operaciones y procesos unitarios (Metcalf & Eddy, 1998).

Para el caso de tratamiento de aguas residuales industriales se utilizan técnicas de separación, clarificación y de tratamiento fisicoquímico. Las técnicas de separación o clarificación se utilizan sobre todo en combinación con otras operaciones, ya sea como primer paso (para evitar daños, obstrucciones o incrustación de sólidos en otras instalaciones de tratamiento) o como paso final de clarificación (para eliminar los sólidos o el aceite formado durante la operación de tratamiento previa). La sedimentación y filtración son ejemplos de estas técnicas.

La selección de los procesos de tratamiento de aguas depende de un cierto número de factores, entre los que se incluyen:

- a) Características del agua residual: demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO), materia en suspensión, pH, productos tóxicos.
- b) Calidad del efluente de salida requerido.
- c) Costo y disponibilidad de espacio físico; por ejemplo, ciertos tratamientos biológicos (lagunaje, estanques de estabilización) son económicamente viables únicamente en el caso de que se disponga de terrenos de bajo costo.

d) Consideración de las futuras ampliaciones o la previsión de límites de calidad de vertido más estrictos, que necesiten el diseño de tratamientos más sofisticados en el futuro (Enrique César Valdéz, n.d.).

Los pre-tratamientos de aguas residuales implican la reducción de sólidos en suspensión o el acondicionamiento de las aguas residuales para su descarga, bien en los receptores o para pasar a un tratamiento secundario a través de una neutralización u homogeneización.

La descripción de sedimentación y sus tipos se encuentran en el anexo A.1.2

Los tratamientos que se requieren de acuerdo al contaminante presente en el agua residual a tratar se muestran en la tabla A.1 en el anexo A.1.2.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA DEL DISEÑO

En esta sección se define el flujo de actividades que conforman la metodología de diseño. En la Figura 2.1 se presenta el diagrama de flujo de la metodología de diseño. Este diagrama define en grandes rasgos las actividades a realizar, mientras que la Tabla 2.1 explica brevemente la forma en que se han llevado a cabo.

Metodología de resolución del problema

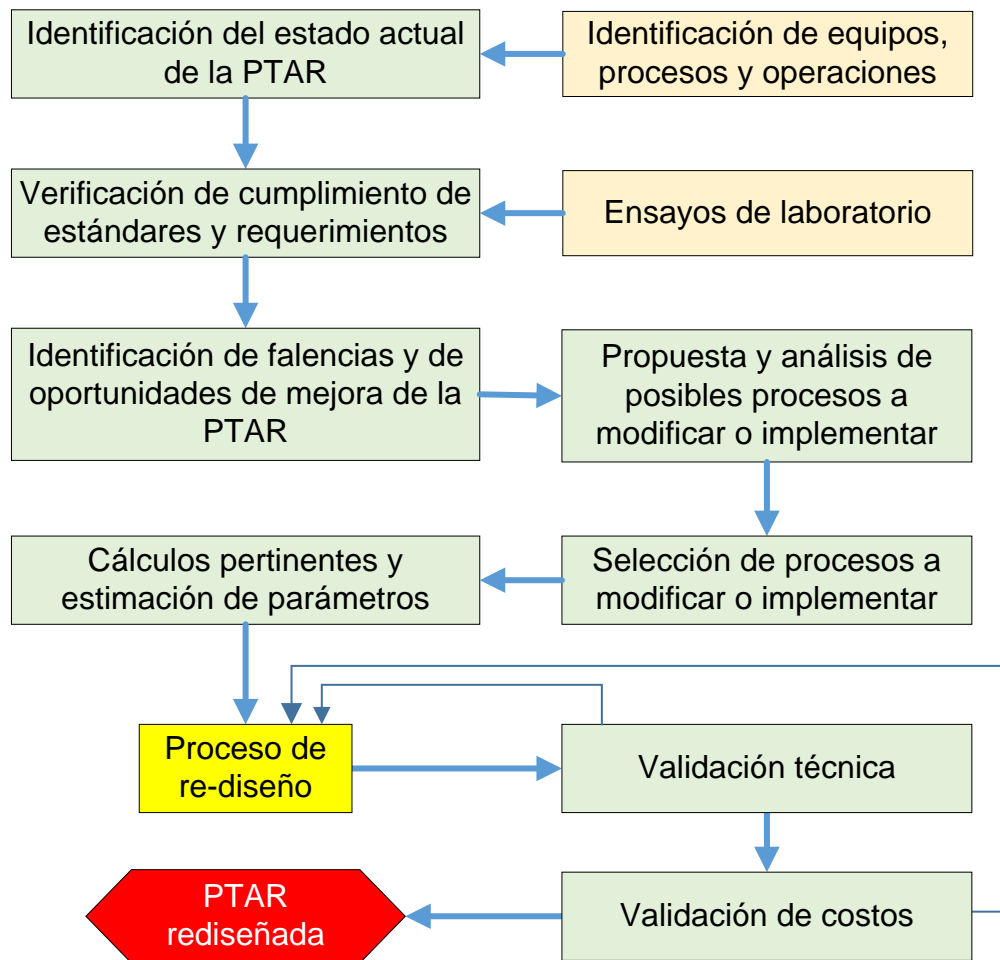


Figura 2.1: Diagrama de flujo de actividades para la metodología de resolución del problema.

Elaboración propia

Tabla 2.1. Metodología de diseño

Actividad		¿Cómo?
Identificación del estado actual de la PTAR	Identificación de los equipos y procesos de la PTAR y elaboración de diagramas de flujo de procesos.	Recorrido de la fábrica, identificación del proceso de fabricación de baterías. Esto incluye el recorrido en la PTAR y la identificación de todas sus partes y procesos. También incluye levantamiento de información como la medición de las instalaciones.
	Determinación de características de los afluentes a la PTAR.	Reconocimiento, primero, del flujo de procesos para la fabricación de baterías y, luego, de la naturaleza de cada proceso para identificar el origen y características de los afluentes.
	Determinación de características del efluente de la PTAR.	Revisión del historial de muestreos realizados a los efluentes.
Verificación de cumplimiento de estándares y requerimientos.		Revisión de la normativa pertinente.
Identificación de falencias y oportunidades de mejora de la PTAR.		Observación de cada proceso, equipo y de las instalaciones. Identificación de las fallas y oportunidades de mejora de desempeño.
Propuesta y análisis de posibles procesos a modificar o implementar.		Revisión de la bibliografía y análisis de los procesos utilizados en la industria en general para el tratamiento de aguas residuales e identificación los procesos aplicables al caso de estudio.
Selección de procesos a modificar o implementar.		Selección de las mejores opciones a implementar mediante la matriz de decisiones.
Cálculos pertinentes y estimación de parámetros necesarios para el diseño.		Uso de los métodos y ecuaciones disponibles en la bibliografía para calcular caudales y parámetros requeridos para el diseño. Uso de la información de la fábrica.
Re-diseño de la PTAR		Proceso de diseño de los procesos y elementos propuestos.
Validación técnica		Se verifica que el resultado del diseño cumpla con los parámetros técnicos requeridos.
Validación de costos		Se calculan los costos del rediseño y se verifica que el proyecto sea viable.

Elaboración propia

Para el rediseño, se debe partir del diseño actual de la PTAR, es decir, tratar de utilizar los componentes y el sistema de tratamiento actual, para realizar las modificaciones en las etapas que se establezcan convenientes.

2.1 Identificación del estado actual de la PTAR

Se realizó un recorrido por la fábrica observando los procesos que se llevan a cabo y se obtuvo también información más detallada del mismo, de archivos internos de la empresa. El proceso de fabricación de baterías de

plomo ácido, en el cual se puede observar qué procesos contribuyen con afluentes, se observa en la figura 1.1. En la figura 2.2 se detalla la caracterización de los afluentes hacia la PTAR y en la figura 2.3 se observa el flujo de procesos actual en la PTAR. Conocer la característica de los afluentes a la PTAR es de vital importancia para proponer un rediseño de la misma.

Caracterización de Afluentes hacia la PTAR

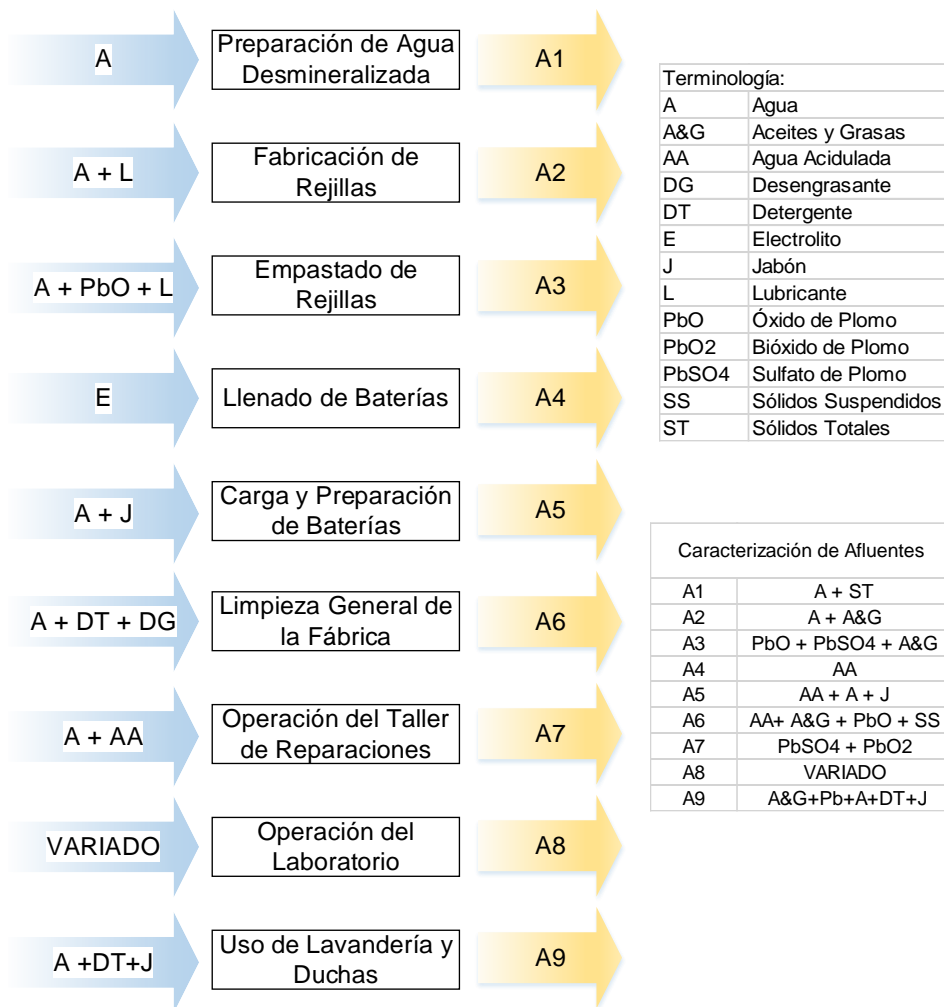


Figura 2.2: Caracterización de afluentes a la PTAR

Elaboración propia con información de (Altamirano & Peñafiel, 2012)

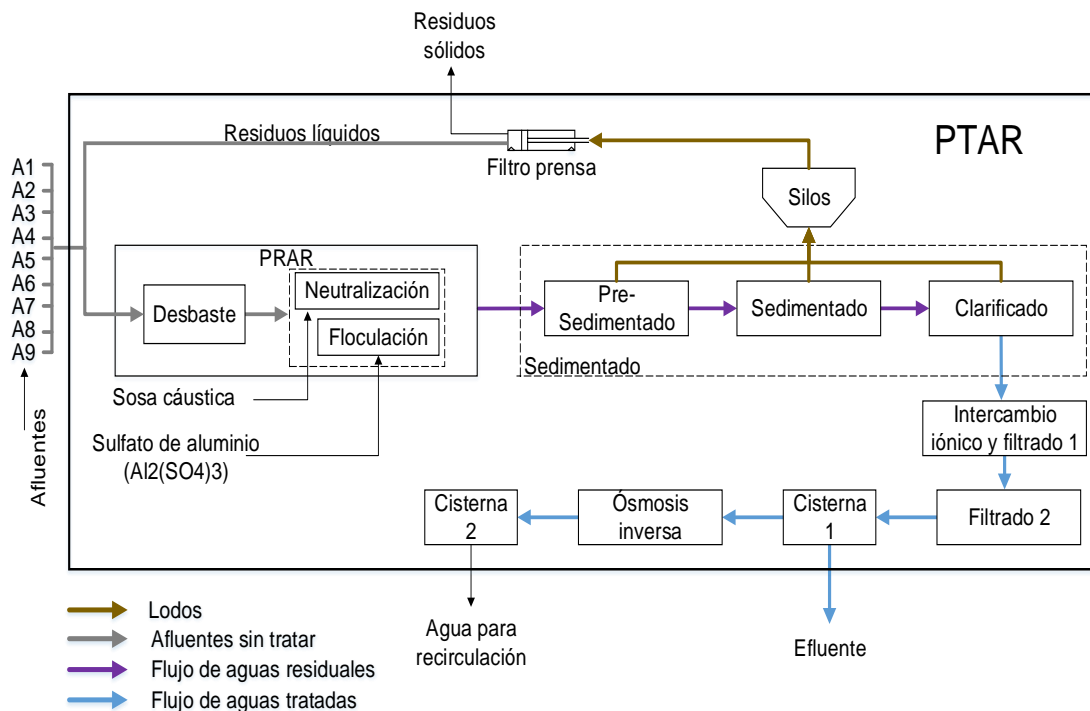


Figura 2.3: Diagrama actual de procesos y operaciones de la PTAR

Elaboración propia

2.2 Identificación de los equipos y procesos de la PTAR

Se realizó un recorrido de las instalaciones de la PTAR, identificando todas sus partes, equipos y procesos. Se realizó la verificación de los reservorios en funcionamiento y las mediciones necesarias para la elaboración de los planos P&ID del estado actual de la PTAR que se observan en el Anexo E. Se recurrió también a la información de la fábrica para obtener más detalles sobre los equipos y reservorios que forman parte de la PTAR. En el Anexo B.1.1 se muestran dos tablas: una tabla con la lista de los reservorios y dispositivos de almacenamiento y otra con la lista de los equipos que están presentes actualmente en la PTAR.

2.3 Verificación de cumplimiento de estándares y requerimientos

A partir del registro de descargas anual, del año 2015, el cual se encuentra en el Anexo B.1.2, y de los valores límites permisibles de descarga prescritos por el Libro VI DE LA CALIDAD AMBIENTAL DE LAS

POLÍTICAS BÁSICAS AMBIENTALES DEL ECUADOR (Ministerio del Ambiente, 2012). Se puede verificar que las descargas del mencionado año sí han cumplido con los límites máximos permitidos.

2.4 Identificación de falencias en la PTAR

Entre todos los procesos y operaciones que conforman la PTAR, se identificó la falencia que ocurre en la remoción de residuos sólidos desde el filtro prensa y se identificó una opción de mejora en el proceso de neutralización.

2.4.1 Proceso de neutralización y floculación

Actualmente en la PTAR el proceso de neutralización se efectúa en paralelo a la floculación, y para cada uno se utiliza una sustancia diferente: Soda cáustica para neutralizar y sulfato de aluminio para el floculante.

2.4.2 Remoción del residuo sólido generado por el filtro prensa

El filtro prensa es una máquina que realiza filtración por presión para la separación de las partes sólidas y líquidas de los lodos. El filtro prensa con el que cuenta la PTAR se encuentra ubicado a nivel del suelo y, debido a eso, para extraer las descargas se requiere que el trabajador encargado de esta actividad recoja los residuos sólidos mediante palas y sacos. Esta actividad es un trabajo repetitivo, lo cual es un factor de riesgo que requiere un alto esfuerzo físico por parte de los obreros y los tiempos de ejecución son elevados. Además, el trabajo repetitivo que representa esta tarea está restringido en el profesiograma del trabajador.

2.5 Análisis de posibles procesos y operaciones a modificar o implementar

Para el análisis de los procesos a implementar o modificar se tomarán en cuenta las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) (European Commission, 2003) y la experiencia encontrada en la bibliografía del área del tratamiento de aguas residuales.

Se consideran 2 etapas de rediseño las cuales son: Tratamiento químico y mejora estructural. Estas etapas de rediseño se refieren al proceso de neutralización y a la mejora de la extracción de residuos sólidos del filtro prensa mediante la modificación de la estructura base.

2.5.1 Modificación del proceso de neutralización

La consideración en base al neutralizante, se realiza con criterio de eficiencia en la remoción de sólidos y costo operativo. Para revisar los diferentes métodos de neutralización disponibles para precipitación de metales revisar el Anexo B.1.3

2.5.2 Base del filtro prensa

Para facilitar la remoción de sólidos descargados por el filtro prensa existen dos alternativas de mejora estructural, las cuales se analizarán en la siguiente sección.

2.6 Selección de procesos a implementar o modificar

Previo a la elaboración de las matrices de decisión, es necesario describir las ponderaciones y criterios que servirán para evaluar las alternativas. A continuación, en la tabla 2.2 se describe las ponderaciones que se emplearán a lo largo de esta sección.

Tabla 2.2. Calificación utilizada para las matrices de decisión

Calificación	Descripción
5	Muy favorable
4	Favorable
3	Regular
2	Poco favorable
1	No favorable

Elaboración Propia

Para las descripciones de los criterios, se deben tomar en cuenta los factores que influyan en cada área donde se pretende rediseñar. Para ello se describirá una matriz con la descripción de los criterios por cada área a rediseñar.

En la tabla 2.3 se describen los criterios que se emplean para los tratamientos químicos a considerar. El criterio para la descripción de las ponderaciones viene de pruebas experimentales realizadas en el laboratorio y también del artículo científico publicado por la *Environmental Protection Agency* (Environmental Protection Agency, 1978).

Tabla 2.3. Descripción de los criterios y definición de las ponderaciones

Criterios	Descripción	Definición de la calificación
Costo	Se define el costo de la sustancia	5: bajo costo operativo, 1: alto costo operativo
Sólidos totales disueltos	Es la cantidad de sólidos en suspensión luego de añadir el neutralizante	5: pocos sólidos presentes 1: más sólidos presentes
Velocidad de sedimentación	Rapidez a la cual se sedimenta los sólidos	5 rápida sedimentación, 1 lenta sedimentación.
Remoción de Plomo	Representa la capacidad de la sustancia para remover el plomo del AR	5 alta remoción, 1 baja remoción

Elaboración Propia

Tabla 2.4. Matriz de decisión de alternativas para tratamiento químico

Etapa 1 de rediseño: Tratamiento Químico					
% Ponderativo	25%	25%	25%	25%	100%
Alternativas	Costo	Sólidos totales disueltos	Velocidad de sedimentación	Remoción de Plomo	Puntaje
Cal apagada (Ca(OH) ₂)	4	5	5	4	4
Soda Cáustica (NaOH) + Sulfato de Aluminio(Al ₂ (SO ₄) ₃)	3	3	2	2	3

Elaboración propia

En la tabla 2.4 se observa que la cal apagada, o simplemente cal, es la opción más favorable como tratamiento químico. El beneficio que posee la cal, es su velocidad de sedimentación acelerada, debido a que por su baja solubilidad en agua, las partículas descienden con mayor facilidad a través de ella, en comparación a la soda que requiere el floculante para formar grumos y descender, lo que significa más tiempo en la sedimentación.

También se observó que el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ reduce en 69% los sólidos totales disueltos frente a un 41% de $\text{NaOH} + \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ y el contenido de plomo presente de los afluentes en 72% frente a 29% respectivamente. Lo mencionado anteriormente fue comprobado con las pruebas experimentales que se realizó, los valores que ayudan a justificar las ponderaciones utilizadas se encuentra en el Anexo B.1.5. Una ventaja adicional de la cal, es que no requiere adicionar el floculante lo cual es un costo adicional en el tratamiento. En el mercado local el precio por cada Kg de la cal es de \$ 0,18 mientras que la soda caustica es de \$ 0,64 y el sulfato de aluminio \$ 0,43.

En la segunda etapa de rediseño se ha propuesto realizar una mejora estructural al filtro prensa. Para ello se analizará 2 alternativas de instalación de dicho equipo.

Previo a la revisión de las alternativas se describe en la tabla 2.5 los criterios que se toman en cuenta con sus respectivas ponderaciones.

Tabla 2.5. Descripción de criterios y definición de ponderaciones

Criterios	Descripción	Definición de la Ponderación
Costo	Valor de la implementación de la estructura y mantenimiento del mismo	5: bajo costo, 1: alto costo
Implicaciones técnicas	Se refiere a las consideraciones técnicas que representa una u otra opción, tal como la verificación de que la estructura actual de acero soporte la plataforma.	5: Consideraciones técnicas sencillas 1: Consideraciones técnicas complejas
Superficie de Instalación	Amplitud del área donde se ubicará la estructura	5: Amplio 1: Reducido
Seguridad estructural	Mayor seguridad en la superficie de instalación. Menor riesgo de desplome	5: seguro 1: poco seguro

Elaboración Propia

En la tabla 2.6 se revisa las dos alternativas propuestas para la elevación o extrusión del filtro prensa:

Tabla 2.6. Matriz de decisión para alternativas estructurales del filtro prensa

Etapa 3 de rediseño: Elevación del filtro prensa					
% Ponderativo	25%	25%	25%	25%	100%
Alternativas	Costo	Implicaciones técnicas	Superficie de Instalación	Seguridad estructural	Puntuación
Extrusión sobre estructura de acero (Actual)	3	3	4	3	3,25
Extrusión sobre hormigón (FP anterior)	4	5	5	5	4,8

Elaboración propia

La extrusión sobre la estructura de acero ya existente representa un requerimiento de verificación de que esta estructura soportará la nueva carga causada por el peso de la plataforma. Esta verificación implica una dificultad técnica extra, ya que se debe analizar si las uniones empernadas y soldadas de la estructura ya existente soportarán la nueva carga. Esto no es necesario en el caso del hormigón. Este análisis técnico a su vez aumenta el costo final porque son procedimientos que añaden costos ingenieriles y aumentan el tiempo de diseño. La superficie disponible para instalar la plataforma es suficiente en ambos casos, sin embargo, hay más espacio para colocar la escalera en la superficie de hormigón. En el criterio de seguridad estructural, la primera alternativa tiene una calificación menor, porque en el caso de elegir esta alternativa, a pesar de haber realizado la validación técnica, sigue existiendo una mayor incertidumbre sobre la seguridad de la estructura. La mejor alternativa es la extrusión sobre la superficie de hormigón.

2.7 Re-diseño de la PTAR

2.7.1 Proceso de neutralización

De acuerdo al tratamiento químico seleccionado mediante la matriz de decisiones, implica el reemplazo del químico utilizado como neutralizante. Para ello se requiere modificar el proceso de adición del neutralizante a emplear, es decir, la cal apagada o Hidróxido de Calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). En la figura 2.4 se observa el diagrama de flujo del proceso de neutralización con cal.

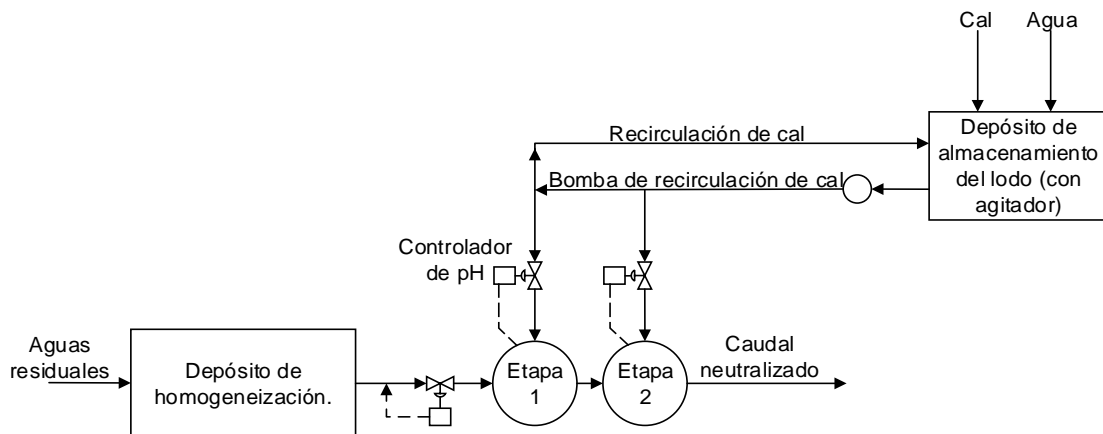


Figura 2.4: Diagrama de flujo del sistema de neutralización, en dos etapas con cal

Fuente: (Ramalho, 1983)

Se recomienda normalmente una adición por etapas de la cal. Para aguas residuales con alto contenido en ácido se recomiendan al menos dos etapas; la primera para elevar el pH al menos a un valor entre 3,0 y 3,5, y con la segunda se pretende llegar al pH deseado para el efluente.

Las fluctuaciones en el caudal del afluente complican el proceso. La utilización de un depósito de homogeneización suele ser recomendable para amortiguar las fluctuaciones, como se muestra en la Figura 2.4. Una pequeña cantidad de reactivo se puede mezclar completamente con un gran volumen de líquido en muy poco tiempo; a tal efecto se utilizan mezcladores mecánicos (R. S. Ramalho, 1983).

Para determinar la dosificación del neutralizante sobre el agua residual se realizan pruebas de jarras, lo cual se describe en la sección 2.7.1.1.

2.7.1.1 Prueba de jarras

La prueba de jarras es un procedimiento común de laboratorio para determinar las condiciones óptimas de funcionamiento para el agua o el tratamiento de aguas residuales. Este método permite realizar ajustes en el pH, las variaciones en la dosis de coagulante o polímero, alternando velocidades de mezclado, o la prueba de coagulante o diferentes tipos de polímeros, a pequeña escala con el fin de predecir el funcionamiento de una operación a gran escala de tratamiento. En la figura 2.5 se muestra un equipo de ensayo de jarras típico.



Figura 2.5: Equipo de ensayo de jarras

Fuente: AQUARA (2014)

Las pruebas consistieron en neutralizar con hidróxido de calcio los afluentes que ingresan a la PTAR. De acuerdo a la normativa ambiental los límites máximos permisibles del pH son entre 6 y 9.

Partiendo de los resultados obtenidos de las pruebas de jarras realizadas con hidróxido de calcio y agua potable, empleada como una suspensión neutralizante del agua residual acida, se obtiene la dosificación diaria que se requiere de dicho neutralizante. Las imágenes y los resultados de las pruebas se muestran en el Anexo B.1.4

2.7.2 Diseño de los sistemas de agitación

Previo al diseño de los sistemas de agitación es necesario contar con datos sobre la capacidad volumétrica que se requiere utilizar para poder neutralizar agua residual en un día, por lo que se comienza diseñando el tanque agitador y posteriormente, el rediseño del pre-sedimentador.

2.7.2.1 Diseño del tanque agitador

El contenido de un fluido de un recipiente, las dimensiones y disposición de los impulsores, deflectores y otros componentes internos son factores que influyen en la cantidad de energía necesaria para lograr de la cantidad de agitación.

La disposición interna depende de los objetivos de la operación: mantener homogeneidad de una mezcla de reacción, mantener en suspensión un sólido, dispersión de gases o para mejorar la transferencia de calor y masa. Una gama básica de factores de diseño se puede definir para cubrir la mayoría de casos. A continuación, en la figura 2.6 se muestra una representación gráfica típica de un tanque agitador.

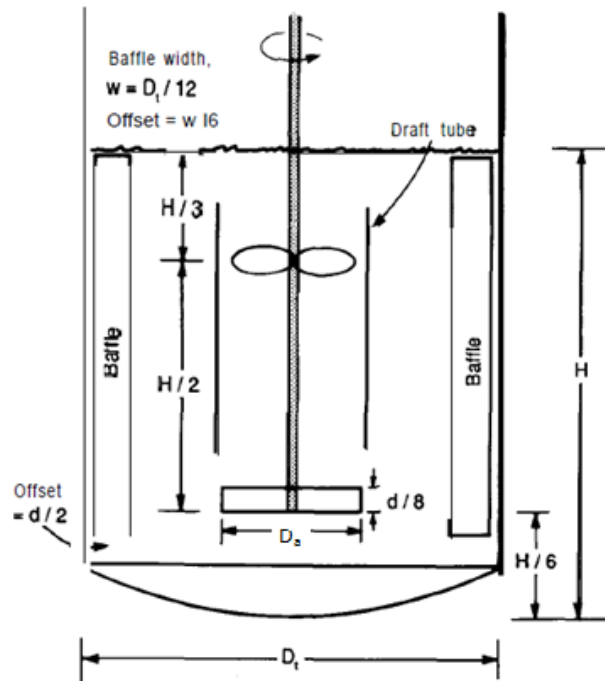


Figura 2.6: Diseño de forma típico de tanque agitador

Fuente: Chemical Process Equipment-Selection and Design (Walas, 1990)

Si el único propósito de los agitadores es suspender los sólidos, conviene elegir un impulsor de flujo axial, tal como el *impeller* de palas inclinadas (Mc Cabe, Smith, & Harriot, 2001).

Para *impellers* de palas axiales la relación entre el diámetro del impulsor y el diámetro del tanque se establece en el rango $D_a / D_t = 0.3 - 0.6$ (Walas, 1990). Los valores bajos del rango se utilizan para altas rpm, esto para operaciones de dispersión de gas (Walas, 1990). Para este caso de diseño se selecciona 0.5 como factor de relación entre el diámetro del *impeller* con el diámetro del tanque.

Para este propósito se implementará un *impeller* de 4 palas inclinadas 45° para lo cual las pruebas de Buurman se hicieron en tanques con fondo parabólico usando agitadores de cuatro palas con $w / D_a = 0.25$, donde w es el ancho de las palas y D_a diámetro del *impeller* (Mc Cabe et al., 2001). La altura del agitador respecto al fondo del tanque se especifica en la Figura 2.6.

De acuerdo a la disponibilidad en el mercado local, recomendaciones citadas en los textos y catálogos de fabricantes se diseña el tipo de *impeller*. Para obtener una suspensión adecuada se requiere generar turbulencia en el fluido por lo que para verificar la condición de flujo turbulento se emplea el número de Reynolds. Así, para agitadores, de acuerdo a (AIChE, 1987), se define número de Reynolds en unidades del sistema internacional (SI) como se muestra en la ecuación (Ec.) 1:

$$N_{Re} = 0,159 \cdot D_a^2 \cdot N \cdot \frac{\rho}{\mu} \quad (\text{Ec.1})$$

Dónde:

N_{Re} : Numero de Reynolds (adimensional)

D : Diámetro del impeller [m]

N : Velocidad rotacional [rad/s]

ρ : Densidad del fluido [kg/m^3]

μ : Viscosidad cinemática [$\text{Pa}\cdot\text{s}$]

Para la densidad del fluido será necesario tomar las fracciones volumétricas de la parte sólida y líquida. Para determinar dichas fracciones se coloca una muestra de la suspensión agitada en un cono para pruebas de sedimentación, donde se verifica el porcentaje presente de sólidos en la suspensión. De esta forma se determina la densidad equivalente empleando la ecuación 2 mostrada a continuación:

$$\rho = \left[\frac{x_1}{\rho_1} + \frac{x_2}{\rho_2} \right]^{-1} \quad (\text{Ec.2})$$

Dónde:

ρ : Densidad equivalente [kg/m^3]

ρ_1 : Densidad del fluido [kg/m^3]

x_1 : Fracción volumétrica del fluido

ρ_2 : Densidad del sólido [kg/m^3]

x_2 : Fracción volumétrica del sólido

La velocidad rotacional es tomada de acuerdo a la recomendación de fabricantes de *impellers* para agitar suspensiones. El fabricante indica un rango de operación para dicho requerimiento de 73 a 140 RPM para aplicaciones de homogenización, disolución, neutralización y preparación de reactivos (Flow control, Anexo B.1.7).

Para la consideración de la viscosidad del fluido se lo modela como agua, debido a que el fluido y el sólido se presentan como una mezcla heterogénea, es decir el sólido queda disuelto, por lo que no varía la viscosidad del fluido.

El factor que multiplica al número de Reynolds, en la ecuación 1, es un indicador de que la viscosidad está siendo multiplicada por aproximadamente seis veces su valor. Esto permite asumir la viscosidad del fluido como agua, ya que dicho valor actúa como un factor corrector. Luego de comprobar la condición de turbulencia, se calcula la potencia del motor que se requiere para el agitador.

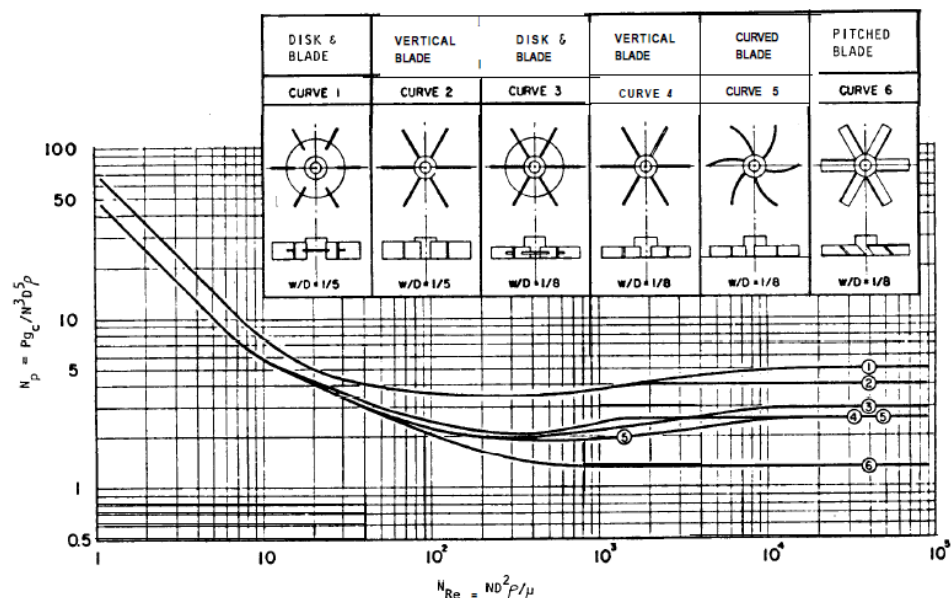


Figura 2.7: Numero de Potencia frente Numero de Reynolds de algunos *impellers* para agitadores.

Fuente: Chemical Process Equipment (Walas)

En la Figura 2.7, a partir del número de Reynolds y el tipo de *impeller* a utilizar, se encuentra el número de potencia, el cual se ingresa en la ecuación 3 para hallar la potencia en kW requerida por el *impeller*.

$$N_p = \frac{2,48 \cdot 10^5 \cdot P}{\rho \cdot N^3 \cdot D_a^5} \quad (\text{Ec.3})$$

Finalmente se establece el tiempo de mezclado, a partir de la ecuación 4. Este parámetro considera el tiempo que se requiere para obtener la suspensión completa de la mezcla (Mc Cabe et al., 2001).

Entonces:

$$t = \frac{nt_T}{N_1} \quad (\text{Ec.4})$$

Dónde:

t: tiempo de mezclado

nt_T : Factor de tiempo de mezclado

N_1 : Velocidad rotacional del *impeller* [rpm]

A partir de la figura 2.8, obtenemos el factor de tiempo de mezclado mediante el número de Reynolds calculado y el tipo de *impeller* utilizado:

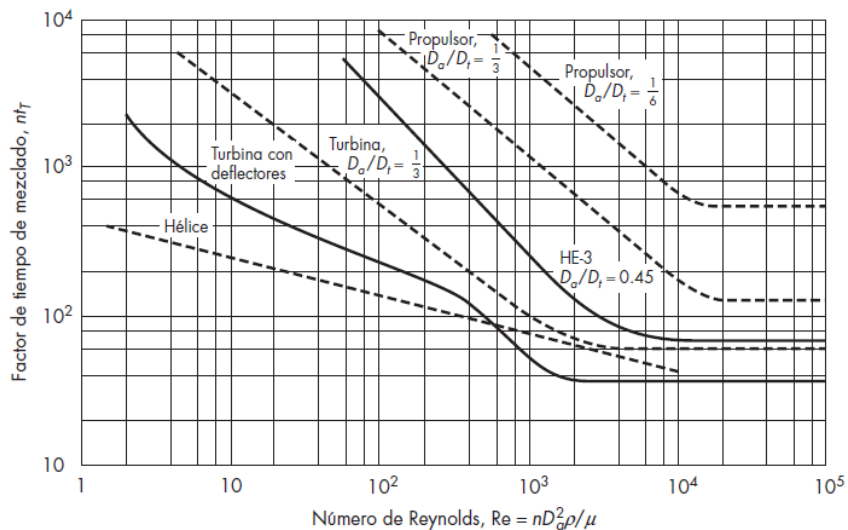


Figura 2.8: Tiempos de mezclado en tanques agitadores¹.

Fuente: (Mc Cabe et al., 2001)

2.7.2.2 Rediseño del pre-sedimentador

Esta fase está dividida en dos sectores. Se utilizará una parte para realizar la segunda etapa de neutralización, es decir llevar al pH 8, mediante la agitación de los residuos provenientes de la primera etapa. La finalidad de implementar esta modificación viene dada por la problemática que se observó al realizar una corrida de prueba en la PTAR. De esta prueba se observó que en esta fase (pre-sedimentador) existía cal retenida, producto de la velocidad de sedimentación elevada de la cal. Esta retención de cal, provocaba una elevación del pH desde 7 hasta 10, llegando a ser alcalino. Esto se originó por el bombeo de agua residual (AR) neutralizada hacia el pre-sedimentador, lugar donde los sólidos se sedimentaron rápidamente, quedando almacenados dichos sólidos y ocasionando la elevación del pH señalada.

Otro objetivo de esta segunda etapa es poder reutilizar estos sólidos sedimentados almacenados, dado que la utilidad de la cal sigue prevaleciendo luego de haber neutralizado un metro cubico de agua; esto fue verificado mediante pruebas de jarra en laboratorio. La cantidad de veces que se estima de reutilización es de aproximadamente 3, es decir 3 metros cúbicos bombeados desde el pozo recolector de aguas residuales (PRAR) hacia el pre-sedimentador. Esto se lleva a cabo mediante el uso del sistema de control de la planta, el cual deberá ser programado para que realice la dosificación necesaria de cal hasta llegar al pH de 8. Con esto también se pretende reducir la generación de sólidos en la PTAR, lo cual justifica un ahorro en costos al momento de enviar al gestor de desechos sólidos.

2.7.2.3 Cálculos para el rediseño del pre-sedimentador

¹ Las líneas discontinuas son para tanques sin deflectores; las líneas continuas son para tanques con placas deflectoras.

El pre-sedimentador como se mencionó está dividido en dos sectores, con el objetivo de ir reteniendo sólidos. La división consta de una plancha de polietileno de alta densidad, con orificios de 3 a 4 mm de diámetro, lo cual ayuda a retener los sólidos suspendidos, como una especie de filtro. En la figura 2.9 se muestra el pre-sedimentador.

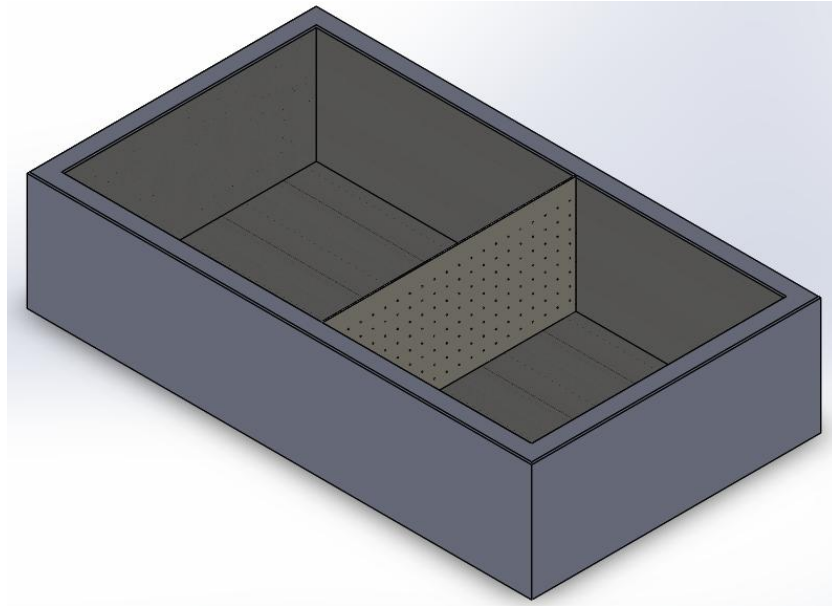


Figura 2.9: Pre-sedimentador
Elaboración propia

La modificación consiste en mover dicha división de tal forma que se pueda tener un recipiente con sección circular. La forma de la piscina es rectangular por que se añadirá revestimientos de polietileno para generar superficies curvas, para así evitar la retención en el mezclado que se pretende instalar en esta etapa. Las dimensiones para la segunda fase con el revestimiento quedarían de la siguiente forma: Altura=0.95 m; Diámetro= 2 m.

Siguiendo el mismo procedimiento del tanque agitador se rediseña la etapa del pre-sedimentador, el cual a su vez está compuesta de dos fases, donde una de ellas será la segunda etapa de neutralización.

2.7.3 Diseño de la estructura base para el filtro prensa

En la figura 2.10 se observa una plataforma similar a la que será diseñada. Deberá contar con una escalera de acceso, una plataforma con barandas para trabajar a los costados del filtro prensa y una derivación hacia abajo que permita el manejo de los residuos sólidos que se generan. Esta plataforma deberá cumplir con las especificaciones dimensionales del Decreto 2393 que se muestran en la tabla 2.7 (Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social, n.d.).

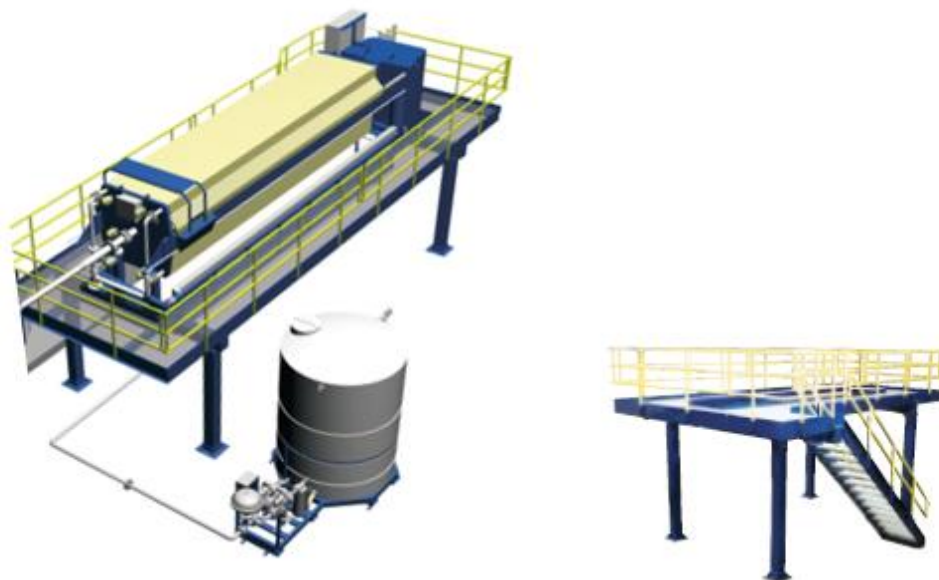


Figura 2.10: Plataforma elevada típica para filtro prensa

Fuente: Industrial Filtration & Separation Equipment "Pacific Press Co".

Tabla 2.7. Especificaciones dimensionales según el decreto 2393

Pasillos	Distancia mínima entre máquinas u otros aparatos (Ancho de pasillo)	800 mm
Escalones	Huella mínima	230 mm
	Altura	130 - 200 mm
Pasamanos	Altura	900 mm
Escalera de servicio	Ancho mínimo	600 mm
	Inclinación menor a:	60°

Elaboración propia

El diseño de forma de la estructura está basado en los parámetros mostrados en la tabla 2.7. y en el diseño de forma observado en la figura 2.10 y consta de lo siguiente:

- Estimación de cargas para calcular columnas
- Diseño de columnas y selección de perfiles a utilizar
- Estimación de cargas para calcular vigas
- Diseño de vigas y selección de perfiles a utilizar
- Diseño de las diferentes uniones de la estructura

Los parámetros que requeridos para proceder al diseño de la estructura de la base del filtro prensa, es la masa de éste y el efecto que causa su funcionamiento. El espacio disponible también es de consideración. El filtro prensa se encuentra actualmente sobre una plataforma de acero, sin embargo, se dispone de un espacio de hormigón disponible para la instalación. La estructura de la base será diseñada considerando la instalación de la misma en la base de hormigón. Debido a que no se tiene el dato de la masa del filtro prensa, se realiza una estimación y se calcula la fuerza que ejerce el mismo debido a su funcionamiento. Esto y la metodología de cálculo de las cargas muertas y vivas se detalla se detalla en el Anexo B.2.1.

En la figura 2.11 se muestra esquemáticamente en 2D como afectarán las cargas a la estructura.



Figura 2.11: Cargas que soporta la estructura

Elaboración propia.

2.7.3.1 Columnas y vigas

Para el cálculo de la columna se considerará que la columna crítica soportará 1/3 de la carga de funcionamiento del filtro prensa.

El proceso de selección del perfil de columna se detalla en el Anexo B.2.2

Debe comprobarse ahora que el perfil seleccionado cumpla con los criterios para evitar el pandeo y la falla de los miembros del perfil y además analizar la estabilidad cuando es sometido a las cargas máximas consideradas.

Para verificar si soportara el pandeo se debe determinar la esbeltez de la columna tomando en cuenta la longitud efectiva, luego este valor se compara con la esbeltez de transición para determinar el tipo de columna y luego determinar la fuerza crítica que soportará el perfil antes del pandeo. Luego se debe verificar si los miembros del perfil son compactos. Estos procedimientos se detallan en el Anexo B.2.2.

Se debe realizar la verificación de efectos de deflexión. La estabilidad de la estructura también debe ser verificada, ya que también sufre efectos de segundo orden, es decir, efectos causados por la deflexión. En la figura 2.12 se observa el efecto del desplome en una estructura.

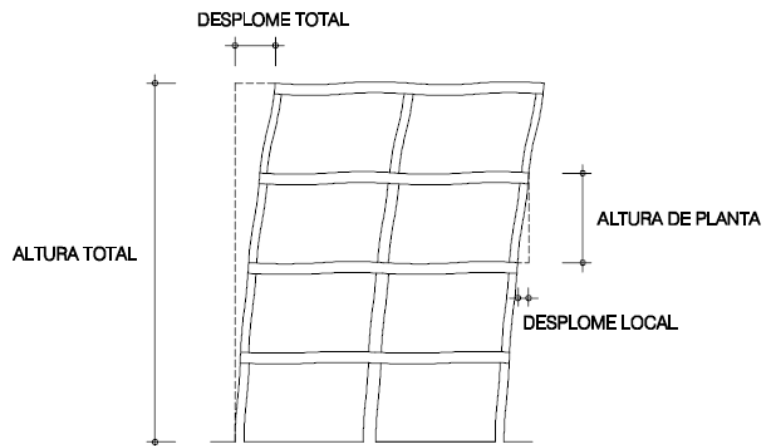


Figura 2.12: Desplome en estructuras

Fuente: (Código Técnico de la Edificación, 2009)

La verificación de la deflexión de la columna se detalla en el Anexo B.2.3. El Documento Básico de Seguridad Estructural (DB SE) del Código Técnico de la Construcción (Código Técnico de la Edificación, 2009) admite que la estructura tiene suficiente rigidez lateral si el desplome local causado por cualquier combinación de acciones es menor a $1/250$ de la altura de la planta, para garantizar la integridad de los elementos estructurales.

Las resistencias nominales de diseño del perfil seleccionado para la columna, es decir la resistencia nominal a la compresión, a la flexión y al corte, son calculadas de acuerdo a las especificaciones del capítulo F de la ANSI/AISC 360 (American Institute for Steel Construction, Inc., 2005). Se verifica que no sea necesario el diseño por fatiga. La sección 3.1 del apéndice 3 de la ANSI/AISC 360 indica que no es necesario el análisis por fatiga si el rango de los esfuerzos por las cargas vivas es menor que el rango umbral de esfuerzos especificado en la Tabla A-3.1 del manual. Las vigas soportarán cargas puntuales debidas al peso del filtro prensa en los 4 puntos de unión con las columnas y además cargas distribuidas. Hay dos vigas principales y vigas secundarias unidas con pernos que soportarán la plataforma. Hay cargas muertas y cargas vivas. Las cargas puntuales corresponden al peso del filtro prensa cuando está sin lodos

(carga muerta) y cuando está con lodos (carga viva). Las cargas distribuidas contemplan el peso de la plataforma y de las barandas (cargas muertas), así como el peso de dos personas que usarían la plataforma y una máquina supuesta (cargas vivas).

En la figura 2.13 se observa el diagrama de fuerzas de la viga principal.



Figura 2.13 Viga principal

Elaboración propia con software Ftool

La selección del perfil para las vigas se detalla en el Anexo B.2.2.

2.7.3.2 Diseño de uniones soldadas y empernadas

2.7.3.2.1 Diseño de unión viga a viga

La unión entre la viga principal y las secundarias será empernada. Para diseñar la junta primero hay que calcular los esfuerzos que ésta deberá resistir. Para esto, se utiliza un modelo de viga empotrada como se muestra en la figura 2.14:

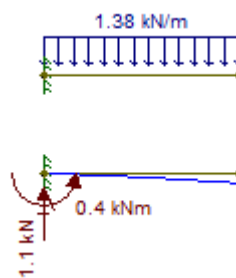


Figura 2.14: Viga secundaria

Elaboración propia en software Ftool

Como se puede observar en la figura 3.2 en la sección 3.3.2, la viga secundaria 1 va unida a la viga primaria a través de la placa 1 y la placa 2. Y la viga secundaria 2 va unida con la placa 1 solamente. La placa 1

soportará los esfuerzos cortantes en la unión y la placa 2 soportará la carga producida por el momento flexionante.

La placa 1 va soldada a la viga principal mediante una soldadura de filete y va unida a cada lado del alma de la viga secundaria con dos pernos. La placa 2 va unida con pernos a ambas vigas.

Se debe diseñar el cordón de soldadura que une la placa 1 con la viga principal, la unión empernada entre la placa 1 y la viga secundaria y la unión empernada de la placa 2 con la viga secundaria 1.

La geometría de las placas, la unión empernada y la soldadura están diseñadas de acuerdo con las disposiciones del capítulo J para uniones de la ANSI/AISC 360. El proceso de diseño de soldaduras y uniones empernadas se detalla en el Anexo B.2.4 y Anexo B.2.5 respectivamente.

El cordón de soldadura será diseñado para soportar esfuerzo cortante y será como se muestra en la figura 3.3 en la sección 3.3.2.1. El cordón es de soldadura a filete. La longitud del cordón depende de la geometría de la placa.

La unión empernada será de deslizamiento crítico y será diseñada para soportar la misma carga cortante que la soldadura. La unión empernada de la placa 2 también será de deslizamiento crítico.

2.7.3.2.2 Diseño de unión entre columnas y vigas.

La unión entre columnas y vigas es empernada. Una placa soldada al extremo de la columna es conectada a la viga mediante una junta empernada en deslizamiento crítico según lo indica la ANSI/AISC 360.

Soldadura de columna a placa de conexión

Para la unión entre la columna y la viga se requiere una placa soldada en taller en el extremo superior de la columna donde se conectarán los pernos. La soldadura es diseñada como lo indica la ANSI/AISC 360. El cordón de soldadura se muestra en la figura 3.4 de la sección 3.3.2.2.1. En esta unión se tiene que el cordón que conecta al alma con la placa soporta los esfuerzos de corte mientras que el cordón que conecta las

alas con la placa soporta tensión, o compresión, debido al momento flexionante que debe resistir. Se diseña una soldadura en filete sometida a cortante (del alma a la placa) y una soldadura de tipo penetración parcial sometida a tensión normal al eje del cordón (del ala a la placa). El diseño de las soldaduras se detalla en el Anexo B.2.4.

Unión empernada

En la figura 3.5 de la sección 3.3.2.2.2 se observa la unión entre la columna y la viga. La unión empernada es de deslizamiento crítico y su resistencia de diseño soporta carga cortante y de tensión debido a momento flexionante. Se detalla el diseño en el Anexo B.2.5.

2.7.3.3 Diseño de placa base.

Para el diseño de la placa base se utilizó la Guía para Diseño en Acero 1 de la AISC (American Institute of Steel Construction, Inc., 2003). Para este diseño se debe considerar la carga axial y el momento flexionante que soporta la columna. El presente caso corresponde a una placa base con momento con una alta excentricidad, es decir que el momento es bastante elevado en relación a la carga axial. Se diseñan las dimensiones de la placa y su espesor. El proceso de diseño se detalla en el Anexo B.2.6. La unión entre la columna y la placa base es por soldadura, la cual se diseña de forma similar que las soldaduras anteriores. El proceso de diseño de soldadura se detalla en el Anexo B.2.4.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS

3.1 Pruebas experimentales de neutralización con Ca(OH)_2

Previo a las pruebas se analizó el funcionamiento con los insumos actuales, los cuales son la soda cáustica y sulfato de aluminio, neutralizante y floculante respectivamente, luego se comparó frente al hidróxido de calcio, el cual cumple las funciones de neutralizante y precipitante de los SSD. No se utiliza floculante junto con el hidróxido de calcio por su característica de velocidad de sedimentación rápida lo cual ayuda a precipitar los SSD sin necesidad de flocular. En las tablas 3.1 y 3.2 se muestran los parámetros de los insumos utilizados en las pruebas experimentales.

Tabla 3.1. Preparación de solución de soda cáustica al 10%

Preparación de solución de hidróxido de sodio (soda cáustica)	
Agua (lts)	9
Soda (lt)	1
Concentración p/p	10
pH solución 10%	14
Solidos Totales (g/lt)	-
Costo \$/ kg soda	0,64
Costo \$/ lt solución	0,064

Elaboración propia

Tabla 3.2. Preparación de solución de Hidróxido de calcio

Preparación de solución de hidróxido de calcio (cal apagada)	
Agua (lts)	10,3
Cal (Kg)	1
Concentración p/p	8,85
pH solución 9.1%	12
Solidos Totales (g/lt)	4500
Costo \$/ kg	0,18
Costo \$/ lt Solución	0,0175

Elaboración propia

Posteriormente se realizaron pruebas añadiendo hidróxido de calcio de forma directa, es decir sin preparar una solución. Para saber qué cantidad se necesita de esta sustancia, se realizaron pruebas experimentales con el agua sin tratar que ingresa a la PTAR.

En resumen, se realizaron un total de 13 pruebas, de las cuales:

- 3 pruebas fueron fallidas: En estas pruebas se intentó neutralizar afluentes con un pH menor a 1.5 de 3 formas:

- La primera consistió en preparar solución de hidróxido de calcio, 1 kg de Ca(OH)_2 en 10 litros de agua potable.
- La segunda consistió en agregar Ca(OH)_2 en estado puro partiendo del análisis estequiométrico, realizado por el analista químico de la empresa, se estimó que se requerirían 386 gramos de cal por cada litro de afluente, lo cual posteriormente no dio resultado.
- La tercera fue una prueba similar donde se utilizó 500 gramos y no se observó variación de pH en el afluente ácido.

Luego de esta prueba se verificó en la curva de neutralización, procedentes de experimentos realizados (Ramalho), que en el caso del Ca(OH)_2 los datos comenzaban con un pH mayor a 1.5 lo cual ayudó a deducir que para los casos de un pH menor a 1.5 no es factible utilizar el hidróxido de calcio.

- 4 pruebas se obtuvieron valores aberrantes de las cuales:

- 2 pruebas con soda cáustica se obtuvo un pH de 10: El resultado de estas pruebas viene dado por la inestabilidad al agregar soda hacia el afluente ácido.
- 1 prueba con soda cáustica sin haber agitado: en esta prueba se requirió de una cantidad considerable de soda para neutralizar el afluente, de aquí la importancia de agitar la sustancia neutralizante al momento de realizar la neutralización.
- 1 prueba con cal sin agitar: en esta prueba se pretendía neutralizar sin la necesidad de aportar demasiados sólidos en suspensión al afluente, pero se requirió una gran cantidad de esa solución para poder neutralizar el afluente.

Finalmente se obtuvieron 6 pruebas con valores estables, el criterio utilizado para medir la trazabilidad de las pruebas fue el costo, ya que se dispone de información de costos actuales por mes de la empresa, y en el caso de la cal en valor unitario por Kg cerca de 3 veces menor que la soda, por lo que se esperaba un ahorro en los resultados con esta prueba. Todas las pruebas que fueron realizadas se muestran en el Anexo B.1.4

A continuación, en la Tabla 3.3 se muestra la prueba de la cual se tomó como referencia para realizar la dosificación necesaria para la neutralización.

Tabla 3.3. Resultado de prueba estable con hidróxido de calcio.

Prueba 6	Con solución de cal al 10% (Agitada)				
Solución de Neutralizante	Volumen agua ácida (lts)	pH inicial AR	pH del neutralizante	Dosis neutralizante (lts)	pH final AR
Hidróxido de calcio (10%)	10,325	1,5	13	0,325	7

Elaboración propia

El resultado final utilizado es: por cada 10 litros de agua residual se requiere 0.2 a 0.3 litros de solución de hidróxido de calcio. La preparación de la solución se la realiza en una de proporción de 10 a 1, es decir por cada 10 litros de agua potable añadido 1 Kg de hidróxido de calcio. Entonces partiendo de la dosificación requerida para neutralizar un volumen de agua establecido se establece el volumen del tanque en base a la cantidad de agua residual promedio tratada por día.

El sistema con cal genera un 43% adicional de residuos sólidos frente al sistema actual, por lo que requiere la gestión adicional de dichos residuos, lo que significa un costo adicional.

3.2 Resultados del sistema agitador

Se instalará el tanque de preparación de lechada de cal y el sistema de agitación en el pre-sedimentador. En el pre-sedimentador se realizará un

revestimiento de forma parabólica en las esquinas al fondo del tanque, para evitar la retención de cal al momento de realizar la agitación.

Los parámetros de cada etapa de rediseño del sistema de neutralización, en detalle, se encuentran en el Anexo B.1.6.

En la tabla 3.4 se muestra en resumen los parámetros necesarios para la reducción de velocidad del motor.

Tabla 3.4. Parámetros de reductores seleccionados

MOTOREDUCTOR	Relación de reducción	RPM	Diámetro de eje	Motor
Reductor lineal	23,7/1	71	30 mm	1 Hp
Reductor ortogonal	30,0/1	56	28 mm	2 Hp

Elaboración propia

Los reductores fueron seleccionados en base a los motores disponibles en planta y al requerimiento de cada caso, sea para la preparación de la solución de hidróxido de calcio, y para la piscina rectangular donde funcionara la segunda etapa de neutralización.

En la tabla 3.5 se muestra los parámetros de los reservorios donde se implementará cada etapa de neutralización.

Tabla 3.5. Parámetros de reservorios seleccionados

RESERVORIOS	Tanque cilíndrico	Piscina rectangular
Capacidad:	2,5 m ³	2,8 m ³
Contenido:	Suspensión de agua con cal	Agua residual ácida más suspensión de cal
Material	Polietileno alta densidad (HD-PE)	hormigón recubierto con (HD-PE)

Elaboración propia

En la tabla 3.6 se muestra los parámetros de cada *impeller* donde el *impeller* 1 corresponde al tanque de preparación de lechada de cal y el *impeller* 2 para la agitación en la etapa 2 de neutralización, donde se requiere mantener la agitación para llevar a cabo la neutralización final.

Tabla 3.6. Parámetros de *impellers* diseñados

IMPELLERS	<i>Impeller 1</i>	<i>Impeller 2</i>
Diámetro de las palas	75 cm	100 cm
Ancho de palas	20 cm	25 cm
Diámetro del eje	30 mm	28 mm
Longitud del eje	1,20 m	85 cm
Recubrimiento	Polipropileno	Polipropileno

Elaboración propia

El *impeller 1* trabaja en conjunto con el reductor lineal, mientras que el *impeller 2* el cual se ubicara en el pre-sedimentador, trabaja junto con el reductor angular.

Para los *impellers*, los materiales de construcción estándar en acero inoxidable 304 y 316 en ocasiones deben ser recubiertos con materiales resistentes a las condiciones extremas de algunas aplicaciones, productos como el ácido clorhídrico y los hipocloritos, la suspensión de sólidos y las altas temperaturas, suelen ser causantes del deterioro acelerado del acero inoxidable. Para observar en detalle el tipo de *impeller* seleccionado para cada caso, revisar los planos 1 y 2.

El rediseño del tratamiento químico de la PTAR consistió en la mejora de dos de sus etapas, las cuales son la neutralización basta, hasta pH: 3, la cual se lleva a cabo en el PRAR y la modificación del pre-sedimentador, donde se extiende la segunda etapa de neutralización, de ajuste, hasta pH: 8.

En las etapas de sedimentación, clarificación, intercambio iónico y ósmosis inversa, descritas en el anexo A.1.2, no se ha realizado ninguna modificación ya que, del análisis de cada etapa, las modificaciones más factibles son en la neutralización y la elevación del filtro prensa.

3.3 Plataforma elevada para el filtro prensa

Se diseñó una plataforma de 2.60 x 4.50 metros y 1.50 metros de altura soportada por 4 columnas HEB240 y con vigas HEB140. Las uniones entre vigas y entre columnas y vigas son emperradas. La plataforma tiene pasillos de 800 mm de ancho, un agujero en el centro de 0,98 x 2,05 m y

pasamanos de 900 mm de altura. Los pasamanos y barandas son con perfiles huecos redondos de 40 mm de diámetro y 2 mm de espesor. El acceso es mediante una escalera. Para el piso de la plataforma se utiliza lámina antideslizante de acero de 5 mm de espesor.

El material utilizado para diseñar la estructura es el acero estructural ASTM A36. El diseño final de la plataforma con el filtro prensa se observa en la figura 3.1.

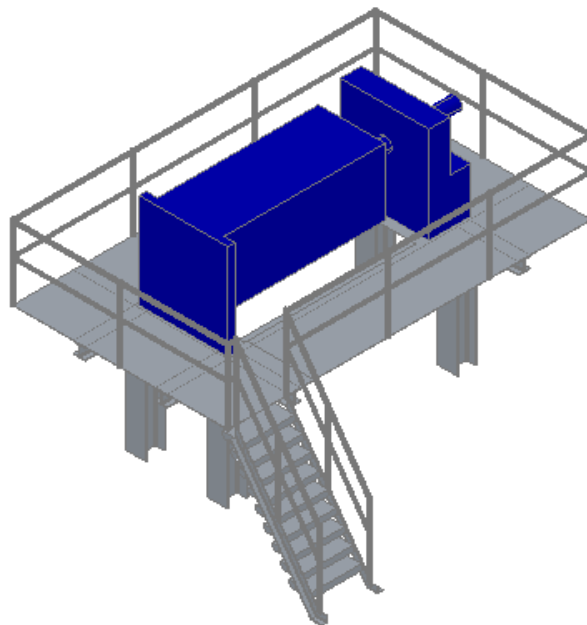


Figura 3.1: Plataforma de elevación diseñada

Elaboración propia

3.3.1 Columnas y vigas

En la Tabla 3.7 se observan las características de diseño de las columnas y en la Tabla 3.8 la de las vigas. Se muestra también en las tablas mencionadas la masa total de las columnas y las vigas respectivamente.

Tabla 3.7. Perfil seleccionado para columnas

Unidades		4
Perfil seleccionado		HEB240
Longitud		1,36 m
Masa/Longitud		33,7 Kg/m
Masa		453 Kg
Resistencia nominal	Compresión	2308 kN
	Momento	234 kN-m
	Corte	540 kN

Elaboración propia

Tabla 3.8. Perfil seleccionado para vigas

Perfil seleccionado		HEB140
Viga primaria	Unidades	2
	Longitud	4,35 m
Viga secundaria	Unidades	2
	Longitud	2,58 m
Masa/Longitud		33,7 Kg/m
Masa		467 Kg
Resistencia nominal	Momento	234 kN-m
	Corte	540 kN

Elaboración propia

Las resistencias nominales de diseño de las columnas y vigas son mayores a las cargas que deben soportar.

Además, el perfil seleccionado para la columna cumple con los requerimientos para evitar falla por pandeo, los miembros rigidizados y no rigidizados del perfil (alma y ala) son compactos sometidos a flexión y el desplome se encuentra dentro de lo recomendado. Los resultados detallados de estos análisis se encuentran en el Anexo C.2.2.

3.3.2 Uniones

En la tabla 3.9 se detallan los parámetros generales de todas las uniones empernadas y soldadas de la estructura diseñadas en base a (American National Standard Institute & American Welding Society, 2010).

Tabla 3.9. Parámetros para uniones empernadas y soldadas

Uniones empernadas	Tipo de perno	A325M
	Perno seleccionado	M16
	Diámetro de agujero	18 mm
	Distancia a bordes	22 mm
	Espesor placas	10 mm
	Pre-tensión	91 kN
	# total de pernos utilizados	48
Uniones soldadas	Tipo de soldadura	Arco sumergido
	Electrodo a utilizar	E6010

Elaboración propia

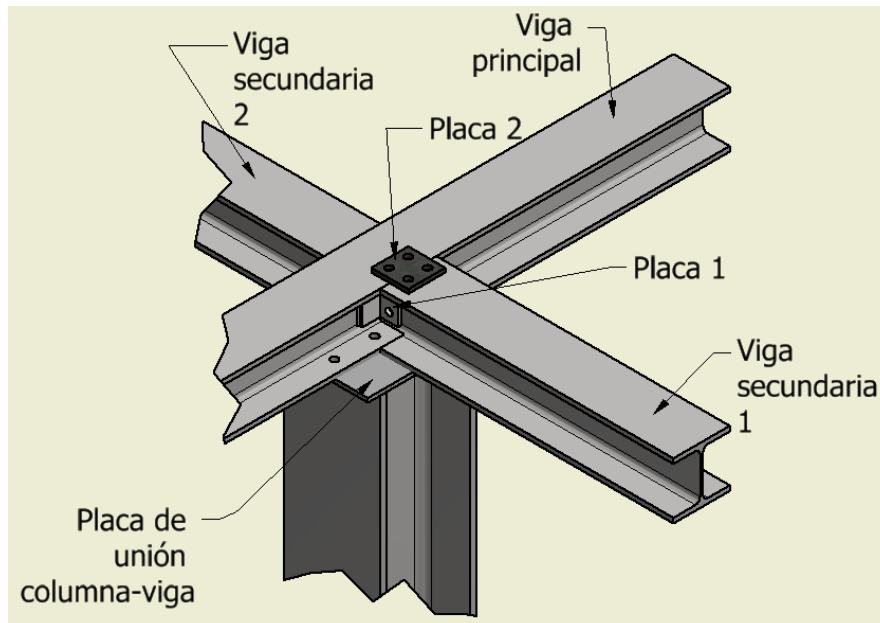


Figura 3.2: Unión viga a viga a columna

Elaboración propia

3.3.2.1 Diseño de unión viga a viga

Esta unión tiene un componente sometido a corte (Soldadura 1 y unión empernada 1) y otro sometido a tensión por momento flexionante (unión empernada 2).

La unión a corte contará de dos placas en L (Placa 1), por un lado, soldadas (Soldadura 1) a la viga principal y por el otro empernadas a la viga secundaria (Unión empernada 1). La unión a tensión por momento flexionante (Unión empernada 2) será de una placa (Placa 2) conectada

a ambas vigas como se muestra en la figura 3.2. En la tabla 3.10 se muestran los parámetros de la unión diseñada.

Tabla 3.10. Parámetros de la unión viga a viga (Unión 1)

Soldadura 1	# de cordones por placa	1
	# de placas soldadas	16
	Pierna	5 mm
	Longitud de cordón	92 mm
	Resistencia nominal al corte	276 kN
Unión emperrada 1	# de pernos por unión	2
	# de placas por unión	2
	# de uniones	8
	Resistencia nominal al deslizamiento	181 kN
	Resistencia nominal al corte	133 kN
Unión emperrada 2	# de pernos por unión	4
	# de placas por unión	1
	# de uniones	4
	Resistencia nominal al deslizamiento	90 kN
	Resistencia nominal al corte	133 kN

Elaboración propia

Estas resistencias son mucho mayores que las cargas que debe resistir la junta, por lo que se verifica que la unión emperrada soportará las cargas adecuadamente.

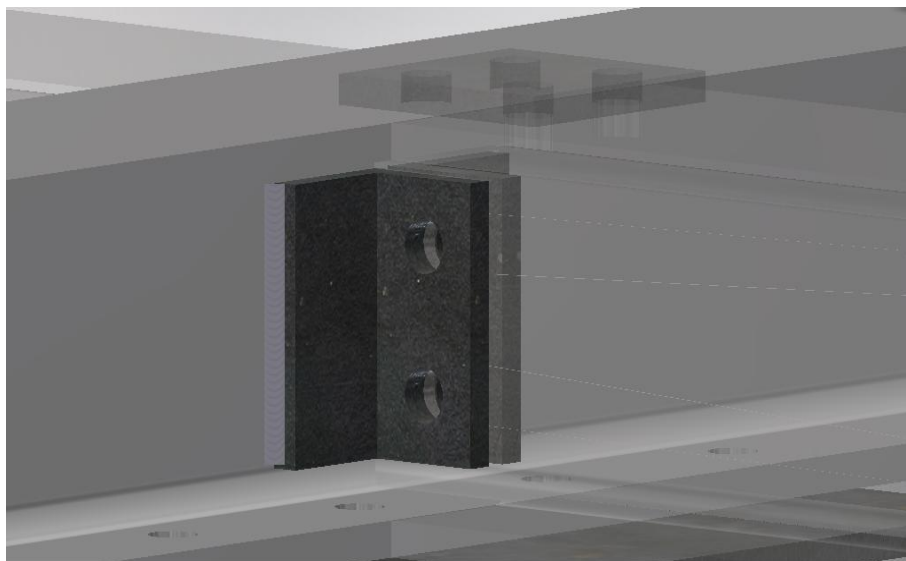


Figura 3.3: Cordón de soldadura entre placa 1 viga principal.

Elaboración propia

3.3.2.2 Diseño de unión viga a columna

3.3.2.2.1 Soldadura columna placa

En la Tabla 3.11 se muestran los parámetros de la junta soldada diseñada para unir la columna a la placa de conexión que va empernada a la viga principal.

Tabla 3.11. Diseño de soldadura de columna a placa

# de placas soldadas		4
Pierna		6 mm
Soldadura ala - placa	Longitud de cordón	450 mm
Soldadura alma - placa	Longitud de cordón	332 mm
Resistencia de diseño al cortante		700 kN
Resistencia de diseño a la tensión		891 kN
Rango de diseño de esfuerzos a cortante		118 MPa
Rango de diseño de esfuerzos a tensión		298 MPa

Elaboración propia

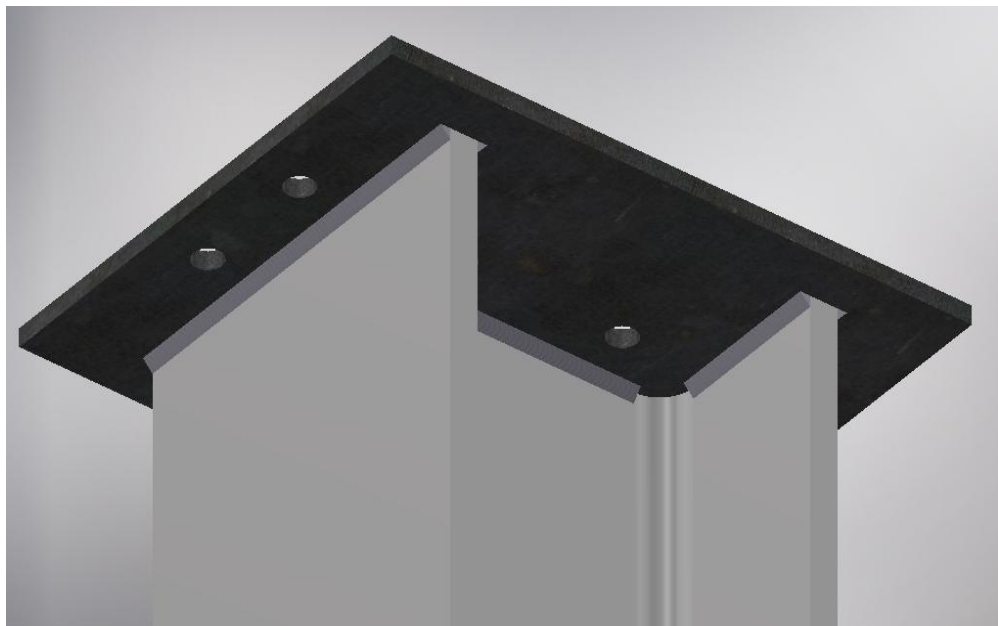


Figura 3.4: Cordón de soldadura entre columna y placa para unión empernada

Elaboración propia

3.3.2.2.2 Unión empernada

En la tabla 3.12 se observan los parámetros de la unión empernada diseñada.

Tabla 3.12. Unión empernada viga a columna

Unión empernada viga - columna	# de pernos por unión	8
	# de placas por unión	1
	# de uniones	4
	Resistencia nominal al deslizamiento	90 kN
	Resistencia nominal al corte	133 kN

Elaboración propia

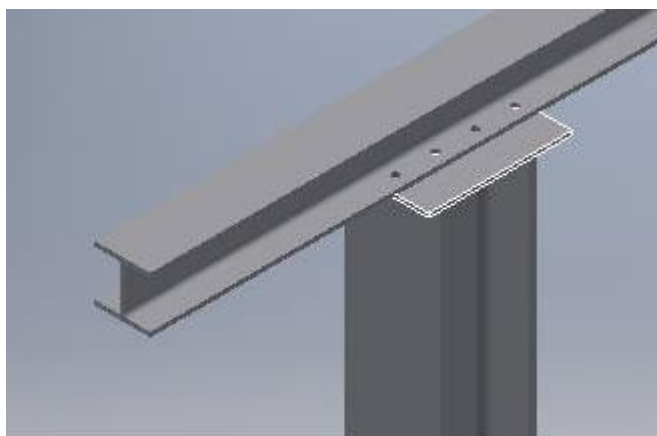


Figura 3.5: Unión viga columna

Elaboración propia

3.3.2.2.3 Placa base

La placa base diseñada es de 400 x 400 mm y 20 mm de espesor. La soldadura entre la columna y la placa base tiene las mismas especificaciones que la mostrada en la tabla 3.11.

3.4 Análisis de costos

3.4.1 Neutralización

Insumos y costos de los sistemas actuales de neutralización y floculación

En la tabla 3.13 se presenta el consumo del primer semestre de soda cáustica (agente neutralizante) la cual se adquiere al 50% en tanques de 55 galones, y sulfato de aluminio (agente floculante) el cual se adquiere por sacos de 25 Kg.

Tabla 3.13. Insumos y costos actuales de neutralización y floculación

Consumo de Soda cáustica y sulfato de aluminio en PTAR							
Periodo	Soda Caústica (NaOH)			Sulfato de Aluminio			Costo mensual insumos de PTAR (\$)
	Cantidad (kg)	Costo (\$/kg)	Costo mes (\$)	Cantidad (kg)	Costo (\$/kg)	Costo mes (\$)	
Enero	3250	0,64	2080,00	1075	0,43	462,25	2542,25
Febrero	4500		2880,00	1175		505,25	3385,25
Marzo	4750		3040,00	1300		559,00	3599,00
Abril	4500		2880,00	1050		451,50	3331,50
Mayo	5500		3520,00	1275		548,25	4068,25
Junio	4000		2560,00	875		376,25	2936,25

Fuente: Empresa de fábrica de baterías

Como resumen se presenta la tabla 3.14 que realiza la comparación de los costos de los insumos actuales frente a lo que se estima que generaría como costo el hidróxido de calcio.

Tabla 3.14. Costos actuales vs propuesto

Neutralizante	pH inicial	pH Final	Costo \$/m3	Costo \$ / mes	*Costo medio actual \$ / mes	Diferencia \$
Solución de cal	3,18	7,23	0,34	980,00	3310,42	-2330,42
Solución de cal	1,5	7	0,37	1059,00		-2251,42
Solución de cal	1,5	7	0,67	1904,00		-1406,42
Cal pura	1,5	7	0,45	1287,00		-2023,42
Cal pura	2	7,5	0,414	1184,00		-2126,42
Cal pura	2	7,5	0,432	1235,52		-2074,90

*Costo medio actual considera de hidróxido de sodio y sulfato de aluminio

Elaboración propia

Así se observa en la tabla 3.14 que el costo de materia prima del sistema actual frente a la propuesta es 3 veces mayor, aproximadamente, lo que significa que es viable, en costo de materia prima.

El costo de gestión de residuos es menos favorable para la cal, ya que genera más sólidos que el sistema actual. Aun así, contrastando el costo de neutralización con el de generación de residuos, el hidróxido de calcio es favorable en un margen más corto que el costo de materia prima, como se muestra en la tabla 3.15.

Tabla 3.15. Costo de gestión de residuos y tratamiento de los neutralizantes

	Kg Lodos por día	Costo de gestión de sólidos (\$/Kg lodos)	Costo de gestión de residuos sólidos por día	Costo diario de tratamiento	Costo total diario	Costo mensual
CAL	385	0,6	\$231	\$62,33	\$293,33	\$7626,58
SODA	225	0,6	\$135	\$171,7	\$306,7	\$7974,2

Elaboración propia

3.4.2 Costo de sistema de agitación

Implementar el nuevo sistema de neutralización requiere de la adquisición de nuevos equipos que se utilizan para la preparación de la suspensión neutralizante y la modificación del pre-sedimentador. Los componentes requeridos para esto se muestran en la tabla 3.6.

Tabla 3.16. Costo de los sistemas de agitación a implementar

Costos del sistema de agitación	
Reductor lineal	\$ 783,89
Reductor ortogonal	\$ 606,70
Impeller 1	\$ 1.145,72
Impeller 2	\$ 1.224,14
Tanque para agitación	\$ 1.459,20
Estructura de soporte para los motores (x2)	\$ 200,00
Motor (x2)*	\$ 4.530,20
Mano de obra	\$ 180,00
Total	\$ 5.599,65

Elaboración propia

*: El costo de los motores no se incluyen debido a que se encuentran disponibles en la empresa

3.4.3 Costos de plataforma de elevación del filtro prensa

Los costos de los materiales fueron tomados de (“Generador de precios de la construcción. Ecuador. CYPE Ingenieros, S.A.,” n.d.). En la tabla 3.17 se muestran los costos de los materiales para la estructura.

Tabla 3.17. Costo de materiales (CM) para estructura

Producto	Descripción	Masa en Kg	Costo por Kg (o unidad)	Costo de material
Perfil para escalera	UPN240	179,28	\$ 2,74	\$ 491,23
Perfil para barandas	#40.2	86,82	\$ 2,74	\$ 237,88
Acero para plataforma	Lámina de 5mm	380,00	\$ 3,24	\$ 1 231,20
Perfil para columnas	HEB240	452,00	\$ 1,61	\$ 727,72
Perfil para vigas	HEB140	467,08	\$ 1,61	\$ 752,00
Perno+tuercas+arandelas	A325 M16 L 40	48 (unidades)	\$ 2,20	\$ 105,60
Electrodos	E6010	2,35	\$ 6,20	\$ 14,55
TOTAL CM				\$ 3 560,18

Elaboración propia

Tomando en cuenta el peso total de la estructura y un factor de montaje de 0,6 se calcula el costo de montaje, como se observa en la tabla 3.18.

Tabla 3.18. Costo de montaje (MM) para estructura

Masa total de la estructura	1571 Kg
Factor montaje	0,6
TOTAL MM	\$ 942,60

Elaboración propia

Teniendo un rendimiento de 75 horas hombres por tonelada se calcula la cantidad de horas hombre necesarias y con esto se calcula el número de trabajadores requeridos para realizar el montaje en 5 días, es decir, 40 horas. En la tabla 3.19 se observa el detalle de los costos por mano de obra.

Tabla 3.19. Costo de mano de obra (MO)

Sueldo mes	\$ 700,00
Costo trabajador por año	\$ 10 600,00
Costo hora hombre	\$ 5,52
Número de trabajadores	4
Horas de trabajo	40
TOTAL MO	\$ 883,33

Elaboración propia

En la tabla 3.20 se presenta la cotización de la estructura con los costos mencionados. Se incluyen además rubros por transporte al lugar de la obra, diseño ingenieril de la estructura, equipos y herramientas y una utilidad del 20% del subtotal de los costos.

Tabla 3.20. Costo total de la estructura

CM	\$ 3 560,18
MM	\$ 942,60
MO	\$ 883,33
Transporte	\$ 150,00
Diseño	\$ 300,00
Equipos y Herramientas	\$ 100,00
Subtotal COSTOS	\$ 5 936,12
Utilidad 20%	\$ 1 187,22
Subtotal	\$ 7 123,34
IVA	\$ 997,27
TOTAL	\$ 8 120,61

Elaboración propia

En la tabla 3.21 se muestra una comparación del costo que representa la limpieza antes y después de la implementación de la estructura base. El trabajador encargado de esta labor tiene un sueldo mensual de \$700. Las horas dedicadas a la limpieza se reducen de 4 a 1 hora cada dos días. En base a esto se calculan los costos de limpieza del filtro prensa para cada caso. Se observa que la inversión económica en este proyecto se recupera en 4 años.

Tabla 3.21. Comparación antes y después del rediseño

Sueldo trabajador mensual		\$ 700,00
Costo anual trabajador		\$ 10 500,00
Hora hombre		\$ 5,47
Sin estructura base	Horas al día para limpieza*	2
	Horas al año en FP	480
	Costo al año de limpieza	\$ 2 625,00
Con estructura base	Horas al día **	0,5
	Horas al año	120
	Costo al año	\$ 656,25
Ahorro al año en limpieza		\$ 1 968,75
Costo del proyecto		\$ 8 120,61
Se paga en		4 años

* 4 horas pasando un día

** 1 hora pasando un día

Elaboración propia

Sin embargo, no se considera solo el retorno económico del proyecto. El trabajador para realizar la extracción de sólidos sin la elevación del filtro prensa debe realizar un trabajo repetitivo, lo cual representa un factor de riesgo y es conveniente para la empresa evitarlo. El sometimiento del trabajador a este trabajo repetitivo puede generar a largo plazo el desarrollo de una enfermedad laboral o lesiones, que, aparte de afectar la vida personal del trabajador, puede representar el pago de una indemnización por parte de la empresa.

CAPÍTULO 4

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Conclusiones

Se realizó un reconocimiento del estado actual de la PTAR de una fábrica de baterías de plomo ácido y se identificaron las oportunidades de mejoras que pueden ser implementadas. El rediseño de la PTAR se realizó en dos etapas. Se modificó el proceso de neutralización actual y se realizó una modificación estructural para la mejora en la remoción de residuos sólidos generados por el filtro prensa.

En la primera etapa, de las pruebas experimentales realizadas, se seleccionó el neutralizante que se pretende utilizar para el tratamiento de las aguas residuales, siendo el hidróxido de calcio. Éste presentó mejores resultados en cuanto a la remoción de plomo y sólidos disueltos de las aguas residuales frente a la soda cáustica con sulfato de aluminio. Los valores reportados en cuanto a remoción de plomo fueron: para el hidróxido de calcio entre un rango de 60 a 85% y para la soda cáustica un rango entre el 30 al 60%. La soda cáustica como neutralizante, requiere de un floculante para poder precipitar más cantidad de sólidos suspendidos presentes en el agua residual.

De acuerdo a los resultados de las pruebas experimentales realizadas se diseñó el sistema de neutralización para el hidróxido de calcio, el cual consta de dos etapas. La primera etapa consiste de un tanque de 2,5 m³ donde se agita la suspensión de agua potable con la cal, y la segunda consiste en realizar la corrección del pH donde actualmente funciona el pre-sedimentador. En la segunda etapa se rediseñó parte de la piscina del pre-sedimentador añadiendo un agitador.

Estas modificaciones favorecen a un tratamiento más eficaz de las aguas residuales, ayudando a disminuir los parámetros de descarga actual que genera la planta. Actualmente los parámetros monitoreados en la descarga de la PTAR se encuentran debajo del límite permisible estipulado en la

normativa ambiental vigente, pero debido al aumento de la producción en un 28% implicaría el aumento de afluentes a la PTAR de un 10 a 15% aproximadamente, para lo cual este sistema propuesto resultaría más eficiente en cuanto a la calidad de agua tratada obtenida, compensando así, el incremento de parámetros de los afluentes causado por el aumento de aguas residuales proyectado.

Cabe recalcar que este tratamiento químico propuesto genera un 43 % adicional de residuos sólidos a gestionar. El balance económico del proyecto en cuanto al tratamiento actual frente al propuesto representa un ahorro de \$ 347 mensuales.

En lo que respecta a la mejora estructural, se diseñó una plataforma base para la elevación del filtro prensa. Las dimensiones de los pasillos, barandas, pasamanos y escaleras cumplen con las especificaciones del Decreto Ejecutivo 2393.

El acceso a la plataforma será a través de una escalera. La parte estructural de la plataforma, es decir los perfiles estructurales y uniones, cumple con las especificaciones de la norma ANSI/AISC 360 y de la AWS D1.1 para las uniones soldadas. Las dimensiones de la plataforma son de 4,35 x 2,58 m y 1,50 m de altura con un agujero de 0,98 x 2,05 m para la evacuación de los residuos sólidos. Los perfiles estructurales seleccionados son HEB240 para las columnas y HEB140 para las vigas. Las uniones en la estructura son empernadas, con placas soldadas en taller para unir los elementos con pernos. El piso de la plataforma es de lámina antideslizante de acero de 5mm de espesor y los pasamanos de 900mm de altura con perfiles huecos redondos #40.2.

La elevación del filtro prensa facilita la tarea de remoción de residuos sólidos generados y disminuye los tiempos de ejecución de la misma de 4 horas por limpieza a aproximadamente 1 hora. En el estado actual de la PTAR, el filtro prensa se encuentra a nivel del suelo, por lo que el encargado de realizar la limpieza debe agacharse, recoger con una pala y colocar en sacos los residuos sólidos, es decir, efectúa un trabajo repetitivo,

el cual es un factor de riesgo en el área de seguridad ocupacional. Además, el trabajo repetitivo al realizar esta actividad de la forma mencionada está restringido en el profesiograma del trabajador, ya que puede generar lesiones a corto plazo o incluso puede convertirse en una enfermedad laboral a largo plazo, lo que representaría la obligación a la empresa de otorgar una indemnización al afectado.

Tomando en cuenta los costos de materiales, mano de obra, montaje, diseño ingenieril y un 20% de utilidad, se tiene un costo total del proyecto de \$ 8120,61. El costo de limpieza anual bajo las condiciones actuales, es decir tiempos de ejecución y costo de hora hombre del operario, es de \$ 2625 al año y con el filtro prensa elevado es de \$ 656,25 al año. Según estos costos, la inversión económica se recupera en 4 años. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que la elevación del filtro prensa evita el sometimiento del encargado de limpiarlo al trabajo repetitivo, es decir es un beneficio para la salud del operario y además es un aseguramiento de la empresa ante una posible lesión o enfermedad laboral causada por esta actividad.

4.2 Recomendaciones

Para efectos de reducir la cantidad de lodos generados por la sedimentación de los sólidos suspendidos, se recomienda emplear un sistema mixto de neutralización el cual implementa el hidróxido de sodio como primera fase y luego la adición de cal como corrector de pH.

En la red actual de tuberías de agua residual de la empresa se podría disponer el cambio de la captación de las aguas residuales, direccionando las aguadas de plomo producidas en los procesos de empastado, limpieza de la fábrica y demás procesos que contengan plomo, directamente al filtro prensa, para así concentrar la mayor cantidad de residuos con plomo y poder enviarlos al gestor de residuos peligrosos, quien se encarga de realizar recuperación de plomo de estos residuos. De esta forma el agua que ingresará al PRAR tendrá menos cantidad de plomo en el agua, ya que luego de la retención de la mayoría de sólidos en el filtro prensa, solo la

parte líquida estará destinada a ser tratada en la PTAR. Así, se empleará menor cantidad de neutralizante y los tiempos de decantación mejorarán, haciendo el proceso de tratamiento más óptimo.

Se podría mejorar el sistema de retorno de agua de regeneración de las piscinas de zeolita, las cuales, después de haber sido realizada la regeneración, se recircula el agua de rechazo por la PTAR, lo cual significa adicionar cantidad de sólidos retenidos en las piscinas de zeolitas. Para mejorar esta etapa se puede disponer de un tanque de almacenamiento donde se recepte el agua proveniente de la regeneración, y aquí realizar la precipitación de los sólidos presentes en el agua para así luego disponer los sólidos al filtro prensa y la parte líquida, ya liberada de gran parte de sólidos, será recirculada a la PTAR.

En el rediseño del pre-sedimentador es necesario realizar un recubrimiento del fondo de la piscina, en las 4 esquinas, con polietileno de alta densidad, dándole forma parabólica para así poder tener una agitación adecuada

BIBLIOGRAFÍA

- AICHE, A. I. of C. E. (1987). *Equipment Testing Procedures Committee / Mixing Equipment - Impeller Type*.
- Altamirano, E., & Peñafiel, A. (2012). *OPTIMIZACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES DE UNA FÁBRICA DE BATERÍAS* (Tesis de grado).
- American Institute for Steel Construction, Inc. (2005). ANSI/AISC 360-05.
- American Institute of Steel Construction, Inc. (2003). *Steel Design Guide Series: Column Base Plates*.
- American National Standard Institute, & American Welding Society. (2010). AWS D1.1/D1.1M:2010 Structural Welding Code - Steel.
- Código Técnico de la Edificación. (2009). Documento Básico de Seguridad Estructural.
- Enrique César Valdéz. (n.d.). *Ingeniería de los tratamientos y disposición de aguas residuales*.
- Environmental Protection Agency. (1978). Removal of heavy metals from industrial wastewaters using insoluble starch xanthate.
- European Commission. (2003). Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste Water and Waste Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector.

Generador de precios de la construcción. Ecuador. CYPE Ingenieros, S.A. (n.d.).

Retrieved September 2, 2016, from

<http://www.ecuador.generadordeprecios.info/>

Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social, I. (n.d.). Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo.

Mc Cabe, Smith, & Harriot. (2001). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*.

Metcalf & Eddy. (1998). *Ingeniería de Aguas Residuales* (Vol. 1).

Ministerio del Ambiente. (2012). Libro VI DE LA CALIDAD AMBIENTAL DE LAS POLÍTICAS BÁSICAS AMBIENTALES DEL ECUADOR.

Ramalho, R. S. (1983). *Tratamiento de Aguas Residuales*.

Uddin M. J, Mondal P. K, Rahman M. A, & Lemon M. H. R. (2013). An Approach to Reduce Waste in Lead Acid Battery Industries. *ResearchGate*.

Retrieved from

https://www.researchgate.net/publication/290448252_An_Approach_to_Reduce_Waste_in_Lead_Acid_Battery_Industries

Walas, S. M. (1990). *Chemical Process Equipment: Selection and Design*.

Aquara (2014) recuperado de: <http://aquara.com.pe/productos/equipo-de-prueba-de-jarras>, fecha de ingreso: 5/09/2016

APÉNDICES

ANEXO A

MARCO LEGAL

Extracto del Libro VI de la Calidad Ambiental Anexo 1

4.2.3.7 Toda descarga a un cuerpo de **agua dulce**, deberá cumplir con los valores establecidos a continuación (ver tabla 12).

TABLA 12. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/l	1. 0,3
Alkil mercurio		mg/l	2. No detectable
Aldehídos		mg/l	2,0
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	Nmp/100 ml		¹ Remoción > al 99,9 %
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O ₅ .	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	250
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos	TPH	mg/l	20,0
Totales de Petróleo			
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005

¹ Aquellos regulados con descargas de coliformes fecales menores o iguales a 3 000, quedan exentos de tratamiento.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitratos + Nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/l	10,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	15
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,05
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales.	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Sedimentables		ml/l	1,0
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	100
Sólidos totales		mg/l	1 600
Sulfatos	SO ₄ ⁼	mg/l	1000
Sulfitos	SO ₃	mg/l	2,0
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Temperatura	°C		< 35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0
Vanadio		mg/l	5,0
Zinc	Zn	mg/l	5,0

* La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida.

ANEXO A.1.1

- **Proceso de fabricación de baterías de plomo-ácido**

La batería de plomo ácido es el tipo de acumulador eléctrico más utilizado en la actualidad debido a su bajo costo y cuenta con dos electrodos de plomo sumergidos en un electrolito que consiste en una solución de agua destilada y ácido sulfúrico. Estas baterías son producidas a partir de lingotes de plomo, láminas de plomo y óxido de plomo. El óxido es preparado en la misma fábrica, aunque también puede ser comprado a un proveedor. Las rejillas son fabricadas por fundición de lingotes de plomo o por estampado de láminas y pueden ser fabricadas en pares y separadas luego de cada una ser empastada y curada de acuerdo a su polaridad con pasta positiva o negativa o ser fabricadas por separado. La pasta de polaridad positiva consiste en una mezcla de polvo de óxido de plomo, agua y solución de ácido sulfúrico mientras que la negativa contiene los mismos elementos en una concentración diferente y además un componente extra que usualmente es una mezcla de sulfato de bario, carbono y compuestos orgánicos. Estas pastas son adheridas a las rejillas y luego secadas y curadas para formar las placas de la batería. Luego de esto son cortadas y apiladas para luego pasar al proceso de ensamble, colocando las placas positivas y negativas de forma intercalada utilizando separadores y soldándolas en su lugar. Luego de esto los bornes son soldados. Durante la formación en seco, la pasta pasiva de óxido-sulfato de plomo es convertida químicamente en electrodos activos. Las placas y elementos de la batería son sumergidos en una solución de ácido sulfúrico; las placas positivas son conectadas al polo positivo de una línea de corriente directa y las negativas al polo negativo de la línea eléctrica. En procesos de formación en húmedo, los elementos son ensamblados dentro de la carcasa de la batería. Luego de esto el ácido puede ser vertido y se aplica una carga rápida, quedando así completa la batería (U.S. Environmental Protection Agency, 1995). En la Figura 1 se puede observar el diagrama de flujo del proceso de fabricación de baterías de plomo ácido y los procesos paralelos a la producción que lleva a cabo la fábrica.

ANEXO A.1.2: CONCEPTOS Y FUNDAMENTO TEÓRICO

Sedimentación

La sedimentación se utiliza en los tratamientos de aguas residuales para separar sólidos en suspensión de las mismas.

La eliminación de las materias por sedimentación se basa en la diferencia de peso específico entre las partículas sólidas y el líquido donde se encuentran, que acaba en el depósito de las materias en suspensión.

Tipos de sedimentación

Pueden considerarse tres tipos de mecanismos o procesos de sedimentación, dependiendo de la naturaleza de los sólidos presentes en suspensión.

1. Sedimentación discreta: Las partículas que se depositan mantienen su individualidad, o sea, no se somete a un proceso de coalescencia con otras partículas. En este caso, las propiedades físicas de las partículas (tamaño, forma, peso específico) no cambian durante el proceso.
2. Sedimentación con floculación: La aglomeración de las partículas va acompañada de cambios en la densidad y en la velocidad de sedimentación o precipitación.
3. Sedimentación por zonas: Las partículas forman una especie de manta que sedimenta como una masa total presentando una interfase distinta con la fase líquida.

Debido a la presencia del sulfato de alúmina, tenemos formación de floculos los cuales crean aglomeración de partículas, esto en la primera etapa de sedimentación, posteriormente, en la siguiente etapa, se genera una manta de sólidos, visible a través del agua. Esto indica que el tipo de sedimentación aplicable a este caso son dos: sedimentación con floculación y sedimentación por zonas.

Sedimentación discreta

El fundamento para la sedimentación de partículas discretas es la ley de Newton (figura A.1.2), que se basa en la suposición de que las partículas son esféricas con diámetros homogéneos.

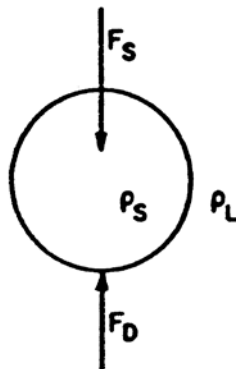


Figura A.1.2: Sedimentación de una partícula

Sedimentación con floculación

La sedimentación con floculación tiene lugar cuando la velocidad de sedimentación de las partículas aumenta, debido a efectos de coalescencia con otras partículas.

Este concepto, desarrollado por Hazen [8] y Camp [2], es la base para poder llegar a relaciones utilizadas en el diseño de tanques de sedimentación. El modelo seleccionado para un sedimentador es el de sección rectangular consistente en cuatro zonas.

En la figura A.1.2.1 se muestra las trayectorias curvas de sedimentación de las partículas, a diferencia de las discretas que lo hacen en línea recta.

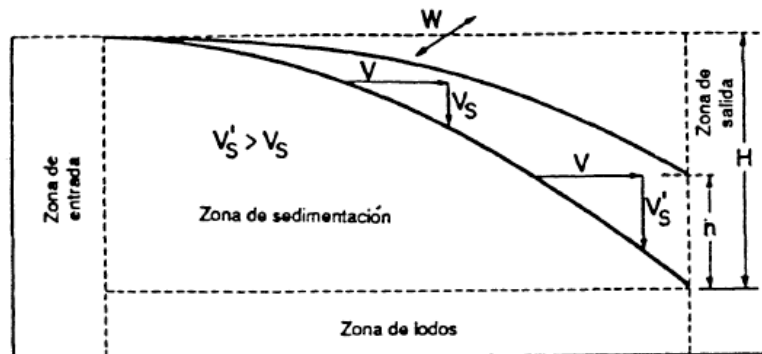


Figura A.1.2.1: Diagrama de sedimentación con floculación

1. Zona de entrada. En la cual el flujo puede considerarse laminar. Se supone que en el límite de esta zona las partículas se distribuyen uniformemente según la sección de entrada.
 2. Zona de sedimentación. Se supone que la partícula deja de estar en suspensión cuando llega al fondo de esta zona.
 3. Zona de salida. El agua residual se recoge aquí antes de su paso al tratamiento posterior.
 4. Zona de lodos. Esta zona es la reservada para la retirada de los lodos.
- Los criterios de diseño para sistemas en los que se hace una sedimentación con floculación se establecen a través de ensayos de sedimentación en laboratorio.

Sedimentación por zonas

La sedimentación por zonas se presenta en clarificadores con lodos coagulados químicamente, o activos con concentraciones que exceden los 500 mg/l.

Intercambio iónico

Es una operación en la que se utiliza un material, habitualmente denominado resinas de intercambio iónico, que es capaz de retener selectivamente sobre su superficie los iones disueltos en el agua, los mantiene temporalmente unidos a la superficie, y los cede frente a una disolución con un fuerte regenerante.

Osmosis Inversa (RO)

El proceso de RO consiste en generar, mediante una membrana permeable al agua, una solución acuosa con bajo contenido en sal a partir de otra con alto contenido en sal. Es la tecnología utilizada para producir agua desalada a partir de agua de mar.

(Ref: Informe de vigilancia tecnológica. Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales)

Tabla A.1.0: Tratamientos utilizados de acuerdo al contaminante en el agua residual

Operaciones y procesos unitarios utilizados para eliminar la mayoría de contaminantes presentes en el agua residual

CONTAMINANTE		OPERACION UNITARIA, PROCESO UNITARIO, O SISTEMA DE TRATAMIENTO.
Sólidos en suspensión		Sedimentación Desbaste y aireación Variaciones de filtración Flotación Adición de polímeros o reactivos químicos Coagulación sedimentación Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno
Materia orgánica biodegradable		Variaciones de lodos activados Película fija: filtros percoladores Película fija: discos biológicos Variaciones de lagunaje Filtración intermitente de arena Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno Sistemas fisicoquímicos
Patógenos		Cloración Hipocloración Ozonación Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno
Nutrientes	Nitrógeno	Variaciones de sistemas de cultivo suspendido con nitrificación y desnitrificación Variaciones de sistemas de película fija con nitrificación y desnitrificación Arrastre de amoníaco (stripping) Intercambio de iones Cloración en el punto crítico Sistemas de tratamiento por evacuación en el terreno
	Fósforo	Adición de sales metálicas Coagulación y sedimentación con cal Eliminación biológica y química del fósforo Sistemas de tratamiento por evacuación en el terreno.
Materia orgánica refractaria		Adsorción en carbón Ozonación terciaria Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno
Metales pesados		Precipitación química Intercambio de iones Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno
Sólidos inorgánicos disueltos		Intercambio de iones Osmosis inversa Electrodialisis

Fuente: Metcalf & Eddy.

ANEXO B

ANEXO B.1.1

Tabla B.1.1.1: Equipos actuales de la PTAR

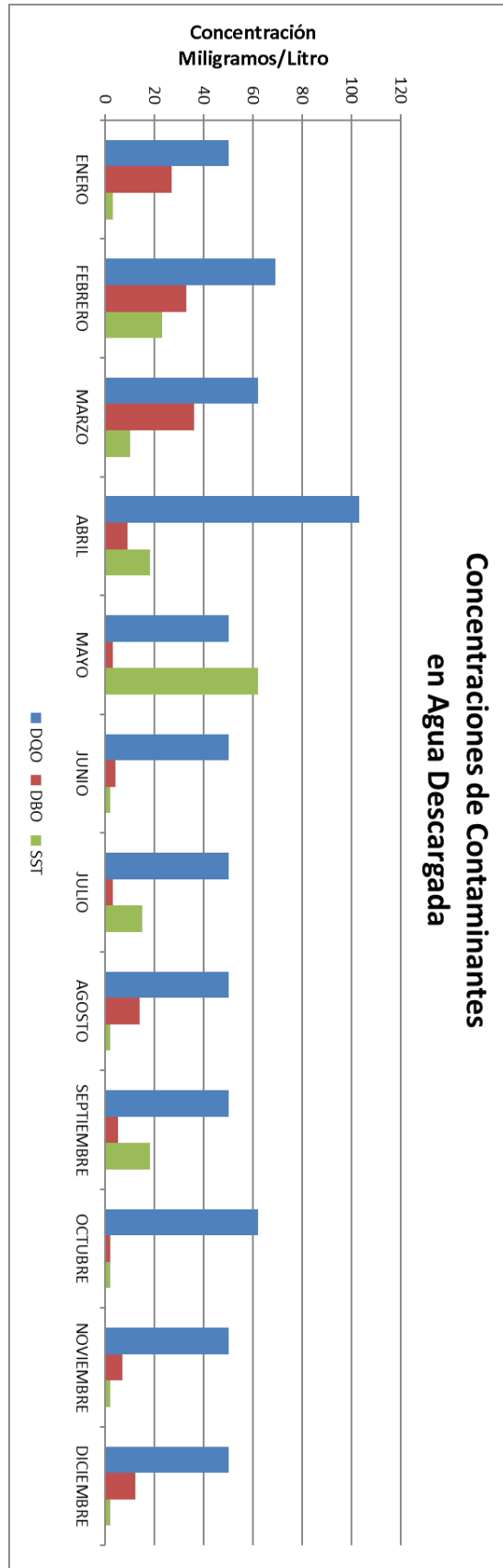
Equipos de la planta de tratamiento de aguas residuales			
Sector	Nombre del equipo	Cantidad	Capacidad
Soda Caustica	Bomba neumatica	1	-
	Motor-reductor con agitador	1	2 Hp
	Valvula neumatica (ingreso de agua)	1	-
	Valvula neumatica (salida de mezcla soda - agua tratada)	1	-
	Boya electrica	1	-
Sulfato de Aluminio	Motor-reductor con agitador	1	2 Hp
	Valvula manual	1	-
	Tablero de control de PH con 2 lectores	1	-
PRAR	Sensores de nivel	3	-
	Sensor de PH	1	-
	Motoreductor con agitador	1	2 Hp
	Bomba (alimenta el m3)	1	2 Hp
	Bomba (Dosifica al presedimentador)	1	3 Hp
	Valvula electronica (1.-recircula - 2.-dosifica al presedimentador)	2	-
Presedimentador	Sensor de PH	1	-
	Medidor de flujo	1	-
Sedimentador	Bomba	1	2 Hp
Silo 1	Bomba	1	5 Hp
	Motoreductor con agitador	1	-
Silo 2	Bomba	1	5 Hp
	Motoreductor con agitador	1	-
Calrificador	Bomba	1	3 Hp
Linea A1	Boya electrica	1	-
	Bomba	1	1 Hp
Linea B1	Boya electrica	1	-
	Bomba	1	1 Hp
Linea A2	Boya electrica	1	-
	Bomba	1	3 Hp
Linea B2	Boya electrica	1	-
	Bomba	1	1 Hp
Final A2-B2	Bomba	1	1,5 Hp
	Filtro de arena	1	60 GPM
Regeneracion (Zeolita)	Bomba	1	3 Hp
Osmosis inversa	Equipo de osmosis inversa	1	35m3/d
Residuos solidos	Filtro prensa	2	405,26 lts

Tabal B.1.1.2: Características de los reservorios actuales de la PTAR

Características de reservorios en la PTAR			
<i>Nombre</i>	<i>Capacidad [m3]</i>	<i>Contenido</i>	<i>Tiempo de retención[min]</i>
Floculante (Sulfato de aluminio)	0,25	Sulfato de aluminio	-
Neutralizante (Soda Caustica)	4,8	Soda Caustica	-
PRAR	3	Agua residual	-
Presedimentador (Distribuidor de flujo por gravedad)	9	Agua residual	117,8181818
Sedimentador Primario	17	Agua residual	222,5454545
Sedimentador Secundario 1 (Linea A1-B1)	11,8 (c/u)	Agua residual	308,9454545
Sedimentador Secundario 2 (Linea A2-B2)	10,3 (c/u)	Agua residual	269,6727273
Silos (x2)	7	Lodos	-
Filtro de zeolita 1(Piscina)	10,87 (c/u)	Zeolita + agua residual	-
Filtro de zeolita 2(Piscina)	10,87 (c/u)	Zeolita + agua residual	-
Tanque cisterna 1	70	Agua tratada	-
Tanque cisterna 2	70	Agua tratada	-

ANEXO B.1.2: REGISTRO DE DESCARGAS

Figura B.1.2.1: Concentración de contaminantes en agua descargada.



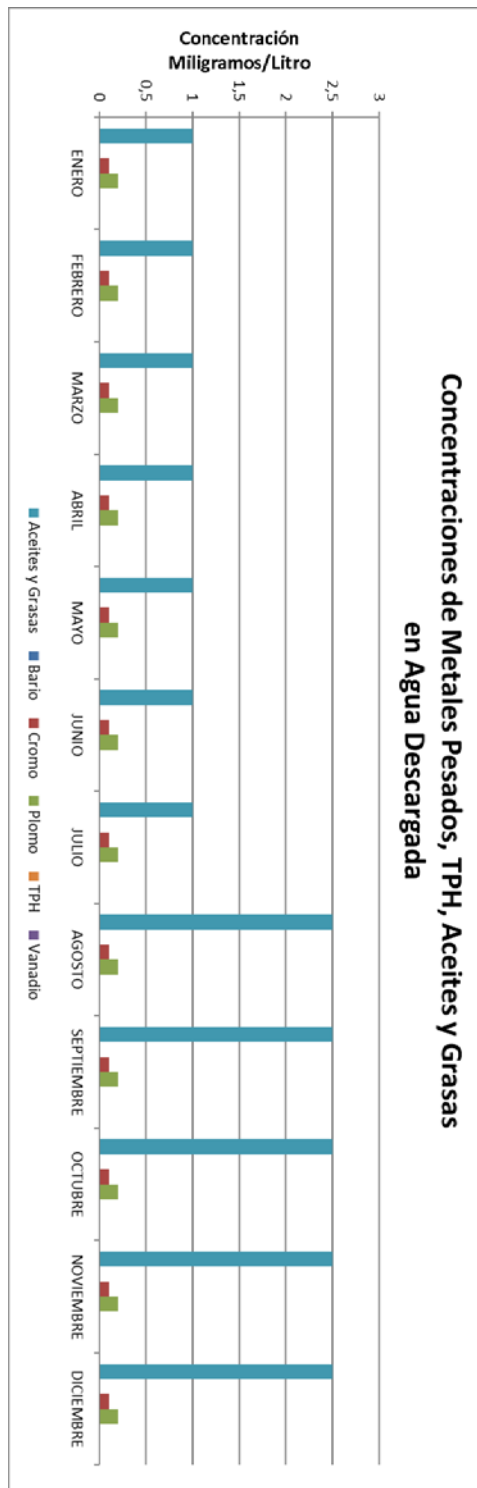


Figura B.1.2.2: Concentraciones de metales pesados, TPH, aceites y grasas

ANEXO B.1.3

Métodos de neutralización

Los métodos de neutralización para el control directo del pH al manejar aguas aciduladas, como en el presente caso de estudio, incluyen:

- 1) Lechos de caliza
- 2) Neutralización por cal
- 3) Neutralización con sosa cáustica (NaOH)
- 4) Neutralización por carbonato de sodio
- 5) Neutralización con amoníaco.

Con respecto a estos métodos tenemos que:

- La neutralización con cal es el método más común
- La sosa cáustica es más cara que la caliza. Ofrece ventajas con respecto a la uniformidad del reactivo, facilidad de almacenaje y alimentación, tiempo rápido de reacción, y el hecho de que los productos finales de la reacción (sales de sodio) son solubles.
- El carbonato sódico (Na_2CO_3) no es tan reactivo como la sosa cáustica, y presenta algunos problemas debidos a la emisión de dióxido de carbono.
- El amoníaco (NH_4OH) presenta la desventaja de ser contaminante; como consecuencia su uso puede estar prohibido por la normativa de control de la contaminación.

ANEXO B.1.4: PRUEBAS EXPERIMENTALES DE NEUTRALIZACIÓN

Aquí se muestra los resultados de la prueba de jarras realizada de forma empírica, es decir sin la utilización de un equipo sofisticado para la prueba de neutralización. En las tablas se muestra las pruebas con sus respectivos costos de neutralización.

Prueba 1								
Neutralización con soluciones de soda y cal								
Solucion de Neutralizante	Volumen agua ácida (Its)	pH inicial	pH neutralizante	Dosis neutralizante (Its)	pH final	Dosis neutralizante por litro (lt)	Costo de dosis neutralizante (\$/lt)	Costo de neutralización (\$/m3)
Hidroxido de Calcio (9.1%)	15	3	12	0,45	6,5	0,030	0,000524	0,52
Hidroxido de Sodio (10%)	15	3	14	0,93	6	0,062	0,003968	3,97

Prueba 2								
Con solución de soda al 10%								
Solucion de Neutralizante	Volumen agua ácida (Its)	pH inicial	pH neutralizante	Dosis neutralizante (Its)	pH final	Dosis neutralizante por litro (lt)	Costo de dosis neutralizante (\$/lt)	Costo de neutralización (\$/m3)
Hidroxido de sodio (10%)	10	2,5	13	0,1	3,5	0,010	0,000640	0,64
Hidroxido de sodio (10%)	10,1	3,5	13	0,1	5,5	0,010	0,000634	0,63
Hidroxido de sodio (10%)	10,2	5,5	13	0,05	10	0,005	0,000314	0,31
Hidroxido de sodio (10%)	10,25			0,25	10	0,024	0,001561	1,56

Prueba 3								
Con solución de soda al 10%								
Solucion de Neutralizante	Volumen agua ácida (Its)	pH inicial	pH neutralizante	Dosis neutralizante (Its)	pH final	Dosis neutralizante por litro (lt)	Costo de dosis neutralizante (\$/lt)	Costo de neutralización (\$/m3)
Hidroxido de sodio (10%)	10	2,5	13	0,65	10	0,065	0,004160	4,16

Prueba 4								
Con solución de cal al 10% (Sin agitar)								
Solucion de Neutralizante	Volumen agua ácida (Its)	pH inicial	pH neutralizante	Dosis neutralizante (Its)	pH final	Dosis neutralizante por litro (lt)	Costo de dosis neutralizante (\$/lt)	Costo de neutralización (\$/m3)
Hidroxido de Cal (10%)	10	2,5	13	0,1	3,3	0,01	0,000174757	0,17
Hidroxido de Cal (10%)	10,1	3,3	13	0,1	3,37	0,00990099	0,000173027	0,17
Hidroxido de Cal (10%)	10,2	3,37	13	0,1	3,4	0,009803922	0,000171331	0,17
Hidroxido de Cal (10%)	10,3	3,4	13	0,1	3,42	0,009708738	0,000169667	0,17
Hidroxido de Cal (10%)	10,4	3,42	13	0,2	3,48	0,019230769	0,000336072	0,34
Hidroxido de Cal (10%)	10,6	3,48	13	0,2	3,56	0,018867925	0,000329731	0,33
Hidroxido de Cal (10%)	10,8	3,56	13	0,5	3,9	0,046296296	0,000809061	0,81
Hidroxido de Cal (10%)	11,3	3,9	13	0,2	5	0,017699115	0,000309305	0,31
Hidroxido de Cal (10%)	11,5	5	13	0,1	6	0,008695652	0,000151963	0,15
Hidroxido de Cal (10%)	11,6			1,6	6	0,137931034	0,002410445	2,41

Prueba 5								
Solución de cal con agua potable al 10% (Agitada)								
Solucion de Neutralizante	Volumen agua ácida (lts)	pH inicial	pH neutralizante	Dosis neutralizante (lts)	pH final	Dosis neutralizante por litro (kg/lit)	Costo de dosis neutralizante (\$/lit)	Costo de neutralización (\$/m3)
Hidroxido de cal (10%)	10	3,18	13	0,1	4,26	0,010	0,000175	0,17
Hidroxido de cal (10%)	10,1	4,26	13	0,1	7,23	0,010	0,000173	0,17
Hidroxido de cal (10%)	10,2		13	0,2	7,23	0,020	0,000343	0,34

Prueba 6								
Con solución de cal al 10% (Agitada)								
Solucion de Neutralizante	Volumen agua ácida (lts)	pH inicial	pH neutralizante	Dosis neutralizante (lts)	pH final	Dosis neutralizante por litro (kg/lit)	Costo de dosis neutralizante (\$/lit)	Costo de neutralización (\$/m3)
Hidroxido de cal (10%)	10	1,5	13	0,1	2	0,010	0,000118	0,12
Hidroxido de cal (10%)	10,1	2	13	0,1	3,5	0,010	0,000116	0,12
Hidroxido de cal (10%)	10,2	3,5	13	0,1	6	0,009803922	0,000115	0,12
Hidroxido de cal (10%)	10,3	6	13	0,025	7	0,002427184	0,000029	0,03
Hidroxido de cal (10%)	10,325		13	0,325	7	0,031476998	0,000370	0,37

Prueba 7								
Con solución de cal al 10% (Agitada-Agua tratada)								
Solucion de Neutralizante	Volumen agua ácida (lts)	pH inicial	pH neutralizante	Dosis neutralizante (lts)	pH final	Dosis neutralizante por litro (kg/lit)	Costo de dosis neutralizante (\$/lit)	Costo de neutralización (\$/m3)
Hidroxido de cal (10%)	10	1,5	13	0,1	1,8	0,010	0,000118	0,12
Hidroxido de cal (10%)	10,1	1,8	13	0,1	2	0,010	0,000116	0,12
Hidroxido de cal (10%)	10,2	2	13	0,2	3	0,019607843	0,000231	0,23
Hidroxido de cal (10%)	10,4	3	13	0,2	7	0,019230769	0,000226	0,23
Hidroxido de cal (10%)	10,6		13	0,6	7	0,056603774	0,000666	0,67

Prueba 8								
Con Hidroxido de Calcio al 10% (directo)								
Solucion de Neutralizante	Volumen agua ácida (lts)	pH inicial	pH neutralizante	Dosis neutralizante (g)	pH final	Dosis neutralizante por litro (g/lit)	Costo de dosis neutralizante (\$)	Costo de neutralización (\$/m3)
Hidroxido de cal (10%)	10	1,5	14	1	1,7	0,100	0,000180	0,018
Hidroxido de cal (10%)	10	1,7	14	4	2	0,400	0,000720	0,072
Hidroxido de cal (10%)	10	2	14	5	3	0,5	0,000900	0,09
Hidroxido de cal (10%)	10	3	14	10	5	1	0,001800	0,18
Hidroxido de cal (10%)	10	5	14	5	7	0,5	0,000900	0,09
Hidroxido de cal (10%)	10		14	25	7	2,5	0,004500	0,45

Prueba 9								
Con Hidroxido de Calcio al 10% (directo)								
Solucion de Neutralizante	Volumen agua ácida (lts)	pH inicial	pH neutralizante	Dosis neutralizante (g)	pH final	Dosis neutralizante por litro (g/lit)	Costo de dosis neutralizante (\$)	Costo de neutralización (\$/m3)
Hidroxido de cal (10%)	10	2	14	23	7,5	2,300	0,004140	0,414

Prueba 10								
Con Hidroxido de Calcio al 10% (directo)								
Solucion de Neutralizante	Volumen agua ácida (lts)	pH inicial	pH neutralizante	Dosis neutralizante (g)	pH final	Dosis neutralizante por litro (g/lit)	Costo de dosis neutralizante (\$)	Costo de neutralización (\$/m3)
Hidroxido de cal (10%)	10	2	14	24	7,5	2,400	0,004320	0,432

ANEXO B.1.5: PRUEBAS COMPARATIVAS ENTRE EL HIDRÓXIDO DE SODIO Y SODA CAUSTICA.

Las pruebas de jarras se realizaron de manera empírica, al no contar con el equipo para realizar dicha prueba. La prueba empírica consistió en:

- 1) Preparar en un recipiente la solución neutralizante (Hidróxido de calcio/cal). 2) Tomar una muestra de 1 lt de agua residual, tomada del PRAR.
 - 3) Mezclar en un recipiente al agua residual con la solución neutralizante y agitar
- La dosificación del neutralizante se la realizó en base al resultado obtenido de la prueba 6 del Anexo B.1.4.

En la tabla B.1.5.1 se contrasta la calificación utilizada en la tabla 2.4 y 2.3

Tabla B.1.5.1.: Resultados de prueba de jarras

Prueba de Jarras	Agua residual (AR)	AR+ Ca(OH) ₂	AR + NaOH+ Al ₂ (SO ₄) ₃
pH	1,2	7,8	7
TDS (mg/l)	10090	3120	5970
Pb (mg/l)	1,01	0,4	1,41

En la tabla B.1.5.2 se encuentra los resultados de una simulación realizada en planta, lo cual consistió en sustituir el neutralizante a partir del sistema actual de la PTAR.

Tabla B.1.5.2.: Resultados de prueba piloto en planta

Pruebas en Planta		NaOH+ Al ₂ (SO ₄) ₃	Ca(OH) ₂
PRAR	pH	2	3,1
	Pb (mg/l)	1,88	1,85
	TDS (mg/l)	3610	2890
Pre-sedimentador	pH	6,5	7,4
	Pb (mg/l)	1,87	0,87
	TDS (mg/l)	2290	1947
Sedimentador	pH	7,5	8,5
	Pb (mg/l)	1,48	0,66
	TDS (mg/l)	2620	2055

La evaluación se la realizó en las 3 primeras etapas debido a que en las restantes había residuos de los sedimentos que genera la soda con el sulfato, por lo cual no se tendría valores estables al momento de realizar la medición de los parámetros.

Anexo B.1.6

Parámetros y resultados del Tanque agitador

Parámetros obtenidos de las pruebas de jarras para neutralizar agua residual acida:

- Cantidad de agua residual (CAR)

$$CAR = 10 \text{ [l]}$$

- Cantidad de solución para neutralizar agua residual (CS)

$$CS = 0,2 \text{ [l]}$$

- Volumen promedio de efluente que se trata por día (V_{efluente})

$$V_{\text{efluente1}} = 110 \text{ [m}^3\text{]}$$

- Volumen del efluente en litros

$$V_{\text{efluente}} = V_{\text{efluente1}} \cdot 1000 \text{ [l]}$$
$$V_{\text{efluente}}=110000 \text{ [l]}$$

- Volumen del líquido (litros)

$$V_{\text{liquido}} = V_{\text{efluente}} \cdot \frac{CS}{CAR}$$
$$V_{\text{liquido}}=2200 \text{ [l]}$$

- Volumen del líquido (Galones)

$$V_{\text{gal}}=581,2 \text{ [gal]}$$

Por disponibilidad en el mercado de capacidad de tanques se seleccionará un tanque de 2500 litros.

- Dimensión del tanque

$$D = 1,5 \text{ [m]}$$

$$H = 1,4 \text{ [m]}$$

Para la suspensión de solidos se debe generar turbulencia en el fluido, por lo que se dimensionara el agitador y además se seleccionara sus componentes, como el motor y el reductor.

Se escoge un impeller de acuerdo a los requerimientos del sistema que se desea agitar (*Walas*)

Características:

- Tipo de Impeller: Aspas inclinadas 45° de 4 palas
- Dimensionamiento del Impeller:

Da: Diámetro del impeller [m]
w = Ancho de las aspas

$$D_a = 0,75 \text{ [m]} = 75 \text{ [cm]}$$

$$w = 0,1875 \text{ [m]} \approx 19 \text{ [cm]}$$

Ubicación del impeller: Centro del tanque
Altura del aspa medida desde el fondo del tanque: h_i

$$h_i = 0,23 \text{ [m]} = 20 - 25 \text{ [cm]}$$

- Densidad y fracción volumétrica del Líquido (Agua)

$$\rho_1 = 1000 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$x_1 = 0,957$$

- Densidad y fracción volumétrica del sólido (Hidróxido de calcio)

$$\rho_2 = 2211 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$x_2 = 0,043$$

- Densidad líquido-sólido

$$\rho = 1024 \text{ [Kg/m}^3\text{]}$$

- Viscosidad del agua: modelada para la disolución

$$\mu = 0,0011 \text{ [Pa.s]}$$

- Velocidad rotacional del impeller (Definida de acuerdo al tipo de impeller por el fabricante: N:73 -140 [RPM])

$$\text{Con } N_1 = 71 \text{ [rpm]} \text{ (Disponible)}$$

$$N = 7,435 \text{ [rad/s]}$$

- Numero de Reynolds modificado (AICHE)

Turbulento; $N_{Re} > 20000$

Transición; $10 < N_{Re} < 20000$

Laminar; $N_{Re} < 5$

$$N_{Re} = 619106$$

- Potencia del motor: Con $NP = 1.27$ (Ref: http://www.fusionfluid.com/FusionFluidEquipmentLLC/html/impellers_pbturbine.html) tenemos:

$$P = 0.686 \text{ [hp]}$$

❖ Motor seleccionado: 1 [hp]

- Tiempo de mezclado para aspas inclinadas 45 grados

$$t = 50,7 \text{ [s]}$$

Parámetros y resultados para el Pre-sedimentador

Se definen los parámetros operativos a continuación:

- Parámetros geométricos del tanque

- $D=2$ [m] (Tanque rectangular 2x2)

- $H=0,7$ [m] (Altura útil de líquido)

- Densidad del Líquido

$$\rho_1 = 1006 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

- Fracción volumétrica de líquido

$$x_1 = 0,94$$

- Densidad del sólido

$$\rho_2 = 2211 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

- Fracción volumétrica de sólido

$$x_2 = 0,06$$

- Densidad de la suspensión

$$\rho = 1040 \text{ [Kg/m}^3\text{]}$$

- Viscosidad del agua: modelada para la disolución

$$\mu = 0,0012 \text{ [Pa.s]}$$

- Dimensionamiento del Impeller

- Tipo: Pitched Blade

- D_a : Diámetro del Impeller [m]

- w =ancho de las aspas

$$D_a = 1 \text{ [m]}$$

$$w = 0,25 \text{ [m]} = 25 \text{ cm}$$

- Ubicación del impeller: Centro del tanque

- h_i : Altura del aspa medida desde el fondo del tanque

$$h_i = 0,117 \text{ [m]} = 12 \text{ [cm]}$$

- N : Velocidad rotacional del impeller [rad/s]

$$N_1 = 56 \text{ [rpm]}$$

$$N = 5,864 \text{ [rad/s]}$$

- Numero de Reynolds para impeller

$$N_{Re} = 808108$$

Las consideraciones del factor ayudan para poder considerar la viscosidad de la sustancia sólida, por lo que con certeza se modela como viscosidad del agua.

- Potencia del motor

$$P = 1,44 \text{ [hp]}$$

Motor seleccionado: 2 [hp]

- Tiempo de mezclado

$$t = 64.26 \text{ [s]}$$

ANEXO B.1.7: ESPECIFICACIONES Y RECOMENDACIÓN DEL FABRICANTE PARA AGITADORES DE 4 PALAS INCLINADAS 45°

AGITADORES ESTANDARIZADOS DE VELOCIDAD LENTA



Serie NRE-2000

Turbina de 4 palas inclinadas
Ø 200 hasta 1200 mm

Velocidad: Desde 73 hasta 140 rpm

Potencia: Desde 0,25 hasta 3 kW

Volumen del depósito: Desde 200 l hasta 10 m³

Aplicaciones: Homogeneización, disolución, neutralización, preparación de reactivos.



Polipropileno

Soporta temperaturas hasta de 120°C, ideal para el manejo de ácidos y fluidos corrosivos tales como ácido clorhídrico, soda cáustica, cloruro férrico, entre otros.

Anexo B

ANEXO B.2.1: ESTIMACIÓN DE PESO DE FILTRO PRENSA Y ESTIMACIÓN DE CARGAS DEBIDO A FUNCIONAMIENTO

Estimación del peso del filtro prensa

El valor de la masa del filtro prensa existente fue investigado preguntando a los distintos encargados de mantenimiento de la fábrica, pero nadie pudo proveer el dato. También, con la marca y modelo del equipo se buscó en internet la masa del mismo, pero no se obtuvieron resultados. Por este motivo se decidió estimar el peso del filtro prensa a partir del peso de un equipo con características similares. Las características del filtro prensa de la fábrica las tomamos de la placa del equipo y se observan en la Tabla B.1

Filtro Prensa	
# de serie	1556
Modelo	CHN-800-27-88-CS
# de cámaras	27
# de placas intermedias	26
# de placas cabezales	2
Caida de presión	4.5 Kg/cm ²
Material de placas	Polipropileno
Área de filtración	27.90 m ²
Volumen de sólidos	405.20 Lts

Tabla B.1
Ficha técnica del filtro prensa de la fábrica
Elaboración propia

Las dimensiones del filtro prensa fueron tomadas y se muestran en la Figura B.1.

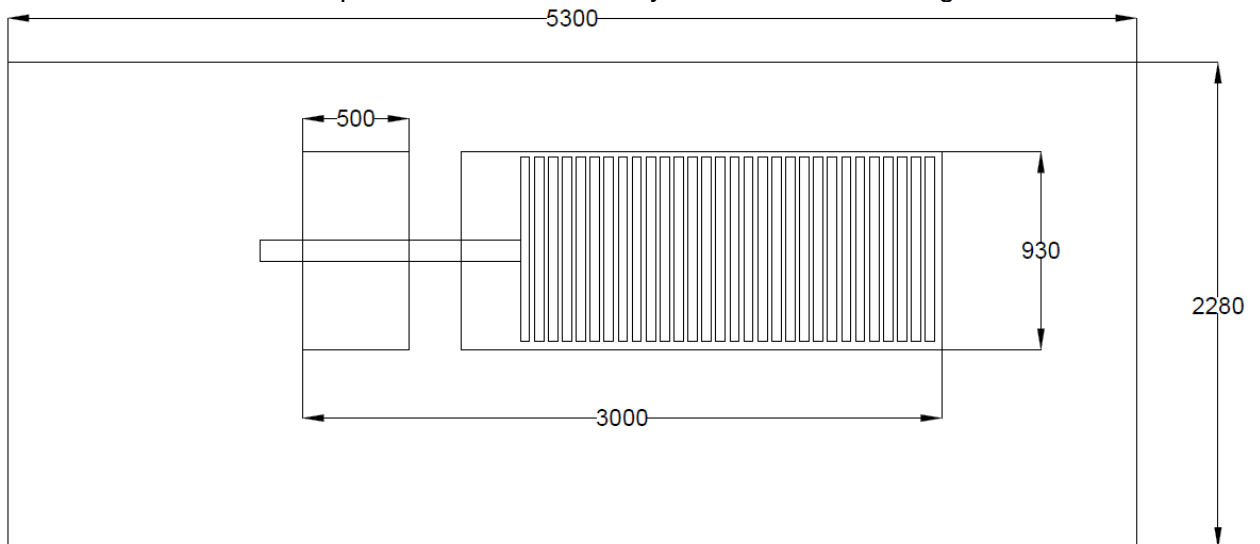


Figura B.1 Dimensiones del Filtro Prensa en vista superior

De las dimensiones observadas en la Figura B.1, las que nos interesan para buscar un equipo similar son el ancho y el largo: 930 y 3000 mm.

Para encontrar un filtro prensa similar, utilizamos el catálogo de Draco-Toro Equipment (Draco, n.d.). Este catálogo tiene la información de una vasta gama de filtros prensa, de los cuales elegimos el equipo que más se aproxime a las características del modelo

de la fábrica, comparando los siguientes parámetros: Número de cámaras, números de placas, área de filtración, volumen de sólidos y dimensiones del equipo. Los parámetros del equipo con las características más parecidas a las del filtro prensa de la fábrica obtenidas del catálogo mencionado se observan en la Tabla B.2.

Equipo similar	
Marca	Toro Equipments
Modelo	FPM 80/
# de cámaras	27
# de placas total	30
Área de filtración	31.6 m ²
Volumen de sólidos	465 Lts
Dimensiones de vista superior	1509mm x 3170mm
Peso en vacío	2250 Kg
Peso en carga	2550 Kg

Tabla B.2
Ficha técnica del equipo para comparación
Elaboración propia con datos tomados de (Draco, n.d.)

La comparación de los parámetros se observa en la Tabla B.3:

Parámetro	Filtro existente	Filtro para comparar
# de cámaras	27	27
# de placas total	28	30
Área de filtración	27.9 m ²	31.6 m ²
Volumen de sólidos	405.2 Lts	465 Lts
Dimensiones de vista superior	930mm x 3000mm	1509mm x 3170mm

Tabla B.3
Comparación de parámetros
Elaboración propia con datos tomados de (Draco, n.d.)

Cálculo de la fuerza que transmite el filtro prensa debido a su funcionamiento

La fuerza requerida para el funcionamiento del filtro prensa es provista por un cilindro hidráulico accionado por un motor eléctrico. El accionamiento del cilindro causa una lectura de presión de 2000 psi en la parte inicial del filtro prensa y de 60 psi en la parte final. Con el área del cilindro y la presión ejercida se calcula la fuerza de funcionamiento del filtro prensa.

A partir de esto se proceden a hacer los cálculos respectivos mostrados en el Anexo C.2.

Cálculo de cargas muertas y vivas

Las cargas muertas incluyen el peso de las vigas, peso de la plataforma, peso del filtro prensa sin carga y el peso de las barandas.

El peso de las vigas depende del perfil seleccionado para las mismas. El peso de los perfiles depende de los parámetros P_{perfil} y $L_{tot_{perfil}}$, es decir el peso por unidad de longitud y la longitud del perfil total a utilizar. Con esto se tiene que el peso de los perfiles se calcula con la siguiente ecuación:

$$W_{perfil} = P_{perfil} * L_{tot_{perfil}} * g$$

Donde g es la gravedad.

Para el peso de las barandas se calculó la longitud total a utilizar de acuerdo al diseño de forma presentado, se seleccionó el perfil a utilizar y se utilizó la misma ecuación que para las vigas.

Para el peso de la plataforma se considera el espesor de la plataforma y el área de la misma para hallar el volumen. Esto, multiplicándolo por la densidad del acero, da la masa de la plataforma.

También se asume el probable uso de algún equipo o maquinaria sobre la plataforma, por lo que se consideran 300 Kg, y el peso de dos personas de 80 Kg que usen la plataforma.

ANEXO B.2.2

- Cálculo de esbeltez.

Condiciones de extremo de columna

Para determinar la constante C para la longitud efectiva de la columna de acuerdo a su condición de extremo se utiliza la Tabla C-C2.2 de la ANSI/AISC 360.

TABLE C-C2.2 Approximate Values of Effective Length Factor, <i>K</i>						
Buckled shape of column is shown by dashed line.	(a) 	(b) 	(c) 	(d) 	(e) 	(f)
Theoretical <i>K</i> value	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Recommended design value when ideal conditions are approximated	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
End condition code						

Valores aproximados para el factor de longitud efectiva

Fuente: ANSI/AISC 360-05 Table C-C2.2

De las opciones que se observan en la tabla, la columna a diseñar se ajusta a la opción c, es decir una columna con la base empotrada y con el extremo superior con la rotación fijada pero con traslación libre. Dado esto se tiene que el factor de longitud efectiva es:

$$C = 1,2$$

Para el cálculo de esbeltez de la columna se debe determinar la longitud efectiva de la columna.

La esbeltez de la columna seleccionada es la siguiente:

$$\text{Esbeltez} = C \cdot \frac{L_c}{\text{radio}}$$

$$\text{Esbeltez}=15,8$$

La esbeltez de transición es la siguiente según Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley:

$$\text{Esbeltez}_{\text{transición}} = \left[\frac{C \cdot 2 \cdot \pi^2 \cdot E}{S_y} \right]^{1/2}$$

$$\text{Esbeltez}=140$$

Se observa que la esbeltez de la columna es menor a la esbeltez de transición, por lo que es una columna intermedia. Para este tipo de columnas se utiliza la siguiente ecuación, llamada ecuación de J.B. Johnson, para conocer la fuerza crítica y esfuerzo crítico de compresión que soporta la columna antes del pandeo:

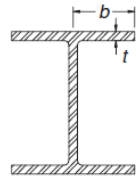
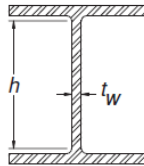
$$P_{cr} = A_c \cdot S_y \cdot \left[1 - \frac{S_y \cdot \text{Esbeltez}^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot E} \right]$$

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A_c}$$

$$P_{cr}=2630 \text{ kN}$$

- **Verificación de perfil compacto**

La columna seleccionada va a sufrir efectos de compresión y de flexión, sin embargo, siendo la carga de compresión aproximadamente 10 kN, es mucho menor a la fuerza crítica que el miembro soporta por compresión y la fuerza horizontal siendo para cada columna aproximadamente 76 kN, se considera que el efecto de la flexión será predominante. Por eso se analizará si los miembros del perfil son compactos considerándolos sujetos a flexión, basados en la tabla B4.1 del manual de la AISC.

TABLE B4.1 Limiting Width-Thickness Ratios for Compression Elements						
	Case	Description of Element	Width Thick- ness Ratio	Limiting Width- Thickness Ratios		Example
				λ_p (compact)	λ_r (noncompact)	
Unstiffened	1	Flexure in flanges of rolled I-shaped sections and channels	b/t	$0.38\sqrt{E/F_y}$	$1.0\sqrt{E/F_y}$	
	9	Flexure in webs of doubly symmetric I-shaped sections and channels	h/t_w	$3.76\sqrt{E/F_y}$	$5.70\sqrt{E/F_y}$	

Razones de ancho-espesor limitantes

Fuente: ANSI/AISC 360-05 Table B4.1

El caso 1 corresponde al ala del perfil, que es un miembro no rigidizado y el caso 9 corresponde al alma del perfil, que es rigidizado. La razón ancho-espesor debe ser menor a λ_p para cada caso para que el miembro sea compacto.

ANEXO B.2.3

Para calcular la deflexión en la columna se toma en cuenta la acción del filtro prensa considerando una fuerza horizontal y un momento y la carga axial que deberá soportar, como se muestra en la figura B.2.

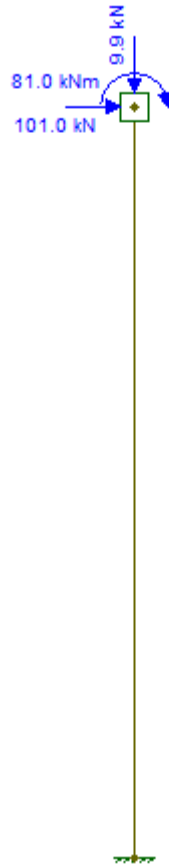


Figura B.2. Columna y las cargas que soporta

Elaboración propia en el software Ftool.

La carga de compresión considerada es la carga máxima debido a las cargas muertas y vivas. La fuerza horizontal se considerará 1/3 de la fuerza horizontal total causada por el funcionamiento del filtro prensa y el momento se considera causado por 1/3 de la fuerza de funcionamiento con un brazo de 0,80 m, que es la altura a la que el cilindro hidráulico ejerce la fuerza de compresión sobre las placas del filtro prensa. De esta manera se asegura un cálculo conservador, ya que las cargas que soporta la columna debido al filtro prensa se consideran como 1/3 de las mismas y no ¼, suponiendo que la distribución de fuerzas no sea uniforme entre las 4 columnas.

Con esto se verifica la deflexión total que sufrirá la columna con las condiciones máximas de carga consideradas con un cálculo iterativo P-Δ. El cálculo de la deflexión fue considerando el extremo superior de la columna sin restricciones de desplazamiento o momento. El comportamiento en la estructura con restricción de momento en la parte superior de la columna hace que exista una deflexión aún menor, por lo que si se comprueba considerando el extremo superior libre, se tiene que en la realidad habrá una deflexión aún menor.

$$M_{cfp} = \frac{F_{cil}}{3} * 0,84 = 80,9 \text{ kN} - m$$

$$M_c = \frac{F_{cil}}{3} * L_c + M_{cfp} = 218 \text{ kN} - m$$

$$M_0 = M_c$$

$$P = W_{3\max}$$

$$H = \frac{F_{c1l}}{3}$$

$$\Delta_0 = H \cdot \frac{L_c^3}{3 \cdot EI} + M_{cfp} \cdot \frac{L_c^2}{2 \cdot EI}$$

$$M_1 = P \cdot \Delta_0$$

$$\Delta_1 = M_1 \cdot \frac{L_c^2}{2 \cdot EI}$$

$$M_2 = P \cdot \Delta_1$$

$$\Delta_2 = M_2 \cdot \frac{L_c^2}{2 \cdot EI}$$

$$\frac{\Delta_{\text{tot}}}{1000} = \Delta_0 + \Delta_1 + \Delta_2$$

$$M_{\text{tot}} = M_0 + M_1 + M_2$$

$$M_{\text{tot}} = 218 \text{ kN-m}$$

En la figura B.3 se observa el efecto de deflexión y las reacciones en el apoyo de la columna.

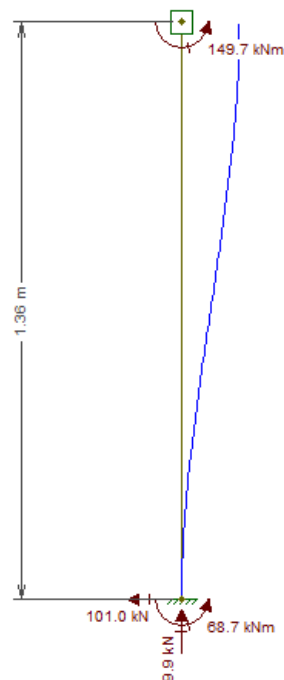


Figura B.3 Deflexión en la columna y reacciones en el apoyo
Elaboración propia en el software Ftool.

ANEXO B.2.4

- Diseño de soldadura y unión empernada

Soldadura

TABLE J2.5 Available Strength of Welded Joints, kips (N)					
Load Type and Direction Relative to Weld Axis	Pertinent Metal	ϕ and Ω	Nominal Strength (F_{BM} or F_w) kips (N)	Effective Area (A_{BM} or A_w) in. ² (mm ²)	Required Filler Metal Strength Level ^{[a][b]}
PARTIAL-JOINT-PENETRATION GROOVE WELDS INCLUDING FLARE VEE GROOVE AND FLARE BEVEL GROOVE WELDS					
Tension Normal to weld axis	Base	$\phi = 0.90$ $\Omega = 1.67$	F_y	See J4	Filler metal with a strength level equal to or less than matching filler metal is permitted.
	Weld	$\phi = 0.80$ $\Omega = 1.88$	$0.60F_{EXX}$	See J2.1a	
Compression Column to Base Plate and column splices designed per J1.4(a)	Compressive stress need not be considered in design of welds joining the parts.				
Compression Connections of members designed to bear other than columns as described in J1.4(b)	Base	$\phi = 0.90$ $\Omega = 1.67$	F_y	See J4	
	Weld	$\phi = 0.80$ $\Omega = 1.88$	$0.60F_{EXX}$	See J2.1a	
Compression Connections not finished-to-bear	Base	$\phi = 0.90$ $\Omega = 1.67$	F_y	See J4	
	Weld	$\phi = 0.80$ $\Omega = 1.88$	$0.90F_{EXX}$	See J2.1a	
Tension or Compression Parallel to weld axis	Tension or compression in parts joined parallel to a weld need not be considered in design of welds joining the parts.				
Shear	Base	Governed by J4			
	Weld	$\phi = 0.75$ $\Omega = 2.00$	$0.60F_{EXX}$	See J2.1a	
FILLET WELDS INCLUDING FILLETS IN HOLES AND SLOTS AND SKEWED T-JOINTS					
Shear	Base	Governed by J4			
	Weld	$\phi = 0.75$ $\Omega = 2.00$	$0.60F_{EXX}^{[d]}$	See J2.2a	
Tension or Compression Parallel to weld axis	Tension or compression in parts joined parallel to a weld need not be considered in design of welds joining the parts.				

Esfuerzos permisibles y factor de seguridad para juntas de penetración parcial y de filete

Fuente: ANSI/AISC 360-05 Table J2.5

En la Tabla J2.5 de la AISC se especifica como calcular el esfuerzo nominal de la soldadura a diseñar, el área efectiva del metal base y del cordón, y el coeficiente de

seguridad a utilizar para cada tipo de esfuerzo. El coeficiente de seguridad para esfuerzos de corte en soldadura de filete es 2, para esfuerzos de tensión normales al eje de soldadura es 1,67 y 1,88 para el metal base y para el cordón de la soldadura respectivamente. Tenemos que para la soldadura a filete sometida a cortante el esfuerzo nominal es:

$$F_w = 0,6 * F_{xx}$$

Siendo F_{xx} la resistencia del electrodo. Con base en las recomendaciones de metal base con relleno de la AWS, como se muestra en la tabla 3.1 de la AWS D1.1, se tiene que para el metal base utilizado (A36) con soldadura SMAW los electrodos E60 son adecuados. Este electrodo tiene una resistencia de 60 ksi. En unidades del SI es:

$$F_{xx} = 414 \text{ MPa}$$

Table 3.1
Prequalified Base Metal—Filler Metal Combinations for Matching Strength (see 3.3)

G r o u p	Steel Specification Requirements				Filler Metal Requirements				
	Steel Specification	Minimum Yield Point/Strength		Tensile Range		Process	AWS Electrode Specification	Electrode Classification	
		ksi	MPa	ksi	MPa				
	ASTM A 36	≤3/4 in. [20 mm]	36	250	58–80	400–550	SMAW	A5.1	E60XX, E70XX
	ASTM A 53	Grade B	35	240	60 min	415 min		A5.5 ³	E70XX-X

Combinación de metal base y de relleno recomendada

Fuente: AWS D1.1 Table 3.1

Se calcula la fuerza nominal de la soldadura y el metal base, la menor de estas será la resistencia nominal de esta soldadura. El coeficiente de seguridad especificado es $\Omega=2$.

El esfuerzo nominal del metal base y el metal de aportación, así como los factores de seguridad a utilizar para cada uno, se especifican en la AISC 360, como se muestra en la Tabla J2.5 de la AISC.

Soldadura placa en L y viga

De las tablas 3.4 y 5.8 de la AWS D1.1 se obtiene el tamaño mínimo del cordón de soldadura para juntas de penetración parcial y de filete respectivamente.

Table 3.4
Minimum Prequalified PJP Weld Size (E)
(see 3.12.2.1)

Base Metal Thickness (T) ¹	Minimum Weld Size ²	
	in.	mm
1/8 [3] to 3/16 [5] incl.	1/16	2
Over 3/16 [5] to 1/4 [6] incl.	1/8	3
Over 1/4 [6] to 1/2 [12] incl.	3/16	5
Over 1/2 [12] to 3/4 [20] incl.	1/4	6
Over 3/4 [20] to 1-1/2 [38] incl.	5/16	8
Over 1-1/2 [38] to 2-1/4 [57] incl.	3/8	10
Over 2-1/4 [57] to 6 [150] incl.	1/2	12
Over 6 [150]	5/8	16

Tamaño mínimo pre-calificado de una junta de penetración parcial en función del ancho del metal base.

Fuente: AWS D1.1 Table 3.4

Table 5.8
Minimum Fillet Weld Sizes (see 5.14)

Base-Metal Thickness (T) ¹		Minimum Size of Fillet Weld ²	
in.	mm	in.	mm
T ≤ 1/4	T ≤ 6	1/8 (Note 3)	3 (Note 3)
1/4 < T ≤ 1/2	6 < T ≤ 12	3/16	5
1/2 < T ≤ 3/4	12 < T ≤ 20	1/4	6
3/4 < T	20 < T	5/16	8

Tamaño mínimo de una junta de filete en función del espesor del material base.

Fuente: AWS D1.1 Table 5.8

Para la soldadura a filete sometida a cortante se tomará el valor mínimo de pierna del cordón para el espesor de metal base que tenemos, es decir para el ancho del alma que es 7mm. La pierna para este ancho de metal base es 5mm, como se muestra en la tabla 5.8 de la AWS D1.1.

$$w_{fil_v} = 5mm$$

Las ecuaciones y cálculos completos se encuentran en el Anexo B.3.2.

$$\frac{Rn_{bm;viga}}{\Omega_{weld}} = F_{bm;viga} \cdot A_{bm;viga}$$

$$\frac{Rn_{wm;viga}}{\Omega_{weld}} = F_{wm;viga} \cdot A_{wm;viga}$$

$$A_{bm;viga} = w_{weld;viga} \cdot L_{weld;viga}$$

$$A_{wm;viga} = throat_{viga} \cdot L_{weld;viga}$$

$$w_{weld;viga} = 0,005$$

$$throat_{viga} = w_{weld;viga} \cdot 0,707$$

$$L_{weld;viga} = 2 \cdot 0,092$$

$$Resistencia_{soldadura_{filete}} = Rn_{wm;viga} = 323 \text{ kN}$$

Este valor es mucho mayor que la fuerza cortante que debe soportar, por lo tanto el cordón es adecuado.

$$w_{pjp_v} = 5mm$$

Soldadura columna placa

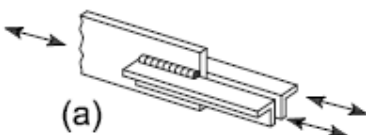
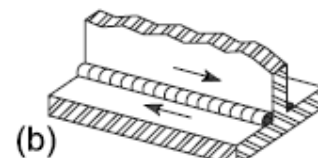

Tomando en cuenta el ancho del alma del perfil que es 10mm, la pierna mínima de soldadura se toma de la tabla 5.8 de la AWS D1.1.

La longitud de la soldadura será calculada usando cada lado del alma del perfil. Con esto se calcula el área de soldadura que será sometida a corte. El proceso de cálculo de la resistencia de diseño está basado en el capítulo J de la ANSI/AISC 360-05.

Dado que la carga que soporta la junta es fluctuante debido al funcionamiento del filtro prensa, se verifica si es necesario un análisis de fatiga.

El rango de esfuerzos que soportará la junta es debido al funcionamiento del filtro prensa. Si este rango es mayor que la resistencia umbral para esta categoría de

diseño por fatiga como se muestra en la tabla A-3.1 de la AISC, se debe realizar un análisis por fatiga.

TABLE A-3.1 Fatigue Design Parameters				
Description	Stress Category	Constant C_f	Threshold F_{TH} ksi (MPa)	Potential Crack Initiation Point
8.2 Shear on throat of continuous or intermittent longitudinal or transverse fillet welds.	F	150×10^{10} (Eqn. A-3-2 or A-3-2M)	8 (55)	In throat of weld
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>8.2</p>  <p>(a)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(b)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(c)</p> </div> </div>				

Parámetros de diseño por fatiga

Fuente: ANSI/AISC 360-05 Table A-3.1

Para calcular el rango de esfuerzos por fatiga se establece el número de ciclos N de aplicación de carga, que en este caso depende del número de veces al día que se accionará el filtro prensa, la vida útil considerada y se toma el valor de la constante C_f de la Tabla A-3.1 de la AISC 360 para aplicar la ecuación del rango de esfuerzos de diseño para la categoría de esfuerzos F.

$$F_{sr} = \left(\frac{C_f * 11 * 10^4}{N} \right)^{0,167}$$

El cordón que estará sometido a tensión debido al momento flexionante será calculado

ANEXO B.2.5 UNIONES EMPERNADAS

Según la ANSI/AISC 360-05, el espesor de la placa debe ser aproximadamente 0,6 el diámetro de los pernos a utilizar

La disposición de los agujeros debe cumplir con lo especificado por la ANSI/AISC 360-05 sección J3

La pre tensión mínima según la ANSI/AISC 360-05 para los pernos a utilizar se observan en la Tabla J3.1M de la AISC. En la instalación, esta pre tensión es asegurada con un pre tensor.

TABLE J3.1M		
Minimum Bolt Pretension, kN*		
Bolt Size, mm	A325M Bolts	A490M Bolts
M16	91	114
M20	142	179
M22	176	221
M24	205	257
M27	267	334
M30	326	408
M36	475	595

*Equal to 0.70 times the minimum *tensile strength* of bolts, rounded off to nearest kN, as specified in ASTM specifications for A325M and A490M bolts with UNC threads.

Pre tensión mínima para pernos métricos de alta resistencia

Fuente: ANSI/AISC 360-05 Table J3.1M

En la Tabla J3.2 de la AISC 360 se muestra el esfuerzo nominal cortante y de tensión de los pernos A325M, tanto para cuando se toma en cuenta a la parte roscada en el plano de corte como cuando se excluye la rosca del plano de corte. De estos valores se utiliza para los cálculos el esfuerzo cuando la rosca no se excluye del plano de corte. Es esfuerzo sirve para calcular la resistencia al corte de diseño de la unión emperrada.

TABLE J3.2		
Nominal Stress of Fasteners and Threaded Parts, ksi (MPa)		
Description of Fasteners	Nominal Tensile Stress, F_{nt}, ksi (MPa)	Nominal Shear Stress in Bearing-Type Connections, F_{nv}, ksi (MPa)
A307 bolts	45 (310) [a][b]	24 (165) [b][c][f]
A325 or A325M bolts, when threads are not excluded from shear planes	90 (620) [e]	48 (330) [f]
A325 or A325M bolts, when threads are excluded from shear planes	90 (620) [e]	60 (414) [f]

Esfuerzo nominal para elementos roscados A325

Fuente: ANSI/AISC 360-05 Table J3.2

En la Tabla J3.3M de la AISC 360 se muestra el diámetro del agujero para los pernos que debe ser utilizado para distintos tipos de pernos.

TABLE J3.3M				
Nominal Hole Dimensions, mm				
Bolt Diameter	Hole Dimensions			
	Standard (Dia.)	Oversize (Dia.)	Short-Slot (Width × Length)	Long-Slot (Width × Length)
M16	18	20	18 × 22	18 × 40
M20	22	24	22 × 26	22 × 50
M22	24	28	24 × 30	24 × 55
M24	27 [a]	30	27 × 32	27 × 60
M27	30	35	30 × 37	30 × 67
M30	33	38	33 × 40	33 × 75
≥M36	$d + 3$	$d + 8$	$(d + 3) \times (d + 10)$	$(d + 3) \times 2.5d$

[a] Clearance provided allows the use of a 1-in. bolt if desirable.

Dimensiones del agujero para pernos métricos
Fuente: ANSI/AISC 360-05 Table J3.3M

En la Tabla J3.4M de la AISC 360 se muestra la distancia mínima a los bordes desde el centro de los agujeros que deben tener las piezas.

TABLE J3.4M		
Minimum Edge Distance, [a] mm, from Center of Standard Hole [b] to Edge of Connected Part		
Bolt Diameter (mm)	At Sheared Edges	At Rolled Edges of Plates, Shapes or Bars, or Thermally Cut Edges [c]
16	28	22
20	34	26
22	38 [d]	28
24	42 [d]	30
27	48	34
30	52	38
36	64	46
Over 36	$1.75d$	$1.25d$

Distancia mínima entre el centro del agujero a los bordes.
Fuente: ANSI/AISC 360-05 Table J3.3M

Con esto se procede a calcular la resistencia de diseño de la unión emperrada. Se calcula la resistencia al corte de la junta y la resistencia al deslizamiento con las ecuaciones que se muestran a continuación. La resistencia al deslizamiento según la ANSI/AISC 360 05 de la junta es la siguiente:

$$\frac{R_{nslip}}{\Omega} = \mu * D_u * h_{sc} * T_b * N_s$$

Se considera también un efecto de tensión causado por el momento flexionante transmitido a la columna. Dos pernos de los extremos de la junta serán los que soporten este efecto. Para considerar los efectos combinados de tensión y corte la ANSI/AISC 360 – 05 especifica un factor k_s para que sea multiplicado por la resistencia de deslizamiento para disminuir su valor.

$$k_s = 1 - \frac{1,5 * T_a}{D_u * T_b * N_b}$$

Donde:

$\mu=0,5$ es el coeficiente de deslizamiento promedio de superficies de acero sin pintar con limpiadas con un proceso de sandblasteado.

$\Omega=1,76$ es el coeficiente de seguridad para conexiones que prevengan el deslizamiento al nivel de esfuerzo requerido.

$D_u=1,13$ es un factor que refleja la razón de la pre tensión instalada con la mínima especificada.

$h_{sc} = 1$ es un factor de agujeros, para agujeros de pernos estándar toma el valor de 1.

N_s es el número de planos de deslizamiento, en este caso es 1.

$T_b=91$ kN es la pre tensión mínima

N_b es el número de pernos que resisten la tensión aplicada.

T_a es la fuerza de tensión considerada, en este caso causada por el momento transmitido por el filtro prensa a la columna en el área del perno.

La resistencia al corte de los pernos es la siguiente:

$$\frac{R_{n\text{shear}}}{\Omega} = F_n * A_b$$

Donde:

$\Omega=2$ es el coeficiente de seguridad para elementos sometidos a cortantes.

F_n es el esfuerzo cortante nominal para este tipo de pernos obtenido de la tabla J3.2 de la AISC 360

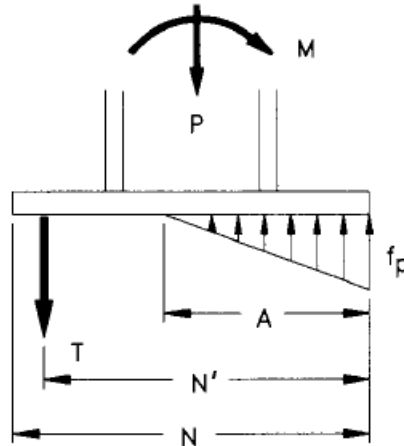
Los cálculos de las uniones emperradas existentes se realizaron con el procedimiento mencionado. Las ecuaciones y cálculos completos se encuentran en el Anexo B.3.2.

ANEXO B.2.6

Diseño de placa base

La placa base conecta las columnas con el suelo. Se diseña la placa base de acuerdo a la Guía de Diseño de Acero de la AISC.

La columna soporta carga axial y momento. El caso general de análisis es como se muestra en la siguiente imagen:



El momento que soporta la columna es el momento máximo calculado en la base de la misma y la carga axial es la carga de compresión máxima.

$$M = 218 \text{ kN} - \text{m}$$

$$P = 10 \text{ kN}$$

Se debe considerar la excentricidad de las cargas de la columna, es decir, la relación entre el momento y la carga axial.

$$e = \frac{M}{P} = 21,8$$

Dependiendo de esta relación se utiliza el método de diseño adecuado. Este caso corresponde a una placa base con momento con excentricidad grande. El proceso de diseño se detalla a continuación.

Primero se debe estimar el tamaño de la placa. Siendo B y N las dimensiones de la misma.

Se determina el esfuerzo permisible con la siguiente ecuación:

$$F_p = 0.35 f'_c \sqrt{\left(\frac{A_2}{A_1}\right)} \leq 0.70 f'_c$$

Donde f'_c es el esfuerzo de compresión del concreto, el cual se estima como 20MPa. Se utilizan dos ecuaciones de equilibrio para determinar las incógnitas.

La suma de fuerzas es:

$$T + P = \frac{f_p * A * B}{2}$$

Y a partir de la suma de momentos se obtiene el valor de A tomando el menor valor positivo que resulte de:

$$A = \frac{f' \pm \sqrt{\left[f'^2 - 4 \left(\frac{f_p B}{6} \right) (PA' + M) \right]}}{\frac{f_p B}{3}}$$

Siendo

$$f' = \frac{f_p * B * N'}{2}$$

Se calcula la fuerza T que debe ser resistida por pernos de anclaje.

Teniendo esto se calcula el espesor de la placa con la siguiente ecuación:

$$t_p = \sqrt{\frac{6M_{pl}}{F_b}}$$

Donde:

$$F_b = 0,75 * S_y$$

Siendo S_y la resistencia a la fluencia, definida con anterioridad.

Y M_{pl} en el sistema internacional de unidades se calcula de la siguiente manera:

$$M_{pl} = \left[f_{cs} \cdot \frac{cs^2}{2} + (f_{max} - f_{min}) \cdot \frac{cs^2}{3} \right] \cdot \frac{1000}{25,4}$$

Donde:

$$cs = 0,5 \cdot (N - 0,95 \cdot 0,24)$$

$$f_a = \frac{P}{B \cdot N}$$

$$f_b = \frac{6 \cdot P \cdot ex}{B \cdot N^2}$$

$$f_{max} = f_a + f_b$$

$$f_{min} = f_b - f_a$$

$$f_{cs} = 0$$

Anexo B.3.1.1 : Cálculos para cal en programa EES

{Calculo de Tanque para almacenar solucion de cal}
 {Parametros obtenidos de las pruebas de jarras para neutralizar agua residual acida}
 {cantidad de agua residual:CAR}
 CAR=10 [l]
 {cantidad de solucion para neutralizar agua residual:CS}
 CS=0,2 [l]
 {Volumen promedio de efluente que se trata por dia: V_efluente}
 V_efluente1=110 [m³]
 V_efluente=V_efluente1*1000 [l]
 V_liquido=V_efluente*CS/CAR
 V_gal=V_liquido*Convert(l;gal)

{Por disponibilidad el tanque sera de 2500 litros (plastigama)}
 {Geometria del tanque}
 D=1,5 [m]
 H=1,4 [m] {Altura util de liquido estimada de acuerdo a la geometria del tanque}

{Densidad Liquido: rho_1}
 rho_1=1000 [kg/m³] {verificar en planta}
 {x_1: fraccion volumetrica de liquido}
 x_1=0,957 {editar}

{Densidad solido: rho_2}
 rho_2=2211 [kg/m³] {editar}
 {x_2: fraccion volumetrica de solido}
 x_2=0,043 {editar}

{Nota: las fracciones volumetricas de cada sustancia salen a partir de la preparación de la solución}

{Densidad liquido-solido: rho (AICHE)}

$$\rho = (x_1 / \rho_1) + (x_2 / \rho_2)^{-1}$$

{Viscosidad del agua: modelada para la disolucion}
 mu=1,1E-3 [Pa.s] {editar, para agua a T ambiente de la planta}

{N: velocidad rotacional del impeller [rad/s]}
 N_1=71 [rpm]

$$N = (2 * \pi / 60) * N_1$$

{Numero de Reynolds para impeller (Perry)}
 {Turbulento; N_Re>10000---Transicion; 10<N_Re<10000---Laminar; N_Re<10}

$$N_{Re} = 0,159 * ((D_a)^2 * N * \rho / \mu)$$
 {REynolds modificado:AICHE}
 {Las consideraciones del factor son debido a la viscosidad de la sustancia solida, por lo que se modela como viscosidad del agua sin problema}

{Dimensionamiento del Impeller}
 {Tipo: Pitched Blade}
 {Da: diametro del impeller [m]}
 {w=ancho de las aspas}

$$(w/D_a) = 1/4$$
 {Ope. Unit pag: 292}

$$D_a = 0,5 * D$$
 {CPE: pag 287}

{Ubicacion del impeller}
 {Centro del tanque}
 {altura de la aspa medida desde el fondo del tanque: hi}

$$h_i = H/6$$
 {Recomendacion de Chemical Procces Equipment-Selection and Design. Walas}

{Potencia del motor : ref. libro de operaciones unitaria en Ingenieria Quimica}
 {De la fig. 9,20-->Potencia por unidad de volumen para aspa inclinada}

$$(P/V_{gal}) = 3,15$$
 [hp/1000 gal]
 y=3,15

$$P = y * V_{gal} / 1000$$

{Motor seleccionado: 2 Hp (si hay en planta)}

{Tiempo de mezclado para aspas inclinadas: Blending time pdf pg 10}

$$N_t = 2,02 * ((D_T/D_a)^2,05) * \log(x_o/x_c)$$

{De la Fig 9,16 de operaciones unitarias}

$$nt_T=60$$

$$t=nt_T/(N_1/60)$$

$$CAR = 10 \quad [l]$$

$$CS = 0,2 \quad [l]$$

$$V_{\text{efluente1}} = 110 \quad [m^3]$$

$$V_{\text{efluente}} = V_{\text{efluente1}} \cdot 1000 \quad [l]$$

$$V_{\text{liquido}} = V_{\text{efluente}} \cdot \frac{CS}{CAR}$$

$$V_{\text{gal}} = V_{\text{liquido}} \cdot \left| 0,2642 \cdot \frac{\text{gal}}{l} \right|$$

$$D = 1,5 \quad [m]$$

$$H = 1,4 \quad [m]$$

$$\rho_1 = 1000 \quad [kg/m^3]$$

$$x_1 = 0,957$$

$$\rho_2 = 2211 \quad [kg/m^3]$$

$$x_2 = 0,043$$

$$\rho = \left[\frac{x_1}{\rho_1} + \frac{x_2}{\rho_2} \right]^{-1}$$

$$\mu = 0,0011 \quad [Pa.s]$$

$$N_1 = 71 \quad [rpm]$$

$$N = 2 \cdot \frac{\pi}{60} \cdot N_1$$

$$N_{Re} = 0,159 \cdot D_a^2 \cdot N \cdot \frac{\rho}{\mu}$$

$$\frac{w}{D_a} = 1 / 4$$

$$D_a = 0,5 \cdot D$$

$$h_i = \frac{H}{6}$$

$$y = 3,15$$

$$P = y \cdot \frac{V_{\text{gal}}}{1000}$$

$$nt_T = 60$$

$$t = \frac{nt_T}{\frac{N_1}{60}}$$

SOLUTION

Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg

CAR = 10 [I]

Da = 0,75 [m]

μ = 0,0011 [Pa.s]

N₁ = 71 [rpm]

ρ = 1024 [Kg/m³]

t = 50,7 [s]

V_{gal} = 581,2 [gal]

x₁ = 0,957

CS = 0,2 [I]

H = 1,4 [m]

N = 7,435 [rad/s]

N_{Re} = 619106

ρ₁ = 1000 [kg/m³]

V_{efluente} = 110000 [I]

V_{liquido} = 2200 [I]

x₂ = 0,043

D = 1,5 [m]

h_i = 0,2333 [m]

n_{tr} = 60

P = 1,831 [hp]

ρ₂ = 2211 [kg/m³]

V_{efluente1} = 110 [m³]

w = 0,1875 [m]

y = 3,15

7 potential unit problems were detected.

EES suggested units (shown in purple) for V_{gal} V_{liquido} .

$N_{Re}=699124$

$h_i=0,2333$ [m]

$V_{gal}=581,2$ [gal]

$t=50,7$ [s]

Anexo B.3.1.2: Cálculos para agitador en pre-sedimentador en programa EES

{Calculo de Tanque de segunda etapa con solucion de cal}

V_liquido=2000 [l]
V_gal=V_liquido*Convert(l;gal)

{Geometria del tanque}

D=2[m]
H=0,80 [m] {Altura util de liquido estimada de acuerdo a la geometria del tanque}

{Densidad Liquido: rho_1}

rho_1=1000 [kg/m^3] {verificar en planta}
{x_1: fraccion volumetrica de liquido}
x_1=0,94 {editar}

{Densidad solido: rho_2}

rho_2=2211 [kg/m^3] {editar}
{x_2: fraccion volumetrica de solido}
x_2=0,06 {editar}

{medir densidad de solucion de cal aniadida en efluente, ese sera el rho}

{Nota: las fracciones volumetricas de cada sustancia salen a partir de la preparaci3n de la soluci3n}

{Densidad liquido-solido: rho (AICHE)}

rho=(x_1 / rho_1)+(x_2 / rho_2)^(-1)

{Viscocidad del agua: modelada para la disolucion}

mu=1,2E-3 [Pa.s] {editar, para agua a T ambiente de la planta}

{N: velocidad rotacional del impeller [rad/s]}

N_1=56 [rpm]
N=(2*pi/60)*N_1

{Numero de Reynolds para impeller (Perry)}

{Turbulento; N_Re>10000----Transicion; 10<N_Re<10000---Laminar; N_Re<10}

N_Re=0,159*((D_a)^2)*N*rho/mu {REynolds modificado:AICHE}

{Las consideraciones del factor son debido a la viscocidad de la sustancia solida, por lo que se modela como viscocidad del agua sin problema}

{Dimensionamiento del Impeller}

{Tipo: Pitched Blade}
{Da: dimetro del impeller [m]}
{w=ancho de las aspas}

(w/D_a)=1/4
D_a=0,4*D

{Ubicacion del impeller}

{Centro del tanque}
{altura de la aspa medida desde el fondo del tanque: h_i}
h_i=H/6 {Recomendacion de Chemical Procces Equipment-Selection and Design. Walas}

{Potencia del motor : ref. libro de operaciones unitaria en Ingenieria Quimica}

{De la fig. 9,20-->Potencia por unidad de volumen para aspa inclinada}

{(P/V_gal)=3,15 [hp/1000 gal]}

P=3,15*V_gal/1000

{Motor seleccionado: 2 Hp (si hay en planta)}

{Tiempo de mezclago para aspas inclinadas: Blending time pdf pg 10}

{N_t=2,02*((D_T/D_a)^2,05)*log(x_o/x_c)}

{De la Fig 9,16 de operaciones unitarias}

nt_T=60
t=nt_T/(N_1 /60)

$$V_{\text{liquido}} = 2000 \text{ [l]}$$

$$V_{\text{gal}} = V_{\text{liquido}} \cdot \left| 0,2642 \cdot \frac{\text{gal}}{\text{l}} \right|$$

$$D = 2 \text{ [m]}$$

$$H = 0,8 \text{ [m]}$$

$$\rho_1 = 1000 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$x_1 = 0,94$$

$$\rho_2 = 2211 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$x_2 = 0,06$$

$$\rho = \left[\frac{x_1}{\rho_1} + \frac{x_2}{\rho_2} \right]^{-1}$$

$$\mu = 0,0012 \text{ [Pa.s]}$$

$$N_1 = 56 \text{ [rpm]}$$

$$N = 2 \cdot \frac{\pi}{60} \cdot N_1$$

$$N_{\text{Re}} = 0,159 \cdot D_a^2 \cdot N \cdot \frac{\rho}{\mu}$$

$$\frac{w}{D_a} = 1 / 4$$

$$D_a = 0,4 \cdot D$$

$$h_i = \frac{H}{6}$$

$$P = 3,15 \cdot \frac{V_{\text{gal}}}{1000}$$

$$nt_T = 60$$

$$t = \frac{nt_T}{\frac{N_1}{60}}$$

SOLUTION

Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg

$$D = 2 \text{ [m]}$$

$$h_i = 0,1333 \text{ [m]}$$

$$nt_T = 60$$

$$P = 1,664 \text{ [hp]}$$

$$\rho_2 = 2211 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$V_{\text{liquido}} = 2000 \text{ [l]}$$

$$D_a = 0,8 \text{ [m]}$$

$$\mu = 0,0012 \text{ [Pa.s]}$$

$$N_1 = 56 \text{ [rpm]}$$

$$\rho = 1034 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$t = 64,29 \text{ [s]}$$

$$w = 0,2 \text{ [m]}$$

$$H = 0,8 \text{ [m]}$$

$$N = 5,864 \text{ [rad/s]}$$

$$N_{\text{Re}} = 514191$$

$$\rho_1 = 1000 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$V_{\text{gal}} = 528,3 \text{ [gal]}$$

$$x_1 = 0,94$$

$x_2 = 0,06$

6 potential unit problems were detected.

EES suggested units (shown in purple) for V_gal .

$\mu=0,0012$ [Pa . s]ññl

$D_a=0,8$ [m] $\mu=0,0012$ [Pa.s]hdfhg

$w=0,2$ [m]

ANEXO B.3.2: Diseño de estructura base para elevación del filtro prensa*Propiedades del acero*

$$\rho = 7850 \text{ [Kg/m}^3\text{]}$$

$$E = 2,07 \times 10^{11} \text{ [Pa]}$$

Propiedades del ASTM A36

$$S_y = 2,5 \times 10^8$$

$$S_{ut} = 4, \times 10^8 \text{ [Pa]}$$

$$S_{e_{prima}} = 0,504 \cdot S_{ut}$$

*Calculo de columnas**Estimacion de cargas*

$$g = 9,8 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

$$W_{plat} = \rho \cdot 0,005 \cdot 8,528 \cdot g$$

$$W_{carg} = 300 \cdot g$$

$$W_{pers} = 160 \cdot g$$

$$W_{fp} = 2400 \cdot g$$

$$W_{bar} = 41,58 \cdot 2,61 \cdot g$$

$$W_{maq} = 300 \cdot g$$

$$W_{vig} = 13,86 \cdot P_v \cdot g$$

$$F_{cil} = 303545$$

Para vigas: fuerzas puntuales, fuerzas distribuidas

$$F_{pmin} = W_{fp}$$

$$F_{pmax} = F_{pmin} + W_{carg}$$

Fuerzas puntuales en 4 apollos

$$W_{1min} = \frac{F_{pmin}}{4} \text{ [N]}$$

$$W_{1max} = \frac{F_{pmax}}{4} \text{ [N]}$$

Fuerzas distribuidas

$$W_{dmin} = W_{plat} + W_{bar}$$

$$W_{dmax} = W_{dmin} + W_{pers} + W_{maq}$$

Distribuido en 4 secciones de vigas y 4 voladizos

$$W_{2min} = \frac{W_{dmin}}{8}$$

$$W_{2max} = \frac{W_{dmax}}{8}$$

$$\omega_{2min} = \frac{W_{2min}}{0,8 \text{ [N/m]}}$$

$$\omega_{2max} = \frac{W_{2max}}{0,8 \text{ [N/m]}}$$

Diseño de columnas

$$W_{cmin} = W_{fp} + W_{plat} + W_{bar} + W_{vig}$$

$$W_{cmax} = W_{cmin} + W_{carg} + W_{pers} + W_{maq}$$

$$W_{3min} = \frac{W_{cmin}}{4}$$

$$W_{3max} = \frac{W_{cmax}}{4}$$

$$L_c = 1,36 \text{ [m]}$$

$$C = 1,2$$

Momento generado por el funcionamiento del filtro prensa

$$M_{cfp} = \frac{F_{cil}}{3} \cdot 0,8$$

Columna: Perfil HEB240

$$I_c = 0,00011259$$

$$I_{cy} = 3,923 \times 10^{-8}$$

$$I_{tc} = 0,0000011$$

$$A_c = 0,0106$$

$$a_{lma240} = 0,01$$

$$h_1 = 0,164$$

$$a_{la240} = 0,017$$

$$b_{240} = 0,12$$

$$r_{adio} = 0,103$$

$$P_c = 83,2$$

$$C_c = 0,12$$

Resistencia nominal de la columna

$$\frac{V_n}{1,5} = 0,6 \cdot S_y \cdot \text{alma240} \cdot 2 \cdot C_c$$

$$P_{n,3} = F_{cr,3} \cdot A_c$$

$$aa = 4,71 \cdot \left[\frac{E}{S_y} \right]^{0,5}$$

$$F_e = \pi^2 \cdot \frac{E}{\text{Esbeltez}^2}$$

$$F_{cr,3} = 0,658 \left[\frac{S_y}{F_e} \right] \cdot S_y$$

$$P_{n,4} = F_{cr,4} \cdot A_c$$

$$F_{cr,4} = 0,658 \left[\frac{S_y}{F_{e,4}} \right] \cdot S_y$$

$$F_{e,4} = \left[\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(C \cdot L_c)^2} + G4 \cdot I_{tc} \right] \cdot \left[\frac{1}{I_c + I_{cy}} \right]$$

$$G4 = 7,72 \times 10^{10}$$

$$C_w = \frac{I_{cy} \cdot [0,24 - 0,017]^2}{4}$$

Resist nominal flexion

$$Z_x = 0,000938$$

$$M_{n,c} = S_y \cdot Z_x$$

Comprobación Fatiga

$$H \cdot L_c \cdot \frac{C_c}{I_c} = \text{Esfuerzo}$$

Verificación de Pandeo

$$\text{Esbeltez} = C \cdot \frac{L_c}{\text{radio}} \quad \text{Columna intermedia porque es menor a la de transición}$$

$$\text{Esbeltez}_{\text{transición}} = \left[\frac{C \cdot 2 \cdot \pi^2 \cdot E}{S_y} \right]^{1/2}$$

$$\text{Esbeltez}_{\text{AISC}} = 4,71 \cdot \left[\frac{E}{S_y} \right]^{0,5}$$

$$P_{cr} = A_c \cdot S_y \cdot \left[1 - \frac{S_y \cdot \text{Esbeltez}^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot E} \right] \quad \text{Debido a que es intermedia}$$

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A_c}$$

Verificación si es compacto

Miembro compacto

$$\text{AnchoEspesor}_{\text{ala}} = \frac{b_{240}}{\text{ala}_{240}}$$

$$\lambda_{p;\text{ala}} = 0,38 \cdot \left[\frac{E}{S_y} \right]^{[1 / 2]}$$

$$\text{AnchoEspesor}_{\text{alma}} = \frac{h_1}{\text{alma}_{240}}$$

$$\lambda_{p;\text{alma}} = 3,76 \cdot \left[\frac{E}{S_y} \right]^{[1 / 2]}$$

Momento en la base de la columna

$$M_c = \frac{F_{c1l}}{3} \cdot L_c + M_{cfp}$$

$$\sigma_{\min} = \frac{-W_{3\max}}{A_c} + M_c \cdot \frac{C_c}{I_c}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{-W_{3\min}}{A_c} + M_c \cdot \frac{C_c}{I_c}$$

$$\text{Rango}_{\text{cargaviva;columna}} = H \cdot 1,36 \cdot \frac{C_c}{I_c}$$

Goodman para columnas

$$\sigma_{ac} = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}$$

$$\sigma_{mc} = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}$$

$$S_e = K_{ac} \cdot K_{bc} \cdot K_{cc} \cdot K_{dc} \cdot K_{ec} \cdot K_{fc} \cdot S_{e\text{prima}}$$

$$\frac{\sigma_{ac}}{S_e} + \frac{\sigma_{mc}}{S_{ut}} = \frac{1}{N_c}$$

$$K_{ac} = 57,7 \cdot \left[\frac{S_{ut}}{1000000} \right]^{-0,718}$$

$$K_{bc} = 0,8$$

$$K_{cc} = 0,85$$

$$K_{dc} = 1$$

$$K_{ec} = 0,897$$

$$K_{fc} = 1$$

Diseño de vigas

$$L_v = 4,35 \text{ [m]}$$

Viga perfil HEB 140

$$A_v = 0,0043 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$I_v = 0,00001509 \text{ [m}^4\text{]}$$

$$I_{vy} = 0,0000055$$

$$P_v = 33,7 \text{ [Kg/m]}$$

$$C_v = \frac{h_v}{2}$$

$$h_v = 0,14 \text{ [m]}$$

$$e_{alma,v} = 0,007 \text{ [m]}$$

$$e_{ala,v} = 0,012 \text{ [m]}$$

$$b = 0,14 \text{ [m]}$$

$$radio_x = 0,0593 \text{ [m]}$$

$$radio_y = 0,0358 \text{ [m]}$$

$$alma140 = e_{alma,v}$$

$$M_{min} = 0,8 \cdot 0,4 \cdot \omega_{2min}$$

$$M_{max} = 0,8 \cdot 0,4 \cdot \omega_{2max}$$

$$\sigma_{vmax} = M_{max} \cdot \frac{C_v}{I_v} + \frac{F_{cil}}{4 \cdot A_v}$$

$$\sigma_{vmin} = M_{min} \cdot \frac{C_v}{I_v}$$

Resistencia nominal viga

$$\frac{V_{n,v}}{1,5} = 0,6 \cdot S_y \cdot alma140 \cdot 2 \cdot C_v$$

Resist nominal flexion viga

$$Z_{x,v} = 0,000216$$

$$M_{n,v} = S_y \cdot Z_{x,v}$$

Goodman para vigas

$$\sigma_{av} = \frac{\sigma_{vmax} - \sigma_{vmin}}{2}$$

$$\sigma_{mv} = \frac{\sigma_{vmax} + \sigma_{vmin}}{2}$$

$$\frac{\sigma_{av}}{Sev} + \frac{\sigma_{mv}}{Sut} = \frac{1}{Nv}$$

$$Sev = Kav \cdot Kbv \cdot Kcv \cdot Kdv \cdot Kev \cdot Kfv \cdot Se_{prima}$$

$$Kav = 57,7 \cdot \left[\frac{Sut}{1000000} \right]^{-0,718}$$

$$Kbv = 1$$

$$Kcv = 1$$

$$Kdv = 1$$

$$Kev = 0,897$$

$$Kfv = 1$$

Verificación de efectos de deflexión en columna, límite de desplome $Lc/250$ según DB SE A

$$EI = E \cdot Ic$$

$$Mo = Mc$$

$$P = W3max$$

$$H = \frac{F_{cil}}{3}$$

$$\Delta_0 = H \cdot \frac{Lc^3}{3 \cdot EI} + Mcfp \cdot \frac{Lc^2}{2 \cdot EI}$$

$$M1 = P \cdot \Delta_0$$

$$\Delta_1 = M1 \cdot \frac{Lc^2}{2 \cdot EI}$$

$$M2 = P \cdot \Delta_1$$

$$\Delta_2 = M2 \cdot \frac{Lc^2}{2 \cdot EI}$$

$$\frac{\Delta_{tot}}{1000} = \Delta_0 + \Delta_1 + \Delta_2$$

$$M_{tot} = Mo + M1 + M2$$

$$\frac{\Delta_{tot}}{1000 \cdot Lc} = \text{Desplome}$$

$$\text{Desplome}_{max} = \frac{Lc}{250}$$

Cálculo de union empernada viga columna

$$tp = 0,6 \cdot Db$$

$$F_s = \frac{F_{cil}}{2}$$

$$F_b = \frac{F_s}{8}$$

$$D_b = 0,016$$

$$A_b = \pi \cdot \frac{D_b^2}{4}$$

$$\frac{1}{k_s} \cdot \frac{R_{nshear}}{\Omega_{shear}} = F_n \cdot A_b$$

$$F_n = 3,3 \times 10^8 \text{ [MPa]}$$

$$\Omega_{shear} = 2$$

$$\Omega_{slip} = 1,76$$

$$\frac{R_{nslip}}{\Omega_{slip}} = \mu \cdot D_u \cdot h_{sc} \cdot T_b \cdot N_s$$

$$\mu = 0,5 \text{ unpainted blast cleaned surfaces}$$

$$h_{sc} = 1$$

$$D_u = 1,13$$

$$N_s = 1$$

$$T_b = 91000 \text{ [N]}$$

$$k_s = 1 - 1,5 \cdot \frac{T_a}{D_u \cdot T_b \cdot 2}$$

$$T_a = \frac{M_{cfp} \cdot \frac{C_c}{I_c}}{1000} \cdot A_b$$

Soldadura Columna a placa

Cortante columna

$$\frac{R_{n_{bm}}}{\Omega_{weld}} = F_{bm} \cdot A_{bm}$$

$$\frac{R_{n_{wm}}}{\Omega_{weld}} = F_{wm} \cdot A_{wm}$$

$$F_{wm} = 0,6 \cdot E_{xx}$$

$$F_{bm} = 0,6 \cdot S_y \text{ En base a J4.2}$$

$$A_{bm} = W_{weld} \cdot L_{weld}$$

$$A_{wm} = \text{throat} \cdot L_{weld}$$

$$W_{weld} = 0,006$$

$$\text{throat} = w_{\text{weld}} \cdot 0,707$$

$$L_{\text{weld}} = 2 \cdot 0,166$$

$$\Omega_{\text{weld}} = 2$$

$$\text{DesignStrenghtWeld} = R_{n_{\text{wm}}} \quad \text{Comparado con } F_s$$

Verificación fatiga

$$\text{Stressrange} = \frac{F_s}{A_{\text{wm}}}$$

$$\frac{\text{StressF}}{1000000} = \left[\frac{C_f \cdot 110000}{\text{ciclos}} \right]^{0,167}$$

$$C_f = 1,5 \times 10^{12}$$

$$\text{ciclos} = 7 \cdot 365 \cdot 25$$

Tension columnaa

$$\frac{R_{n_{\text{bm};\text{columna};t}}}{\Omega_{\text{weld};\text{base};\text{columna};t}} = S_y \cdot A_{\text{bm};\text{columna};t}$$

$$\frac{R_{n_{\text{wm};\text{columna};t}}}{\Omega_{\text{weld};\text{columna};t}} = F_{\text{wm};\text{columna};t} \cdot A_{\text{wm};\text{columna};t}$$

$$F_{\text{wm};\text{columna};t} = 0,6 \cdot E_{\text{xx}}$$

$$F_{\text{bm};\text{columna};t} = S_y$$

$$A_{\text{bm};\text{columna};t} = w_{\text{weld};\text{columna};t} \cdot L_{\text{weld};\text{columna};t}$$

$$A_{\text{wm};\text{columna};t} = \text{throat}_{\text{columna};t} \cdot L_{\text{weld};\text{columna};t}$$

$$w_{\text{weld};\text{columna};t} = 0,006$$

$$\text{throat}_{\text{columna};t} = w_{\text{weld};\text{columna};t} \cdot 0,707$$

$$L_{\text{weld};\text{columna};t} = 0,24 + 0,21$$

$$\Omega_{\text{weld};\text{base};\text{columna};t} = 1,67$$

$$\Omega_{\text{weld};\text{columna};t} = 1,88$$

$$A_{\text{tension}} = \text{throat}_{\text{columna};t} \cdot L_{\text{weld};\text{columna};t}$$

$$F_{\text{uerza}_{\text{tension}}} = A_{\text{tension}} \cdot F_{\text{columna};\text{tension}}$$

$$\text{DesignStrenghtWeld}_{\text{columna};t} = R_{n_{\text{wm};\text{columna};t}}$$

$$F_{\text{columna};\text{tension}} = M_c \cdot \frac{C_c}{I_c}$$

$$\text{StressTension} = R_{\text{fil}} \cdot \left[\frac{1,44 \times 10^{12}}{\text{ciclos}} \right]^{0,333}$$

$$R_{fil} = \frac{0,1 + 1,24 \cdot \frac{W_{weld;columna;t}}{ala240}}{ala240^{0,167}}$$

Dimensiones base columna 400x400

$$m = 0,08$$

$$f_{max} = \frac{W3max}{0,4 \cdot 0,4} + Mc \cdot \frac{Cc}{Ic}$$

$$f_{concreto} = 2, \times 10^7$$

$$F_{p;allow} = 0,7 \cdot f_{concreto}$$

$$ex = \frac{Mc}{W3max}$$

Soldadura Base de columna

$$\frac{Rn_{bm;base}}{\Omega_{weld}} = Fbm \cdot Abm_{base}$$

$$\frac{Rn_{wm;base}}{\Omega_{weld}} = Fwm \cdot Awm_{base}$$

$$Abm_{base} = W_{weld;base} \cdot L_{weld}$$

$$Awm_{base} = throat_{base} \cdot L_{weld}$$

$$W_{weld;base} = 0,006$$

$$throat_{base} = W_{weld;base} \cdot 0,707$$

$$DesignStrenghtWeld_{base} = Rn_{wm;base}$$

J8

$$\frac{P_p}{2,5} = 0,85 \cdot f_{cc} \cdot A_1$$

$$f_{cc} = 2,06 \times 10^7$$

$$A_1 = 0,4 \cdot 0,4$$

Union viga viga

*alma alma placa en L
soldadura en corte y pernos en deslizamiento*

Cortante soldadura

$$\frac{Rn_{bm;viga}}{\Omega_{weld}} = Fbm_{viga} \cdot Abm_{viga}$$

$$\frac{Rn_{wm;viga}}{\Omega_{weld}} = Fwm_{viga} \cdot Awm_{viga}$$

$$Fwm_{viga} = 0,6 \cdot Exx$$

$$F_{bm_{viga}} = 0,6 \cdot S_y \quad \text{Revisar pag 409 AISC, } 0,4F_y \text{ con fac. seg. } 1,5 \text{ da igual a } 0,6F_y$$

$$A_{bm_{viga}} = w_{weld;viga} \cdot L_{weld;viga}$$

$$A_{wm_{viga}} = throat_{viga} \cdot L_{weld;viga}$$

$$w_{weld;viga} = 0,005$$

$$throat_{viga} = w_{weld;viga} \cdot 0,707$$

$$L_{weld;viga} = 2 \cdot 0,092$$

$$DesignStrengthWeld_{viga;filete} = R_{n_{wm;viga}}$$

2 Pernos M16 slip critical

$$\frac{R_{nshear_{viga}}}{\Omega_{shear}} = F_n \cdot A_b$$

$$\frac{R_{nslip_{viga}}}{\Omega_{slip}} = \mu \cdot D_u \cdot h_{sc} \cdot T_b \cdot N_{s_{viga}}$$

$$N_{s_{viga}} = 2$$

$$E_{xx} = 4,14 \times 10^8 \text{ [Pa] Electrodo E60}$$

SOLUTION

Unit Settings: SI C Pa kJ mass deg

aa = 135,5

Abm = 0,001992

Abm_{columna,t} = 0,0027Ac = 0,0106 [m²]

alma140 = 0,007 [m]

AnchoEspesor_{ala} = 7,059Av = 0,0043 [m²]Awm_{base} = 0,001408Awm_{viga} = 0,0006504

Atension = 0,001909

b240 = 0,12

Cc = 0,12 [m]

Cv = 0,07 [m]

Cw = 4,877E-10

Δ₀ = 0,006852 [N/m-Pa]Δ₂ = 1,073E-09 [N³/m⁵-Pa³]

DesignStrenghtWeld = 699665 [N]

DesignStrenghtWeld_{columna,t} = 891441 [N]

Desplome = 0,00504 [mm/m]

Du = 1,13

Esbeltez = 15,84

Esbeltez_{transicion} = 140

ex = 21,92 [m]

e_{ala,v} = 0,012 [m]

Fb = 18972 [N]

Fbm_{columna,t} = 2,500E+08 [MPa]

Fcil = 303545 [N]

Fpmax = 26460 [N]

Fs = 151773 [N]

Fwm = 2,484E+08 [Pa]

Fwm_{viga} = 2,484E+08 [Pa]F_{columna,tension} = 2,329E+08 [N/m²]F_{cr,3} = 2,468E+08 [MPa]F_e = 8,138E+09 [Pa]f_{max} = 2,330E+08

G4 = 7,720E+10

h1 = 0,164 [m]

h_v = 0,14 [m]l_{cy} = 3,923E-08l_v = 0,00001509 [m⁴]k_s = 0,9999λ_{p,ala} = 108,2L_v = 4,35 [m]L_{weld,columna,t} = 0,45

m = 0,08

M2 = 0,02704 [N³/m³-Pa²]M_{cfp} = 80945 [N-m]M_{min} = 217,2 [N-m]

μ = 0,5

M_{n,v} = 54000 [MPa]N_c = 1,721N_{sviga} = 2ω_{2max} = 1383 [N/m]Ω_{shear} = 2Ω_{weld} = 2Ω_{weld,columna,t} = 1,88P_c = 83,2 [kg/m]P_{cr} = 2,630E+06 [N]

Ab = 0,0002011

Abm_{base} = 0,001992Abm_{viga} = 0,00092

ala240 = 0,017

alma240 = 0,01

AnchoEspesor_{alma} = 16,4 [m]

Awm = 0,001408

Awm_{columna,t} = 0,001909A₁ = 0,16

b = 0,14 [m]

C = 1,2

ciclos = 63875

C_f = 1,500E+12D_b = 0,016Δ₁ = 0,000002711 [N²/m³-Pa²]Δ_{tot} = 6,855 [mm]DesignStrenghtWeld_{base} = 699665DesignStrenghtWeld_{viga,filete} = 323139 [N]Desplome_{max} = 0,00544 [m]EI = 2,331E+07 [Pa-m⁴]Esbeltez_{AISC} = 135,5Esfuerzo = 1,467E+08 [N/m²]

Exx = 4,140E+08 [Pa]

e_{alma,v} = 0,007 [m]F_{bm} = 1,500E+08 [MPa]F_{bm,viga} = 1,500E+08 [MPa]F_n = 3,300E+08 [MPa]F_{pmin} = 23520 [N]Fuerza_{tension} = 444652Fwm_{columna,t} = 2,484E+08 [Pa]f_{cc} = 2,060E+07f_{concreto} = 2,000E+07F_{cr,4} = 2,177E+08F_{e,4} = 7,573E+08F_{p,allow} = 1,400E+07

H = 101182 [N]

h_{sc} = 1I_c = 0,0001126 [m⁴]I_{tc} = 0,0000011I_{vy} = 0,0000055λ_{p,ala} = 10,93L_c = 1,36 [m]L_{weld} = 0,332L_{weld,viga} = 0,184M1 = 68,33 [N²/m-Pa]M_c = 218552 [N-m]M_{max} = 442,6 [N-m]M_o = 218552 [N-m]M_{n,c} = 234500 [N-m]M_{tot} = 218621 [N-m]N_s = 1N_v = 10,87ω_{2min} = 678,7 [N/m]Ω_{slip} = 1,76Ω_{weld,base,columna,t} = 1,67

P = 9972 [N]

P_v = 33,7 [Kg/m]P_{n,3} = 2,616E+06 [N]

$P_{n,4} = 2,308E+06$ [m²]
 $RangO_{cargaviva,columna} = 1,467E+08$ [N/m³]
 $Rn_{shear,viga} = 132701$
 $Rn_{slip,viga} = 180981$
 $Rn_{bm,base} = 597600$
 $Rn_{bm,viga} = 276000$ [N]
 $Rn_{wm,base} = 699665$
 $Rn_{wm,viga} = 323139$ [N]
 $\sigma_{ac} = 87830$ [N/m²]
 $\sigma_{cr} = 2,481E+08$ [Pa]
 $\sigma_{mc} = 2,321E+08$ [N/m²]
 $\sigma_{mv} = 1,035E+07$ [N/m²]
 $\sigma_{vmin} = 1,008E+06$ [N/m²]
 $Stressrange = 1,078E+08$ [N]
 $Sut = 4,000E+08$ [Pa]
 $Ta = 17,35$ [N/m²]
 $throat = 0,004242$
 $throat_{columna,t} = 0,004242$
 $tp = 0,0096$
 $V_{n,v} = 220500$ [N]
 $W1min = 5880$ [N]
 $W2min = 543$ [N]
 $W3min = 8110$ [N]
 $Wcarg = 2940$ [N]
 $Wcmin = 32441$ [N]
 $Wdmin = 4344$ [N]
 $Wvig = 4577$ [N]
 $Wweld,base = 0,006$
 $Wweld,viga = 0,005$
 $Z_{x,v} = 0,000216$

$P_p = 7,004E+06$
 $Rn_{shear} = 132684$ [N]
 $Rn_{slip} = 90490$ [N]
 $Rn_{bm} = 597600$ [N]
 $Rn_{bm,columna,t} = 1,127E+06$ [N]
 $Rn_{wm} = 699665$ [N]
 $Rn_{wm,columna,t} = 891441$ [N]
 $R_{fil} = 1,062$
 $\sigma_{av} = 9,347E+06$ [N/m²]
 $\sigma_{max} = 2,322E+08$ [N/m²]
 $\sigma_{min} = 2,320E+08$ [N/m²]
 $\sigma_{vmax} = 1,970E+07$ [N/m²]
 $StressF = 1,183E+08$
 $StressTension = 298,2$
 $Sy = 2,500E+08$ [MPa]
 $Tb = 91000$ [N]
 $throat_{base} = 0,004242$
 $throat_{viga} = 0,003535$
 $V_n = 540000$ [N]
 $W1max = 6615$ [N]
 $W2max = 1106$ [N]
 $W3max = 9972$ [N]
 $Wbar = 1064$ [N]
 $Wcmax = 39889$ [N]
 $Wdmax = 8852$ [N]
 $Wplat = 3280$ [N]
 $Wweld = 0,006$
 $Wweld,columna,t = 0,006$
 $Z_x = 0,000938$

44 potential unit problems were detected.

EES suggested units (shown in purple) for alma140 AnchoEspesor_alma Cv DELTA_0 DELTA_1 DELTA_2 .

ANEXO C.2.1

Resistencia Acero ASTM A36

La resistencia última S_{ut} y la resistencia a la fluencia S_y según la "A36/A36M-04 Standard Specification for Carbon Structural Steel" son:

$$S_{ut} = 400 \text{ MPa}$$

$$S_y = 250 \text{ MPa}$$

- **Cálculo de cargas**

Estimación del peso del filtro prensa

El peso en Kg que será utilizado para el diseño de la estructura es 2250 Kg sin carga, y dado que en el caso del filtro prensa existente la carga es de 300 Kg, el peso en Kg del filtro prensa cargado será de 2550 Kg.

$$W_{fp} = 22050 \text{ N}$$

$$W_{carga} = 2940 \text{ N}$$

Cálculo de cargas muertas y vivas

Para el peso de las vigas, habiendo sido seleccionado el perfil HEB140 con una masa de 33.7 Kg/m y teniendo en cuenta la longitud total de vigas que será necesaria se calcula el peso de las vigas. Se requieren dos vigas de 4.35m de largo y dos de 2.58m, es decir 13.86m. El peso de la viga es:

$$W_{vig} = 4591 \text{ N}$$

Para el peso de las barandas, se tiene la longitud total que es de 41.58m y se utilizaría un perfil hueco redondo 55.2 con 2,61 Kg/m.

$$W_{bar} = 1064 \text{ N}$$

La plataforma de acero antideslizante es de 5mm de espesor. El área de la plataforma, de acuerdo al diseño de forma, es 8.53 m². La densidad del acero es 7850 Kg/m³.

$$W_{plat} = 3280 \text{ N}$$

El peso de la máquina que probablemente sea utilizada y el de dos personas que utilicen la plataforma es:

$$W_{maq} = 2940 \text{ N}$$

$$W_{pers} = 1568 \text{ N}$$

Cálculo de la fuerza que transmite el filtro prensa debido a su funcionamiento

El cilindro tiene un diámetro de 171 mm.

El funcionamiento del cilindro hidráulico da una lectura de 2000 psi de presión y 60 psi de contrapresión.

2000 psi equivalen a 13,79 MPa y 60 psi a 0,41 Mpa.

A partir del área del cilindro y la presión se calcula la fuerza ejercida por el cilindro para el funcionamiento del filtro prensa.

$$F_{cil} = 303 \text{ kN}$$

Esta fuerza se ejerce a 800 mm de los apoyos, por lo que también genera un momento.

$$M_{cil} = 240 \text{ kN} - m$$

Para incluir estos efectos en el diseño, se modela distribuyendo la fuerza y el momento en los cuatro apoyos, es decir, se transmite a la viga y posteriormente a la columna

$$F_{FP} = 75,8 \text{ kN}$$

$$M_{FP} = 60 \text{ kN} - m$$

Cargas en Columnas

La carga de compresión mínima y máxima que soporta cada columna es:

$$W_{3min} = 8110 \text{ N}$$

$$W_{3max} = 9972 \text{ N}$$

La fuerza horizontal debido al funcionamiento del filtro prensa para una columna crítica es:

$$F_{hor} = 101 \text{ kN}$$

El momento máximo que soporta la columna, es decir en su base, es:

$$M_{maxc} = 219 \text{ kN} - m$$

Cargas en Vigas

Las cargas puntuales mínimas y máximas que soportarán las vigas son:

$$W_{1min} = 5880 \text{ N}$$

$$W_{1max} = 6615 \text{ N}$$

Las cargas distribuidas son:

$$\omega_{2min} = 679 \text{ N/m}$$

$$\omega_{2max} = 1383 \text{ N/m}$$

El momento flexionante máximo que soportará la viga es:

$$M_{maxv} = 0,4 \text{ kN} - m$$

El cortante máximo que soportará la viga es:

$$V_{maxv} = 1,1 \text{ kN}$$

ANEXO C.2.2

Diseño de Columnas

Se selecciona un perfil HEB240 para las columnas.

Los esfuerzos mínimo y máximo que soporta son:

$$\sigma_{\min_c} = 232 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\max_c} = 232,2 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad calculado dadas las cargas que soporta la columna es:

$$N_{c_{HEB240}} = 1,72$$

La esbeltez de la columna es 15,8, lo cual comparado con la esbeltez de transición, que es 140, resulta una columna intermedia. La fuerza y esfuerzo de compresión crítica que soporta esta columna sin el efecto de pandeo es:

$$P_{cr} = 2630 \text{ kN}$$

$$\sigma_{cr} = 248 \text{ MPa}$$

Teniendo en cuenta que la carga axial máxima que soporta la columna es aproximadamente 10 kN, se tiene certeza que la columna no fallará por pandeo.

Se verifica si los miembros del perfil son compactos al ser sometidos a flexión utilizando la relación ancho-espesor.

$$\text{AnchoEspesor}_{ala} = 7,1$$

$$\lambda_{p,ala} = 10,9$$

$$\text{AnchoEspesor}_{alma} = 16,4$$

$$\lambda_{p,alma} = 108,2$$

Como se observa, la razón de ancho-espesor para cada miembro es menor a la limitante prescrita por la AISC, por lo que los miembros del perfil son compactos.

El desplome máximo admisible es:

$$\text{Desplome}_{\max} = \frac{L_c}{250} = 0,0054$$

La deflexión de la columna es:

$$\Delta_{\text{tot}} = 6,8 \text{ mm}$$

El desplome de la columna es:

$$\text{Desplome} = \frac{\Delta_{\text{tot}}}{L_c} = 0,005$$

Se verifica que el desplome calculado es menor al desplome máximo recomendado.

Las resistencias de diseño de la columna calculadas según la ANSI/AISC 360 – 05 son las siguientes:

La resistencia nominal de compresión de esta columna es:

$$P_{nc} = 2308 \text{ kN}$$

El momento nominal que soporta la columna es:

$$M_{nc} = 234 \text{ kN} - m$$

La fuerza de corte nominal que soporta la columna es:

$$V_{nc} = 540 \text{ kN}$$

Estas resistencias son mayores a las cargas máximas que soportará la columna.

Se verifica que no sea necesario el análisis por fatiga.

El rango de esfuerzos de cargas vivas, será considerado la aplicación de la fuerza de funcionamiento del filtro prensa que causa un esfuerzo debido a momento flexionante.

$$\text{Rango} = 147 \text{ MPa}$$

El rango umbral de esfuerzos es 165 MPa, por lo que no es necesario el análisis por fatiga.

Diseño de vigas

Se selecciona un perfil HEB140 para las vigas.

Los esfuerzos mínimo y máximo que soporta son:

$$\sigma_{\min_v} = 1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\max v} = 19,7 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad calculado con estas cargas es:

$$Nv_{HEB140} = 10,9$$

El momento nominal que soporta la viga es:

$$M_{nv} = 54 \text{ kN} - m$$

La fuerza de corte nominal que soporta la viga es:

$$V_{nv} = 220,5 \text{ kN}$$

El rango de esfuerzos causado por las cargas vivas es menor al rango umbral de esfuerzos, por lo que no es necesario el análisis por fatiga.

Carga para unión viga a viga

De este modelo, la reacción de momento y de fuerza cortante en el empotramiento será lo que debe resistir la unión.

$$F_{cortante} = 1,1 \text{ kN}$$

$$M_{flector} = 400 \text{ N} - m$$

La unión emperrada entre las placas y la viga secundaria tiene dos planos de deslizamiento y es de dos pernos A325 M16.

Soldadura columna placa

La pierna de soldadura tanto entre el alma y la placa y el ala y la placa es:

$$w_c = 6 \text{ mm}$$

La garganta:

$$throat = 4,2 \text{ mm}$$

La longitud de la soldadura para el alma es:

$$L_{w_c} = 332 \text{ mm}$$

Para el ala es:

$$L_{w_{tension}} = 450 \text{ mm}$$

El área de la soldadura para el alma es:

$$A_{w_c} = 14 \text{ mm}^2$$

Para el ala:

$$A_{w_{tension}} = 19 \text{ mm}^2$$

La resistencia al cortante de diseño de esta soldadura es:

$$Resistencia_{soldadura_{filete}_{columna}} = R_{n_{wm}_{columna}} = 700 \text{ kN}$$

La resistencia a la tensión de diseño es:

$$Resistencia_{soldadura_{pjp}_{tension}} = 891 \text{ kN}$$

Estas resistencias son mayores que las cargas soportadas, pero debe ser verificado si se requiere un análisis por fatiga.

El rango de esfuerzos que soportará esta soldadura en corte es:

$$Rango_{corte} = 107 \text{ MPa}$$

Este esfuerzo es mayor al rango de esfuerzo umbral para esta categoría, es decir 55MPa, por lo que se requiere análisis por fatiga.

El rango de esfuerzo de diseño tomando en cuenta el accionamiento de 8 veces al día del filtro prensa, calculado con un tiempo de vida estimado de 25 años es:

$$F_{sr} = 118 \text{ MPa}$$

Y el rango de esfuerzos en tensión es:

$$Rango_{tension} = 233 \text{ MPa}$$

También mayor que el rango de esfuerzos umbral (69MPa),

Tomando en cuenta los mismos ciclos por día y tiempo de vida estimado, el rango de esfuerzos de diseño es:

$$F_{sr\text{tension}} = 298\text{MPa}$$

Tomado en cuenta las especificaciones dimensionales de la ANSI/AISC 360 – 05 se tienen las dimensiones de la placa y la disposición de los agujeros como se muestra en los planos de la estructura.

Unión empernada columna viga

Se utilizarán 8 pernos ubicados en los agujeros como se muestra en los planos.

La resistencia de deslizamiento de cada perno es:

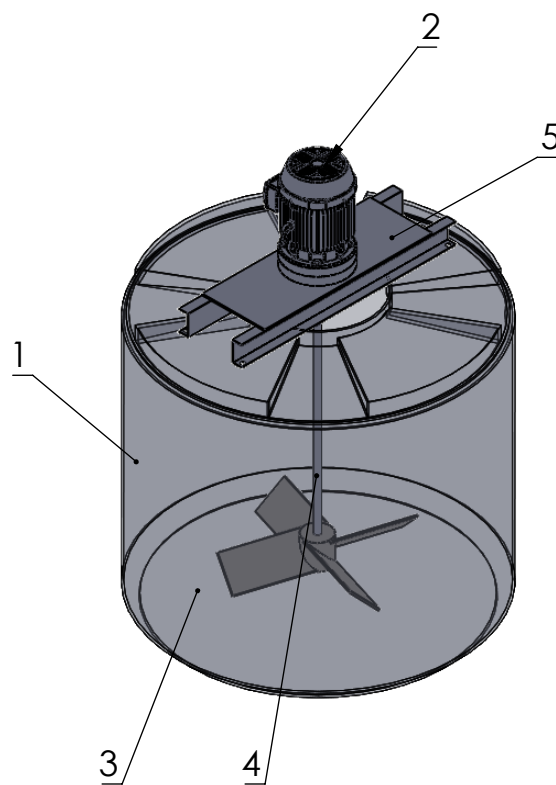
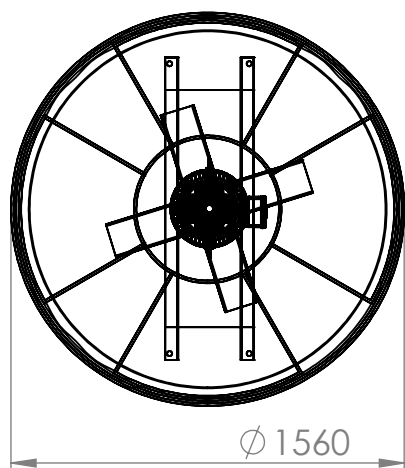
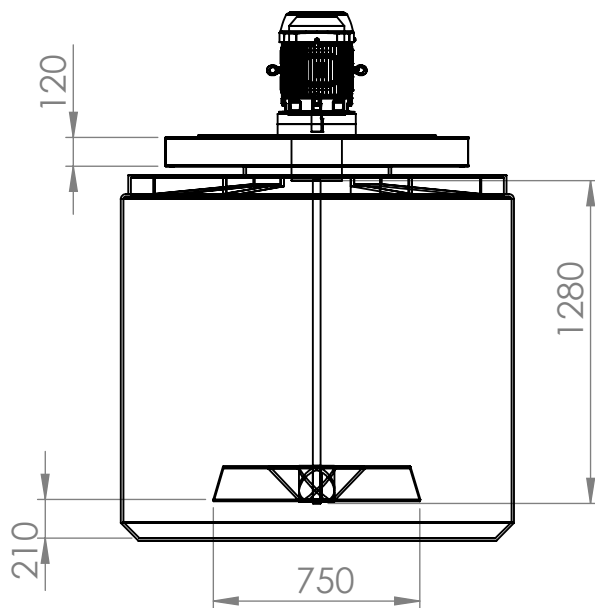
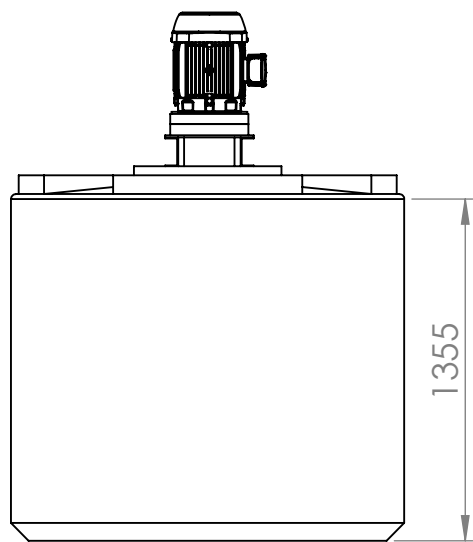
$$R_{n\text{slip}} = 90490\text{ N}$$

La resistencia al corte para cada perno es:

$$R_{n\text{shear}} = 132701\text{ N}$$

Con esto se verifica que la unión empernada va a soportar las cargas debido al funcionamiento del filtro prensa, ya si se toma la mitad de la fuerza que genera esfuerzo cortante y se la divide para el número de pernos, la fuerza que debería resistir cada perno es de 19 kN, es decir, menor que la resistencia al deslizamiento de la junta.

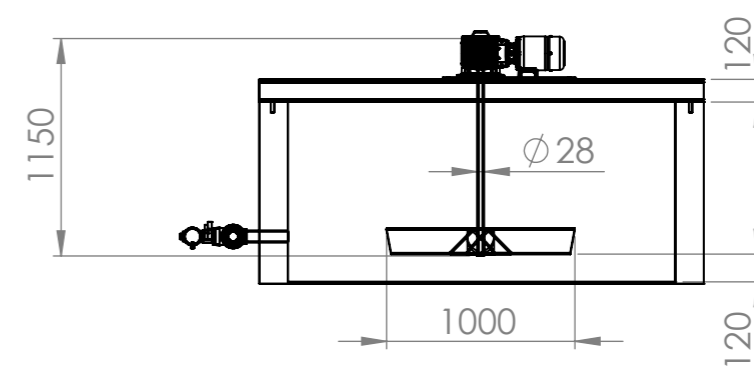
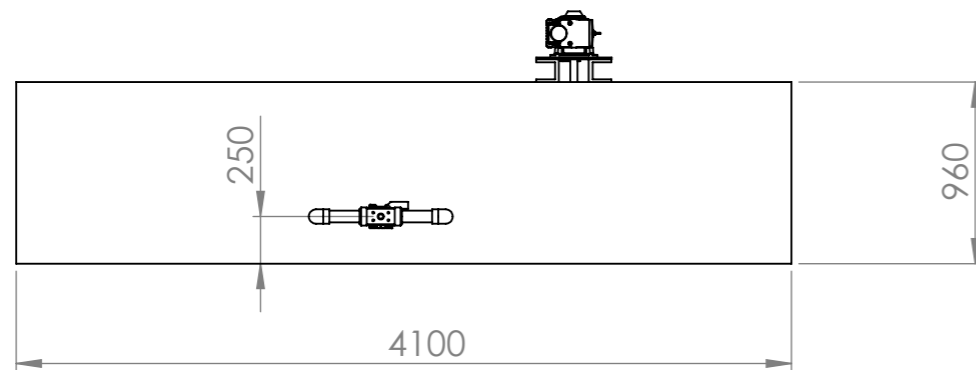
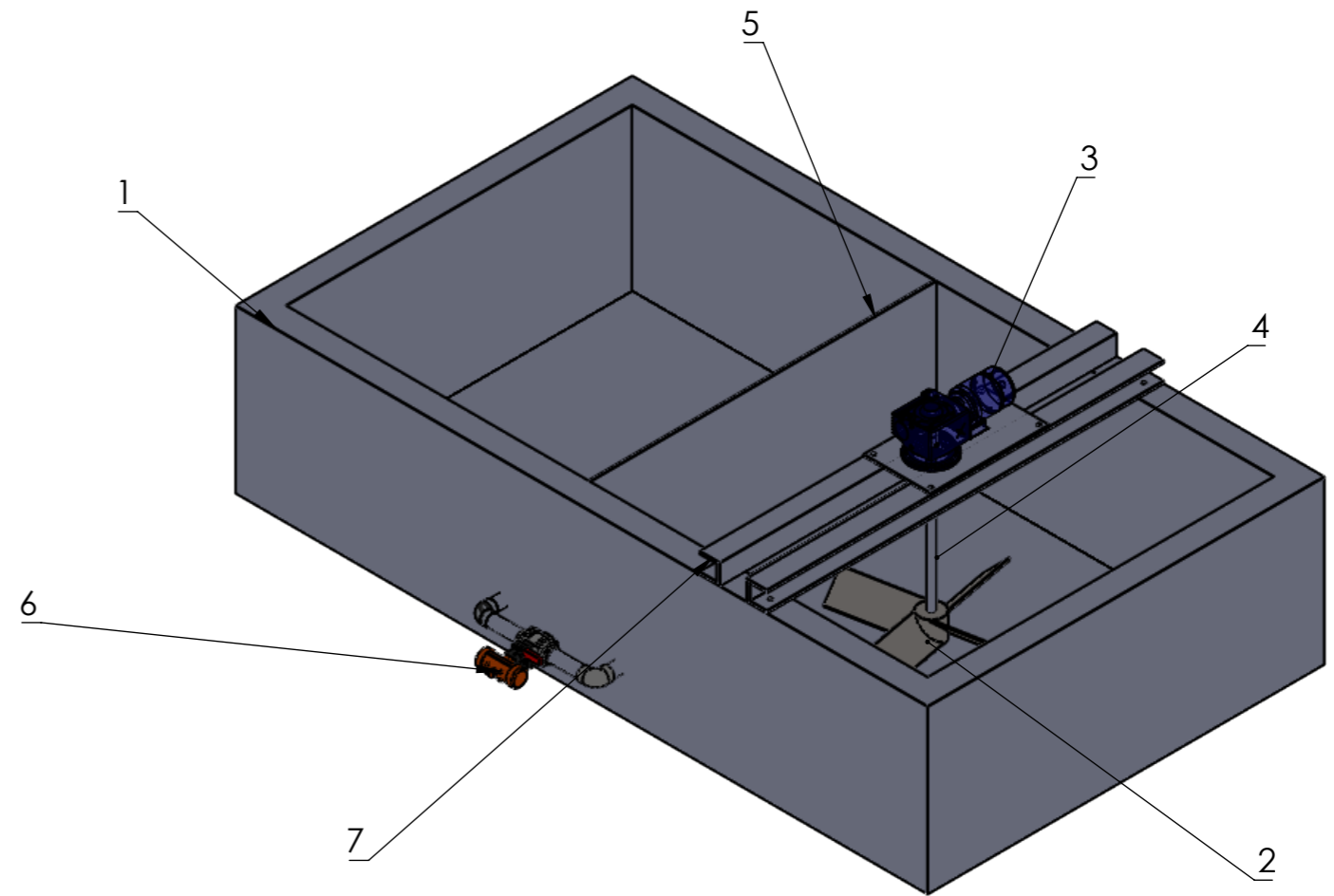
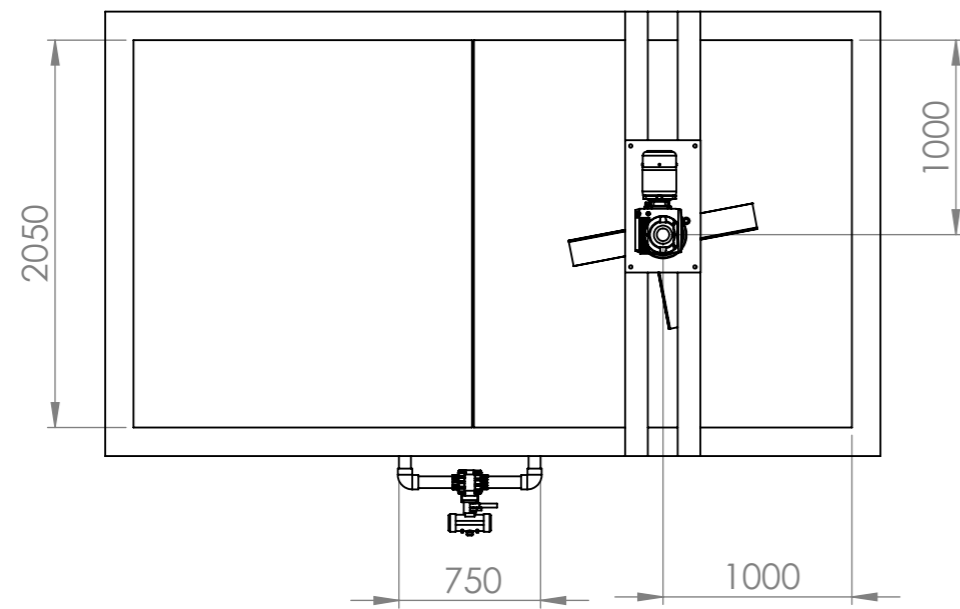
Plano 1



COMPONENTES		
#	Descripcion	Caracteristica// Material
1	Tanque	Polietileno alta densidad
2	Motorreductor	1 hp - 71RPM
3	Impeller palas inclinadas 45°	acero inox 316
4	Eje	acero inox 316
5	Estructura de soporte del motorreductor	acero A36

Tanque Agitador	Plano 1
Escala: 1:1	Fecha: 27/08/2016
	ESPOL

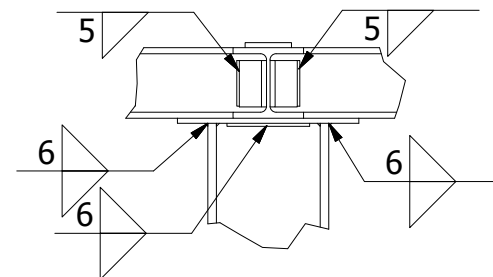
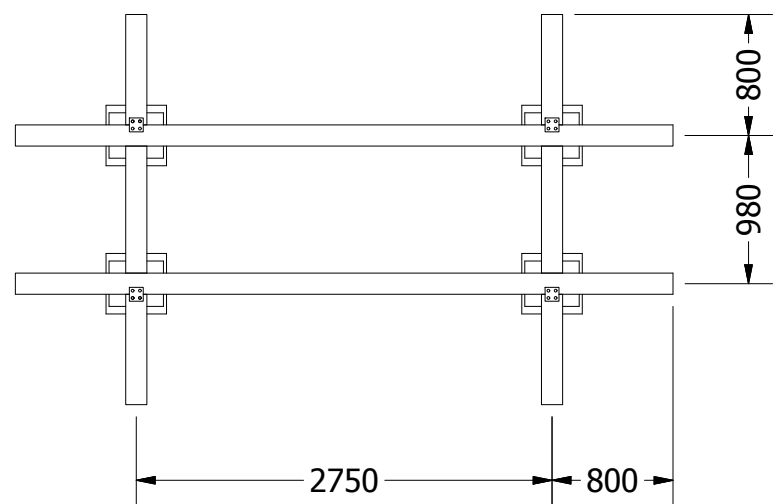
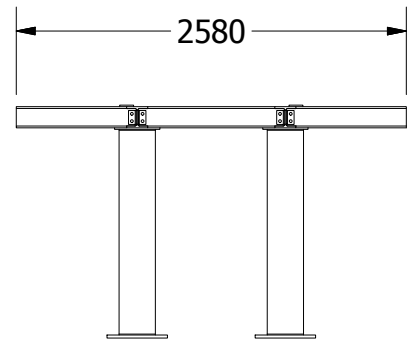
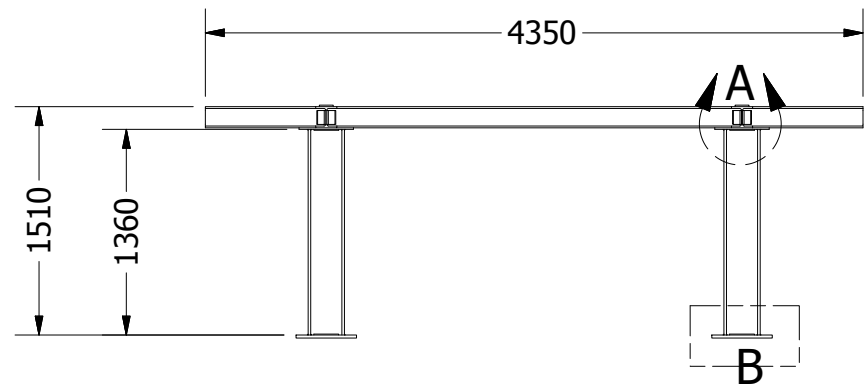
Plano 2



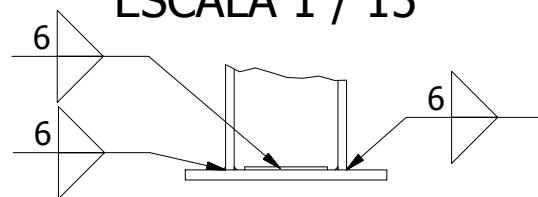
COMPONENTES		
#	Descripción	Característica// Material
1	Piscina	Hormigón
2	Impeller palas inclinadas 45°	Acero inox 316
3	Motorreductor	2 hp/56RPM
4	Eje	Acero inox 316
5	Plancha	Polietileno alta densidad
6	Válvula neumática	2 pulgadas
7	Estructura del soporte del motorreductor	Acero A36

Pre-Sedimentador Rediseñado	Plano 2
Escala: 1:1	Fecha 28/08/2016
	ESPOL

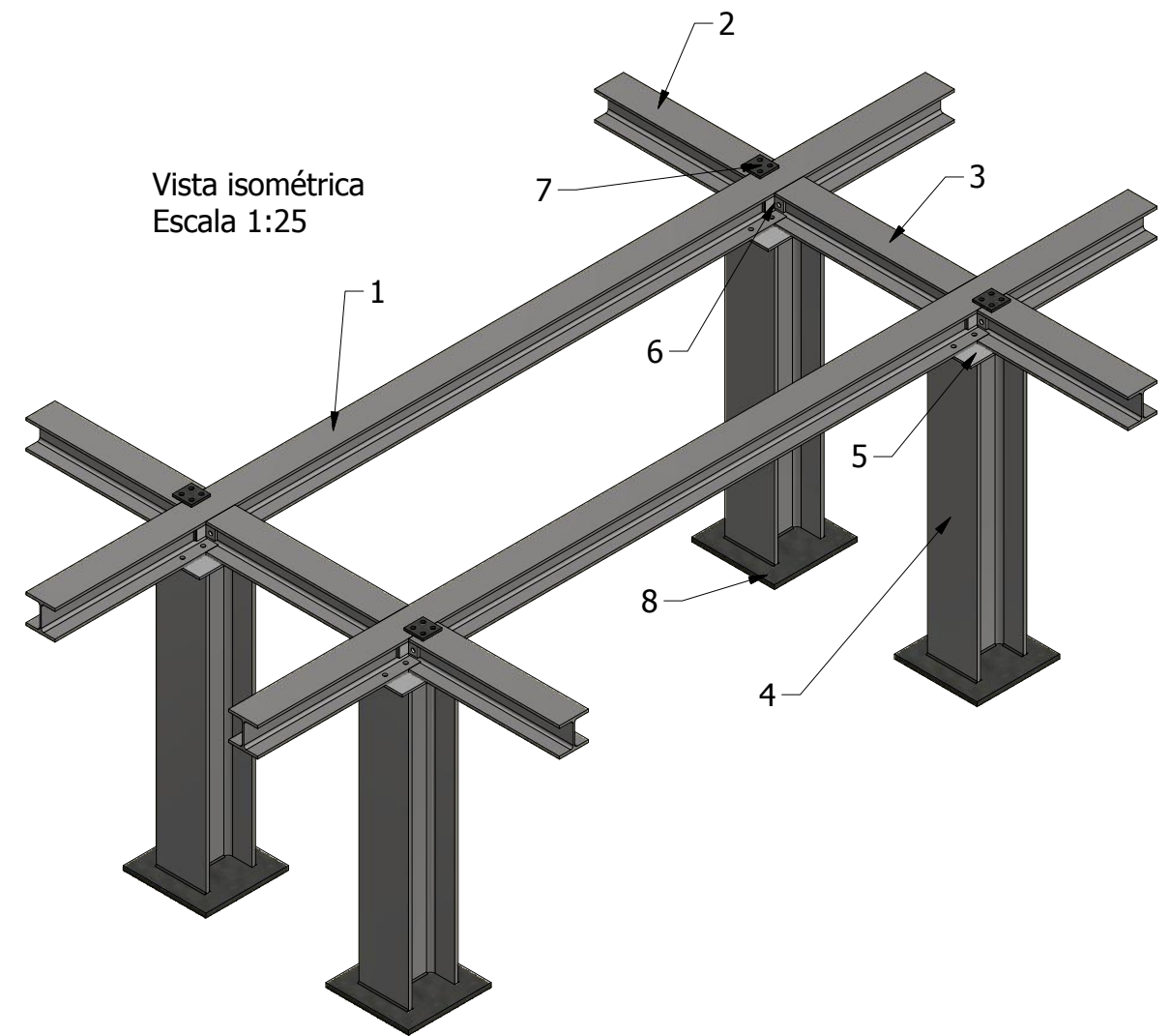
Plano 3



DETALLE A
ESCALA 1 / 15



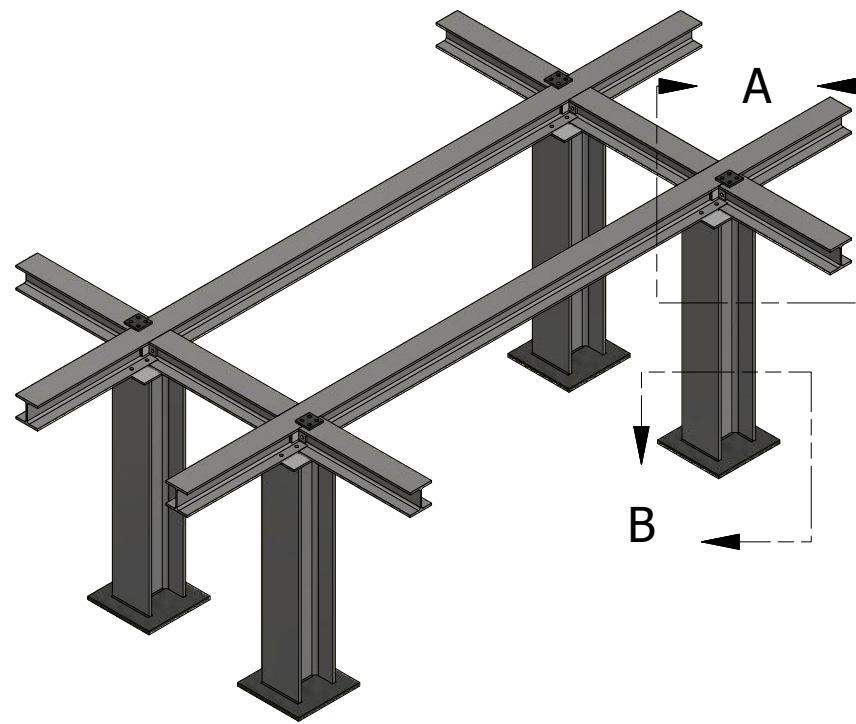
DETALLE B
ESCALA 1 / 15



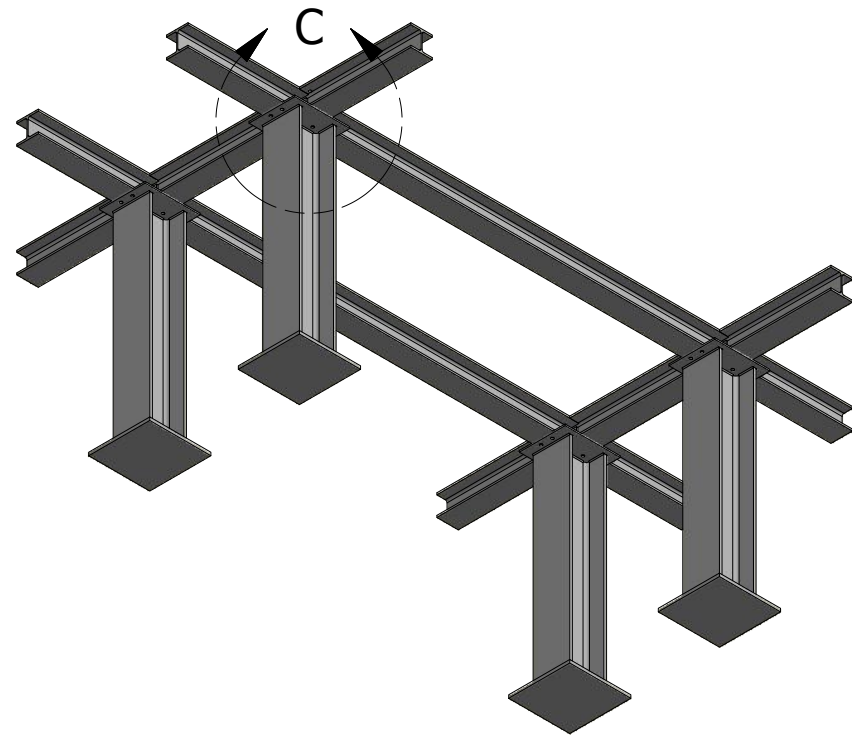
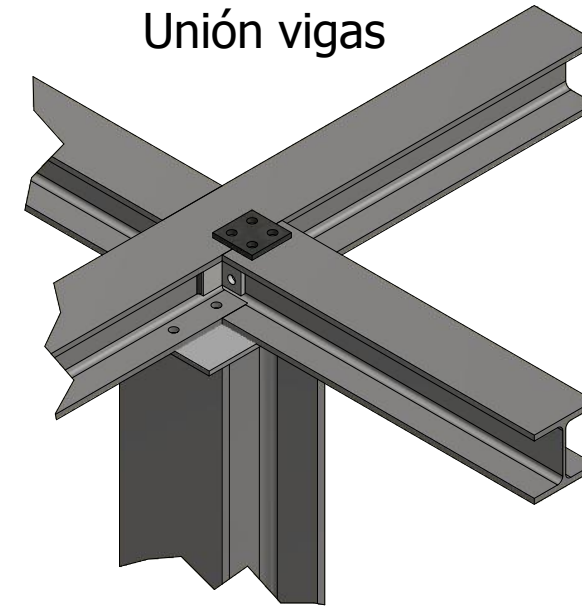
Vista isométrica
Escala 1:25

Componentes		
#	Descripción	Característica
1	Viga principal	HEB140
2	Viga secundaria 1	HEB140
3	Viga secundaria 2	HEB140
4	Columna	HEB240
5	Placa de unión columna-viga	
6	Placa L viga-viga	
7	Placa cuadrada viga-viga	
8	Placa base	

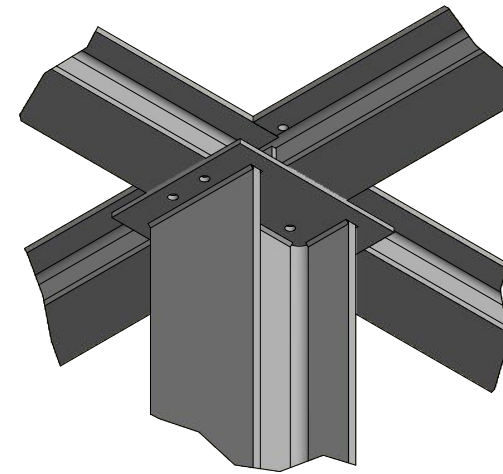
Estructura	Plano 2 de 4
Escala: 1:50	Fecha: 30/08/2016
Material: Acero A36	ESPOL



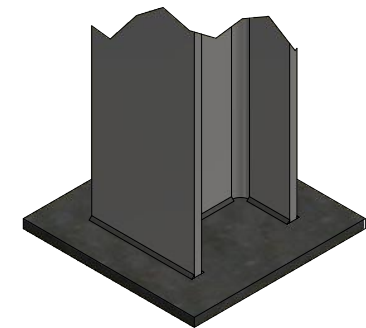
DETALLE A
SCALE 0.08 : 1
Unión vigas



DETALLE C
ESCALA 0,08 : 1
Unión viga-columa

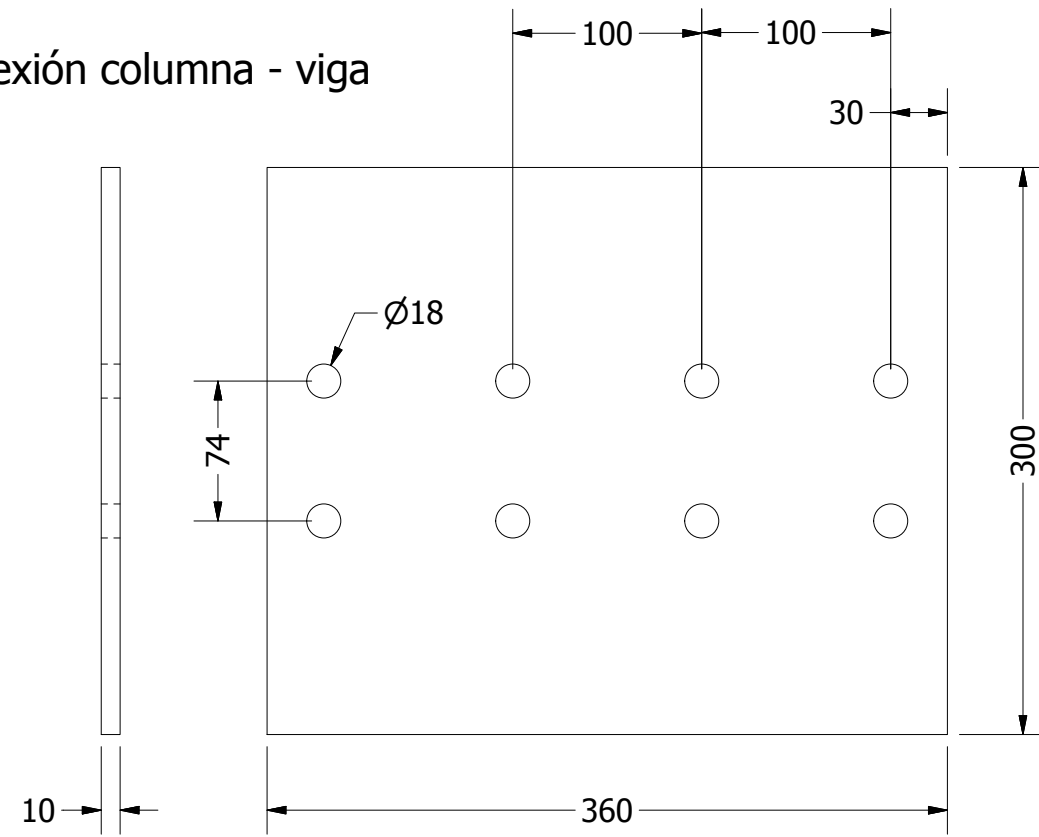


DETALLE B
ESCALA 0,08 : 1
Unión columna - placa base

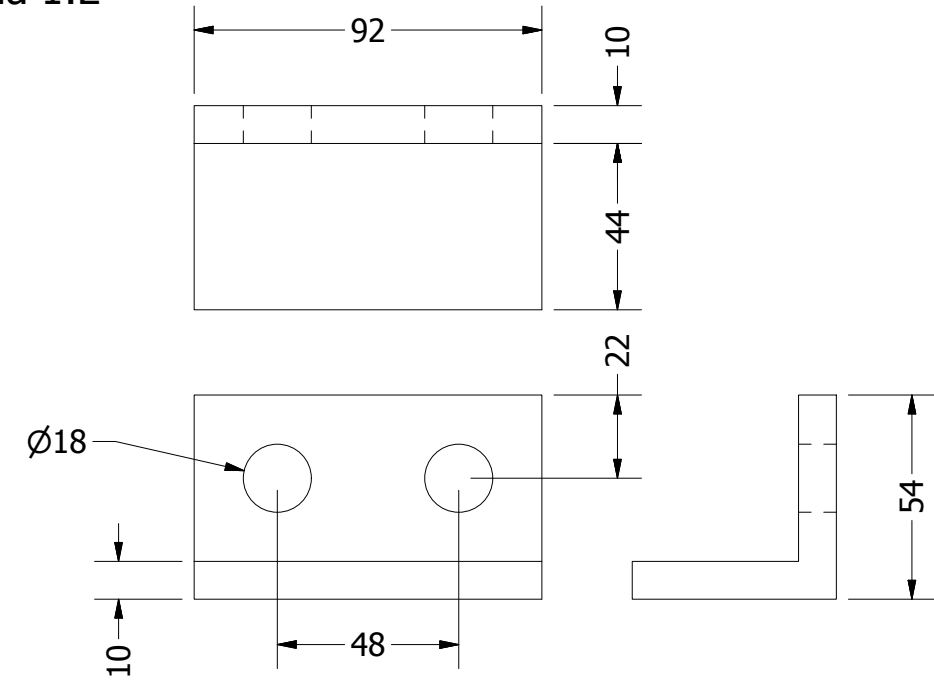


Detalle de juntas		Plano 3 de 4
Escala: 1:35	Fecha: 30/08/2016	
Material: Acero A36	ESPOL	

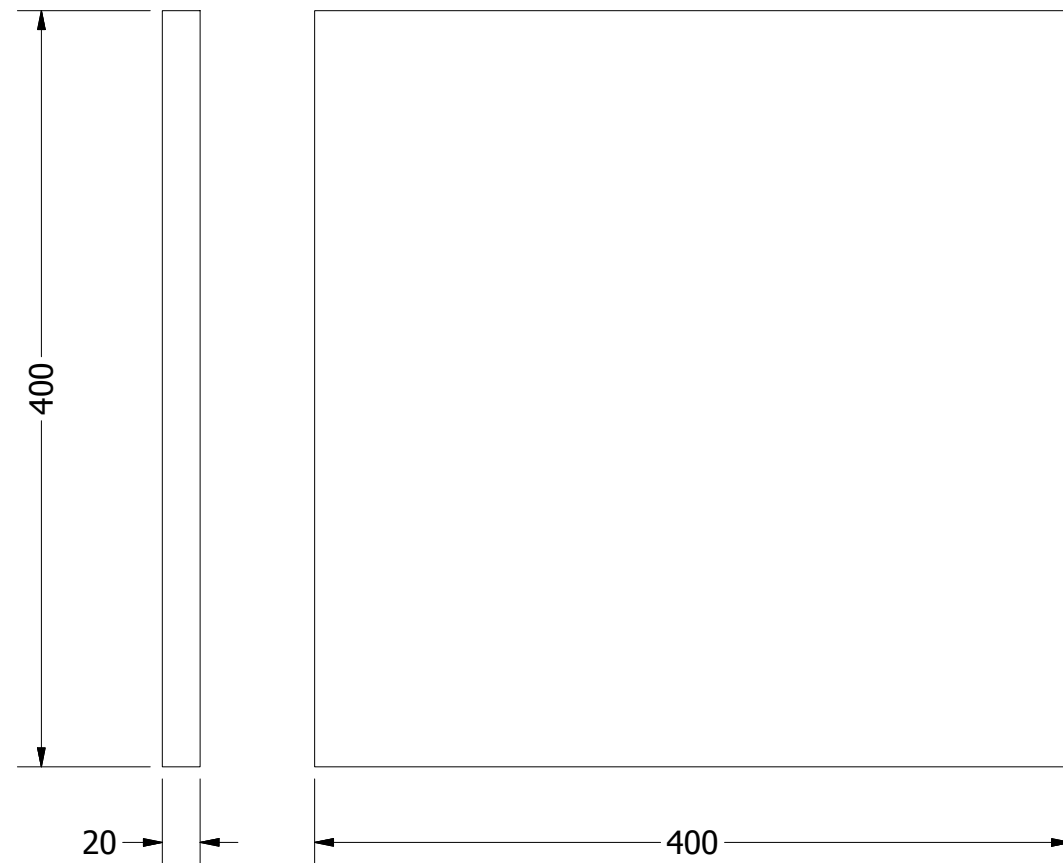
Placa de conexión columna - viga
Escala 1:4



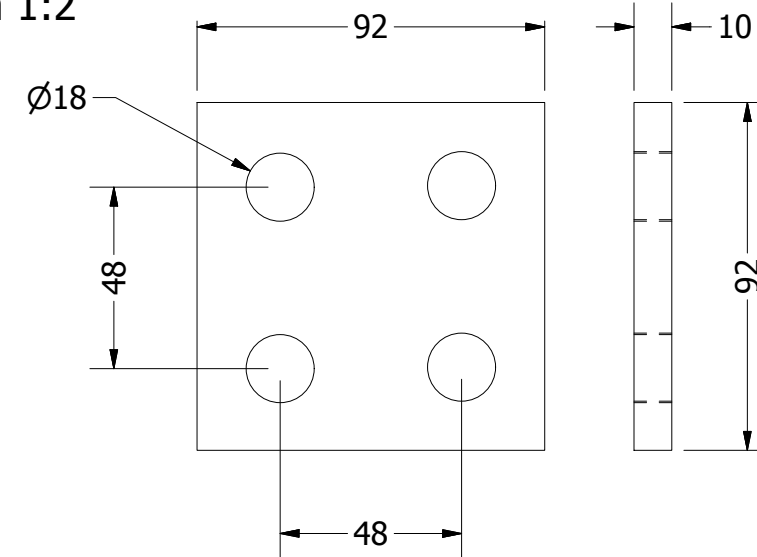
Placa en L de conexión viga - viga
Escala 1:2



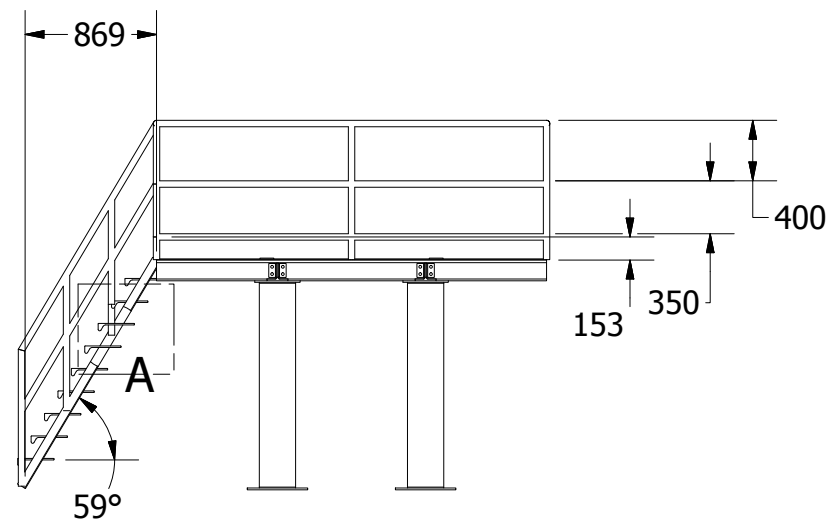
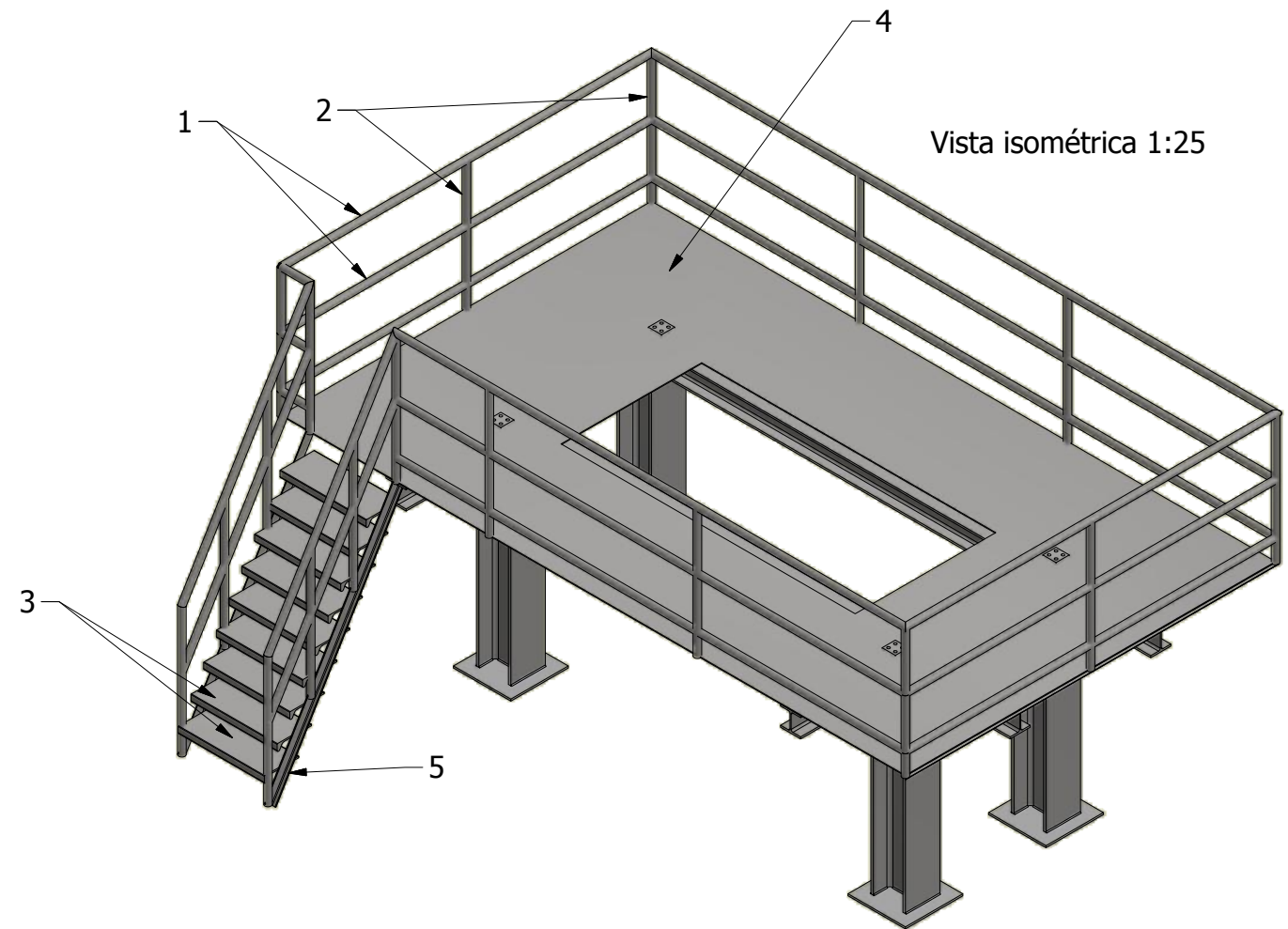
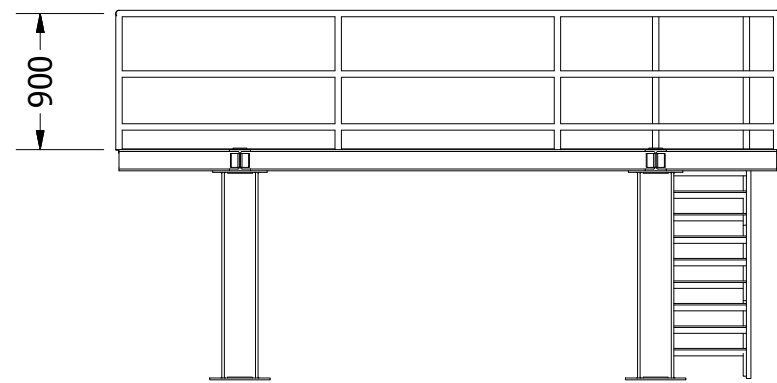
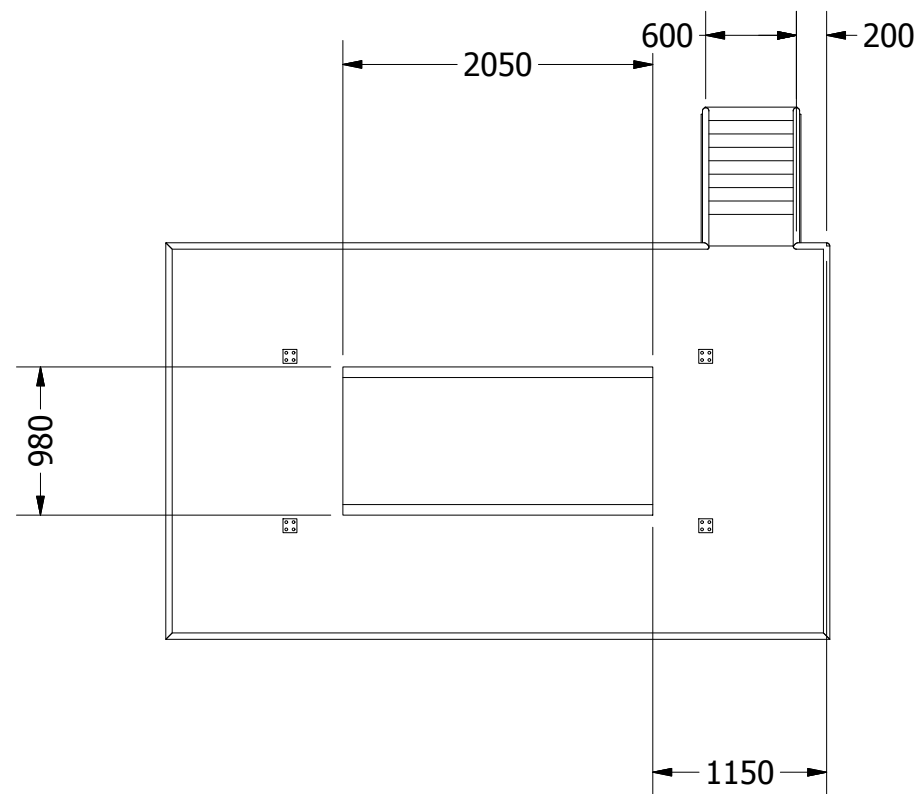
Placa base
Escala 1:4



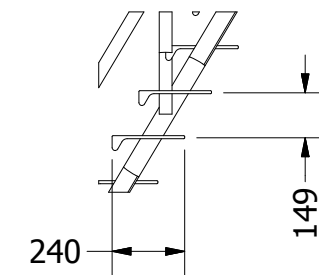
Placa 92x92 de conexión viga - viga
Escala 1:2



Placas de conexión	Plano 4 de 4
Escala: 1:4 y 1:2	Fecha: 30/08/2016
Material: Acero A36	ESPOL



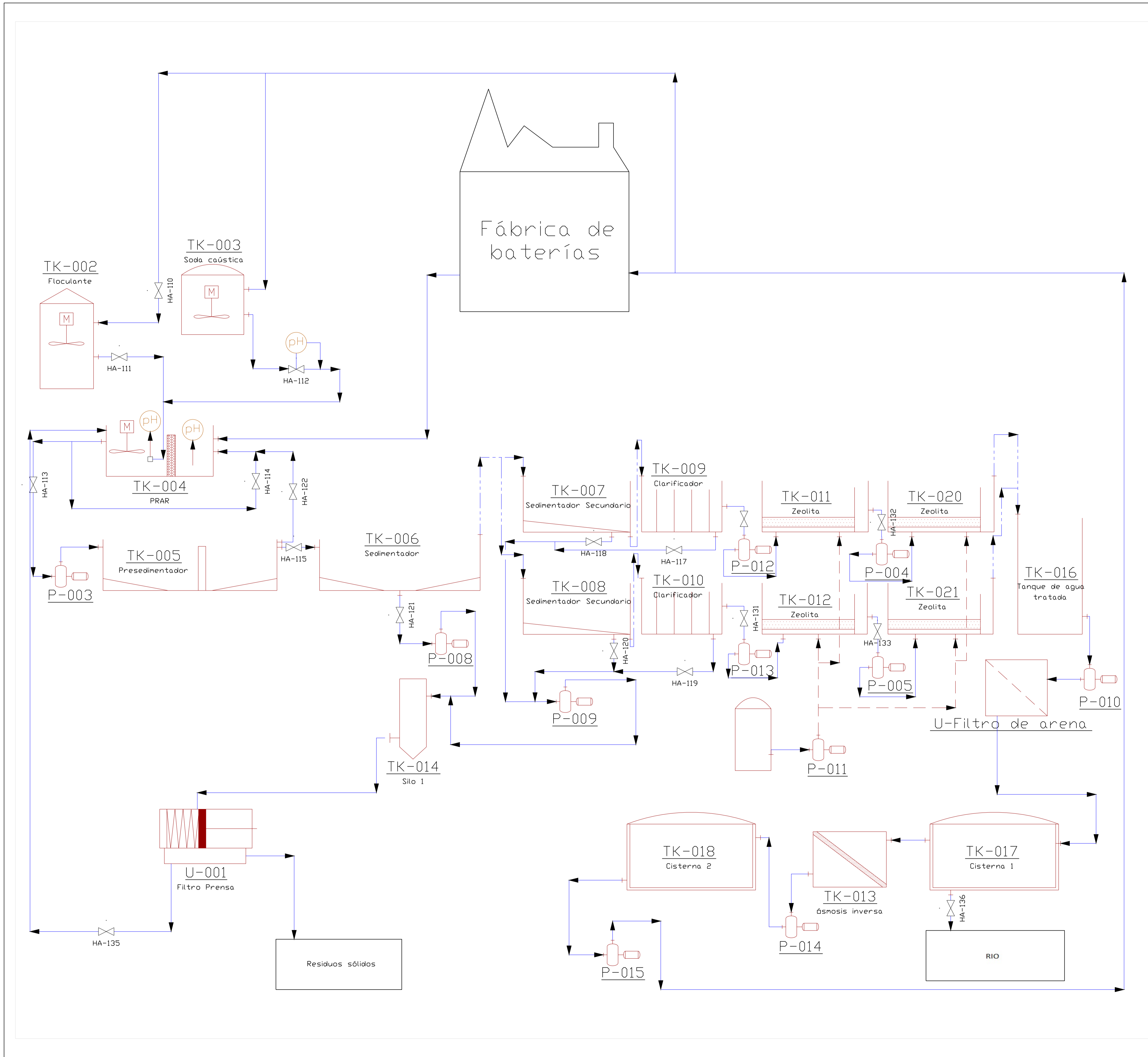
DETALLE A
ESCALA 1 / 25
Detalle escalón



Componentes		
#	Descripción	Característica
1	Pasamanos	Perfil circular hueco #40.2
2	Barandas	Perfil circular hueco #40.2
3	Escalones	Perfil 240x10
4	Plataforma antideslizante	5mm de espesor
5	Soporte de escalera	Perfil L 60x30x5

Plataforma		Plano 1 de 4
Escala: 1:50	Fecha: 30/08/2016	
Material: Acero A36	ESPOL	

Plano 4



General Notes

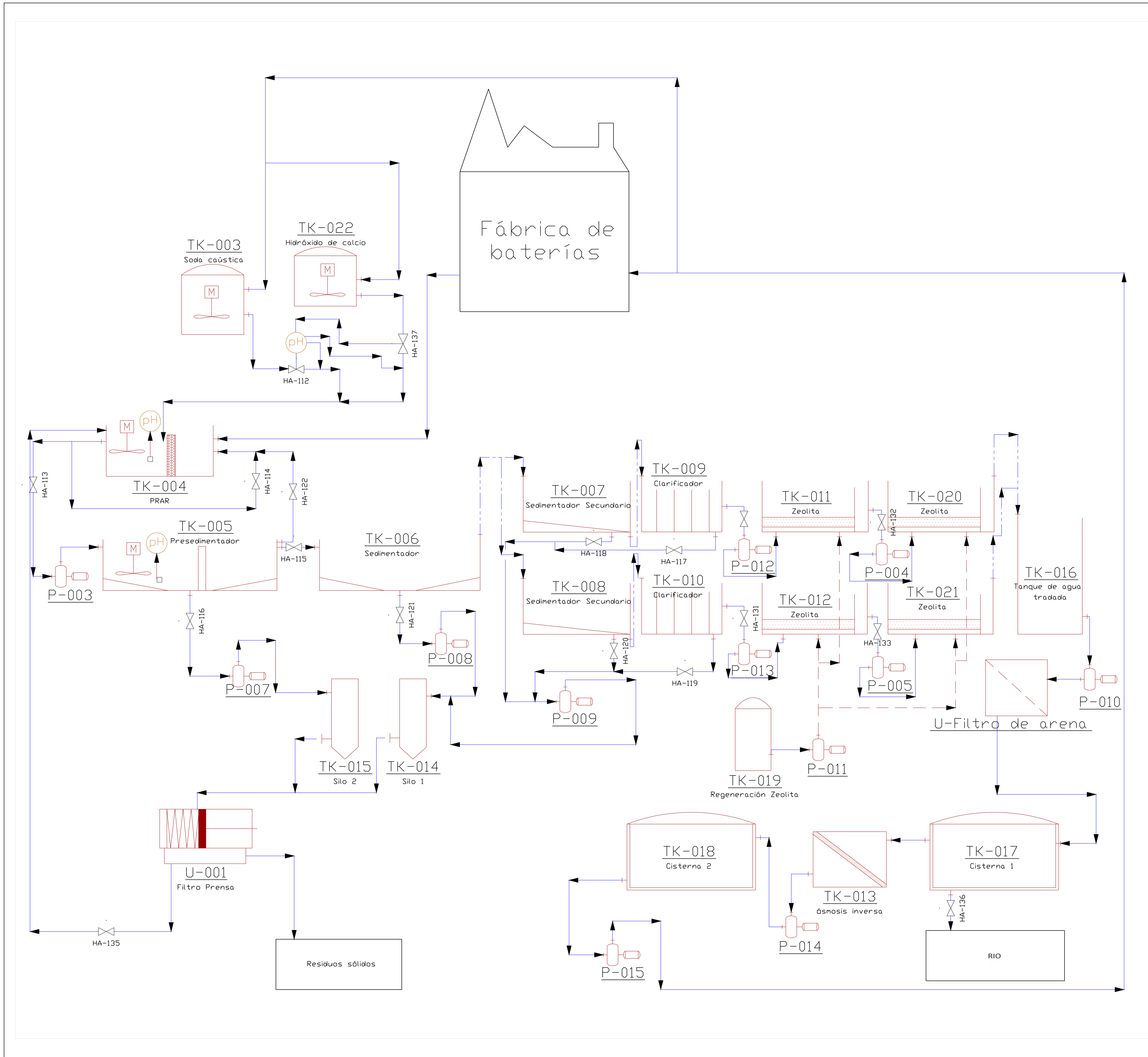
No.	Revision/Issue	Date

Drawing Name
PID de PTAR
Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

Project Name and Address
 PTAR antes del rediseño

Area	Stamp
Drawing Number	
Author Daniel Salas Márquez	

Plano 5



General Notes

No.	Revision/Issue	Date

Drawing Name
 PID de PTAR
 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

Project Name and Address
 PTAR rediseñada

Area	Stamp
Drawing Number	
Author Daniel Salas Márquez	