



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**“DISTRIBUCIÓN Y SELECCIÓN DEL EQUIPO
ELECTROMECAÁNICO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUA RESIDUAL BASADO EN LA TECNOLOGÍA
REACTOR BIOLÓGICO TUBULAR (RBT)”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA QUÍMICA**

P R E S E N T A

SYLVIA ITZEL HERNÁNDEZ FLORES



Ciudad Universitaria, CDMX

2022



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE:	Profesor: Morales Cabrera Juan Mario
VOCAL:	Profesor: García González Sergio Adrián
SECRETARIO:	Profesor: Manríquez Tolsá Úrsula
1er. SUPLENTE:	Profesor: Gutiérrez Lara María Rafaela
2° SUPLENTE:	Profesor: Amparo Maya Romero

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA: UNIDAD DE PROYECTOS Y DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL, FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM, LABORATORIOS 301 A 303, CONJUNTO E.

ASESOR DEL TEMA: García González Sergio Adrián
(nombre y firma)

SUPERVISOR TÉCNICO (Si lo hay): Durán Moreno Alfonso
(nombre y firma)

SUSTENTANTE (S): Hernández Flores Sylvia Itzel
(nombre (s) y firma (s))

DEDICATORIA

A mis padres, que me han brindado todo su apoyo, amor y comprensión a lo largo de este camino.

AGRADECIMIENTOS

Primero que nada, agradezco a mis padres por siempre estar para mí y apoyarme en todas las decisiones que he tomado, por levantarse en la madrugada durante 5 años para acompañarme y aguantar mis quejas y mal humor debido a la universidad. A mi hermana por acompañarme toda la vida y hacernos reír con tus ocurrencias, así como por acompañarme en esas noches de tarea.

Lalo, gracias por estar conmigo desde que esta aventura comenzó, por calmarme cuando peor me sentí, darme palabras de aliento y ayudarme a no darme por vencida. Esto no habría sido posible sin ti. Te amo.

Iván, twin, gracias por aparecer en mi vida y demostrarme que no tengo que preocuparme por todo siempre, pero que hay cosas que valen la pena intentarlas. Gracias por escucharme 24/7 y entenderme mejor que nadie.

A mis amigos, Cin, Sofía, Aza, César, Noé, Óscar, Alonso, Xu, Xochitl, por siempre estar presentes a pesar de la distancia, los quiero muchísimo.

A todos los profesores que se han cruzado en mi camino y que me han dejado un aprendizaje para la vida y en especial al Dr. Sergio García, al Dr. Alfonso Durán y a mis compañeros del laboratorio 301 por hacer posible este trabajo.

Finalmente agradezco al proyecto 9125c19 (SECTEI/259/2019) y a la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA, PAPIIT-IT/102118) por el apoyo económico brindado para la realización de este trabajo.

Contenido

RESUMEN	12
ANTECEDENTES	13
Problemática	13
Proyectos de Ingeniería.....	14
Justificación	15
OBJETIVOS	16
MARCO TEÓRICO	17
Tratamiento del agua residual.....	17
Normatividad	19
Norma ISO 10628.....	19
Norma ISO 3511-1	22
Norma P.2.0401.01 PEMEX	24
Norma P.2.0401.02 PEMEX.....	26
Diagramas de bloques.....	30
Diagrama de Flujo de Proceso (DFP)	31
Diagrama de Tubería e Instrumentación (DTI)	34
Plano isométrico	37
Equipo electromecánico	38
METODOLOGÍA	39
Selección del equipo electromecánico.....	39
Distribución de los equipos	40
RESULTADOS	42
Selección del equipo electromecánico.....	42
Selección de bombas.....	42
Selección de compresor.....	49
Selección del soplador.....	51
Selección de hidrociclón.....	53
Selección de válvulas	55
Diagramas de proceso.....	58
Filosofía de operación	63
ANÁLISIS DE RESULTADOS	67
CONCLUSIONES	68
REFERENCIAS	69

Anexo A.....	74
Anexo B.....	76
Anexo C	80
Anexo D	80
Anexo E.....	81
Anexo F.....	84

Índice de Tablas

Tabla 1. Características fisicoquímicas del agua residual a tratar.....	16
Tabla 2. Código alfabético para la señalización de la instrumentación.....	24
Tabla 3. Dimensiones de dibujos de proceso.....	26
Tabla 4. Simbología para instrumentación.....	27
Tabla 5. Líneas más usadas en la instrumentación de procesos.....	27
Tabla 6. Letras de identificación para instrumentación.....	28
Tabla 7. Impulsores para agua residual.....	43
Tabla 8. Fabricantes y características de bombas sumergibles con impulsor tipo vortex.....	45
Tabla 9. Fabricantes de bombas centrífugas con 3/4 HP.....	48
Tabla 10. Fabricantes y características de compresor con motor de 1 HP.....	51
Tabla 11. Fabricantes y características de sopladores de bajo caudal y potencia.....	53
Tabla 12. Fabricantes y características de hidrociclón de 2" de diámetro.....	55
Tabla 13. Ventajas y desventajas de válvulas.....	57
Tabla 14. Fabricantes y características de válvulas de bola.....	58
Tabla 15. Símbolos y claves seleccionadas.....	59
Tabla 16. Símbolos elaborados para el diagrama isométrico.....	61
Tabla 17. Simbología para el dibujo de diagramas de procesos sugerido por la norma ISO 10628.....	74
Tabla 18. Simbología para el dibujo de diagramas de procesos sugerido por la norma P.2.0401.01 de PEMEX.....	76
Tabla 19. Nomenclatura de los equipos más comunes para el dibujo de diagramas de proceso sugerida por la norma P.2.0401.01 de PEMEX.....	80
Tabla 20. Nomenclatura para el dibujo de diagramas de proceso sugerida por la norma ISO 10628.....	80
Tabla 21. Dimensiones de los formatos de dibujo sugeridos por la especificación P.1.0000.06 de PEMEX.....	81

Tabla 22. Formatos por disciplina sugeridos por la especificación P.1.0000.06 de PEMEX.	81
Tabla 23. Formato y contenido de carátulas sugeridos en la especificación P.1.0000.06 de PEMEX.....	82

Índice de Figuras

Figura 1. Conexión de tuberías no conectadas entre sí.	20
Figura 2. Bloques de títulos compacto	20
Figura 3. Márgenes según la norma ISO 5457.....	21
Figura 4. Ejemplo de un formato A3 de hoja de dibujo.....	22
Figura 5. Símbolos utilizados en la instrumentación.....	23
Figura 6. Formato del dibujo de diagramas de proceso	26
Figura 7. Bloque de títulos	26
Figura 8. Ejemplo de identificación de dispositivos de seguridad.....	29
Figura 9. Diagrama para ejemplificación de simbología de instrumentación y control.....	30
Figura 10. Diagrama de bloques de una planta de tratamiento de aguas residuales	31
Figura 11. Ejemplo de balance de materia.....	32
Figura 12. Diagrama de flujo de proceso de una planta de tratamiento de aguas grises..	34
Figura 13. Diagrama de tubería e instrumentación de una planta de tratamiento de aguas grises.....	36
Figura 14. Lazo de control típico.....	37
Figura 15. Configuración isométrica respecto a la flecha norte	38
Figura 16. Gamas de caudal y altura para diferentes tipos de impulsor	44
Figura 17. Curva de bomba sumergible Top-Vortex.....	46
Figura 18. Curva de bomba sumergible DG Blue.....	46
Figura 19. curva de bomba sumergible SE2ME050FF.....	47
Figura 20. Curva de bomba sumergible Serie FES	47
Figura 21. Rango de operación de un compresor	50
Figura 22. Tipos de sopladores según el rango de flujo de aire	52
Figura 23. Ciclón sólido-líquido (hidrociclón).....	54
Figura 24. Válvulas más usadas en el diseño de procesos.....	56

Figura 25. Diagrama de flujo de procesos de la planta de tratamiento de agua residual con tecnología RBT 62

Figura 26. Diagrama de tubería e instrumentación de la planta de tratamiento de agua residual con tecnología RBT 63

Figura 27. Diagrama isométrico de la planta de tratamiento de agua residual con la tecnología RBT. 64

NOMENCLATURA

w Flujo másico de aire

ρ_s Densidad de gas estándar

G_s Flujo de aire a condiciones estándar

AP Potencia adiabática entregada

P_d Presión absoluta a la salida del soplador

P_a Presión absoluta a la entrada del soplador

K Coeficiente de compresión adiabática

DP Potencia entregada

e eficiencia del soplador o compresor

P Potencia de la bomba

Q Flujo volumétrico en la bomba

H Altura manométrica de la bomba

RESUMEN

El problema de agua en el mundo es inminente, pues en las últimas décadas se ha reducido de manera muy significativa el agua dulce disponible para la agricultura, industria y consumo doméstico debido a la contaminación constante. Es por lo que se requieren soluciones que minimicen la contaminación del agua existente en cuerpos de agua.

La tecnología “Reactor Biológico Tubular (RBT)” tiene el propósito de tratar el agua residual proveniente de los canales en el pueblo de San Lorenzo, Xochimilco para devolver el agua con una buena calidad al canal.

En el presente trabajo se realizó la selección de los equipos electromecánicos de los que constará la planta de tratamiento, así como la realización de los diagramas de proceso, como son el diagrama de flujo de proceso, diagrama de tubería e instrumentación y el diagrama isométrico con el propósito de que la construcción se lleve a cabo de la mejor manera y tenga un buen funcionamiento.

ANTECEDENTES

Problemática

Los crecientes problemas de agua en el mundo son claros, el Foro Económico Mundial reconoció al agua como uno de los retos con mayor presión social, política y económica globalmente, pues en las últimas décadas se ha reducido de manera muy significativa el agua disponible. Aunque el 70% de la superficie de la Tierra es agua, únicamente 3% de ella es agua dulce, y de este 3%, sólo el 1% es agua dulce de fácil acceso para el consumo. Los cuerpos de agua se han visto dañados por la contaminación de origen antropológico, que es aquella provocada por el humano, causas entre las que se encuentran el vertimiento de agua residual sin tratar a lagos y ríos, residuos industriales y agua contaminada con fertilizantes. Esta contaminación se suma al déficit en la oferta de recursos hídricos, y según la Organización de las Naciones Unidas, en el 2019, 2 200 millones de personas carecían de acceso a servicios de agua potable, lo cual es alarmante y por esto se requieren de estrategias para reducir esta problemática (Agudelo C., 2005; Arreguín-Cortés et al., 2020; López-Hernández et al., 2010; Naciones Unidas, 2022).

En este sentido, la zona lacustre del sur de la Ciudad de México es el remanente de un sistema de cinco lagos que se extendía en 920 km² dentro de la cuenca del Valle de México, que alberga una gran diversidad de interés para la ecología y que históricamente ha sido ocupado por la agricultura tradicional en las conocidas “Chinampas”, donde usan los recursos hídricos para la producción. Sin embargo, sus canales han sido usados como descarga de aguas residuales y descarga de agua de plantas de tratamiento de mala calidad resultando en la contaminación con materia fecal y químicos tóxicos como amonio y nitratos. Todo esto provoca que se agote el oxígeno del agua en el canal, existan floraciones de fitoplancton y daño irreversibles en la flora y fauna de los canales (López-Mendoza et al., 2015; Martínez-Cruz et al., 2006; Zambrano et al., 2009).

Proyectos de Ingeniería

Para implementar tecnologías de tratamiento de agua en ambientes urbanos es necesario plantear un proyecto de ingeniería química donde se llevan a cabo actividades de gran importancia en dos fases distintas. La primera fase es la del diseño del proceso, en esta se incluyen todos los pasos desde la selección del proceso, el establecimiento de los diagramas de proceso, hasta la selección, diseño y especificación del equipo. Esta fase es la realizada por los Ingenieros Químicos. La segunda fase consta del diseño mecánico detallado del equipo, diseño estructural, diseño civil y diseño eléctrico, actividades de las cuales son responsables especialistas en distintas áreas de la ingeniería (Sinnott & Towler, 2012).

Dentro de la fase del diseño de proceso se encuentran las fases de ingeniería conceptual, ingeniería básica, ingeniería de detalle y la evaluación económica y optimización. En la primera fase, se tiene como objetivo encontrar la viabilidad técnica y económica a partir de la necesidad del cliente, además de fijar los objetivos del cliente y definir normas, sistemas, espacio y especificaciones conceptuales. En esta fase se realiza un diagrama de bloques que represente el proceso planteado. La segunda fase, tiene como objetivo fijar el alcance del proyecto y se establecen las características del producto final, se define la filosofía de operación y se seleccionan los materiales. En esta etapa se realizan entregables como diagramas de proceso y hojas de datos preliminares del diseño de equipos. En la ingeniería de detalle, se especifica el equipo a fondo y se prepara el lugar con ayuda de otras disciplinas como ingenieros eléctricos y civiles y también se pueden realizar cambios a los diagramas de proceso. Finalmente, la etapa de evaluación económica y optimización consiste en realizar un análisis económico del proceso y a partir del cual se realiza una optimización y entre todos los diseños propuestos se elige el que mejor rendimiento económico posee y es seguro y operable (Centro Argentino de Ingenieros, 2016; Sinnott & Towler, 2012).

Durante la ingeniería básica y de detalle, grupos de diseño especializado utilizan diagramas de flujo para comunicar eficientemente la información de los procesos, estos incluyen a los diagramas de bloques, diagramas de flujo de proceso y diagramas de tubería e instrumentación. Los diagramas se realizan a partir de un balance de materia del proceso y son útiles para el diseño de tuberías, instrumentación, diseño de los equipos y distribución de los equipos en la planta. También suelen usarse para la operación de la planta, la realización de manuales de operación, puesta en marcha y comparación del rendimiento (Becerril, 2004; Sinnott & Towler, 2012; Turton et al., 2012).

Justificación

Como contribución a la remediación de los canales se desea realizar la construcción de una planta de tratamiento de agua con la instalación de la tecnología RBT (Reactor Biológico Tubular) desarrollada por el Dr. Sergio Adrián García González y el Dr. Alfonso Durán Moreno para sanear un canal de agua con las características de la tabla 1, ubicado en la colonia San Lorenzo en Xochimilco. El reactor biológico tubular (RBT) es un reactor biológico aeróbico; está compuesto por 5 módulos tubulares horizontales de 15 cm de diámetro y 2 m de longitud y una altura de 1,90 m con un volumen total de 0,25 m³. Este sistema es una tecnología novedosa para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales a pequeña escala; su funcionamiento se basa principalmente en la degradación biológica aeróbica de los contaminantes disueltos en el agua residual por los microorganismos acumulados en el interior del reactor (García-González & Durán-Moreno, 2010).

En este trabajo se realizará la distribución y selección de los equipos electromecánicos de la planta mediante la realización de documentos de ingeniería, diagramas de proceso y revisión de normatividad, para implementar la tecnología probada. Como parte de la ingeniería básica, se revisarán los diagramas de flujo de proceso y de tubería e instrumentación ya propuestos por el equipo de trabajo y se realizará el diagrama isométrico con la finalidad de que se utilicen durante la construcción de la planta y esta pueda funcionar

adecuadamente. Al terminar la construcción de la planta de tratamiento basado en la tecnología reactor biológico tubular (RBT) será posible la limpieza gradual del canal.

Tabla 1. Características fisicoquímicas del agua residual a tratar.

Característica	Valor
pH	7.74
DQO	400 mg/L
NH4	50 mg/L
Sólidos suspendidos totales	500 mg/L

OBJETIVOS

Objetivo general

Realizar la selección y distribución de los equipos electromecánicos utilizados en la instalación de un sistema de tratamiento de agua residual basado en la tecnología RBT por medio de la filosofía de operación y los diagramas de flujo de proceso y tubería e instrumentación para la instalación de la tecnología.

Objetivos particulares

- Realizar la selección de los equipos electromecánicos basados en especificaciones del fabricante, memorias de cálculo, y bibliografía especializada para conformar el tren de tratamiento.
- Realizar la distribución de los equipos basados en los diagramas de flujo de proceso y de tubería e instrumentación (DFP y DTI) para hacer una adecuada planeación.
- Realizar el diagrama isométrico correspondiente mediante el acomodo de los equipos en el espacio destinado para su correcto funcionamiento en la planta de tratamiento una vez instalados.

MARCO TEÓRICO

Tratamiento del agua residual

Toda el agua utilizada por una comunidad y aquella que trae consigo sólidos es denominada agua residual. Esta puede provenir de la descarga de hogares, comercios, instituciones, lluvia, del municipio, de la industria o por infiltración, en el caso de hogares, proviene de baños, lavado de trastes o lavado de ropa. El agua residual municipal está compuesta 99.9% por agua y el resto incluye sólidos suspendidos, materia orgánica disuelta y microorganismos. Suele contar con una temperatura de entre los 10 y 21°C dependiendo la zona y época del año, suele ser de color gris o negro, posee una turbidez alta debido a que contienen partículas suspendidas y su olor suele ser a jabón o aceite, e incluso desagradable con un olor a podrido debido a la presencia de sulfuro de hidrógeno o productos descompuestos. Normalmente el agua residual posee en términos de materia orgánica, un 50% de proteínas, 40% de carbohidratos y el restante de grasas. Aunque son, en proporción, pocas grasas, estas son las más difíciles de eliminar, pues no son descompuestas por las bacterias (Bahadori & Smith, 2016; Qasim & Zhu, 2018).

El agua residual debe ser tratada para reducir el nivel de sólidos suspendidos, de materia orgánica biodegradable, de patógenos y compuestos tóxicos, con el objetivo de cumplir con los estándares de calidad establecidos por las autoridades correspondientes, además de prevenir la contaminación de fuentes de agua, eliminar olores desagradables para la comunidad y evitar la destrucción de la fauna y disminución del valor de la tierra (Qasim & Zhu, 2018; Riffat, 2013).

Para tratar el agua residual a nivel urbano se han adaptado tecnologías convencionales para el tratamiento de agua residual a pequeña escala para su uso en hogares o comunidades, las principales se describen a continuación.

La tecnología de lodos activados consiste en la remoción de materia orgánica produciéndose una masa de microorganismos que metabolizan y consumen la materia orgánica en un medio aerobio. La ventaja de este proceso es que tolera

cargas orgánicas muy altas, por lo que se emplea en el tratamiento de aguas residuales industriales, sin embargo a nivel urbano cuenta con un costo muy alto de diseño, construcción y operación además de requerir mucha energía (Arcos Serrano & Fernández Villagómez, 1993; Díaz López & Varila Quiroga, 2008). Por otro lado existen las lagunas de estabilización que consisten en una excavación donde el agua residual es tratada con bacterias con la ventaja de tener un bajo costo de operación y alta remoción de sólidos, DBO, y patógenos pero genera pérdidas de agua por infiltración además de requerir de un gran terreno (Comisión Nacional del Agua, 2007).

Por el lado de los reactores se encuentran los reactores batch, los biorreactores de membrana y los reactores de lecho fijo. Los reactores batch consisten en un sistema de lodos activados con una secuencia de llenado y vaciado en un mismo tanque, este sistema tiene la ventaja de contar con un efluente de buena calidad y requerimiento de poco espacio, además de ahorro en costos de construcción y operación, pero para tratamiento de agua no son convenientes al no tener entrada y salida de agua constante (Muñoz Paredes & Ramos Ramos, 2014). Los biorreactores de membrana degradan la materia orgánica con un proceso físico de separación con membranas combinado con un proceso de lodos activados. Las principales ventajas de los biorreactores de membrana es que con ultrafiltración se logra la retención de virus y bacterias, además de que no requiere de una superficie muy amplia y produce menor cantidad de biomasa que los sistemas de lodos activados convencionales, sin embargo es un proceso de muy alto costo en instalación, mantenimiento y operación, y la membrana es muy susceptible de ensuciarse y requerir una limpieza rigurosa (Caro Estrada, 2014; Vera et al., 2014). Finalmente, los reactores de lecho fijo tienen como principio la tendencia de los microorganismos a fijarse en superficies sólidas y que permiten retener la biomasa en el reactor, existen anaerobios, bacterianos y contactores biológicos y en general tienen la ventaja de ser fáciles de instalar con un bajo costo inicial, pero deben tener un pretratamiento adecuado para evitar atascos en el reactor. (Arnaiz et al., 2002).

Normatividad

Norma ISO 10628

La norma ISO 10628, tiene como objetivo establecer las reglas para la elaboración de diagramas de flujo para las plantas de proceso. Esta norma distingue entre diagramas de flujo de procesos, diagrama de bloques y diagrama de tuberías e instrumentación. Estos diagramas tienen la función de mostrar la configuración y el funcionamiento de las plantas de proceso. De igual manera, en la norma ISO 10628 se mencionan las reglas de dibujo que a continuación se mencionan.

1. El formato de las láminas de dibujo deberá ajustarse a la norma ISO 5457, donde se deberán evitar formatos alargados o los mayores a A0.
2. El cuadro de rotulación se deberá elaborar conforme a la norma ISO 7200
3. Las líneas de conexión deberán tener un grosor específico dependiendo de su función:
 - a. 1 mm para las conexiones principales
 - b. 0.5 mm para los símbolos de los equipos, casillas de operaciones básicas, conducciones secundarias y líneas de transporte de energía
 - c. 0.25 mm para símbolos de válvulas, conectores y accesorios, símbolos de las funciones de medición y control de procesos, líneas de control y líneas auxiliares
4. La separación entre líneas deberá ser mayor al doble del grosor de la línea más gruesa y nunca menor a 1 mm, preferentemente de mínimo 10 mm.
5. El sentido del flujo principal debe ser de izquierda a derecha
6. Se pueden incorporar flechas a las líneas para indicar el sentido a la entrada de los equipos, excepto para las bombas
7. Si un diagrama cuenta con varias hojas, se debe poner las tuberías de entrada y salida al mismo nivel en todas las hojas para una fácil lectura
8. Las tuberías que no están conectadas entre sí deberán colocarse como en la figura 1.
9. Las líneas de servicios auxiliares deberán presentarse en líneas discontinuas

10. La escritura deberá tener una altura de 5 mm para referenciar los equipos principales y 2.5 mm para el resto de las inscripciones
11. La nomenclatura para los equipos deberá escribirse a un lado del equipo y debajo de las válvulas en el sentido del flujo y las letras a usarse se presentan en el anexo D
12. La denominación de las tuberías deberá estar escrita en paralelo y por encima o a la izquierda dependiendo el caso.
13. Para el control de procesos se debe seguir la norma ISO 3511-1, 3511-2 e ISO 3511-4 (AENOR, 2001).

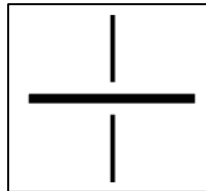


Figura 1. Conexión de tuberías no conectadas entre sí En Diagrama de flujo de plantas de proceso, reglas generales (ISO 10628:1997) por AENOR, 2001.

Además, se hace uso de la norma ISO 7200 que contiene la disposición del bloque de títulos que deben llevar los dibujos técnicos en ingeniería. La figura 2 muestra el contenido y disposición sugerida.

Departamento responsable	Referencia técnica	Tipo de documento	Estado del documento			
ABC 2	Patricia Johnson	Dibujo de subconjunto	Editado			
Propietario legal	Creado por	Título, Título suplementario	AB123 456-7			
	Jane Smith	Placa del aparato				
	Aprobado por	Conjunto con soportes	Rev.	Fecha de edición	Idioma	Hoja
David Brown			A	2002-05-14	es	1/5

Figura 2. Bloques de títulos compacto En Documentación técnica de productos por AENOR, 2004

En la norma ISO 10628 se menciona que en el formato de las láminas de dibujo se deben evitar los formatos alargados y no debe ser mayor al A0 mencionado en la ISO 5457, la cual tiene como objetivo especificar los formatos y la presentación de las hojas de dibujo preimpresas para todo dibujo técnico en Ingeniería. El tamaño

de hoja A0 cuenta con un área de dibujo de 821x1159 mm con una hoja acabada de 841x1189 mm (AENOR, 2000, 2001).

En la norma ISO 5457 se menciona el margen y marco a usar en los diagramas de proceso, el marco del lado izquierdo debe tener un ancho de 20 mm y el resto de los márgenes un ancho de 10 mm como se indica en la figura 3. El marco que delimita al dibujo deberá hacerse con un trazo continuo de 0.7mm.

De igual manera los diagramas deberán incluir un sistema de coordenadas que permita localizar los detalles sobre el dibujo, para los que se marcarán divisiones con letras mayúsculas de arriba abajo exceptuando la letra I e O, y con números de izquierda a derecha. Los caracteres deben ser de 3.5 mm de altura. En la figura 4 se muestra un ejemplo de una hoja de dibujo (AENOR, 2000).

Los dibujos se suelen imprimir en hojas tamaño doble carta en láser, con el nombre de la compañía, título del proyecto, número del proyecto, título del dibujo, número de identificación del dibujo, nombre del dibujante y nombre de la persona que revisa el dibujo en un cuadro en la esquina inferior derecha junto con el número de modificaciones realizadas

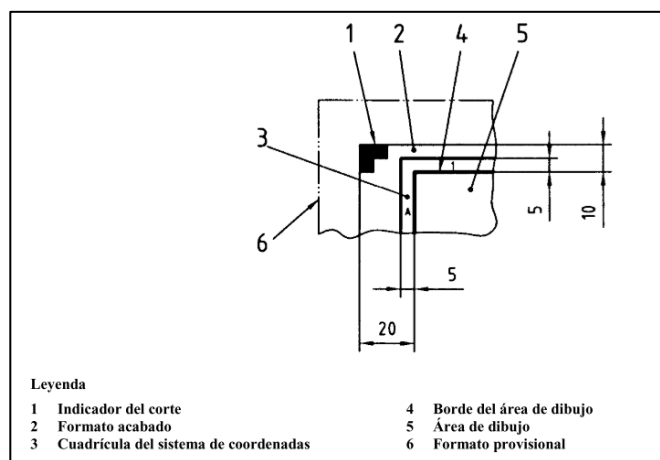


Figura 3. Márgenes según la norma ISO 5457 En Formatos y presentación de los elementos gráficos de las hojas de dibujo ISO 5457 por AENOR, 2000.

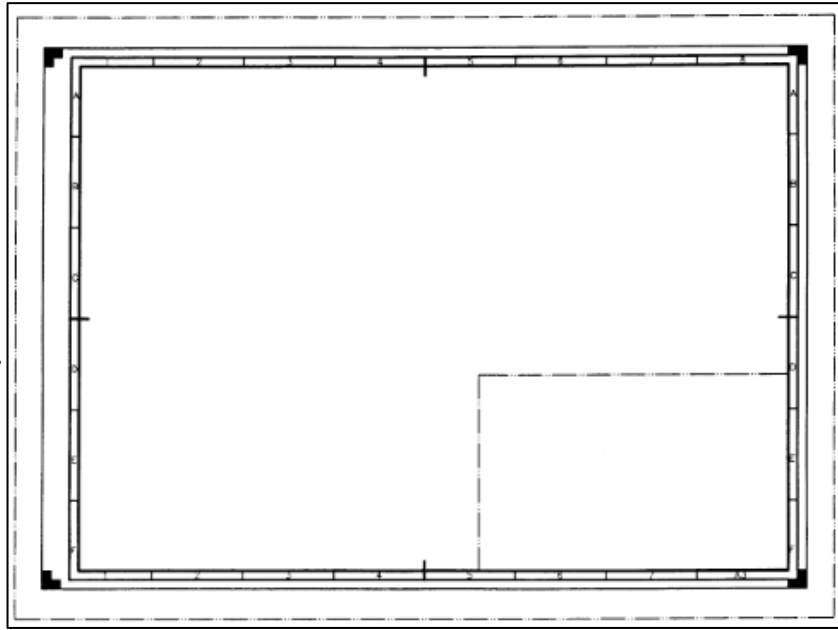


Figura 4. Ejemplo de un formato A3 de hoja de dibujo En Formatos y presentación de los elementos gráficos de las hojas de dibujo ISO 5457 por AENOR, 2000.

Norma ISO 3511-1

La norma ISO 3511-1 tiene como objetivo dar a conocer los requerimientos de instrumentación y control, así como proveer los símbolos estándar que se requieren. Los instrumentos se representan mediante un círculo delgado de aproximadamente 10 mm de diámetro y un código que indica la propiedad a medir y su función (figura 5a), en caso de que se trate de un instrumento montado en panel se dibujará un círculo dividido con una línea horizontal (figura 5b). Además de esto, se hace uso de un elemento corrector que tiene la función de ajustar directamente el valor de las condiciones y se representa mediante un triángulo equilátero con lados de aproximadamente 5 mm (figura 5c).

Para las líneas se usarán dos tipos, la línea que conecta a la tubería con el instrumento será una línea continua y más fina que la usada para el proceso, mientras que la línea para la señal de un instrumento será continua con líneas cruzadas a lo largo a aproximadamente 60° como se muestra en la figura 5d.

Los instrumentos se deben definir mediante un código alfabético dentro del círculo del instrumento y deberá estar compuesto de la siguiente manera: La primera letra

deberá denotar la variable medida, las letras subsecuentes deberán colocarse acorde a la columna 4 de la tabla 2 (ISO, 1977).

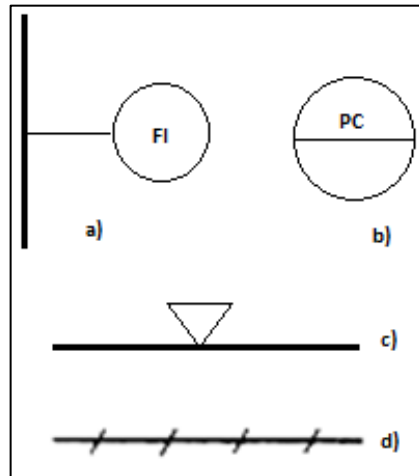


Figura 5. Símbolos utilizados en la instrumentación En Process measurement control functions and instrumentation por ISO, 1997.

- a) Ejemplo de uso de los símbolos de instrumentación*
- b) Instrumento montado en un panel*
- c) Elemento corrector*
- d) Señal de un instrumento*

Tabla 2. Código alfabético para la señalización de la instrumentación.

1	2	3	4
	Primera letra		Letra subsecuente
	Variable medida o iniciadora	Modificador	Función de visualización o salida
A			Alarma
B			
C			Controlador
D	Densidad	Diferencia	
E	Variables eléctricas		
F	Flujo	Proporción	
G	Calibre, posición o longitud		
H	Operado manualmente		
I			Indicador
J		Escáner	
K	Tiempo		
L	Nivel		
M	Humedad		
N	Elección del usuario*		
O	Elección del usuario*		
P	Presión o vacío		
Q	Cualidad (Concentración, conductividad, etc.)	Integrar	Integración o suma
R	Radiación nuclear		Grabación
S	Frecuencia o velocidad		Switch
T	Temperatura		Transmisión
U	Multivariable		
V	Viscosidad		
W	Fuerza o peso		
Z			Emergencia o seguridad

*Se usará cuando se requiera de una variable a la cual se le ha asignado una letra.

Tomada de: "Process measurement control functions and instrumentation" por ISO, 1997.

Norma P.2.0401.01 PEMEX

Por otro lado, existe la norma P.2.0401.01 de simbología de equipo de proceso de PEMEX, la cual reconoce que los diagramas de flujo son necesarios para la elaboración de un proyecto y los distingue en diagramas de bloques, diagrama de flujo de proceso, diagrama de flujo de servicios auxiliares, diagrama mecánico de

flujo de proceso y diagrama mecánico de flujo de servicios auxiliares. Las características recomendadas para los diagramas de flujo de proceso y aplicables para diagramas de tubería e instrumentación son las siguientes:

1. El tamaño de los diagramas de flujo deberá seguir lo indicado en la especificación P.1.000.06 ANT (anexo E), que, según el tipo de proyecto, a los diagramas de proceso le corresponde lo especificado en la figura 6 y la tabla 3.
2. El cuadro de identificación deberá ser como lo indica la especificación P.1.000.06 ANT con la descripción del proyecto, el tipo de diagrama, ubicación de la obra, número de proyecto, clave y número del plano, como se muestra en la figura 7.
3. Las líneas de proceso principales deberán tener 1.5 mm de espesor, las líneas secundarias y servicios deberán ser de 0.5 mm de espesor y las líneas de instrumentos de 0.1 mm de espesor
4. La identificación de las líneas deberá hacerse así: diámetro (pulg)-Servicio-Número-Especificación de material (Aislamiento frío o caliente) (PEMEX, 1999).
5. Debe indicarse para cada recipiente en la parte superior del diagrama y arriba de cada uno su número de identificación, descripción y dimensiones.
6. Para cada bomba se deberá indicar debajo de ellas su clave de identificación de equipo, su gasto en m³/h (GPM) y su ΔP en kg/cm² (psi).
7. Para cada compresor se debe indicar debajo su clave de identificación de equipo, número de pasos si es necesario, capacidad en m³ std/h (pies³ std/h) y presión de succión en kg/cm² man (psig) y relación de compresión Rc.
8. Para los cambiadores de calor debe indicarse su clave de identificación de equipo y su carga térmica en kcal/h (BTU/h).
9. Las líneas de proceso de alimentación deberán originarse del lado izquierdo y las de productos del lado derecho.
10. Se mencionarán únicamente los instrumentos básicos del control del proceso (PEMEX, 1999, 2000).

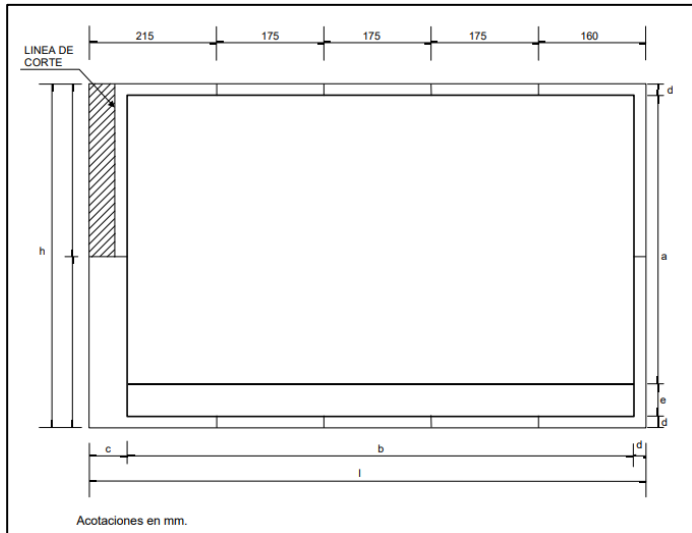


Figura 6. Formato del dibujo de diagramas de proceso En P.1.0000.06 por PEMEX, 2000.

Tabla 3.

Tipo de formato	Dimensiones (mm)						
	h	l	a	b	c	d	e
D	560	900	480	845	40	15	50

Dimensiones de dibujos de proceso.

Tomada de "P.1.0000.06 Estructura de planos y documentos técnicos de ingeniería" por PEMEX, 2000



Figura 7. Bloque de títulos En P.2.0401.01 Simbología de equipo de proceso en PEMEX – UNT, 1999.

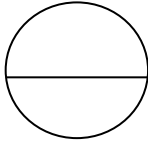
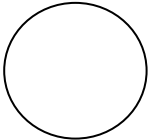
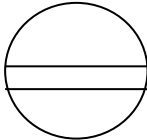
Norma P.2.0401.02 PEMEX

Por otro lado, PEMEX cuenta con su norma correspondiente para la simbología e identificación de instrumentos. La norma P.2.0401.02 tiene como objetivo establecer de manera homogénea los símbolos utilizados en el control y medición de procesos para los diagramas de proceso.

Los símbolos para representar un instrumento o función será un círculo de 12.3 mm de diámetro, pero podrá variar dependiendo del tamaño del diagrama y llevará una línea al medio en caso de ser de localización primaria como se muestra en la tabla 4. Las líneas para instrumentos deben ser de 0.2 mm de grosor y el tipo de línea depende de la función, las líneas más comunes se encuentran en la tabla 5. Finalmente, la norma P.2.0401.02 de PEMEX cuenta con una designación para las letras de identificación (tabla 6), donde la primera letra indica el tipo de componente y la segunda y tercera letra se usan para definir o modificar el primer carácter como se ve en la figura 8.


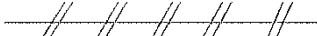

En la figura 9 se muestra un ejemplo con detalle de la instrumentación en una planta de gas.

Tabla 4. Simbología para instrumentación.

	Localización primaria	Montado localmente	Localización auxiliar
Instrumentos			

Tomada de: "Simbología e identificación de instrumentos" por PEMEX, 2005.

Tabla 5. Líneas más usadas en la instrumentación de procesos.

Conexión al proceso. Conexión mecánica o suministro al instrumento.	
Señal neumática.	
Señal eléctrica.	

Tomada de: "Simbología e identificación de instrumentos" por PEMEX, 2005.

Tabla 6. Letras de identificación para instrumentación.

	Primera letra		Letras sucesivas		
	Variable inicial o medida	Modificador	Lectura o función pasiva	Función de salida	Modificador
A	Análisis		Alarma		
B	Quemador, Combustión		Opción del Usuario	Opción del Usuario	Opción del Usuario
C	Opción del Usuario			Control	
D	Opción del Usuario	Diferencial			
E	Tensión (FEM), Voltaje		Sensor (Elemento Primario)		
F	Flujo	Relación (Fracción)			
G	Opción del Usuario		Vidrios, Mirillas		
H	Manual				Alto
I	Corriente Eléctrica (Intensidad)		Indicador		
J	Potencia	Muestreador			
K	Tiempo	Razón de cambio en tiempo		Estación de Control	
L	Nivel		Luz Piloto		Bajo
M	Opción del Usuario	Momentáneo			Medio o Intermedio
N	Opción del Usuario		Opción del Usuario	Opción del Usuario	Opción del Usuario
O	Opción del Usuario		Orificio, Restricción		
P	Presión, Vacío		Conexión de Punto de muestreo		
Q	Cantidad	Integrar, Totalizar			
R	Radioactividad		Registrar		
S	Velocidad, Frecuencia	Seguridad		Interruptor	
T	Temperatura			Transmisor	
U	Multivariable		Multifunción	Multifunción	Multifunción
V	Vibración, Análisis, Mecánico			Válvula, mamparas	
W	Peso, Fuerza		Termopozo		
X	Sin clasificación	Eje X	Sin clasificación	Sin clasificación	Sin clasificación

Y	Evento, Estado o Presencia	Eye Y		Relevador, Computador, Convertidor	
Z	Posición, Dimensión	Eje Z		Accionador, Actuador, Elemento Final de Control sin Clasificación	

Tomada de: "Simbología e identificación de instrumentos" por PEMEX, 2005

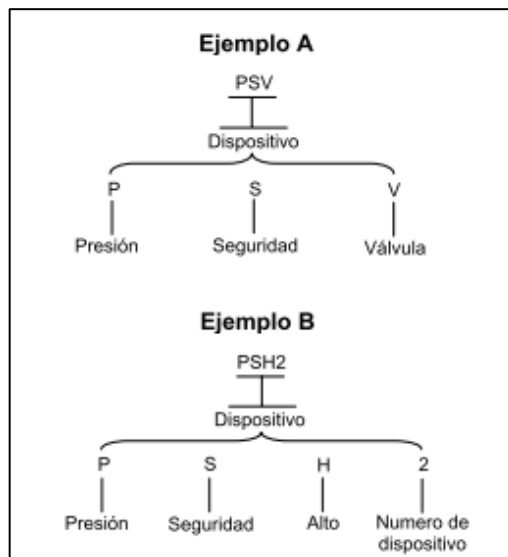


Figura 8. Ejemplo de identificación de dispositivos de seguridad En Simbología e identificación de instrumentos por PEMEX, 2005.

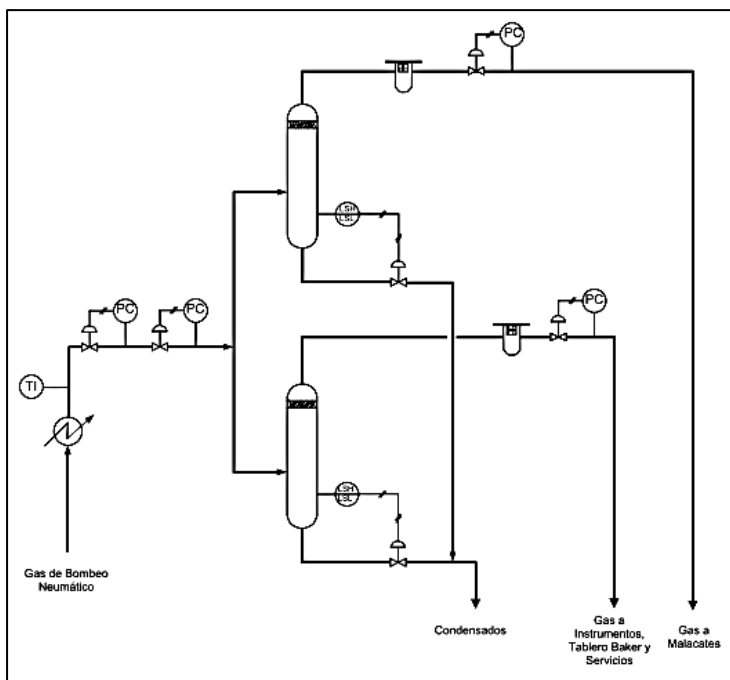


Figura 9. Diagrama para ejemplificación de simbología de instrumentación y control En Simbología e identificación de instrumentos por PEMEX, 2005.

Todas las normas mencionadas sirven como guía y no son obligatorias, sin embargo, el cliente puede exigir las al garantizar calidad en el producto.

Diagramas de bloques

El diagrama de bloques es el diagrama más simple que describe cualitativa y cuantitativamente un proceso y es el primer diagrama que se realiza en un proceso de ingeniería, incluso antes de realizar el balance de materia y energía, el primer paso es convertir un problema en palabras a un diagrama de bloques, de forma que se presente de la manera más sencilla. Un diagrama de bloques consiste en una serie de bloques donde cada bloque representa un equipo, una etapa del proceso o un proceso unitario y los bloques están conectados a la entrada y a la salida. Como se puede ver en la figura 10, se puede incluir información importante como temperaturas, presiones de operación, conversiones, flujos o composiciones químicas, pero no incluye ningún detalle de los equipos. Por esta razón, su uso es muy limitado como documento de ingeniería.

Un diagrama de bloques debe contener:

- Denominación de los recuadros
- Denominación de los flujos de entrada y de salida
- Sentidos de los flujos principales

Adicionalmente pueden presentar también:

- Denominación de los flujos principales
- Caudal de los flujos de entrada y salida de materiales
- Caudal de los flujos de entrada y salida de energía (AENOR, 2001; Sinnott & Towler, 2012; Turton et al., 2012).

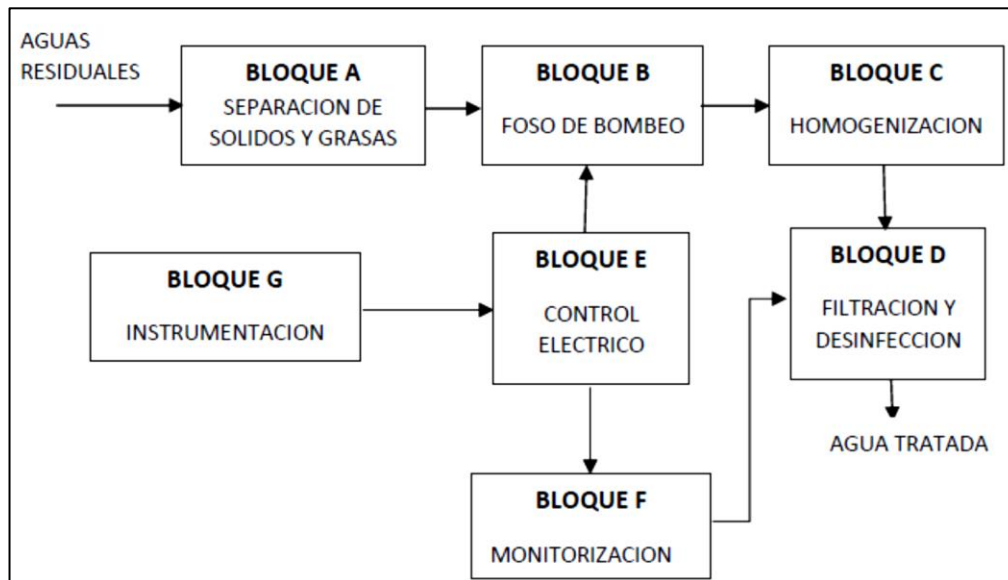


Figura 10. Diagrama de bloques de una planta de tratamiento de aguas residuales En Desarrollo y planificación del diseño del sistema automático de control de una planta de tratamiento de aguas residuales por Perdomo & Perez, 2016.

Diagrama de Flujo de Proceso (DFP)

El diagrama de flujo de proceso (figura 12) se realiza a continuación del diagrama de bloques, este es un documento muy importante, pues contiene de los datos necesarios para el diseño del proceso. El diagrama de flujo se usa ao largo de la construcción, pero también durante la operación para diagnosticar problemas o

predecir efectos de cambios en el proceso. Un diagrama de flujo de proceso varía dependiendo la compañía que lo realiza, pero la norma ISO 10628 sugiere que al menos debe contener lo siguiente:

- Tipos de equipos necesarios
- Denominación de referencia de los equipos
- Recorrido y sentido de los flujos de entrada y salida de materiales y energía
- Denominación y caudal de los flujos de entrada y salida de materiales
- Denominación de los flujos de energía
- Condiciones de funcionamiento características
- Tabla de balance de materia con número y descripción de la corriente, componentes de la corriente, flujo molar de cada componente, peso molecular, densidad relativa, flujo volumétrico total, flujo másico total, presión y temperatura como se muestra en la figura 11.

COMPONENTE	NUMERO DE LA CORRIENTE DE PROCESO				
	1 Mol/hr	2 Mol/hr	3 Mol/hr	4 Mol/hr	5
HIDROGENO	1 423	1 689	1 689	1 689	
MONOXIDO DE CARBONO	326	60	60	60	
BIOXIDO DE CARBONO	199	465	465	38	427
METANO	7	7	7	7	
NITROGENO	576	576	576	576	
ARGON	7	7	7	7	
AGUA	1 896	1 769	31	74	180
TOTAL lb mol/hr	4 434	4 573	2 835	2 451	607
Peso molecular					
DENS. REL. (Sp. Gr)					
LB /HR	71 500	74 000	43 000	24 000	22 000
MMPCSD	41.2	42.5	26.3	22.8	5.64
B/D					
Kg/hr	32 500	33 600	19 550	11 200	10 000
PRES. (Psig) (Kg/cm ²)					
TEMPERATURA (°F), (°C)					

Figura 11. Ejemplo de balance de materia En P.2.0401.01:1999 Simbología de equipo de proceso de PEMEX - UNT, 1999.

Además, también se pueden complementar con lo siguiente:

- Denominación de los flujos y caudales de los fluidos del proceso entre etapas del proceso
- Caudales de los flujos o cantidades de energía o de transporte de energía
- Válvulas esenciales en la posición lógica del proceso con relación a su función
- Exigencias funcionales de medición y control del proceso en los puntos esenciales
- Condiciones de funcionamiento complementarias
- Denominación y características de los equipos
- Denominación y características de las transmisiones
- Alturas de las plataformas

Además, los equipos se representan con iconos que especifican las operaciones unitarias, se suelen usar los símbolos publicados por la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME) o en la ISO 10628, sin embargo, cada compañía puede usar sus propios dibujos estándar. Los símbolos generales sugeridos por la ISO 10628 se presentan en el anexo A, sin embargo, existen variaciones de cada uno que se pueden consultar en la norma. De igual manera se encuentra la simbología del proceso sugerida por PEMEX en el anexo B.

Si se trata de un proceso muy grande, se puede requerir de más de un dibujo, en cuyo caso se debe indicar claramente en que hoja continúa el proceso (AENOR, 2001; Alvarado de la Fuente, 2014; PEMEX, 1999; Sinnott & Towler, 2012; Turton et al., 2012).

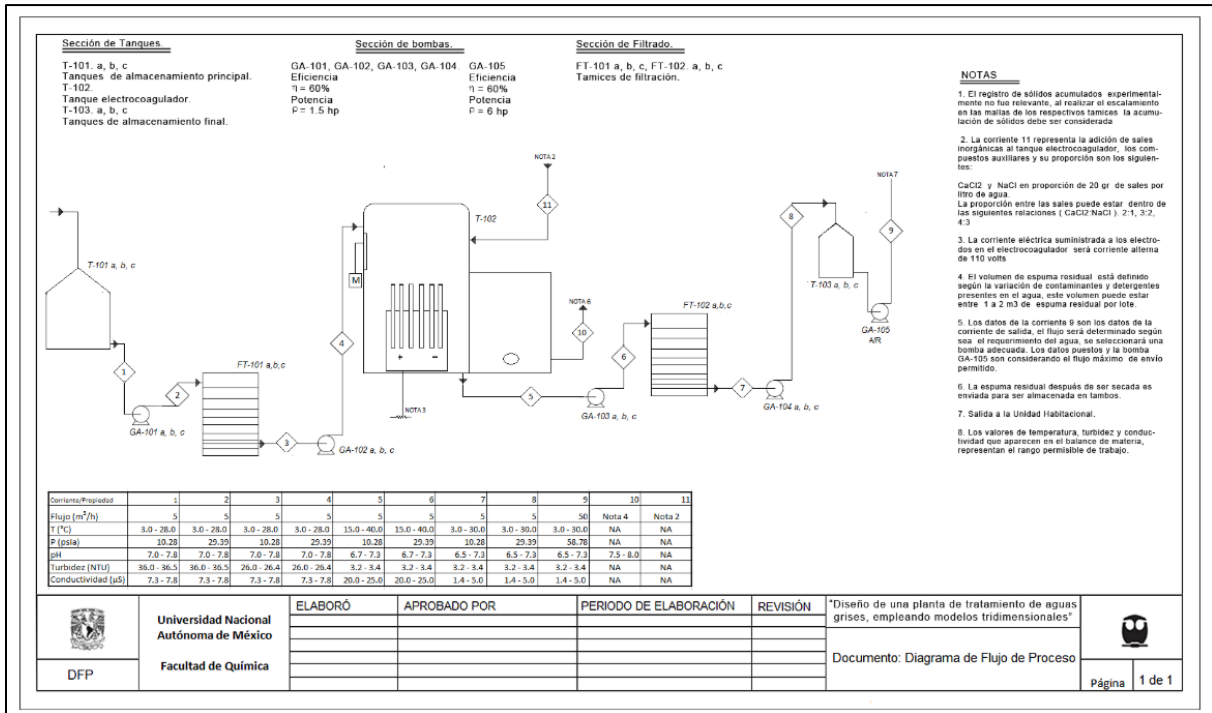


Figura 12. Diagrama de flujo de proceso de una planta de tratamiento de aguas grises. En Diseño de una planta de tratamiento de aguas grises, empleando modelos tridimensionales por Alvarado, 2014.

Diagrama de Tubería e Instrumentación (DTI)

Los diagramas de tubería e instrumentación (figura 13) son también conocidos como diagramas de flujo mecánico y proveen toda la información necesaria para la planeación de la construcción de una planta de proceso. Estos diagramas son los más completos, pues incluyen los detalles de ingeniería de los equipos, instrumentos, tubería, válvulas y accesorios, así como la disposición de los equipos. Los diagramas de tubería e instrumentación normalmente son elaborados por un equipo de especialistas en diseño de procesos y de igual manera se usan los símbolos gráficos del anexo A o B.

Todo diagrama de tubería e instrumentación debe incluir:

- Función o tipo de equipo incluidas las transmisiones, los transportadores y los repuestos instalados.
- Número de identificación de los equipos, incluidas las transmisiones, transportadoras y piezas de repuesto instaladas.

- Características básicas de los equipos que pueden ir en listas aparte.
- Diámetro nominal, presión nominal, material o tipo de tubería.
- Detalle de los equipos, tuberías, válvulas y conectores.
- Los lazos de control e instrumentación identificados con un número de identificación. Toda la información del proceso que se puede medir se coloca en una bandera circular, incluyendo la información a recopilar en los lazos de control, indicando de donde se obtiene la información, y se utilizan las convenciones mencionadas en la normatividad. En la figura 14 se muestra un ejemplo de lazo de control típico.

Adicionalmente los diagramas de tuberías e instrumentación también pueden contener lo siguiente:

- Denominación de los caudales de los flujos o las cantidades de energía
- Trayectos y sentidos de los flujos de energía
- Tipos de elementos y sensores esenciales
- Materiales de construcción esenciales para los equipos
- Altura de las plataformas
- Designación de referencia de las válvulas y los conectores
- Denominación de los equipos

Además de lo que un diagrama de tubería e instrumentación debe incluir, también hay una serie de restricciones, las cuales son:

- No colocar el tamaño de las reducciones en válvulas de control
- Las válvulas únicamente deberán llevar número de indicación, más no detalles, conexiones o ubicación.

De igual manera, se recomienda nombrar a los equipos, válvulas y conectores conforme al anexo C.

El DTI es la última etapa del diseño de proceso y sirve como guía para los que serán responsables del diseño final y construcción, por lo que para la elaboración se debe disponer del diagrama de flujo de proceso aprobado, las bases de diseño, las hojas de datos y la lista de equipos (AENOR, 2001; Alvarado de la Fuente, 2014; Becerril, 2004; Sinnott & Towler, 2012; Turton et al., 2012).

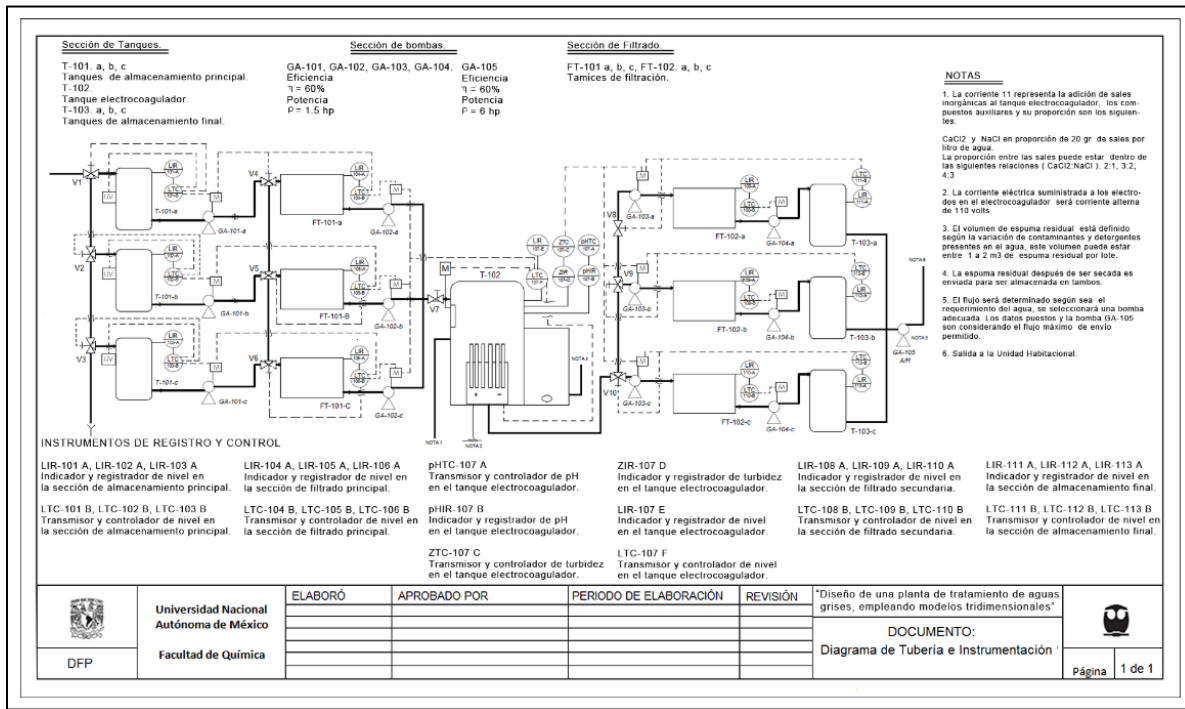


Figura 13. Diagrama de tubería e instrumentación de una planta de tratamiento de aguas grises En Diseño de una planta de tratamiento de aguas grises, empleando modelos tridimensionales por Alvarado, 2014.

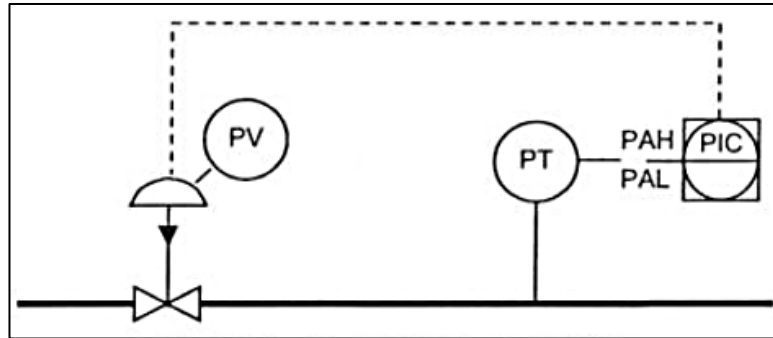


Figura 14. Lazo de control típico En Diseño en Ingeniería Química por Sinnott & Towler, 2012.

Plano isométrico

Un isométrico es un tipo de dibujo tridimensional que utiliza la altura, el ancho y la profundidad del objeto en un solo dibujo y debe ser dibujado con ejes que midan 30° desde el plano horizontal. La función principal del isométrico de tuberías es realizar una lista de materiales para el proceso de procura y compra, por lo que es necesario que se incluyan todos los componentes de la tubería como codos, bridas, tuercas, etc. Los isométricos también son utilizados como planos de fabricación, donde una vez dibujado y correctamente dimensionados, los isométricos se proporcionan a los fabricantes quién construirá cada configuración de tubería. Es importante mostrar la trayectoria detallada de la tubería desde el inicio hasta el final.

Comúnmente se dibujan líneas sencillas sin importar el tamaño de la tubería, así sean codos o bridas, pues no son dibujados a escala, únicamente proporcionales, lo que significa que una tubería de 10 pies es dos veces una de 5 pies.

La complejidad de una configuración de tubería requiere de un punto de referencia establecido y orientado, por lo que se usa una flecha norte como se muestra en la figura 15.

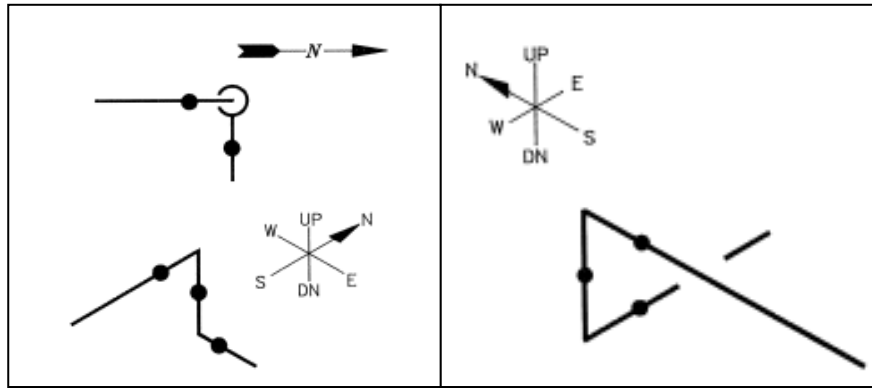


Figura 15. Configuración isométrica respecto a la flecha norte En Pipe
Drafting and design por Parisher & Rhea, 2002.

Equipo electromecánico

Cuando se habla de maquinaria o equipos de aplicación industrial, se hace referencia a aparatos usados en procesos industriales que tienen como objetivo transformar materias primas en productos terminados o semielaborados, como puede ser cambio en sus propiedades superficiales, cambio de color, inducción de calor, entre otros.

Una de las actividades más importantes en los procesos es la selección de los equipos, pues se debe obtener el máximo beneficio y eficiencia de ellos. Existen muchas marcas y modelos que pueden ofrecernos buenos resultados y normalmente el proceso de selección se realiza de manera manual, con ayuda de la experiencia del ingeniero.

Para realizar la selección de los equipos es importante considerar que a mayor tamaño, mayor costo, además de que la eficiencia de algunos equipos disminuye con el tiempo y se deberán reemplazar (Baudino et al., 2012; Romero Álvarez, 2015).

METODOLOGÍA

Selección del equipo electromecánico

Para la selección del equipo electromecánico, se realizó un análisis del tratamiento primario requerido para el agua y los equipos necesarios para la filtración de los lodos. Dentro del tratamiento primario se requiere remover los sólidos suspendidos en el agua que pudieran causar problemas operacionales o incrementar la frecuencia de mantenimiento de los equipos, como lo es el pasto, cabello, plástico, arena, etc. Después del tratamiento primario y del tratamiento biológico, se realizó la selección de los equipos de tratamiento de lodos, de modo que se ayudara al filtro a realizar su función.

Se realizó la selección de cada equipo como se muestra a continuación resultando para cada uno en una tabla de propuestas para su compra:

Bomba de alimentación: Se estudiaron las características del agua y en base a esto se seleccionó el tipo de bomba ideal. Una vez que se seleccionó el tipo, se realizó una investigación documental del tipo de impulsor necesario y con esto se realizó la selección de fabricantes haciendo uso del caudal y altura establecidos por el proyecto, comparando las curvas de cada una. Se realizó una tabla comparativa con opciones de compra. No se consideraron factores de cavitación debido a la naturaleza de las bombas sumergibles.

Bomba peristáltica: La bomba peristáltica tiene el objetivo de distribuir hipoclorito de sodio a la línea de desinfección por cloración y sea mezclado con el agua en un mezclador estático, por lo que se eligió de este tipo para que tuviera una dosificación controlada. En este caso únicamente se eligió el tipo de equipo, pues el tratamiento terciario aún está en estudio.

Hidrociclón: Se realizó la investigación documental de separadores de arena para el pretratamiento de agua residual y se optó por seleccionar un hidrociclón. Posteriormente se investigaron los fabricantes y se realizó una tabla comparativa con opciones de compra del equipo.

Soplador: Se calculó el flujo de aire requerido por el agua para oxidar la materia orgánica por medio el DQO reportado para el agua residual y después para el

cálculo de la potencia se hizo uso de las ecuaciones de diseño mencionadas por Mueller et al., 2002.

$$w = \rho_s G_s = \rho_s \times DQO \times Q \times \frac{100}{21} \quad (1)$$

$$AP (kW) = 0.1G_s \left[\left(\frac{P_d}{P_a} \right)^K - 1 \right] \quad (2)$$

$$WP(kW) = \frac{DP}{e} \quad (3)$$

Con estos datos se realizó la búsqueda de proveedores de sopladores y se realizó una tabla comparativa con opciones de compra.

Bomba centrífuga: Para impulsar los lodos que salen del reactor, se requiere de una bomba, por lo que previamente se realizó el cálculo de la potencia aproximada necesaria mediante la ecuación 4, y a partir de esto se realizó la investigación de fabricantes para realizar la tabla comparativa con opciones de compra.

$$P (kW) = \frac{QH}{367} \quad (4)$$

Compresor: Para realizar la filtración de los lodos producidos en el reactor, es necesario empujarlos a través de la tubería para que pasen por el filtro, por lo que se seleccionó un compresor que realice este trabajo. Se realizó la investigación de fabricantes de compresores que tuvieran una presión superior a la de la línea y se realizó una tabla comparativa.

Válvulas: Para la selección de las válvulas se realizó una investigación documental del tipo de válvulas existentes y se realizó una tabla comparativa para elegir una. Una vez que se tuvo el tipo de válvulas, se realizó una investigación de fabricantes de estas válvulas y se realizó la tabla comparativa con opciones de compra.

Distribución de los equipos

Para realizar la distribución de los equipos se realizó un análisis de los diagramas de flujo de proceso y de tubería e instrumentación, además de los equipos seleccionados, a partir de esto se realizaron modificaciones a la simbología e

identificación de acuerdo con la normatividad y se procedió a ubicar los equipos en el terreno.

Se realizó el dibujo del diagrama isométrico de la siguiente manera:

1. Se creó un nuevo dibujo en el software "AutoCAD" y se colocó en modo "dibujo isométrico".
2. Se dibujó el área de construcción, el área destinada a instalar los equipos de proceso dentro del terreno y el área del tanque de alimentación.
3. Se dibujaron los equipos de proceso a escala y en dimensión tomando como referencia las imágenes de los equipos seleccionados previamente.
4. Se colocaron los equipos en el terreno dibujado y se conectaron mediante líneas de manera eficiente a lo largo del terreno dejando suficiente espacio como medida de seguridad.
5. Se colocó la identificación de las tuberías y equipos conforme a los establecidos en el DFP y DTI.
6. Se colocaron las válvulas e instrumentos correspondientes.
7. Por último, se colocó el norte geográfico, el bloque de títulos y la lista de equipo por fuera del proceso.

RESULTADOS

Selección del equipo electromecánico

La planta de tratamiento de agua residual planteada requiere de un conjunto de equipos electromecánicos, como son bombas, un compresor, un soplador, un hidrociclón y válvulas, los cuales fueron seleccionados conforme a las necesidades de la planta. En el anexo F se presentan las hojas de datos a nivel de ingeniería básica.



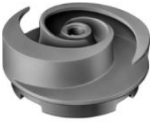
Selección de bombas

Bombas sumergibles

En una planta de tratamiento de agua se hace uso de bombas sumergibles debido al contenido de sólidos en el agua. Las bombas sumergibles tienen varios diseños de impulsor, dependiendo del uso previsto, estos son: impulsor para bombas de aguas residuales, impulsor para bombas trituradoras e impulsor para bombas axiales. Para el uso con aguas residuales se han desarrollado impulsores desarrollados especialmente para evitar que se obstruya o atasque la bomba, los cuales se desglosan en la tabla 7.

Otro factor para tomar en cuenta en la selección del impulsor es el flujo y la altura que se requiere bombear, GRUNDFOS propone el gráfico de la figura 16.

Tabla 7. Impulsores para agua residual.

Tipo de impulsor	Descripción	Ventajas	Desventajas	Imagen
Monocanal	Alabe sencillo diseñado lo más largo posible para conseguir un buen rendimiento (70-75%)	No se atasca	Requiere contrapesos para equilibrio por la forma asimétrica. No tolera sólidos largos o fibrosos ni aguas abrasivas.	
De 2 canales	Dos álabes con un paso libre pasa sólidos.	Rendimiento máximo de 80-85%. Equilibrado, el desgaste de los álabes por sustancias abrasivas no produce desequilibrios dinámicos.	Impurezas fibrosas largas pueden entrar en ambos canales, quedar atrapadas y atascar la bomba.	
Vortex	Forma un remolino en la voluta abierta de la bomba.	Excelente contra atascos Tolera sustancias abrasivas, los sólidos en suspensión no llegan a tocar los álabes. En flujos pequeños (3-15 L/s), rendimiento igual al monocanal.	Rendimiento bajo de 50% en flujos grandes.	

(GRUNDFOS, 2013) Elaboración propia.

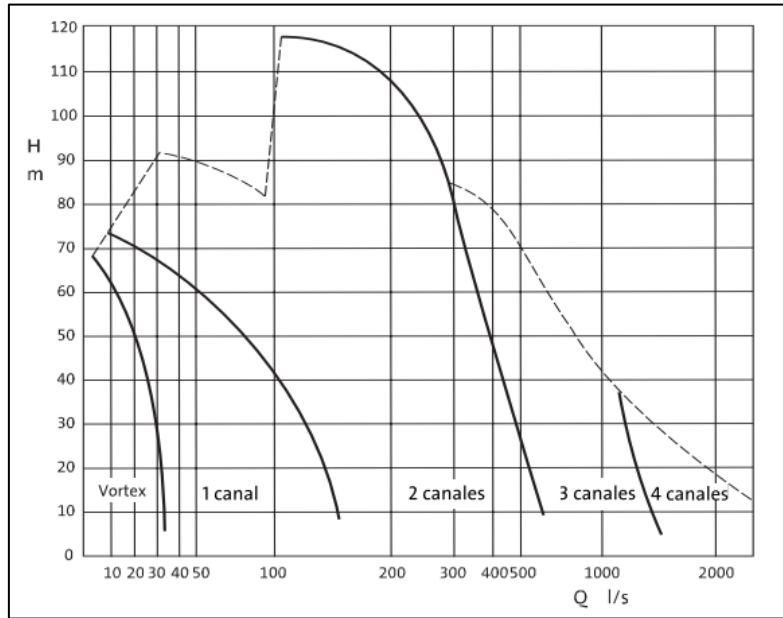





Figura 16. Gamas de caudal y altura para diferentes tipos de impulsor
En Manual de bombeo de aguas residuales por GRUNDFOS, 2013.

Para la planta de tratamiento de agua residual se requieren de dos bombas sumergibles para transportar un caudal de 60 L/min a una altura manométrica de 2.8 metros y 4 m, que serán la de alimentación del canal a la planta de tratamiento, y del segundo tanque de almacenamiento al reactor respectivamente.

Para esto en primer lugar se hizo uso de la tabla 7 y de la figura 16 para seleccionar el impulsor adecuado, resultando en el impulsor vortex como el ideal debido a la presencia de sólidos largos y fibrosos en el agua como pasto, plantas, cabello y arena. A partir de esto se realizó la investigación con fabricantes de bombas sumergibles con impulsor tipo vortex y se compararon sus curvas para acercarse lo más posible al flujo establecido.

Tabla 8. Fabricantes y características de bombas sumergibles con impulsor tipo vortex.

Fabricante	Modelo	Potencia	Salida	Altura a caudal 0	Caudal máximo	Imagen
Pedrollo	TOP 2-VORTEX	0.5 HP	1 ½"	7 m	180 L/min	 1
ZENIT	DG Blue 40/2/G40V	0.5 HP	1 ½"	4.4 m	180 L/min	 2
EVANS	SE2ME050F-F	0.5 HP	2"	11 m	200 L/min	 3
Franklinagua	Serie FES	0.5 HP	2"	15 m	70 L/min	 4

Elaboración propia.

¹ (Pedrollo, 2022).

² (ZENIT, 2022).

³ (EVANS, 2022).

⁴ (Franklin Electric, 2018).

Las curvas de las bombas se presentan a continuación:

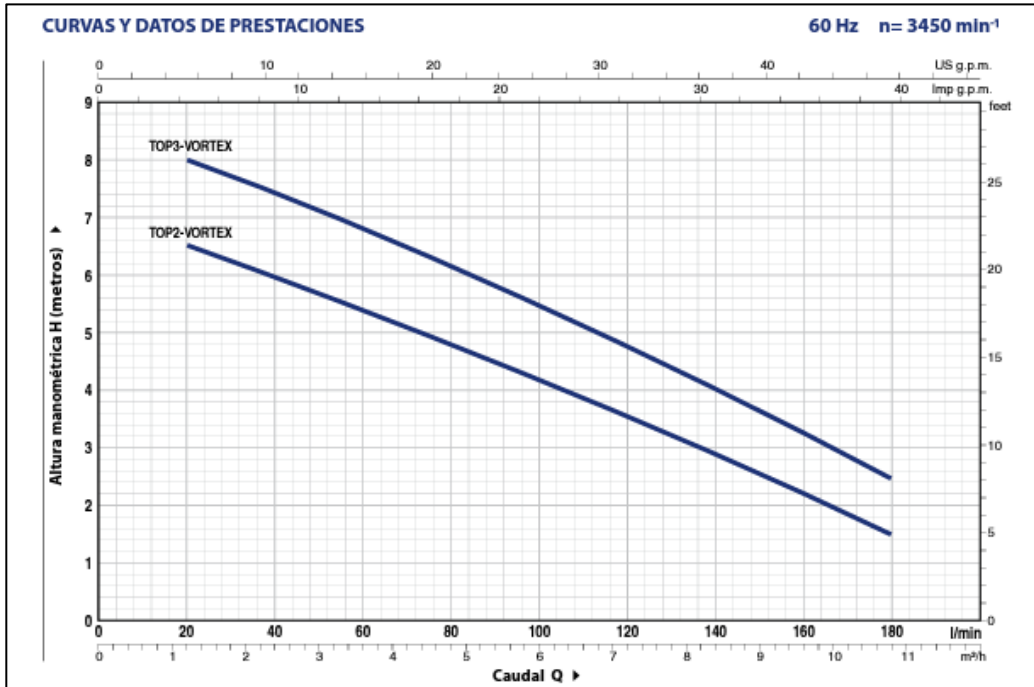


Figura 17. Curva de bomba sumergible Top-Vortex En Pedrollo, 2022.

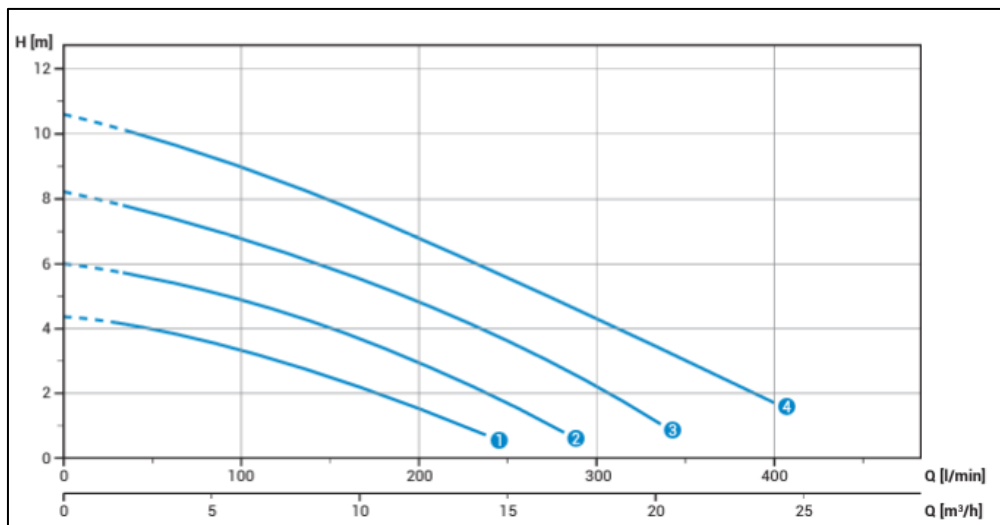


Figura 18. Curva de bomba sumergible DG Blue En Zenit, 2022.

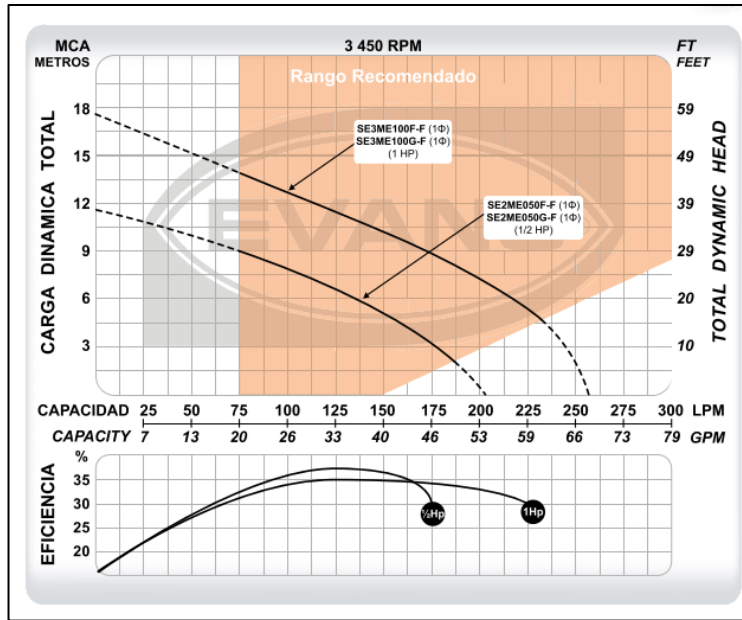


Figura 19. curva de bomba sumergible SE2ME050FF en Evans, 2022.

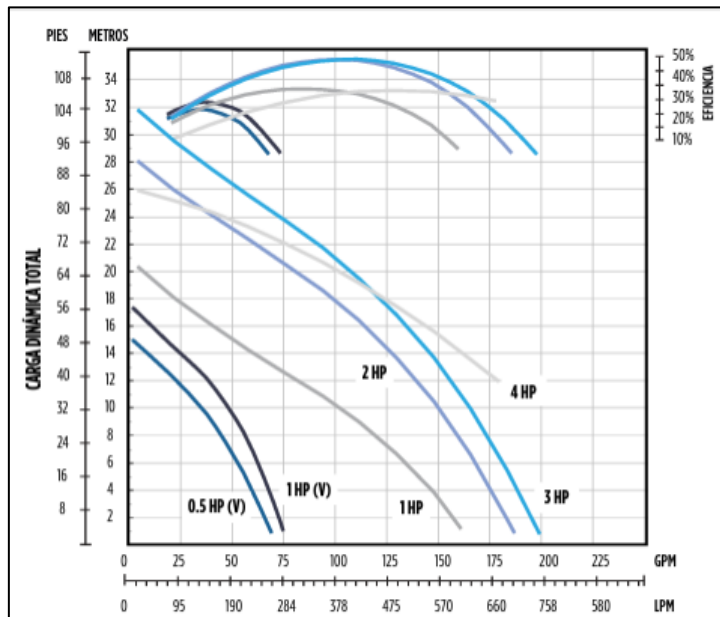


Figura 20. Curva de bomba sumergible Serie FES en Franklinagua, 2022.



Bomba centrífuga

Para la selección de la bomba centrífuga para impulsar los lodos que salen del RBT, se realizaron los cálculos siguientes:

$$P = \frac{1.68 \frac{m^3}{h} \times 0.23 m}{367} = 1.05 \times 10^{-3} kW = 0.0014 HP$$

Donde el flujo es el que requiere el balance de materia para su filtración y la altura manométrica que manejará la bomba. Aunque se requiere una potencia muy baja, se realizó la selección de una bomba de 3/4 HP con fines de escalamiento en el futuro.

Tabla 9. Fabricantes de bombas centrífugas con 3/4 HP.

Fabricante	Potencia	Altura máxima	Flujo máximo	Imagen
TRUPER	3/4 HP	27 m	152 L/min	 1
SIEMENS	3/4 HP	22 m	190 L/min	 2
EVANS	3/4 HP	25 m	165 L/min	 3

Elaboración propia


¹ (TRUPER, 2020)

² (SIEMENS, 2022)

³ (EVANS, 2016)

Bomba peristáltica

Para la desinfección del agua tratada en el reactor biológico tubular se seleccionó una bomba peristáltica que según el balance de materia debe distribuir 0.00023 L/h de NaClO. La selección del fabricante de esta bomba no formó parte de este trabajo debido a el tratamiento terciario se destinó a estudiarse a parte y la bomba que se seleccionó fue la siguiente.

Fabricante	Descripción	Imagen	Imagen
BlackStone	BL7-1	7.6 L/h	

Selección de compresor

Para comprimir un gas a través de un sistema de tuberías se utilizan compresores. Cuando existe una caída de presión baja, es suficiente con un ventilador sencillo, pero cuando es elevada, se utilizan compresores de varias etapas. El tipo de compresor adecuado se define a partir del caudal, presión requerida y presión de operación.

Para caídas de presión pequeñas se usan ventiladores, para caudales elevados y presiones diferenciales moderadas se usan compresores de flujo axial, y para caudales elevados se usan compresores centrífugos y por etapas, aunque los compresores centrífugos tienen un rango muy amplio de presiones y caudales. Towler sugiere el gráfico de la figura 21 para la selección del tipo de compresor.

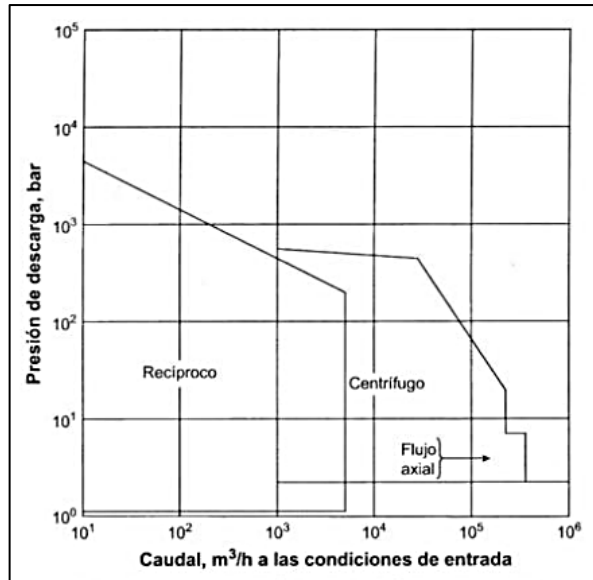






Figura 21. Rango de operación de un compresor En *Diseño en ingeniería química por Sinnott y Towler, 2012*

Se eligió un compresor con motor reciproco debido a que el uso que se le dará es intermitente y no se requieren altas presiones para el filtrado de los lodos provenientes del tratamiento en el reactor biológico tubular (RBT). Para este propósito se realizó la investigación correspondiente en línea de los fabricantes de compresores con motor de 1 HP para que la presión que ejerza sea mayor a la presión que maneja la línea con la bomba y se realizó la tabla 10. Debido a que se cuenta con un compresor de estas características, no se profundizó más y se hará uso de este.

Tabla 10. Fabricantes y características de compresor con motor de 1 HP.

Fabricante	Modelo	Potencia	Voltaje	Capacidad del tanque	Flujo	Imagen
SPRAYIT	SP94002	1 HP	127 V	24 L	6.5 cm ³ /h	1 
MIKEL'S	CA-75HP	1 HP	110 V	8 L	8.5 cm ³ /h	2 
CALIFORNIA AIR TOOLS	8010	1 HP	110 V	30 L	5.1 cm ³ /h	3 
TRUPER	19215	1 HP	120 V	10 L	11.5 cm ³ /h	4 

Elaboración propia

¹ (SPRAYIT, 2022).

² (MIKEL'S, 2022).

³ (California air tools, 2022).

⁴ (TRUPER, 2022).

Selección del soplador

La diferencia entre un soplador y un compresor radica en que un soplador produce aire a una presión menor a los 100 kPa, mientras que un compresor genera aire en una presión mucho mayor. En el caso del tratamiento de agua se usan sopladores de desplazamiento positivo y sopladores dinámicos o centrífugos (Mueller et al., 2002).

La selección del tipo de soplador se realiza a partir del flujo de aire requerido y usando la figura 22.

Type of Blower or Compressor	Minimum	Maximum
Positive displacement blower (roots type)	< 100	100,000
Screw compressor	300	60,000
Multistage centrifugal blower	500	90,000
Turbo compressor: conventional	3,000	150,000
Compact or mini TC	1,000	9,000

Figura 22. Tipos de sopladores según el rango de flujo de aire
En *Aeration: Principles and practice* por Mueller et al., 2002.

El flujo requerido de aire por el reactor basados en el DQO del agua residual fue el siguiente:

$$G_s = \frac{0.0004 \frac{Kg}{L} \times 3600 \frac{L}{h} \times \frac{100}{21}}{1.204 \text{ kg/m}^3} = 5.7 \frac{m^3}{h}$$

Mientras que la potencia calculada:

$$AP (kW) = 0.1 \left(5.7 \frac{m^3}{h} \right) \left[\left(\frac{123.262}{100.635} \right)^{0.283} - 1 \right] = 0.034 \text{ kW}$$

$$WP(kW) = \frac{0.034 \text{ kW}}{0.8} = 0.042 \text{ kW} = 42 \text{ W}$$

Para seleccionar el soplador que le proporcionará oxígeno disuelto dentro del flujo de agua residual que ingresa al reactor se realizó la búsqueda de uno que entregara un flujo de aire mayor a los 5.7 m³/h para poder aumentar la capacidad en el futuro. Los sopladores encontrados en el mercado se presentan en la tabla 11.

Tabla 11. Fabricantes y características de sopladores de bajo caudal y potencia.

Fabricante	Modelo	Potencia	Caudal	Imagen
HAILEA	VB-290G	290 W	21 m ³ /h	 1
REXCHIP	010A01	120 W	50 m ³ /h	 2
JMKe	JM-133	150 W	504 m ³ /h	 3

Elaboración propia

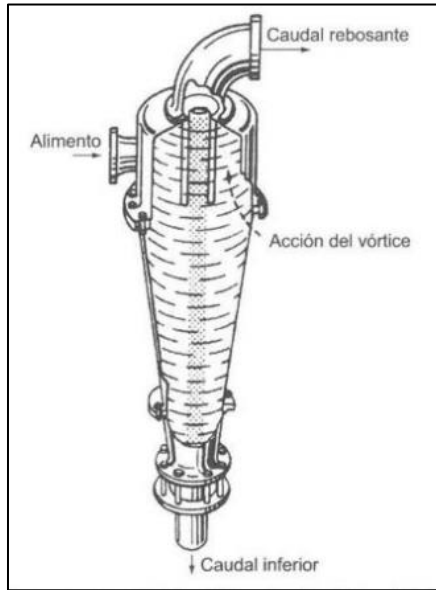
¹ (HAILEA, 2022).

² (REXCHIP, 2022).

³ (JMKe, 2022).

Selección de hidrociclón

Para separar sólidos de líquidos, como lo es la arena de las aguas residuales, se puede hacer uso de un ciclón, y en el mercado hay desde muy pequeños de 10 mm de diámetro, hasta 30 m. Depende del tamaño y densidad de la partícula y de la densidad y viscosidad del líquido, que tan eficiente será la separación. Un esquema de un hidrociclón típico se presenta en la figura 23 (Sinnott & Towler, 2012).



*Figura 23. Ciclón sólido-líquido (hidrociclón) En
Diseño en ingeniería química por Sinnott &
Towler, 2012.*

Para seleccionar el hidrociclón que separará la arena del agua residual únicamente se requiere que tenga una salida de 2" de diámetro para que sea consistente con la tubería y contar con un flujo mayor al que se manejará en la línea de 60 l/min o 3.6 m³/h para poder aumentar el flujo del sistema en el futuro, por lo que se realizó la investigación de fabricantes y se obtuvieron los siguientes:

Tabla 12. Fabricantes y características de hidrociclón de 2" de diámetro.

Fabricante	Descripción	Flujo	Imagen
WADE RAIN	Diámetro: 2" Modelo HC225	25 m ³ /h	1 
NETAFIM	Diámetro 2" Modelo 50820	11 a 17 m ³ /h	2 
ODIS	Diámetros: 2" Modelo 50820-V3L	11 a 17 m ³ /h	3 

Elaboración propia

¹ (Wade Rain, 2017).

² (NETAFIM, 2020)

³ (ODIS, 2022)

Selección de válvulas

Para la selección de válvulas en una planta de proceso químico debe conocerse su función primaria, de cierre o de control. Las válvulas de cierre o de bloqueo tienen el objetivo de cerrar la circulación, mientras que las de control regulan el caudal. Las principales válvulas que existen en el mercado son las válvulas de compuerta, macho, bola, asiento, diafragma y mariposa (figura 24).

Una válvula de cierre debe tener un sellado positivo y resistencia mínima a la circulación cuando se abra, por lo que las más usadas para este propósito son las válvulas de compuerta, macho y bola. Las válvulas de compuerta se pueden operar manualmente o con un motor y suelen tener un rango amplio de tamaños, cuentan con un canal de circulación recto y una caída de presión baja, no puede estar parcialmente cerrada, pues se puede dañar y para abrir y cerrar hay que dar varias vueltas. En el caso de las válvulas macho y bola únicamente requieren de un cuarto de vuelta para abrir o cerrar.

Una válvula de control debe ofrecer un control suave sobre el caudal desde una apertura total hasta el cierre. Para este propósito se utilizan las válvulas de

asiento, diafragma y mariposa. Las válvulas de asiento se usan más frecuentemente que las de diafragma y las de mariposa se utilizan para gases y vapores. (Sinnott & Towler, 2012)

A partir de la tabla 13 se decidió que la válvula más adecuada es la válvula de bola, ya que permite o restringe totalmente un flujo y son más fáciles de usar que las de compuerta. Dado que la función de las válvulas será el corte o la apertura total del flujo, las de tipo globo quedarían descartadas. Finalmente, las válvulas de mariposa se descartan por el tipo de flujo que se utilizará dado que no son recomendables para fluidos con sólidos largos como pasto, fibras y cabello, pues son susceptibles a atascarse.

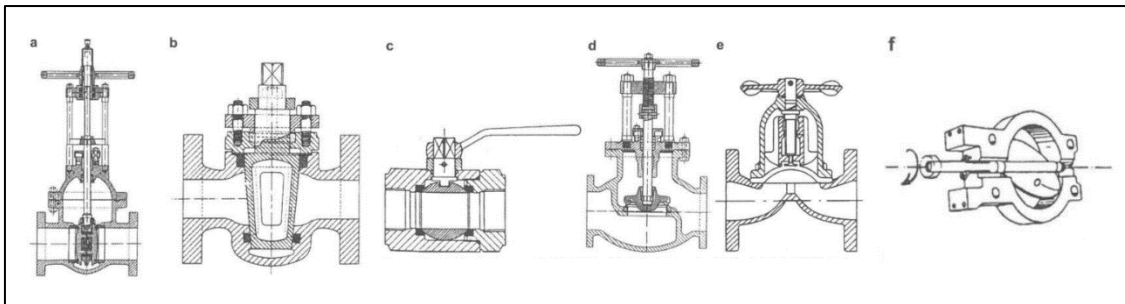
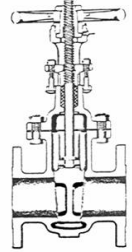
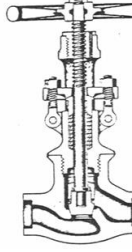
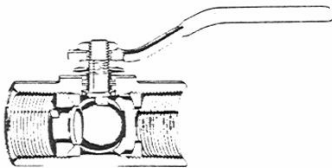

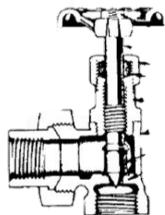


Figura 24. Válvulas más usadas en el diseño de procesos En Diseño en Ingeniería química por Sinnott & Towler, 2012.

- a) *Válvula de compuerta*
- b) *Válvula de macho*
- c) *Válvula de bola*
- d) *Válvula de asiento*
- e) *Válvula de diafragma*
- f) *Válvula de mariposa*




Los fabricantes de válvulas de bola seleccionados se encuentran en la tabla 14.

Tabla 13. Ventajas y desventajas de válvulas.

Tipo de válvula	Ventajas	Desventajas	Imagen
Válvula de compuerta	Cierre hermético. Bajo costo. Funcionamiento sencillo. Poca resistencia a la circulación.	No regula el flujo. Se requiere de fuerza para su uso o un motor. Se requiere de varias vueltas para cerrarla.	
Válvula de globo	Control del caudal. Mayor duración. Regula el flujo. Buena estrangulación.	Caída de presión grande. Costo elevado.	
Válvula de bola o esfera	Bajo costo. Alta capacidad. Pocas fugas. Se limpia por sí misma. Poco mantenimiento. Cierre hermético. Se abren con un cuarto de vuelta.	No regula el caudal. No apta para estrangulación. Propensa a cavitación. Susceptible al desgaste de sellos.	
Válvulas de mariposa	Útiles para gases o vapores. Óptima para espacios reducidos. Poco mantenimiento. Alta capacidad.	No es recomendada para agua con fibras o cabello. Propensa a la cavitación con fluidos calientes.	
Válvulas de aguja	Adecuadas para estrangulamiento. Bajo costo. No hay fugas.	No apta para agua con gran cantidad de sólidos. Susceptible al desgaste.	

(Guerrero Murcia, 2010; Sinnott & Towler, 2012) Elaboración propia.

Tabla 14. Fabricantes y características de válvulas de bola.

Fabricante	Descripción	Imagen
FIP	Válvula PVC bola de dos piezas 2" Cédula 80 Cementar. ¹	
HAITIMA	Válvula bola de acero inoxidable de dos piezas Roscada 2". ²	
HAITIMA	Válvula bola de acero inoxidable de tres piezas Roscada 2". ³	

Elaboración propia

¹ (FIP, 2022).

² (HAITIMA, 2022b).

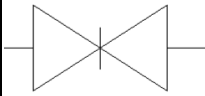
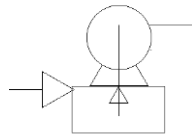
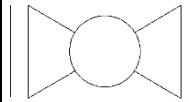
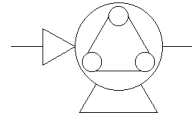
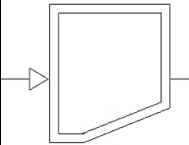
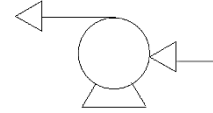
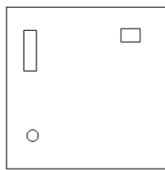
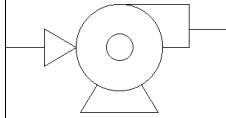
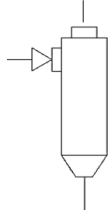
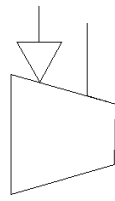
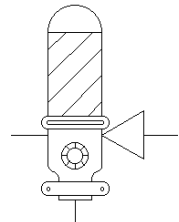
³ (HAITIMA, 2022a).

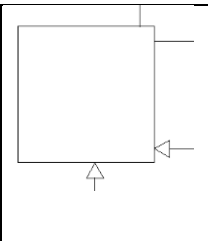

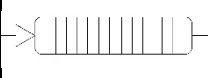
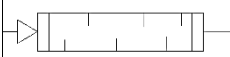
La válvula seleccionada es la de PVC, debido a que, con el tiempo, las válvulas de acero tienden a corroerse, picarse o perder presión, además de que la válvula de PVC resulta de menor costo.

Diagramas de proceso

Los símbolos realizados en el software AutoCAD y claves seleccionados por el equipo de trabajo siguiendo la normativa antes mencionada para los equipos se exponen en la tabla 15.

Tabla 15. Símbolos y claves seleccionadas.

Equipo	Clave	Símbolo	Equipo	Clave	Símbolo
Compuerta	Cp		Bomba sumergible	P-001/002	
Válvula de bola	HV-001		Bomba peristáltica*	P-004	
Cárcamo de bombeo*	B-001/002		Bomba para sólidos	P-003	
Tanque contenedor de hipoclorito	B-003		Soplador	V-001	
Hidrociclón*	F-001		Compresor	V-002	
Criba	F-002		Filtro de discos*	F-003	

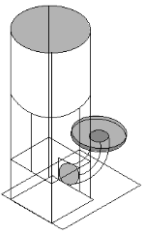
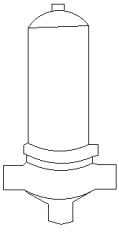
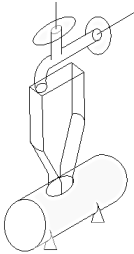
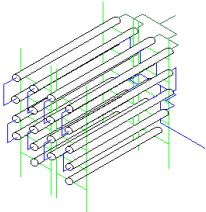
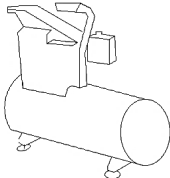

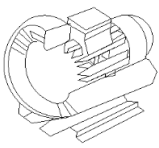
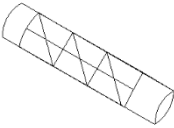
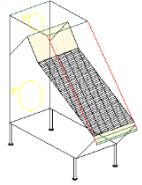
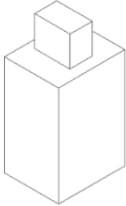
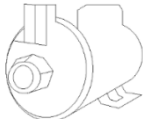
Reactor Biológico Tubular*	RBT-001		Lampara de luz UV*	A-001	
Reactor electro-fenton*	C-001		Mezclador estático	R-001	

Elaboración propia

*Se propuso este diseño debido a la especificidad del equipo

Por otro lado, también se realizó el dibujo de los equipos de manera tridimensional para la realización del diagrama isométrico, los cuales se exponen en la tabla 16.

Tabla 16. Símbolos elaborados para el diagrama isométrico.

Bombas sumergibles		Filtro de lodos	
Hidrociclón		Reactor Biológico Tubular	
Compresor		Cámara de luz UV	
Soplador		Mezclador estático	
Criba		Tanque contenedor de hipoclorito y bomba peristáltica	
Bomba de sólidos			

Elaboración propia

Los diagramas finalizados con las claves de tubería y equipos se exponen a continuación en tamaño doble carta.

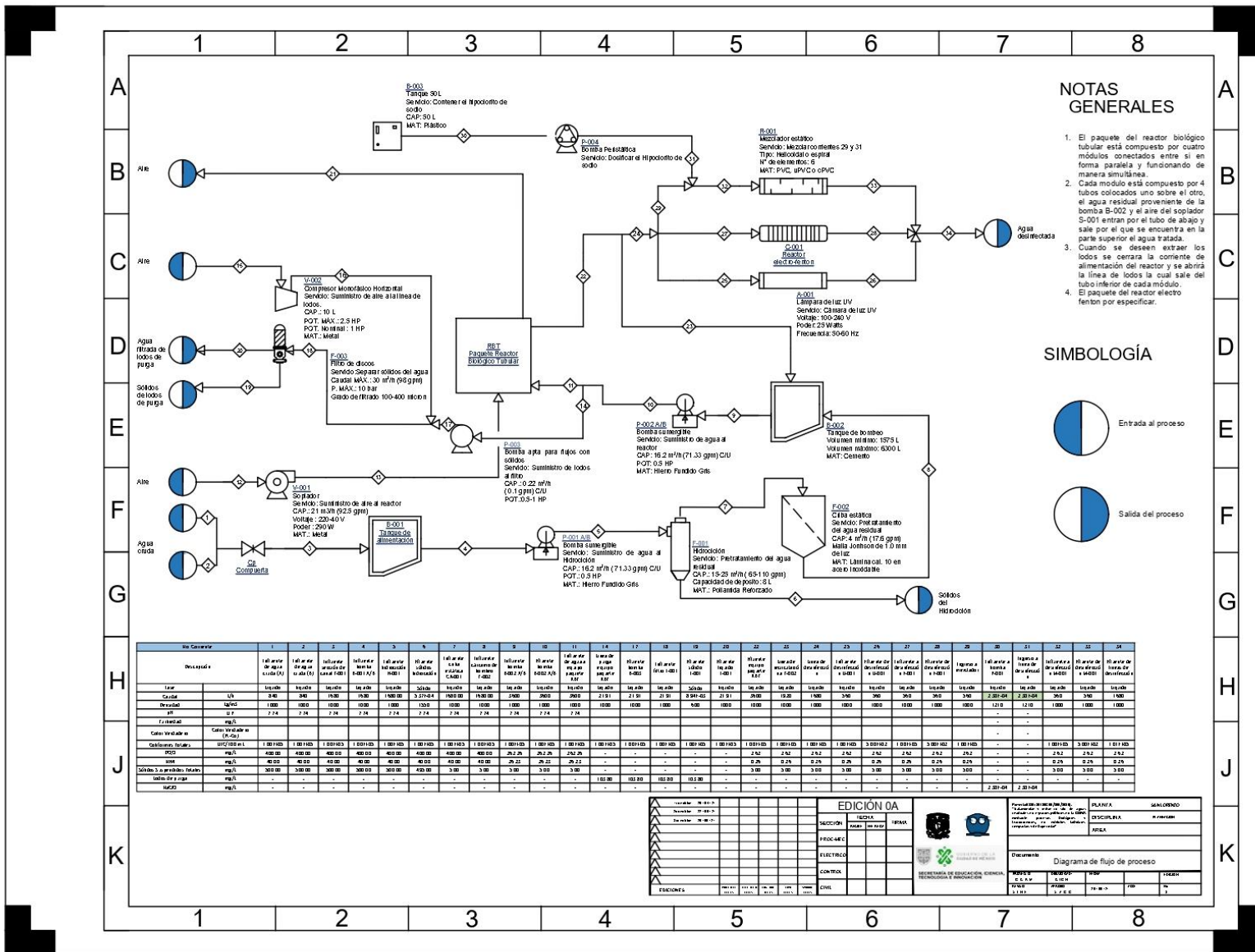


Figura 25. Diagrama de flujo de procesos de la planta de tratamiento de agua residual con tecnología RBT

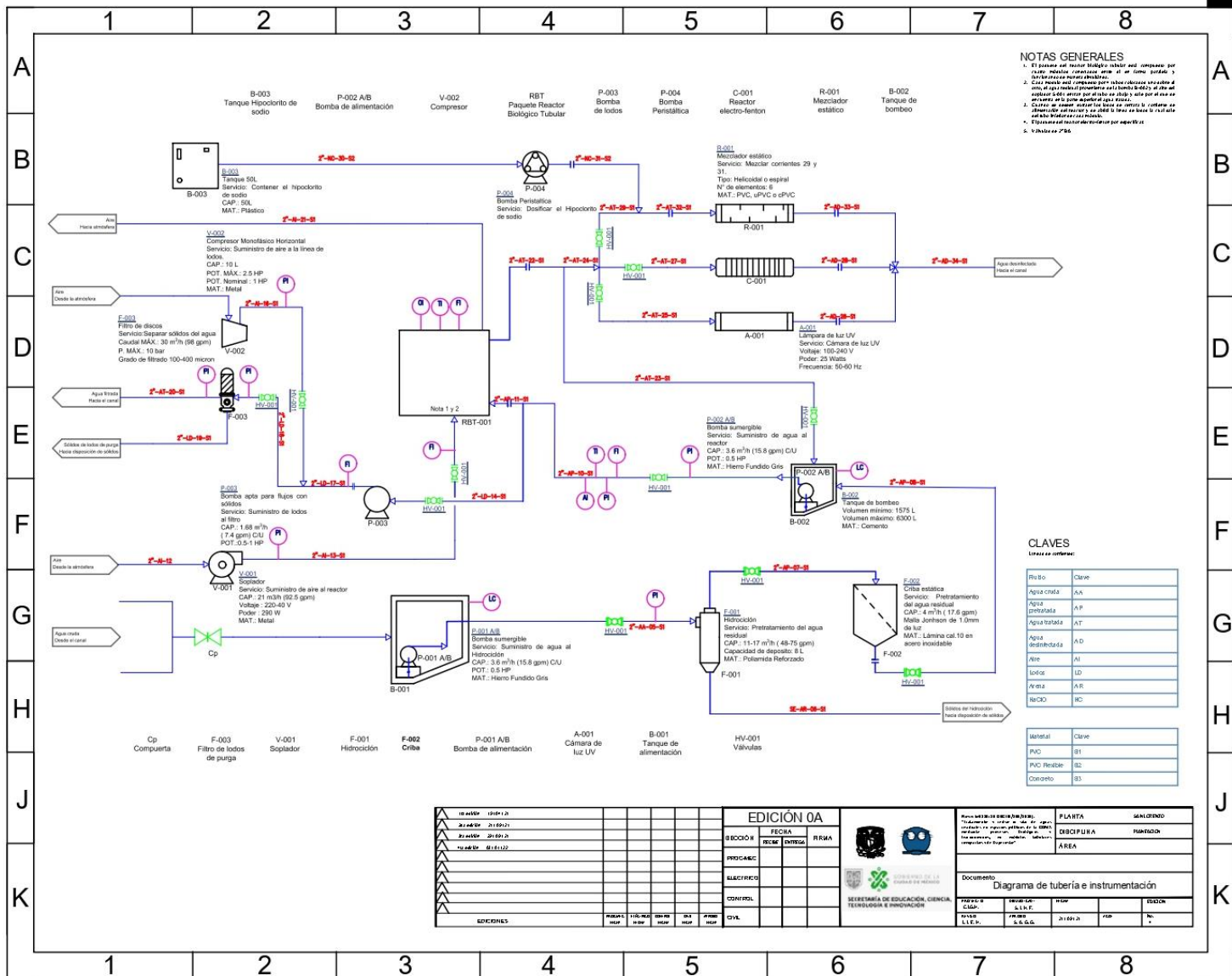


Figura 26. Diagrama de tubería e instrumentación de la planta de tratamiento de agua residual con tecnología RBT

Filosofía de operación

El proceso de tratamiento del agua residual constará de tres partes, la primera será el tratamiento primario en el cual se encontrarán las bombas sumergibles, el hidrociclón y la criba. El agua entrará a esta sección de la planta de tratamiento con un gasto de 60 L/min \pm 10% a través de un canal abierto rectangular hacia el cárcamo de bombeo B-001 que tiene como función homogeneizar el fluido, controlar las variaciones de flujo y mantenerlo constante. Las bombas P-001 A/B transportarán el agua residual hacia el hidrociclón F-001 con el propósito de separar los sólidos suspendidos en el agua y evitar que arena llegue a dañar el reactor biológico tubular (RBT-001), dividiendo la corriente 5 en dos, donde la corriente 6 se llevará la arena para su posterior disposición y la corriente 7 seguirá en el proceso. La corriente entrará a la criba F-002 para evitar que sólidos mayores a 1 mm ingresen al reactor biológico tubular RBT-001, como es el lirio acuático. Aquí finaliza el tratamiento primario para pasar al tratamiento secundario que corresponde al reactor biológico tubular, al cual el agua ingresará después de pasar por el cárcamo B-002 y la bomba P-002.

El RBT-001 consta de un sistema de reactores biológicos de biomasa fija conformado por dos módulos de 8 tubos de 12 m de longitud y 6" de PVC cédula 80 que confiere resistencia a las altas presiones. El sistema biológico cuenta con medidores de oxígeno disuelto, pH, turbidez y manómetros en las corrientes de entrada y salida para monitorear el funcionamiento del equipo. Dados los requerimientos de oxígeno del equipo para mantener la biomasa en óptimas condiciones, se usará el soplador V-001 que suministrará aire a ambos módulos del reactor biológico tubular para su distribución dentro del sistema. El sistema de purga se accionará manualmente para evitar obstrucciones, los lodos pasarán por la corriente 14 y con ayuda de la bomba P-003 irán hacia el filtro F-003 donde serán filtrados con ayuda del compresor V-002. Los lodos filtrados se irán por la corriente 19 y el agua filtrada regresará al canal.

Las salidas del reactor biológico tubular son la corriente 21 que lleva aire directo a la atmósfera y la corriente 22 que llevará el agua tratada, esta corriente se dividirá

en dos partes, donde la 23 regresará al reactor pasando por el cárcamo B-002 y la corriente 24 se llevará al tratamiento terciario.

El tratamiento terciario consta de una etapa de desinfección, donde la corriente 24 se dividirá en tres. La corriente 29 se mezclará con la corriente 31 que llevará hipoclorito de sodio desde el tanque B-003 con ayuda de la bomba P-004, la corriente 25 se tratará mediante una lámpara de luz UV y la corriente 27 se tratará con la tecnología CIDETEQ que consta de un proceso electro-fenton. Estas tres corrientes se mezclarán y el efluente será devuelto al canal con una calidad adecuada. El tratamiento terciario consta de 3 partes debido a que aún está en estudio y en un futuro se colocará el óptimo.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

La compra, instalación y uso de los equipos se deberá llevar a cabo cuidando las siguientes notas:

1. Las tablas comparativas elaboradas se realizaron con el propósito de facilitar la compra y elección del fabricante, además de otorgar alternativas viables.
2. La bomba centrífuga es necesaria debido a que es posible que exista un estancamiento de los lodos en la línea.
3. Los equipos deberán ser colocados en el orden indicado llevando el proceso de manera lógica y finalizando con un efluente desinfectado con características adecuadas para su uso.
4. Los equipos deberán ser instalados en el terreno con el espacio indicado permitiendo así su mantenimiento y libre paso.
5. La bomba sumergible de alimentación a la planta cuenta con un reemplazo en caso de fallo debido a las características del agua del canal.
6. Se deberá realizar una limpieza periódica de por lo menos 2 veces al año debido a las características del agua que puede provocar desgaste y atascamientos en los equipos.

CONCLUSIONES

La elaboración de la presente tesis demuestra el trabajo requerido para realizar el diseño de detalle de una planta de tratamiento de agua, además de la normatividad involucrada en la realización de los diagramas de proceso. De igual manera se resalta la importancia de realizar la distribución y selección de los equipos de manera lógica al tren de tratamiento (primario, secundario y terciario) para tener una instalación correcta en la planta y a tener una operación y mantenimiento adecuados.

La selección del equipo a nivel de ingeniería básica y de detalle requiere de una investigación profunda de los fabricantes a partir de los cálculos para los requerimientos en la planta, para así hacer una compra adecuada para el proceso.

REFERENCIAS

- AENOR. (2000). Formatos y presentación de los elementos gráficos de las hojas de dibujo ISO 5457. *Comité Europeo de Normalización*, 12.
- AENOR. (2001). Diagrama de flujo de plantas de proceso, reglas generales (ISO 10628:1997). *Asociación Española de Normalización y Certificación*, 68.
- Agudelo C., R. M. (2005). El agua, recurso estratégico del siglo XXI. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 23(1), 91–102.
- Alvarado de la Fuente, L. R. (2014). *Diseño de una planta de tratamiento de aguas grises, empleando modelos tridimensionales*. UNAM.
- Arcos Serrano, M. E., & Fernández Villagómez, G. (1993). Procesos biológicos de tratamiento para la estabilización de residuos líquidos tóxicos. *Centro Nacional De Prevención De Desastres*, 101.
- Arnaiz, C., Medialdea, M., & Lebrato, J. (2002). Tratamiento de Aguas Residuales. Eliminación biológica de contaminantes (II). Reactores de segunda generación. *Ingeniería Química*, 184–192.
- Arreguín-Cortés, F. I., López-Pérez, M., & Cervantes-Jaimes, C. E. (2020). Water challenges in Mexico. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 11(2), 341–371.
- Bahadori, A., & Smith, S. (2016). Dictionary of environmental engineering and wastewater management. In *Reference Reviews*. Springer.
- Baudino, M., Gil-costa, V., Giubergia, A., Guerrero, R., & Printista, M. (2012). Modelos de simulación: selección y reemplazo de equipos para proyectos mineros. *XIII Workshop de Investigadores En Ciencias de La Computación (WICC 2012)*, 713–717.
- Becerril, O. (2004). *Propuesta para la uniformización de criterios en el diseño de diagramas de tubería e instrumentación de proceso*. UNAM.

- California air tools. (2022). *Ultra quiet & oil free air compressor owner's manual* (pp. 1–17).
- Caro Estrada, R. (2014). *Estudio de aplicación de Biorreactores de Membrana (MBR) en la depuración de las aguas residuales*. Universidad de Cádiz.
- Centro Argentino de Ingenieros. (2016). *Alcances de ingeniería* (p. 104). Comisión de empresas proveedoras de servicios de ingeniería.
- Comisión Nacional del Agua. (2007). Diseño de lagunas de estabilización. In *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*.
- Díaz López, F. E., & Varila Quiroga, J. A. (2008). Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala laboratorio. *Revista de Tecnología*, 7(2), 21–28.
- EVANS. (2016). Bomba residencial de 3/4 HP para bombeo de agua limpia a tinaco. In *Bombas de superficie* (pp. 1–2).
- EVANS. (2022). *Bombas sumergibles. Manejo de aguas residuales*. 223–248.
- FIP. (2022). *Válvula de bola de 2 vías Easyfit* (p. 14).
- Franklin Electric. (2018). *Bombas para efluentes serie FES* (p. 2).
- García-González, S. A., & Durán-Moreno, A. (2010). *Reactor biológico tubular, nueva tecnología para pequeñas plantas de tratamiento de aguas residuales*. UNAM.
- GRUNDFOS. (2013). *Manual de bombeo de aguas residuales* (p. 117).
- Guerrero Murcia, S. (2010). *Catalogación de válvulas manuales, tubería y accesorios en una planta papelera*. Universidad Autónoma de Occidente.
- HAILEA. (2022). *Bomba de aire industrial de alta potencia*. Hailea-Bomba de Aire Industrial de Alta Potencia. <https://es.aliexpress.com/i/32952149995.html>

- HAITIMA. (2022a). *3-pc. Screwed end ball valve 2013* (p. 1).
- HAITIMA. (2022b). *Screwed end ball valve 2006WB* (p. 1).
- ISO. (1977). *ISO 3511/1 Process measurement control functions and instrumentation*. 10.
- JMKe. (2022). *High Pressure Fan*. Centrifugal Fans.
<https://www.alibaba.com/showroom/150w-blower.html>
- López-Hernández, M., Ramos-Espinosa, M. G., Figueroa-Torres, M. G., Flores-Macias, A., & Lind, O. T. (2010). Efecto de agua tratada sobre la biomasa del perifiton de dos sitios del área lacustre de Xochimilco utilizando un microcosmos artificial. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, 10(19), 39–62.
- López-Mendoza, Z., Tavera, R., & Novelo, E. (2015). El fitoplancton de un canal de Xochimilco y la importancia de estudiar ecosistemas acuáticos urbanos. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 18(1), 13–28.
- Martínez-Cruz, P., Hernández-Martínez, A., Soto-Castor, R., Herrera, A. E., & Levario, J. R. (2006). Empleo de humedales artificiales para el tratamiento de aguas de un canal experimental de Xochimilco, México. *Hidrobiológica*, 16(3), 211–219.
- MIKEL'S. (2022). *Compresor de aire* (p. 1).
- Mueller, J. A., Boyle, W. C., & Johannes, H. (2002). *Aeration: Principles and practice* (Vol. 11). CRC Press.
- Muñoz Paredes, J. F., & Ramos Ramos, M. (2014). Reactores discontinuos secuenciales: una tecnología versátil en el tratamiento de aguas residuales. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 24(1), 49–66.
- Naciones Unidas. (2022). *Paz, dignidad e igualdad en un planeta sano*. Agua.

<https://www.un.org/es/global-issues/water>

NETAFIM. (2020). Filtros separadores de arena Hidrociclón. In *Hidrociclón con cono y tanque de sedimentación de acero al carbono*.

ODIS. (2022). *Hidrociclones serie 5000*.

Pedrollo. (2022). *TOP-VORTEX* (p. 4).

PEMEX. (1999). P.2.0401.01 - Simbología De Equipo De Proceso. *Pemex Exploración y Producción*, 34.

PEMEX. (2000). P.1.0000.06 Estructura de planos y documentos técnicos de ingeniería. In *Lineamientos para temas generales y terminología*.

Qasim, S., & Zhu, G. (2018). *Wastewater Treatment and Reuse Theory and Design Examples*. CRC Press.

REXCHIP. (2022). *Vortex Blower for Aquaculture*. Blowers.

<https://rexchip.en.made-in-china.com/productimage/HKiJzaAYTfpo-2f1j00sSzamjyPMlpZ/China-140W-0-2HP-Vortex-Blower-for-Aquaculture.html>

Riffat, R. (2013). *Fundamentals of Wastewater Treatment and Engineering*. Taylor & Francis Group.

Romero Álvarez, R. L. (2015). *Elaboración de un manual de procedimientos para la selección de socios distribuidores de maquinaria y equipos de aplicación industrial en Colombia*. Universidad EAFIT.

SIEMENS. (2022). *Bomba para agua de 3/4 HP Siemens*.

<https://www.elgrantlapalero.com/bomba-para-agua-de-1-hp-siemens.html>

Sinnott, R., & Towler, G. (2012). *Diseño en ingeniería química* (Quinta edi). Reverté.

SPRAYIT. (2022). *Manual de usuario del compresor silencioso libre de aceite* (p.

13).

TRUPER. (2020). *Bomba centrífuga para agua 3/4HP*. Bombas Centrífugas.
<https://www.truper.com/bomba-centrifuga-americano-1-hp-expert.html>

TRUPER. (2022). *Compresor horizontal 10L , 2 HP (potencia máxima), 127 V* (p. 2).

Turton, R., Bailie, R., Whiting, W., Shaeiwitz, J., & Bhattacharyya, D. (2012).
Analysis synthesis and design of chemical processes (Cuarta edi). Prentice Hall.

Vera, L., Ruigomez, I., González, E., Bodelón, P., & Rodríguez-Sevilla, J. (2014).
Biorreactores de membrana anaerobios para tratamiento de aguas residuales domesticas. Estudio preliminar. *Avances En Ciencias e Ingeniería*, 5(4), 1–15.

Wade Rain. (2017). *Catálogo de productos* (p. 100).

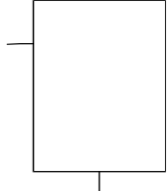

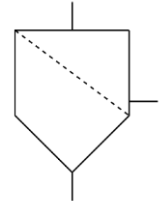
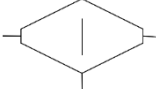
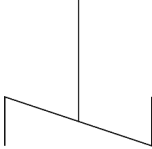
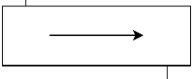

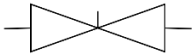
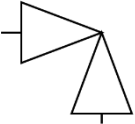
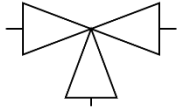
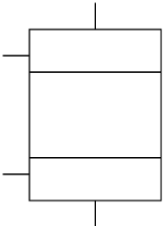
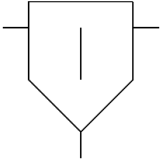
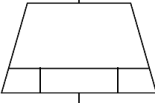
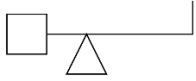
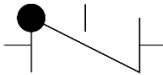

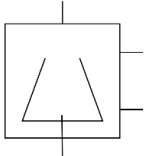
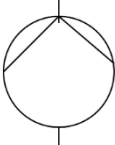
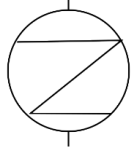
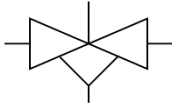
Zambrano, L., Contreras, V., Mazari-Hiriart, M., & Zarco-Arista, A. E. (2009).
Spatial Heterogeneity of Water Quality in a Highly Degraded Tropical Freshwater Ecosystem. *Environmental Management*, 43, 249–263.

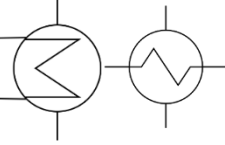
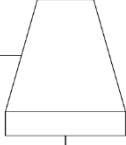
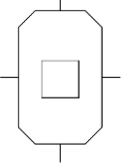
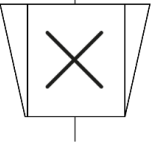
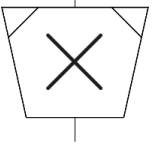
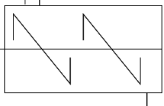
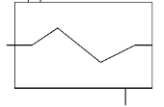
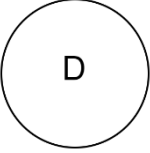
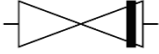
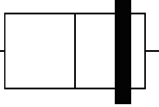
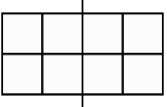
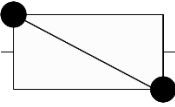
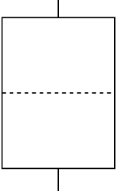
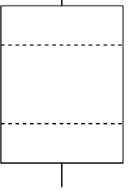
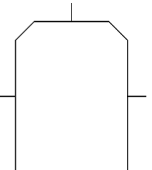
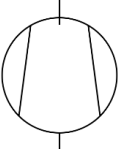
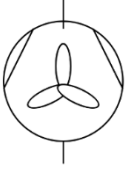

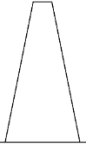
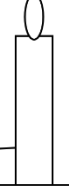

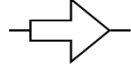
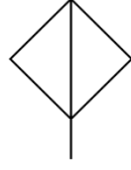
ZENIT. (2022). *Catálogo Doméstico Residencial* (p. 92).

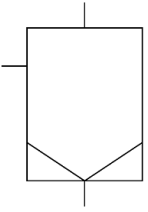
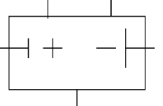
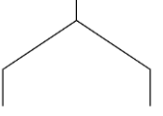
APÉNDICE

Anexo A.

Tabla 17. Simbología para el dibujo de diagramas de procesos sugerido por la norma ISO 10628.




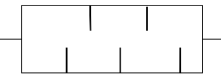

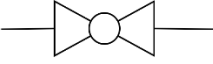

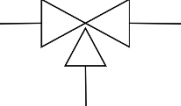
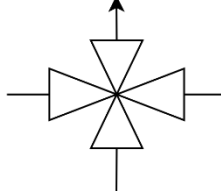
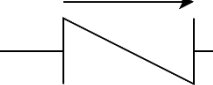
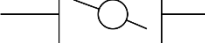
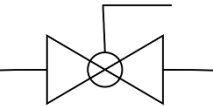
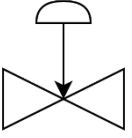
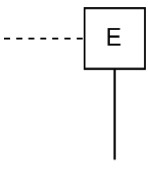
<p>Recipientes y depósitos</p>  <p>Recipiente general</p>  <p>Depósito</p>	<p>Cribas</p>  <p>Tamizadora general</p>  <p>Criba general</p>	<p>Agitadores</p>  <p>Agitador general</p>	<p>Transportadores</p>  <p>Transportador general</p>  <p>Camión industrial general</p>	<p>Llaves de paso</p>  <p>Válvula general</p>  <p>Válvula angular general</p>  <p>Válvula de 3 vías general</p>
<p>Columna general</p> 	<p>Separadores</p>  <p>Separador general</p>	<p>Proceso de transformación</p>  <p>Máquina de acabado general</p>	<p>Básculas</p>  <p>Báscula general</p>	<p>Válvulas de retención</p>  <p>Válvula de retención general</p>
<p>Calefacción y refrigeración</p>  <p>Instalación de calefacción o refrigeración general</p>	<p>Centrifugadoras</p>  <p>Centrifugadora general</p>	<p>Bombas de líquido</p>  <p>Bomba general</p>	<p>Dosificadores</p>  <p>Dosificadores para sólidos general</p>	<p>Válvulas de control</p>  <p>Válvula de control accionada manualmente</p>

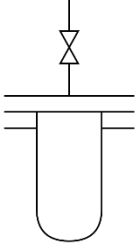
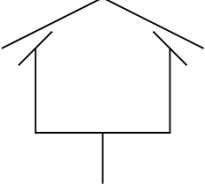
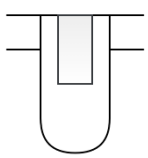
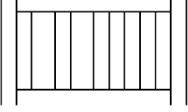
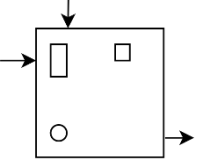
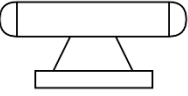
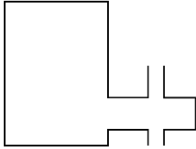
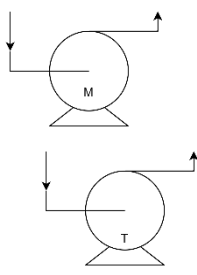
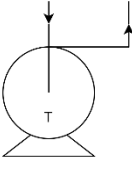

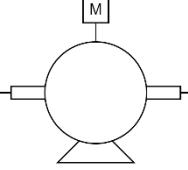
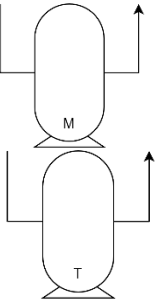
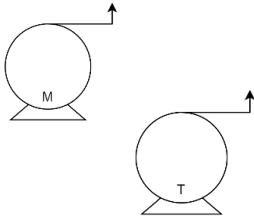
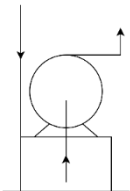
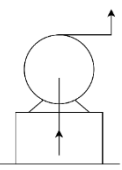
<p>Intercambiadores de calor</p>  <p>Intercambiador de calor general</p>  <p>Torre de refrigeración general</p>  <p>Horno industrial general</p>	<p>Trituradoras y amoladoras</p>  <p>Trituradora general</p>  <p>Amoladora general</p>	<p>Mezcladoras</p>  <p>Mezclador general</p>  <p>Amasadora general</p>	<p>Motores y transmisiones</p>  <p>Transmisión general</p>	<p>Válvulas y accesorios de seguridad</p>  <p>Válvula de seguridad</p>  <p>Disco de ruptura general</p>  <p>Parallamas</p>  <p>Válvula de entrada y salida de aire</p>
<p>Filtros</p>  <p>Filtro general</p>  <p>Filtro de líquido general</p>	<p>Secadores</p>  <p>Secador general</p>	<p>Compresores</p>  <p>Compresor o bomba de vacío general</p>  <p>Soplador o ventilador general</p>	<p>Artículos de equipamiento</p>  <p>Almacenaje</p>  <p>Chimenea</p>  <p>Antorcha de gas</p>	<p>Otros</p>  <p>Flujo en dirección de la flecha</p>  <p>Flecha para entrada o salida de sustancias esenciales</p>  <p>Límite general</p>

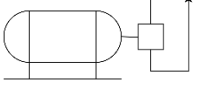
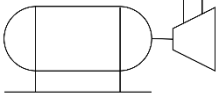
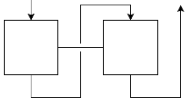
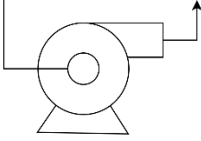
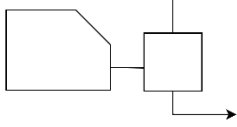
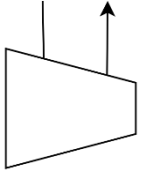
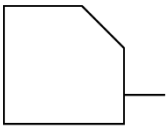
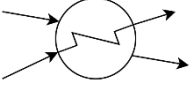
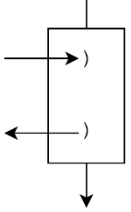
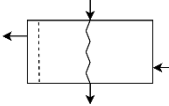
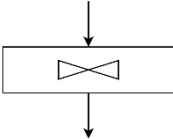
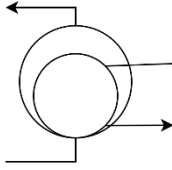
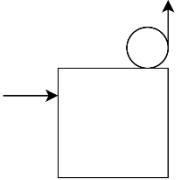
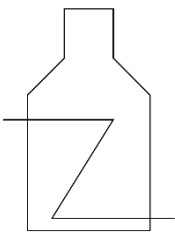
 Filtro de aire general			 Célula electrolítica	
			 Campana general	

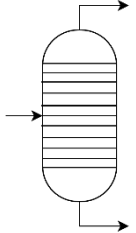
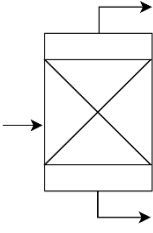
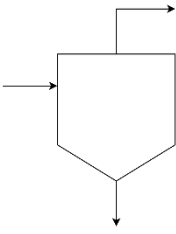
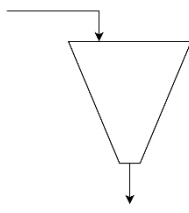
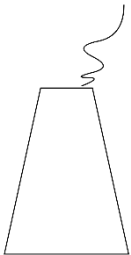
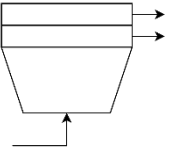
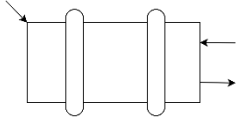
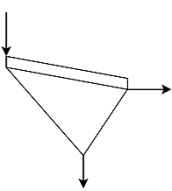
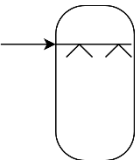
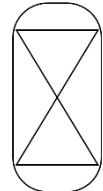
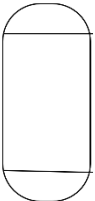
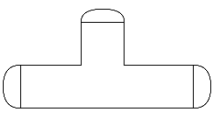
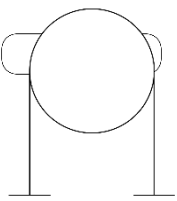
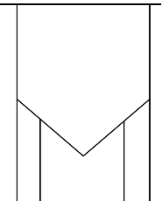
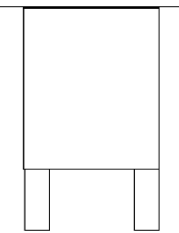
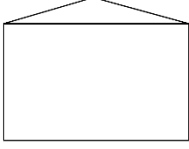
Anexo B.

Tabla 18. Simbología para el dibujo de diagramas de procesos sugerido por la norma P.2.0401.01 de PEMEX.

Tubería				
Tubería auxiliar 	Tubería principal 	Tubería enterrada 	Mezclador estático 	Válvula de compuerta 
Válvula de globo 	Válvula macho 	Válvula de tres vías 	Válvula de cuatro vías 	Válvula de retención 
Válvula de mariposa 	Válvula de bola 	Válvula automática 	Motor eléctrico 	

Filtros				
Filtro canasta	Filtro para toma de aire	Filtro cartucho	Filtro prensa	
				
Equipos empleados en torres de enfriamiento				
	Clorador	Cilindro de cloro	Evaporador de cloro	
				
Bombas				
Bomba centrífuga horizontal con motor eléctrico o turbina	Bomba centrífuga vertical con turbina	Bomba dosificadora	Bomba de vacío	Bomba rotatoria con motor eléctrico o turbina
				
	Bomba de pozo centrífuga vertical con motor eléctrico o turbina	Bomba para drenaje sumergida servicio no corrosivo con motor eléctrico	Bomba para drenaje sumergida servicio corrosivo con motor eléctrico	
				

Compresores				
<p>Compresor reciprocante de efecto simple con motor eléctrico</p> 	<p>Compresor centrífugo con motor eléctrico</p> 	<p>Compresor reciprocante 2 pasos</p> 	<p>Soplador con motor eléctrico</p> 	<p>Compresor reciprocante con turbina</p> 
<p>Compresor centrífugo</p> 	<p>Turbina de vapor</p> 			
Equipo térmico				
<p>Cambiador de calor de cubierta y tubos</p> 	<p>Caja enfriadora de tubos concéntricos</p> 	<p>Caja enfriadora núcleos sumergidos</p> 	<p>Enfriador con aire</p> 	<p>Rehervidor de fondos</p> 
<p>Caldera de tubos de agua o humo</p> 	<p>Calentador a fuego directo</p> 			

Equipos diversos				
<p>Torre de destilación</p> 	<p>Columna empacada</p> 	<p>Ciclón</p> 	<p>Tolva</p> 	<p>Chimenea</p> 
<p>Centrifugador a</p> 	<p>Horno</p> 	<p>Tamiz</p> 	<p>Torre de lavado</p> 	<p>Reactores</p> 
Tanques y recipientes				
<p>Recipiente a presión</p> 	<p>Desaereador</p> 	<p>Recipiente de almacenamiento</p> <p>Salchicha</p>  <p>Esfera</p>	<p>Tanque sin tapa</p>  <p>Fondo cónico</p>  <p>Fondo plano</p>	<p>Tanque atmosférico</p> 

Anexo C

Tabla 19. Nomenclatura de los equipos más comunes para el dibujo de diagramas de proceso sugerida por la norma P.2.0401.01 de PEMEX.

Claves de equipo					
B	Extractor	FA	Filtro de aire	CLF	Clarifloculador
BC	Compresor de pistón	FG	Filtro de gas	EC	Separador centrífugo
BP	Bomba de pistón	FC	Filtro temporal	FA	Filtro de arena
BS	Soplador	FL	Filtro de líquido	TG	Trampa de gases
BA	Bomba centrífuga	TA	Tanque acumulador	TQ	Tratamiento químico
BB	Compresor centrífugo	TG	Separador de gases	CHI	Chimenea
BV	Ventilador	TK	Tanque cilíndrico	EA	Agitador
CB	Caldera	TV	Tanque vertical de almacenamiento	ED	Desaereador
CF	Calentador a fuego directo	TE	Tanque esférico	EZ	Mezclador
CT	Torre de enfriamiento	TH	Tanque horizontal de almacenamiento	FLC	Filtro de carbón
DA	Columna de absorción	TR	Reactor	IC	Intercambiador catiónico
DS	Columna de agotamiento	TZ	Tanque mezclador	IA	Intercambiador aniónico
DF	Columna fraccionadora	ME	Motor eléctrico	TL	Trampa de líquidos
DT	Columna de tratamiento	MV	Turbina de vapor o gas	TV	Trampa de vapor

Anexo D

Tabla 20. Nomenclatura para el dibujo de diagramas de proceso sugerida por la norma ISO 10628.

Claves para aparatos y máquinas					
A	Equipo o máquina no clasificados en los otros grupos	K	Columnas	W	Intercambiadores de calor
B	Recipiente, depósito	M	Motores eléctricos	X	Instalaciones de alimentación
C	Reactores químicos	P	Bombas	Y	Transmisiones, motores no eléctricos
D	Generadores de vapor	R	Agitadores, mezcladores	Z	Maquinas trituradoras
F	Filtros, separadores	S	Centrifugadores	Válvulas y conectores	
G	Engranajes	T	Secadores	V	Válvula general
H	Elevadores, transportadores	V	Compresores, bombas de vacío, soplantes		

Anexo E

Tabla 21. Dimensiones de los formatos de dibujo sugeridos por la especificación P.1.0000.06 de PEMEX.

Tipo de formato	Dimensiones (mm)						
	h	l	a	b	c	d	E
A	280	215	235	185	20	10	25
B1	280	405	225	355	25	15	25
B2	280	595	225	555	25	15	25
B3	280	785	225	745	25	15	25
D	560	900	480	845	40	15	50
E	900	1065	820	1010	40	15	50
F	900	1265	820	1210	40	15	50

Tabla 22. Formatos por disciplina sugeridos por la especificación P.1.0000.06 de PEMEX.

Disciplina	Tipo de formato				
	A	B	D	E	F
Proceso			X		
Topografía		X	X		
Geotecnia	X	X	X		
Arquitectura			X	X	
Planificación			X	X	X
Estructuras de concreto	X	X	X	X	X
Estructuras metálicas	X	X	X	X	X
Recipientes			X		
Inst. Hidráulico-sanitaria	X	X	X	X	
Tubería		X	X	X	
Electricidad	X		X	X	
Telecomunicaciones	X	X	X	X	
Aire acondicionado	X		X	X	
Instrumentos	X	X	X		
Líneas de conducción		X	X	X	X
Seguridad Industrial			X	X	
Ingría. Experim. Y Corrs.	X	X	X		
Flexibilidad	X		X		
Estándares	X	X			

Tabla 23. Formato y contenido de carátulas sugeridos en la especificación P.1.0000.06 de PEMEX.

Clave	Descripción	Formato
a	Título principal del documento o proyecto. Debe contener el título del documento y éste se localiza en la parte superior del cuadro principal de la carátula.	Arial, negritas, mayúsculas de 2.5 mm (A y B) y 4.5 mm (D a F).
b	Título del contenido del documento. Se localiza en el mismo cuadro y debe contener la descripción del título principal o bien lo complementa.	Arial, negritas, mayúsculas y minúsculas de 3 mm (A y B) y 5 mm (D a F).
c	Número de proyecto (clave de la obra). Este cuadro debe contener el número de proyecto de acuerdo con el catálogo CIOP y consta de ocho caracteres alfanuméricos.	Arial, normal, mayúsculas de 2 mm (A y B) y 3.5 mm (D a F).
d	Lugar geográfico del proyecto. Debe contener la ubicación geográfica del proyecto.	Arial, normal, mayúsculas de 2 mm (A y B) y 3 mm (D a F).
e	Clave de identificación. Este cuadro debe contener el número de identificación.	Arial, negritas, mayúsculas de 3 mm (A y B) y 6.5 mm (D a F).
f	Número de revisión. Debe contener el último número de la revisión que se le hizo al documento.	Arial, normal, mayúsculas de 2 mm (A y B) y 2.5 mm (D a F).
g	Cuadro de ejecutores del documento. Debe contener las siglas de las personas quienes dibujaron, proyectaron, revisaron y coordinaron el documento.	Arial, normal, mayúsculas de 1.5 mm (A y B) y 2 mm (D a F); y los registros de D a F en 3 mm.
h	Cuadro de escala utilizada. Debe contener la escala que se utiliza	Arial, normal, mayúsculas de 1.5 mm (A y B) y 2 mm (D a F).

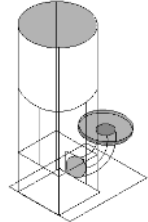
i	Cuadro de acotaciones. Debe contener la unidad de longitud que se utilizó.	Arial, normal, minúsculas de 1.5 mm.
j	Cuadro de fecha de emisión. Este señala la fecha en que se emitió dicho documento.	Arial, normal, mayúsculas de 1.5 mm (A y B) y 2 mm (D a F). Arial,
k	Cuadro del lugar de elaboración. Debe contener el lugar donde se elaboró el documento.	Arial, normal, mayúsculas de 1.5 mm
l	Cuadro del logotipo. Debe contener el logotipo de la institución que elabora el documento.	En el caso de PEP, se debe apegar a lo establecido en el Manual de Imagen Corporativa.
m	Cuadro vacío para sello. Debe contener el sello de "APROBADO PARA CONSTRUCCION".	
n	Cuadro de aprobación de ingeniería. Debe contener las siglas y firmas de aprobación de los funcionarios autorizados de PEP (Supervisor, Subgerente y Gerente).	Arial, normal, mayúsculas de 2 mm (D a F).
o	Cuadro de dibujos de referencia. Debe indicar con que dibujos se complementa el documento.	Arial, normal, mayúsculas de 2 mm (D a F).
p	Cuadro de control de revisiones. Debe contener el número de la revisión, una breve descripción en lo que consistió la revisión, la fecha en que se hizo, así como quienes la ejecutaron y aprobaron.	Arial, normal, mayúsculas de 2 mm (D a F).
q	Cuadro de control de planos. Debe contener la fecha y el número de envío con el cual fue remitido a construcción.	Arial, normal, mayúsculas de 2 mm (D a F).
s	Notas: Deben contener lo relativo a requisiciones y datos técnicos referentes a: equivalencias de niveles, resistencia y calidad de los materiales por utilizar, procedimientos constructivos especiales y en general todos los datos que complementen o modifiquen el documento. Se deben localizar siempre del lado derecho del formato.	Arial, normal, mayúsculas de 3 mm (D a F).

Anexo F.



Rev:	0
Elaboró:	SIHF

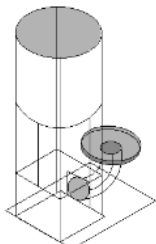
Hoja de datos de bombas sumergibles

Tipo:	Sumergible / Vortex	Condiciones de operación	Fluido:	Agua cruda
Cantidad:	2		Temp. De Bombeo:	20°C
Planta:	PTAR San Lorenzo, Xochimilco		Caudal:	60 L/min
Ubicación:	Tratamiento primario		Altura:	2.8 m
Clave del equipo:	P-001 A/B		Potencia:	1/2 HP
Servicio:	Suministro de agua residual al hidrociclón			



Rev:	0
Elaboró:	SIHF

Hoja de datos de bombas sumergibles

Tipo:	Sumergible / Vortex	Condiciones de operación	Fluido:	Agua pretratada
Cantidad:	2		Temp. De Bombeo:	20°C
Planta:	PTAR San Lorenzo, Xochimilco		Caudal:	60 L/min
Ubicación:	Tratamiento primario		Altura:	2.8 m
Clave del equipo:	P-002 A/B		Potencia:	1/2 HP
Servicio:	Suministro de agua residual pretratada al reactor			



Rev:	0
Elaboró:	SIHF

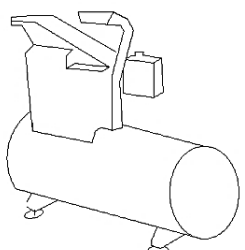
Hojas de datos de bomba centrífuga

Tipo:	Centrífuga	Condiciones de operación	Fluido:	Lodos
Cantidad:	1		Temp. De Bombeo:	20°C
Planta:	PTAR San Lorenzo, Xochimilco		Caudal:	28 L/min
Ubicación:	Tratamiento de lodos		Altura:	0.23 m
Clave del equipo:	P-003		Potencia:	3/4 HP
Servicio:	Suministro de lodos resultantes del reactor al filtro			
				



Rev:	0
Elaboró:	SIHF

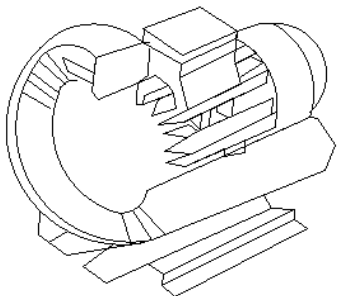
Hoja de datos de compresor

Tipo:	Recíproco	Condiciones de operación	Fluido:	Aire
Cantidad:	1		Caudal:	11.5 cm ³ /h
Planta:	PTAR San Lorenzo, Xochimilco		Capacidad	10 L
Ubicación:	Tratamiento de lodos		Potencia:	1 HP
Clave del equipo:	V-002		Densidad:	1.225 kg/m ³
Servicio:	Suministro de aire a la línea de lodos			



Rev:	0
Elaboró:	SIHF

Hoja de datos de soplador

Tipo:	Desplazamiento positivo	Condiciones de operación	Fluido:	Aire
Cantidad:	1		Temp.:	20°C
Planta:	PTAR San Lorenzo, Xochimilco		Caudal:	21 m ³ /h
Ubicación:	Tratamiento secundario		Potencia:	290 W
Clave del equipo:	V-001			
Servicio:	Suministro de oxígeno al RBT			



Rev:	0
Elaboró:	SIHF

Hoja de datos de separador de arena

Tipo:	Hidrociclón	Condiciones de operación	Fluido:	Agua cruda
Cantidad:	1		Temp.:	20°C
Planta:	PTAR San Lorenzo, Xochimilco		Caudal:	11-17 m ³ /h
Ubicación:	Tratamiento primario		Diámetro:	2"
Clave del equipo:	F-001			
Servicio:	Separación de arena presente en el agua residual			



Rev:	0
Elaboró:	SIHF

Hoja de datos de válvulas

Tipo:	Bola	Condiciones de operación	Fluido:	Agua
Cantidad:	13		Temp.:	20°C
Planta:	PTAR San Lorenzo, Xochimilco		Caudal:	60 L/min
Ubicación:	Tratamiento primario, secundario, terciario y lodos		Material	PVC
Clave del equipo:	HV-001		Diámetro:	2"
Servicio:	Paso o interrupción del flujo			