



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ingeniería

Diagnostico energético de un sistema de tratamiento de agua residual

TESINA

Que para para obtener el título de:

Especialista en Ahorro y Uso Eficiente de Energía

Presenta:

Ing. Víctor Castillo Jiménez

Tutor:

Dr. Carlos Chávez Baeza

Ciudad Universitaria, CD. MX., 2020



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.

Contenido

I.	Introducción	4
II.	Marco contextual	5
III.	Planteamiento del Problema.....	12
IV.	Justificación	12
V.	Antecedentes.....	13
VI.	Objetivo	14
	Objetivo general	14
	Objetivos específicos	14
VII.	Descripción actual de los sistemas de la planta de tratamiento	15
VIII.	Descripción de las líneas hidráulicas.....	18
	Línea hidráulica Caja de Derivación.....	18
	Línea hidráulica Cárcamo 1	19
	Línea hidráulica Tanque de Homogenización	20
	Línea hidráulica Sistema de tratamiento Físicoquímico (DAF).....	20
	Línea hidráulica Cárcamo 2	21
	Línea hidráulica Reactor Anaeróbico Flujo Ascendente (RAFA 1& 2)	21
	Línea hidráulica Tanque Anóxico	22
	Línea hidráulica Reactor Aeróbico (RB).....	22
	Línea hidráulica Clarificador.....	23
IX.	Descripción del equipo de bombas sumergibles	24
	Bomba centrífuga	25
	Curva característica de la bomba	27
	Equipos de bombeo actuales.....	28
X.	Análisis de carga por línea hidráulica	29
	Línea hidráulica Caja Derivadora	29
	Líneas hidráulicas gemelas con equipo de bombeo 6.5 HP	34
	Líneas hidráulicas con equipo de bombeo 10 HP y 20 HP	35
XI.	Diagnóstico y Propuestas de Ahorro Energético del sistema de bombeo hidráulico.....	36
	Análisis de Demanda eléctrica y tarifas de la PTAR	36

Propuestas de ahorro y uso eficiente de la energía	44
Ahorro energético y económico de la propuesta	62
Caso hipotético de facturación para comparación de ahorro en facturación.....	64
XII. Conclusiones	68
XIII. Apéndice I. Análisis de carga por línea hidráulica	70
Línea hidráulica Cárcamo 1	70
Línea hidráulica Tanque de Homogenización	71
Línea hidráulica DAF.....	72
Línea hidráulica Cárcamo 2	73
Línea hidráulica RAFA 1 &2 (Reactor Anaerobio).....	74
Línea hidráulica Anóxico 1 & 2.....	75
Línea hidráulica Reactor Aerobio 1 & 2.....	76
Línea hidráulica Clarificador 1 & 2	77
XIV. Apéndice 2. Isométricos de líneas hidráulicas	78
XV. Apéndice 3. Ficha técnica equipo de bombeo	83
I. Bibliografía.....	86

I. Introducción

El rubro energético representa en cualquier sector un pilar de suma importancia, por lo cual cualquier situación que afecte para bien o para mal dicho rubro, atrae la atención inmediata, de tal forma que el término de ahorro y uso eficiente de la energía actualmente ha tomado una gran relevancia a nivel mundial, tanto por cuestiones económicas, técnicas, sociales y ambientales.

El sector económico productivo de bienes y servicios, es uno de los sectores con mayor consumo energético a nivel mundial, con lo que poder incidir en su forma de consumo con perspectivas de ahorro y uso eficiente, se presentan muy atractivas tanto para dichas empresas como a la población que abastecen o proporcionan el servicio. Sin embargo no solo los bienes o servicios prestados tiene un consumo de recursos energéticos y/o materiales, también el tratamiento de los residuos generados durante estas actividades presenta un consumo energético, que representa en muchos casos un porcentaje bastante importante. Tal es el caso del tratamiento de aguas residuales generadas por el sector productivo, dichas aguas residuales deben de pasar por una serie de procesos para su saneamiento, estos procesos son muy diversos en cuanto a su funcionamiento y por lo tanto en sus requerimientos, con lo cual la demanda energética de cada uno ellos es diversa, por lo que se presenta una posibilidad de oportunidades de ahorro energético atractiva.

Desde esta perspectiva resulta factible implementar y promover, proyectos de ahorro y uso eficiente de la energía, a aquellas empresas que presentan dificultades o elevados consumos durante el tratamiento de sus residuos.

En el presente trabajo se muestra la implementación de un proyecto de ahorro y uso eficiente de la energía, para una empresa que hace del manejo de las aguas residuales de un parque industrial, la cual cuenta con varios sistemas de bombeo, sopladores y agitadores. Dicha empresa presenta consumos muy variables de energía eléctrica así como altas facturaciones por dicho rubro.

II. Marco contextual

Una planta de tratamiento de aguas residuales de un desarrollo industrial ubicado en una zona industrial de San Luis Potosí, cuenta con un proceso de tratamiento convencional de lodos activados bajo la modalidad de flujo continuo y está diseñada para tratar un flujo de 30 L/s de aguas residuales. Dicha planta fue construida para tratar el agua producto de los servicios de las empresas que componen el sistema del parque industrial. Teniendo como principal objetivo contar con un proceso de tratamiento biológico que permita obtener agua residual tratada que cumpla con la NOM-003-SEMARNAT-1997. La cual establece los límites máximos de permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público

Actualmente la PTAR (Planta de Tratamiento de Agua Residual) se encuentra operando a capacidad máxima hidráulica así como capacidad máxima de tratamiento de carga orgánica. Las variaciones en el flujo afluente y las concentraciones de cargas contaminantes que llegan al sistema son excesivamente altas, provocando que la eficiencia de la PTAR se vea seriamente afectada.

En la figura 1 se muestra una vista aérea de la planta en el complejo industrial, mientras que en la figura 2 se presenta un layout de las diferentes secciones y ubicación dentro de la planta.



Fig. 1 Imagen área de la PTAR del complejo industrial

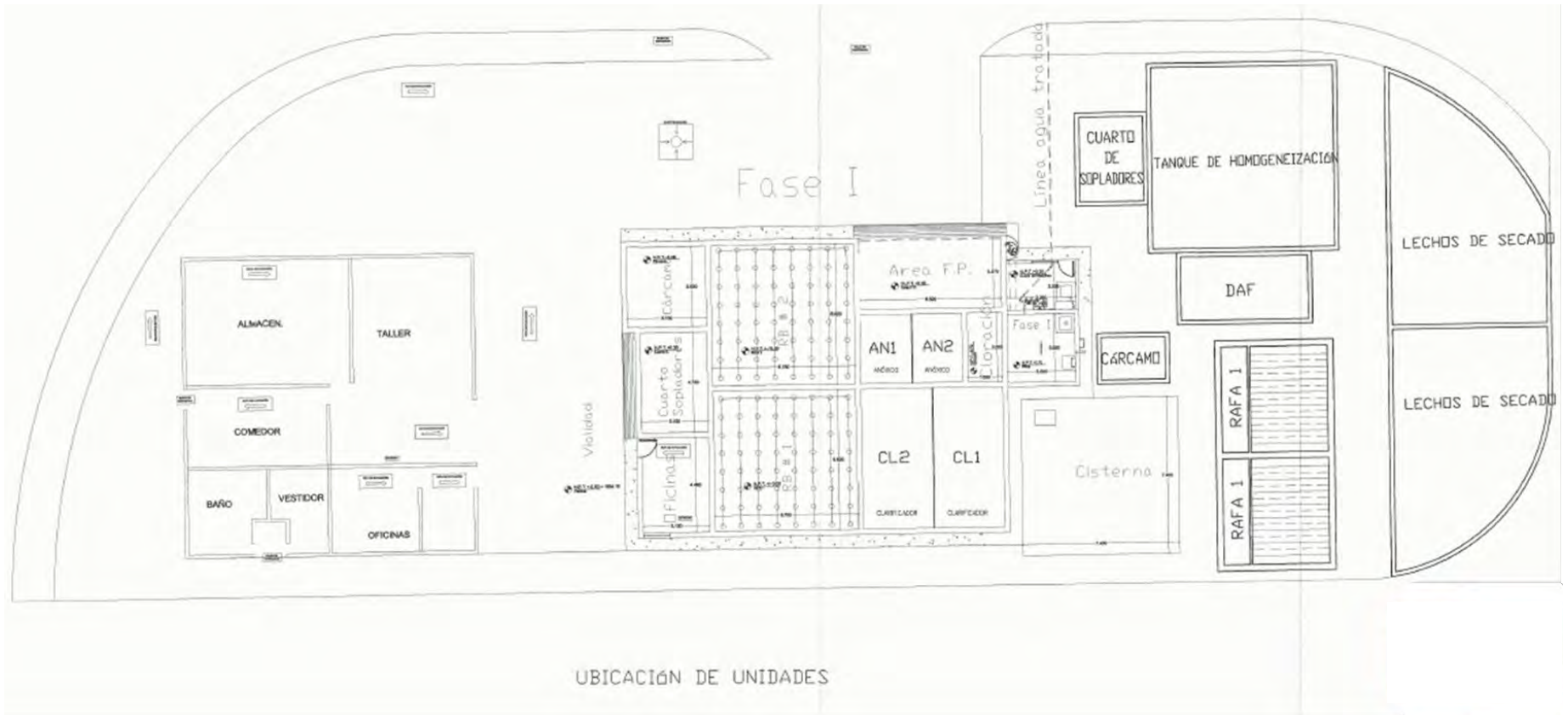


Fig.2 Layout de la PTAR del complejo industrial

Descripción general de la P.T.A.R. (Planta de Tratamiento de Agua Residual)

La planta cuenta con una serie de procesos en serie, los cuales tienen diferentes requerimientos y funciones. Desde el punto de vista energético cada etapa tiene un consumo específico, resultante de los equipos de bombeo, agitación y/o sopladores, dependiendo cada etapa. El sistema de saneamiento cuenta con 8 etapas de tratamiento, de las cuales se explica brevemente su función a continuación.

Caja derivadora de excedencias

Toda el agua que ingresará a la planta pasa por el sistema de rejillas donde se tiene un sistema de válvulas aguas arriba, al cual se le llama caja derivadora, misma que tiene la función de conducir el excedente de aguas generadas hacia el sistema de alcantarillado. El gasto que se desaloja es el que sobrepasa la capacidad de tratamiento de la planta. El excedente se conduce al sitio de vertido del sistema. El desvío de caudal únicamente ocurre en funcionamiento cuando se presenten precipitaciones pluviales. El volumen de agua que pasa a través de la caja derivadora se conduce a la siguiente operación unitaria (desbaste mediante rejillas de acero inoxidable de diferente abertura) y posteriormente hacia el cárcamo de bombeo.

Cárcamo de bombeo

Sistema que permite elevar el agua residual hacia la siguiente etapa en el tren de tratamiento, que consiste en el tanque de homogeneización, la correcta operación del cárcamo de bombeo ayuda a que el homogeneizador realice su función de manera óptima en la igualación de caudales y cargas de contaminantes.

Tanque de homogeneización

Permite controlar las variaciones entre los caudales máximos y mínimos, además de amortiguar las cargas de contaminantes, reduciendo el tamaño y los costos de las unidades de tratamiento aguas abajo. Dicho tanque descarga hacia el sistema fisicoquímico (DAF) para su siguiente tratamiento biológico. Cabe mencionar que en el tanque homogeneizador se tiene el sistema de aireación con el fin de lograr una mejor igualdad en las condiciones fisicoquímicas del agua residual afluente,

también en este tanque se tiene un dispositivo OIL-MOP que permitirá el retiro de grasas y aceites que lleguen al sistema.

Tratamiento fisicoquímico DAF

La finalidad principal de este proceso es asegurar el cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-1996. Es importante mencionar que la función principal del DAF no es la de remover materia orgánica, ya que sólo se tiene una remoción del 20% en esta unidad. La descarga de agua del DAF se envía hacia un pequeño cárcamo donde se tienen las bombas y tuberías que alimentan al tratamiento anaerobio.

Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente

La finalidad de este sistema es la remoción de contaminantes mayor al 50%, lo cual permitirá llegar al tratamiento biológico anóxico-aerobio con una carga contaminante más baja y consecuentemente un menor consumo en la energía eléctrica para el suministro de oxígeno, que es necesario para el tratamiento biológico aerobio, además el reactor cuenta con un sistema de captación, filtrado y quemado del biogás generado durante el tratamiento anaerobio. Este Sistema de Tratamiento propuesto opera sin más energía que la necesaria para vencer la carga hidráulica.

Reactores anóxicos

En este sistema se lleva a cabo la desnitrificación. El agua desnitrificada será conducida al reactor aerobio. El equipamiento de los reactores anóxicos consiste en un mezclador (por reactor) que favorecerá el contacto bacteriano y la homogeneización para lograr una mejor desnitrificación.

Reactor Aerobio

Este sistema aplica un tratamiento biológico de flujo continuo, a los cuales solo les es necesario el equipamiento de aireación. En los reactores aerobios se tienen bombas, tuberías y válvulas para regresar licor mezclado hacia los tanques anóxicos.

Clarificación secundaria

La clarificación del agua se lleva a cabo en dos sedimentadores rectangulares. Se tienen instaladas válvulas, tuberías y bombas para regresar la biomasa a los reactores anóxicos, también se tiene una línea de tubería para regresar biomasa al cárcamo construido para recibir el efluente del DAF, con el objetivo de enviar el lodo biológico hacia su estabilización (digestión) anaerobia.

Lechos de secado

Tienen como función principal el deshidratado de los lodos producto de la purga de los reactores anaerobios.

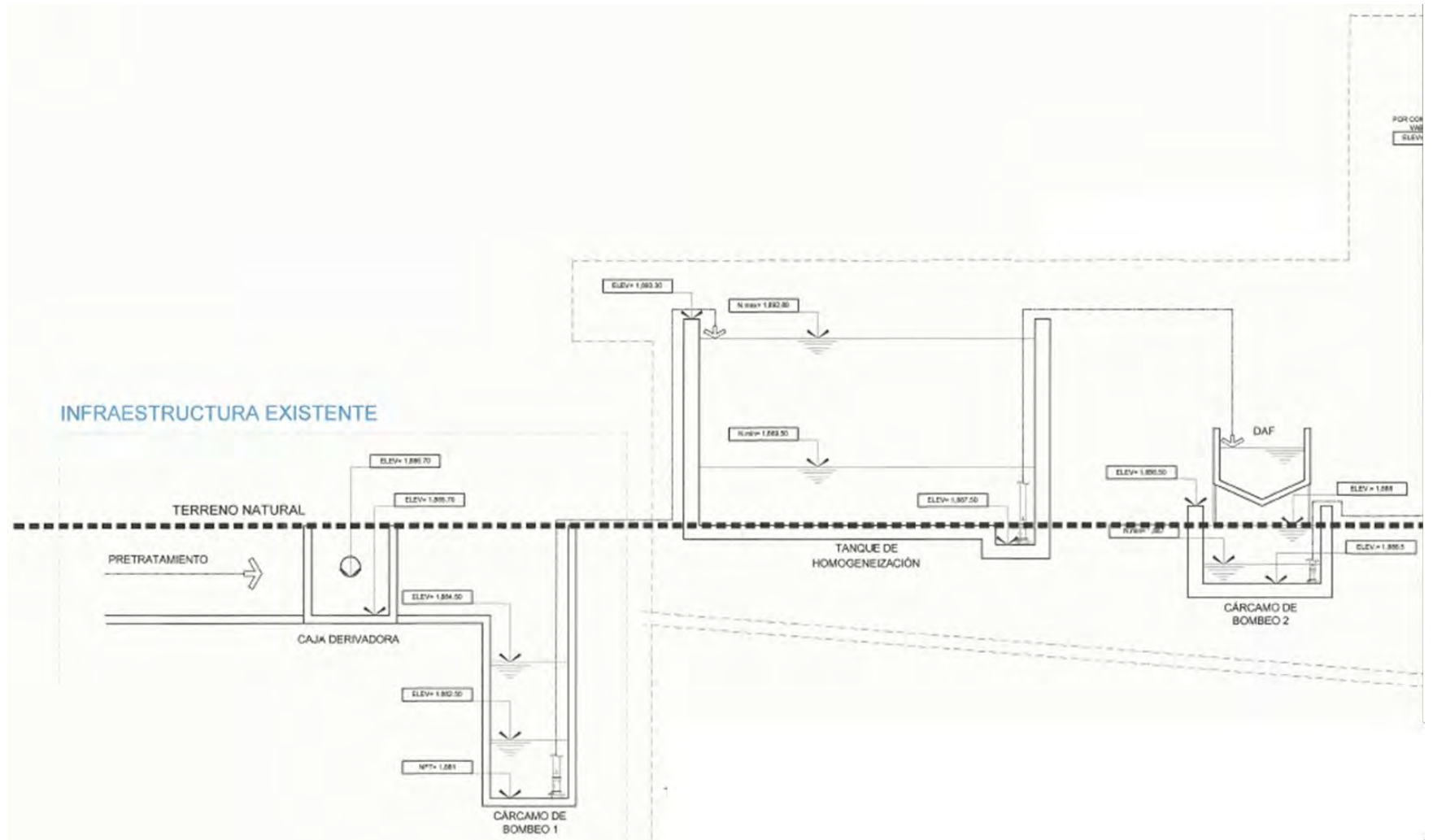


Fig 3. Esquema operacional de la planta PTAR

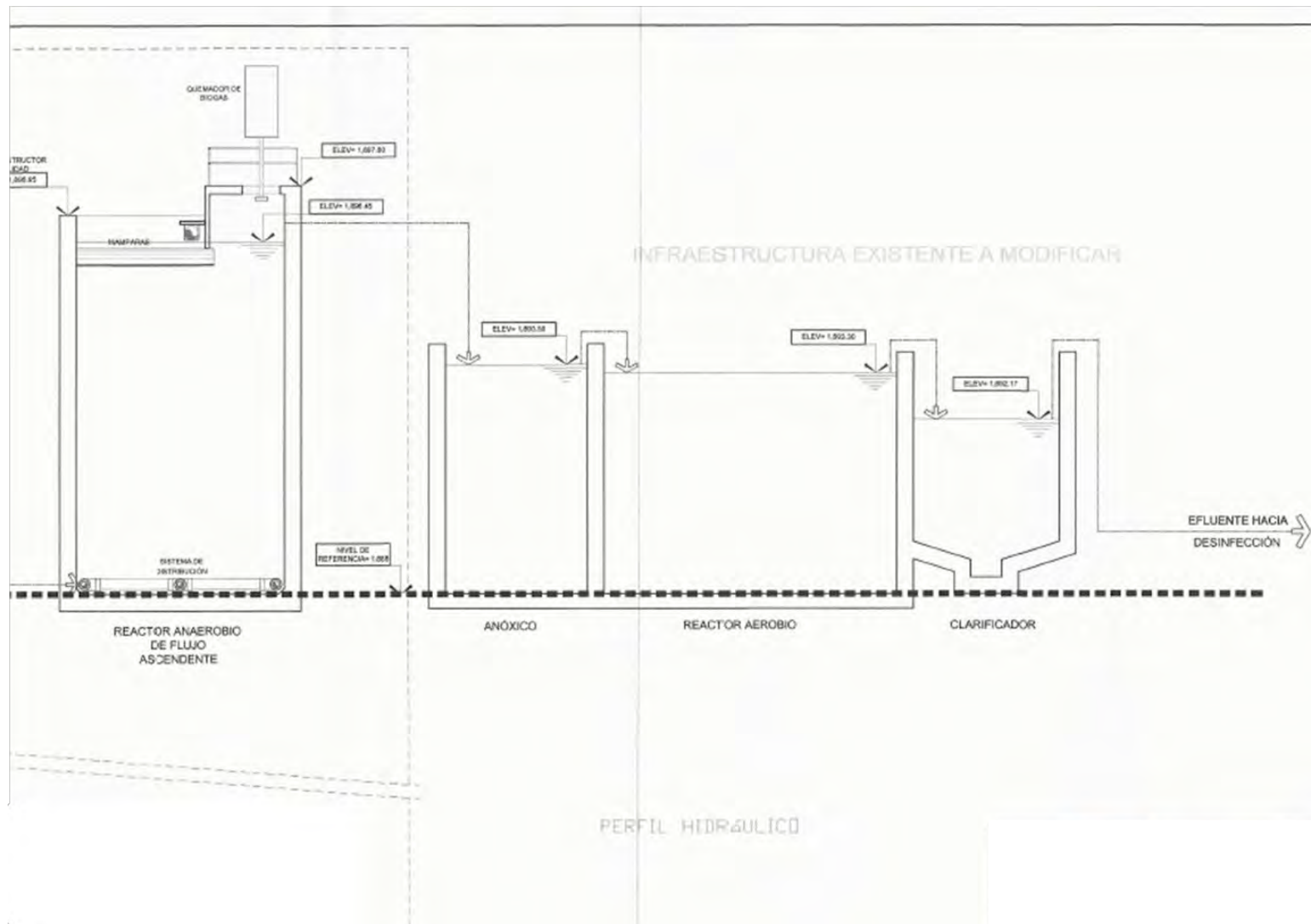


Fig.4 Esquema operacional de la planta PTAR

III. Planteamiento del Problema

La Planta de Tratamiento de Agua Residual no cuenta con un diagnóstico energético de sus sistemas y procesos, así mismo los administradores de la planta han detectado un incremento en su facturación eléctrica durante este periodo de transición de esquema tarifario. Teniendo como principal sistema identificado las bombas hidráulicas para el transporte y manejo del agua, por lo tanto es necesario el un análisis del sistema hidráulico para conocer las posibles oportunidades de ahorro y uso eficiente de la energía, aunado a esto las formas de operación de la planta podrían presentar problemáticas, puesto que no se tiene un control ni condiciones operacionales óptimas del proceso. Por lo tanto se desconoce la eficiencia de operación de los equipos y las causas de los consumos energéticos que presentan, impidiendo tener ahorros y aprovechamientos máximos de la energía.

IV. Justificación

En base a la información anterior, resulta evidente la necesidad de evaluar el sistema hidráulico de la planta de tratamiento, así como los diversos procesos diferentes al transporte del agua (sopladores, agitadores, etc.), para identificar oportunidades de ahorro de energía. Así mismo se espera aumentar el rendimiento del tratamiento del agua residual, con lo cual se tendrán no solo mayores beneficios energéticos y económicos, sino también medio ambientales.

Una de las metas a corto plazo de la empresa que maneja y trata las aguas residuales, es aumentar su capacidad de tratamiento ocupando los mismos recursos actuales o en su caso con una reducción de estos, por lo que se tiene la disposición por parte de la empresa, de desarrollar un proyecto de reestructuración si así le es conveniente y redituable.

Dado lo anterior, se justifica entonces llevar a cabo un proyecto de ahorro y uso eficiente de la energía en esta empresa, ya que esto permitirá tener ahorro energéticos, ahorros económicos, implementación de sistemas más eficientes, aumento en la capacidad de procesamiento y una reducción en las emisiones de contaminantes ayudando al medio ambiente.

V. Antecedentes

En una planta de tratamientos de aguas residuales que da servicios a un parque industrial ubicado en San Luis Potosí, S.L.P. se cuenta con un sistema de saneamiento, el cual tiene una red hidráulica para el manejo del agua, varios equipos de bombeo hidráulico, así como sopladores y sistemas de agitación en diversos puntos del sistema. Los cuales forman parte de los equipos analizados en una campaña de mediciones realizada en Diciembre de 2018, con la finalidad de realizar un diagnóstico energético e identificar oportunidades de ahorro y de mejoramiento del sistema.

Los alcances de dicha campaña de mediciones sirvieron de preámbulo para identificar lo siguiente:

1. No se cuenta con la información necesaria para determinar el potencial de ahorro de sus diferentes usuarios de energía.
2. El sistema de transporte de agua residual consiste en una red hidráulica compleja, de la cual se desconoce qué tan eficientemente fue diseñada (tubería, accesorios, bombas hidráulicas, etc.).
3. Algunos servicios y sistemas operan fuera de un horario específico, lo cual ocasiona que una parte de la facturación eléctrica se vea impactada por los diferentes horarios facturables.

VI. Objetivo

Objetivo general

Realizar un diagnóstico energético al sistema de aguas residuales de la planta de tratamiento, que permita identificar los potenciales de ahorro así como las posibles mejoras en el rendimiento del sistema, de tal forma que se tenga un ahorro energético y económico de la planta.

Objetivos específicos

- a. Evaluación del desempeño energético del sistema hidráulico para el transporte de las aguas bajo tratamiento
- b. Análisis económico del desempeño del sistema en cuestión bajo las condiciones actuales de operación
- c. Determinar propuestas de ahorro y uso eficiente de la energía
- d. Planteamiento de propuestas para una operación adecuada del sistema, con la finalidad de tener un manejo óptimo de los costos adecuado al nuevo esquema eléctrico tarifario

VII. Descripción actual de los sistemas de la planta de tratamiento

La PTAR, procesa parte de las aguas residuales del parque industrial al que pertenece, cuya carga hidráulica tiene variaciones a lo largo del día, así como de la época del año, sin embargo los operarios de la planta, cuentan con un análisis promedio anual de la variación del gasto volumétrico que ingresa a la planta en un día típico, como lo muestra la figura 5.

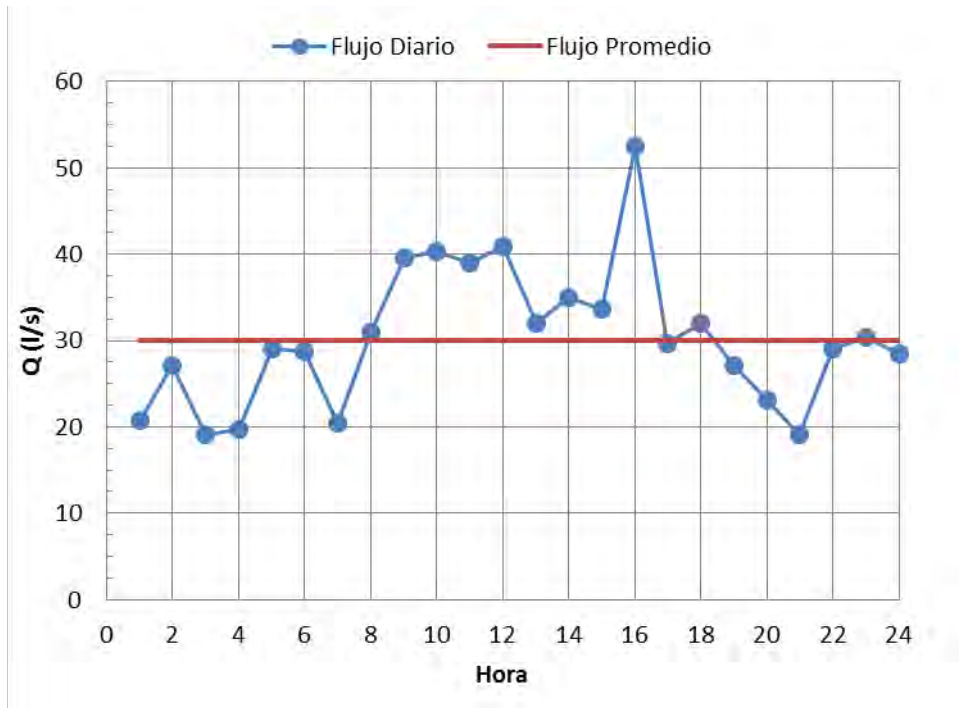


Figura 5. Flujo en planta para un día típico

Por lo que los operarios decidieron procesar un flujo promedio de 30 l/s a lo largo del día, con la finalidad de que todos los equipos y sistemas trabajen con un valor fijo, para que los tiempos de reacción bioquímica, de residencia y procesamiento estén bien establecidos y se trate las aguas residuales con la mayor eficiencia.

La planta cuenta con 9 sistemas principales que conforman el tren de tratamiento del agua, a lo largo de cada uno de los procesos principales de tratamiento, cada etapa de tratamiento se encuentra conectada por 2 líneas hidráulicas gemelas, que transportan cada una un flujo promedio de 15 l/s , que en conjunto transportan los 30 l/s para los que fue diseñada la planta.

La figura 6 presenta un diagrama de bloques donde se muestra el funcionamiento de forma general del tren de tratamiento y la conexión de cada una de las etapas que conforman este.

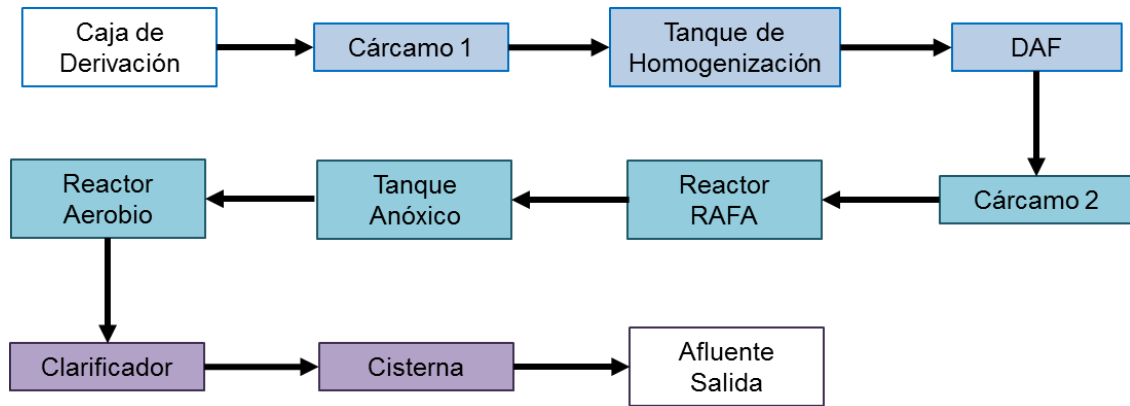


Figura 6. Funcionamiento del tren de tratamiento

Como se mencionó, se cuentan con 9 etapas de tratamiento, las cuales se muestran en una vista isométrica de la planta en la figura 7.

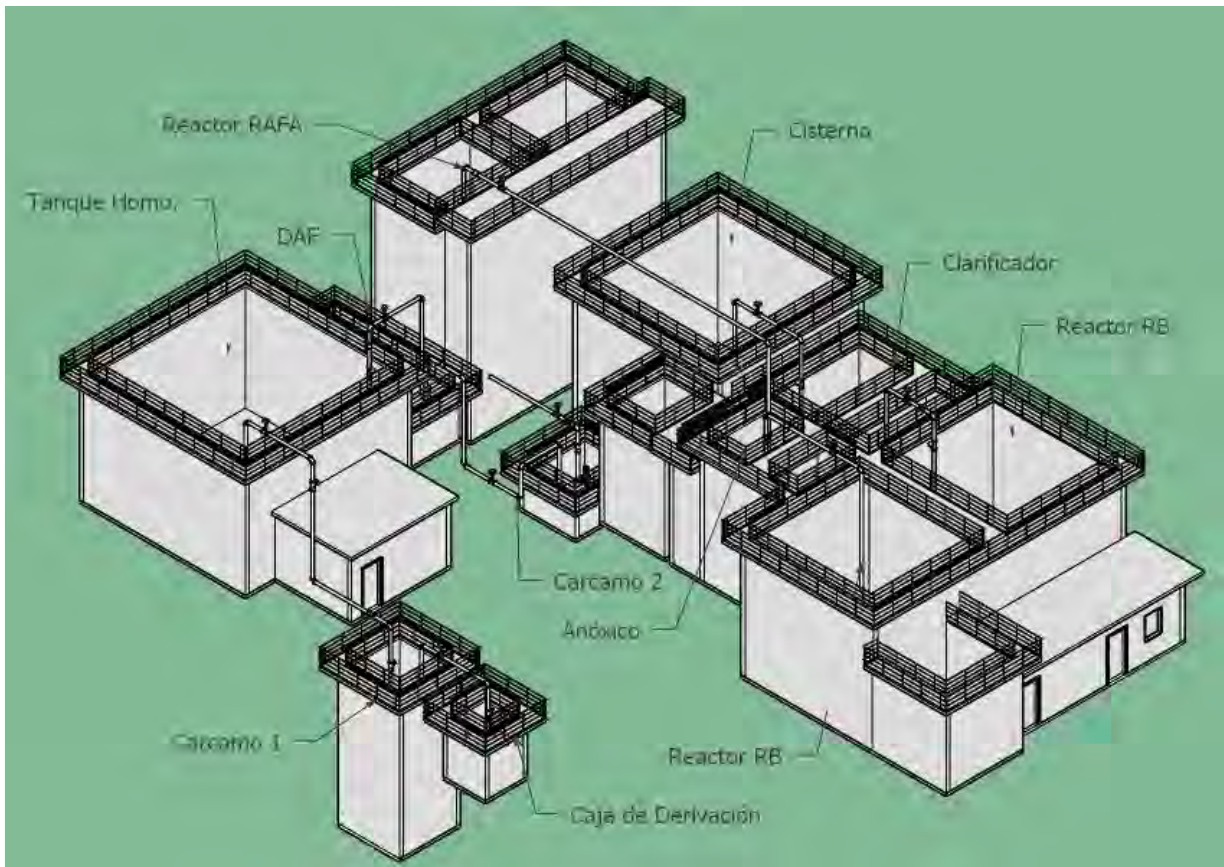


Figura 7. Vista isométrica de la planta de tratamiento

La figura 7 muestra una vista isométrica de la planta de tratamiento, donde solo son visibles los edificios principales, así como una de las líneas gemelas de toda la etapa de tratamiento, la planta cuenta con otros equipos y sistemas, sin

embargo son las líneas hidráulicas las que tienen el mayor número de equipos que consumen un gran porcentaje de energía eléctrica.

La planta cuenta con 29 equipos de consumo eléctrico considerable, entre bombas, sopladores y agitadores. Dichos equipos se presentan en la tabla 1.

Infraestructura	Equipos	Cantidad	Potencia	Unidad	Régimen de operación
Caja Derivadora	Bomba	2	6.5	HP	Continua
Cárcamo 1	Bomba	2	6.5	HP	Continua
Cuarto de Sopladores	Sopladores	2	20	HP	Opera uno a la vez
Tanque de Homogenización	Bomba	2	6.5	HP	Continua
DAF	Bomba	2	6.5	HP	Continua
Cárcamo 2	Bomba	2	6.5	HP	Continua
RAFA 1 (Reactor Anaerobio)	Bomba	2	10	HP	Opera una a la vez
RAFA 2 (Reactor Anaerobio)	Bomba	2	10	HP	Opera una a la vez
Anóxico 1	Bomba	2	20	HP	Opera una a la vez
Anóxico 2	Bomba	2	20	HP	Opera una a la vez
Reactor Aerobio 1	Bomba	2	6.5	HP	Continua
Reactor Aerobio 2	Bomba	2	6.5	HP	Continua
Clarificador 1	Bomba	2	6.5	HP	Continua
Clarificador 2	Bomba	2	6.5	HP	Continua
Cisterna	Bomba	2	6.5	HP	Continua
Afluente Salida Cisterna	Bomba	1	15	HP	Continua

Tabla 1. Equipos del tren de tratamiento

Como se observa en la tabla 1, los equipos principales son de bombeo hidráulico, por lo cual gran parte de la facturación eléctrica es debido a la operación de estos sistemas, por lo que de primer instancia el equipo y líneas hidráulicas son el principal objeto de análisis energético.

VIII. Descripción de las líneas hidráulicas

Como se mencionó anteriormente se tienen 9 etapas de tratamiento, de las cuales 7 tienen líneas gemelas, mientras que para el caso de los 2 Reactores Anóxicos solo se tiene una línea para los 2 reactores impulsada por una bomba de 20 HP, mientras que para el caso de los 2 Reactores Anaerobios (RAFA) se tiene una sola línea hidráulica por cada uno de ellos.

Línea hidráulica Caja de Derivación

La línea hidráulica que sale de la Caja de Derivación y alimenta el Cárcamo 1 cuenta con las siguientes características.

Línea hidráulica Caja Derivadora				
Accesorio o Línea	Diámetro Nominal	Diámetro métrico	Largo (m)	Longitud Equivalente (Le/D)
Codo Standard 90°	3"			30
Tubería	3"	77.9 mm	0.59	
Válvula No Retorno	3"			100
Tubería	3"	77.9 mm	0.28	
Codo Standard 90°	3"			30
Tubería	3"	77.9 mm	0.58	
Válvula Check	3"			150
Tubería	3"	77.9 mm	1.65	
Válvula Globo	3"			340
Tubería	3"	77.9 mm	0.92	
Codo Standard 90°	3"			30
Tubería	3"	77.9 mm	7.09	

Tabla 2. Datos hidráulicos Caja Derivadora

En la figura 8 se puede observar de forma más detallada los accesorios que componen la línea y una noción más clara de la funcionalidad de esta línea hidráulica. Esta línea hidráulica cuenta con una línea gemela paralela que tiene las mismas características, la cual transporta de igual forma un flujo promedio de 9 l/s y es impulsada con una bomba sumergible de 6.5 HP.

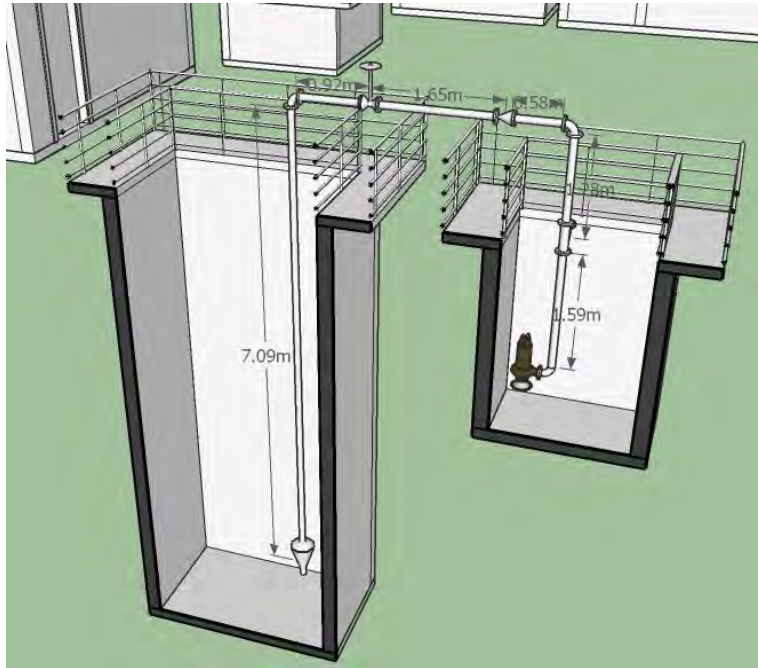


Figura 8. Vista de línea hidráulica de la Caja de Derivación

Línea hidráulica Cárcamo 1

La línea hidráulica que sale del Cárcamo 1 y alimenta el Tanque de Homogenización cuenta con las siguientes características.

Línea hidráulica Cárcamo 1				
Accesorio o Línea	Diámetro Nominal	Diámetro métrico	Largo (m)	Longitud Equivalente (Le/D)
Codo Standard 90°	3"			30
Tubería	3"	77.9 mm	4.92	
Válvula No Retorno	3"			100
Tubería	3"	77.9 mm	1.71	
Codo Standard 90°	3"			30
Tubería	3"	77.9 mm	0.79	
Válvula Check	3"			150
Tubería	3"	77.9 mm	2.9	
Codo Standard 90°	3"			30
Tubería	3"	77.9 mm	4.30	
Tubería	3"	77.9 mm	1.05	
Tubería	3"	77.9 mm	2.32	
Válvula Globo	3"			340
Tubería	3"	77.9 mm	0.91	
Tubería	3"	77.9 mm	5.52	

Tabla 3. Datos hidráulicos Cárcamo 1

Línea hidráulica Tanque de Homogenización

La línea hidráulica que sale del Tanque de Homogenización y alimenta el Sistema de tratamiento Físicoquímico (DAF) cuenta con las siguientes características.

Línea hidráulica Tanque de Homogenización				
Accesorio o Línea	Diámetro Nominal	Diámetro métrico	Largo (m)	Longitud Equivalente (Le/D)
Codo Standard 90°	3"			30
Tubería	3"	77.9 mm	4.7	
Válvula No Retorno	3"			100
Tubería	3"	77.9 mm	1.09	
Válvula Check	3"			150
Tubería	3"	77.9 mm	0.71	
Codo Standard 90°	3"			30
Tubería	3"	77.9 mm	0.66	
Válvula Globo	3"			340
Tubería	3"	77.9 mm	1.82	
Codo Standard 90°	3"			30
Tubería	3"	77.9 mm	4.47	

Tabla 4. Datos hidráulicos Tanque de Homogenización

Línea hidráulica Sistema de tratamiento Físicoquímico (DAF)

La línea hidráulica que sale del Sistema de tratamiento Físicoquímico (DAF) y alimenta el Cárcamo 2 cuenta con las siguientes características.

Línea hidráulica DAF				
Accesorio o Línea	Diámetro Nominal	Diámetro métrico	Largo (m)	Longitud Equivalente (Le/D)
Codo Standard 90°	3"			30
Tubería	3"	77.9 mm	2.63	
Válvula No Retorno	3"			100
Tubería	3"	77.9 mm	0.37	
Codo Standard 90°	3"			30
Tubería	3"	77.9 mm	0.79	
Válvula Check	3"			150
Tubería	3"	77.9 mm	0.93	
Codo Standard 90°	3"			30
Tubería	3"	77.9 mm	3.82	
Codo Standard 90°	3"			30
Tubería	3"	77.9 mm	1.36	
Válvula Globo	3"			340

Tubería	3"	77.9 mm	1.43	
Codo Standard 90°	3"			30
Tubería	3"	77.9 mm	1.44	
Codo Standard 90°	3"			30
Tubería	3"	77.9 mm	1.93	
Codo Standard 90°	3"			30
Tubería	3"	77.9 mm	2.47	

Tabla 5. Datos hidráulicos DAF

Línea hidráulica Cárcamo 2

La línea hidráulica que sale del Cárcamo 2 y alimenta el Reactor Anaerobio (RAFA) cuenta con las siguientes características.

Línea hidráulica Cárcamo 2				
Accesorio o Línea	Diámetro Nominal	Diámetro métrico	Largo (m)	Longitud Equivalente (Le/D)
Codo Standard 90°	3"			30
Tubería	3"	77.9 mm	1.38	
Válvula No Retorno	3"			100
Tubería	3"	77.9 mm	0.81	
Codo Standard 90°	3"			30
Válvula Check	3"			150
Tubería	3"	77.9 mm	0.72	
Válvula Globo	3"			340
Tubería	3"	77.9 mm	3.94	

Tabla 6. Datos hidráulicos Cárcamo 2

Línea hidráulica Reactor Anaeróbico Flujo Ascendente (RAFA 1 & 2)

La línea hidráulica que sale del Reactor Anaerobio (RAFA 1 & 2) y alimenta al tanque Anóxico 1 & 2 respectivamente cuenta con las siguientes características.

Línea hidráulica RAFA 1 & 2				
Accesorio o Línea	Diámetro Nominal	Diámetro métrico	Largo (m)	Longitud Equivalente (Le/D)
Codo Standard 90°	2 1/2"			30
Tubería	2 1/2"	62.7 mm	6.74	
Válvula No Retorno	2 1/2"			100
Tubería	2 1/2"	62.7 mm	1.63	
Codo Standard 90°	2 1/2"			30
Tubería	2 1/2"	62.7 mm	0.79	
Tubería	2 1/2"	62.7 mm	1.25	

Válvula Globo	2 1/2"			340
Tubería	2 1/2"	62.7 mm	13.86	
Codo Standard 90°	2 1/2"			30
Tubería	2 1/2"	62.7 mm	7.93	

Tabla 7. Datos hidráulicos RAFA 1 & 2

Línea hidráulica Tanque Anóxico

La línea hidráulica que sale del Tanque Anóxico y alimenta a los 2 Reactores Aerobios (RB) con un flujo de 22 l/s, cuenta con las siguientes características.

Línea hidráulica Tanque Anóxico				
Accesorio o Línea	Diámetro Nominal	Diámetro métrico	Largo (m)	Longitud Equivalente (Le/D)
Codo Standard 90°	3"			30
Tubería	3"	77.9 mm	4.67	
Válvula No Retorno	3"			100
Tubería	3"	77.9 mm	0.99	
Válvula Globo	3"			340
Codo Standard 90°	3"			30
Tubería	3"	77.9 mm	1.22	
Válvula Check	3"			150
Tubería	3"	77.9 mm	2.26	
Válvula Globo	3"			340
Tubería	3"	77.9 mm	1.33	
Codo Standard 90°	3"			30
Tubería	3"	77.9 mm	5.47	

Tabla 8. Datos hidráulicos Tanque Anóxico

Línea hidráulica Reactor Aeróbico (RB)

La línea hidráulica que sale del Reactor Aeróbico (RB) y alimenta a los 2 Clarificadores cuenta con las siguientes características.

Línea hidráulica Reactor Aeróbico (RB)				
Accesorio o Línea	Diámetro Nominal	Diámetro métrico	Largo (m)	Longitud Equivalente (Le/D)
Codo Standard 90°	3"			30
Tubería	3"	77.9 mm	3.92	
Válvula No Retorno	3"			100
Tubería	3"	77.9 mm	1.23	
Codo Standard 90°	3"			30
Tubería	3"	77.9 mm	0.39	

Válvula Check	3"			150
Tubería	3"	77.9 mm	0.87	
Válvula Globo	3"			340
Tubería	3"	77.9 mm	0.98	
Codo Standard 90°	3"			30
Tubería	3"	77.9 mm	4.94	

Tabla 9. Datos hidráulicos Reactor Aeróbico (RB)

Línea hidráulica Clarificador

La línea hidráulica que sale de cada uno de los 2 Clarificadores y alimenta a la Cisterna cuenta con las siguientes características.

Línea hidráulica Clarificador				
Accesorio o Línea	Diámetro Nominal	Diámetro métrico	Largo (m)	Longitud Equivalente (Le/D)
Codo Standard 90°	3"			30
Tubería	3"	77.9 mm	4.36	
Válvula No Retorno	3"			100
Tubería	3"	77.9 mm	1.88	
Codo Standard 90°	3"			30
Tubería	3"	77.9 mm	0.93	
Válvula Check	3"			150
Tubería	3"	77.9 mm	1.13	
Válvula Globo	3"			340
Tubería	3"	77.9 mm	1.11	
Codo Standard 90°	3"			30
Tubería	3"	77.9 mm	6.43	

Tabla 10. Datos hidráulicos Clarificador

IX. Descripción del equipo de bombas sumergibles

Un equipo de bombeo es un transformador de energía. Recibe energía mecánica la cual puede proceder de un motor eléctrico, térmico, etc. y la convierte en energía que un fluido adquiere en forma de presión, de posición o de velocidad. (Viejo, 2003)

Dado que existen un gran número de variaciones en los tipos de bombas, existe una clasificación según ciertas características, como lo muestra el esquema en la figura 9.

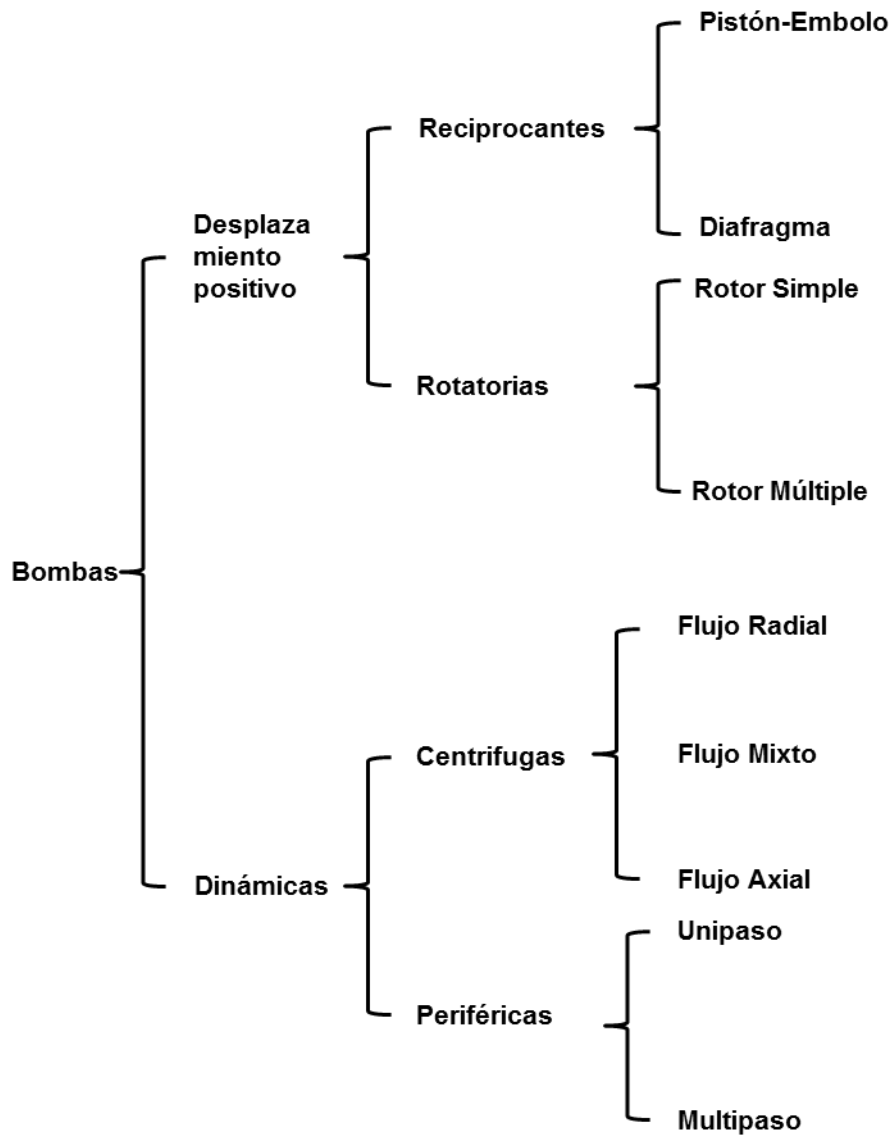


Figura 9. Clasificación de las bombas

Como se observa en la figura anterior, existen dos clasificaciones generales que dependen de su configuración mecánica.

- **Bomba Dinámica:** La característica principal de estas bombas es que imparten velocidad al líquido cuando pasa por el impulsor y luego convierte algo de esa velocidad en presión adicional. Este tipo de bombas a su vez se dividen en dos, en bombas centrífugas (o de voluta) y en bombas periféricas.
- **Bomba de Desplazamiento positivo:** Son aquellas en las que el elemento móvil de la bomba (pistón, embolo o engranaje) desplaza el líquido hacia el cilindro de la bomba y al mismo tiempo eleva la presión del líquido. Este tipo de bombas a su vez se divide en dos: Bombas reciprocantes y bombas rotativas. Raramente las bombas de desplazamiento positivo se utilizan para estaciones de bombeo de aguas residuales o pluviales sin embargo las bombas de tornillo se utilizan en este tipo de estaciones.

Bomba centrífuga

En una bomba centrífuga, el líquido que se encuentra dentro de la bomba adquiere una velocidad y una presión superiores a las que tenía en la entrada y, antes de que el fluido salga por la boquilla de descarga, la velocidad de salida se convierte parcialmente en presión.

Las bombas centrífugas se componen principalmente de un rodete el cual fuerza al líquido a seguir un movimiento rotativo y le suministra a este la velocidad y la presión, y la carcasa la cual dirige el líquido hacia el rodete y hacia la salida y es el lugar en donde la velocidad se convierte en presión. Esta carcasa puede ser de dos tipos, de voluta o de difusión y su diferencia radica en su forma y configuración ya que las de difusión presentan unas chapas guías como se muestra en la figura 10.

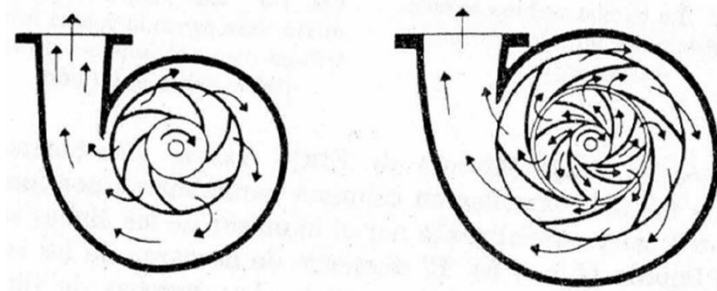


Figura 10. Carcasas de bombas centrífugas

Para el bombeo de aguas residuales, existen tres tipos de bombas principales utilizadas para el manejo.

- **Bomba centrifugas sumergibles:** Son bombas que trabajan, como su nombre lo indica, de manera sumergida y por lo tanto requieren que la carcasa de la bomba (en donde se encuentra el impulsor) esté sumergido en el fluido con el fin de bombear. En este tipo de bombas se debe cuidar el nivel de inmersión de la bomba, el cual debe ser considerado en el diseño, ya que si la cubierta superior está por encima del nivel del líquido, el aire se introduce dentro de la bomba causando problemas en su operación. Estas bombas cuentan con diferentes tipos de impulsores por lo cual generan una alta gama de trabajo con respecto el tipo de agua a bombear y las especificaciones de bombeo. Debido a que la bomba se instala en el pozo húmedo, no se requiere una cámara seca lo cual disminuye los costos constructivos de la estación de bombeo.



Figura 11. Bomba centrífuga sumergible

- **Bomba centrifugas vertical:** Las bombas verticales cuentan con un difusor axial en lugar de una voluta. Este tipo de bombas también debe tener una parte sumergida por donde se realiza la succión del líquido y la descarga va conectada directamente a la bomba. Al igual que las anteriores, no se requiere una cámara seca para su instalación lo cual disminuye los costos constructivos de la estación de bombeo.



Figura 12. Bomba centrífuga vertical

- **Bomba centrífugas horizontal:** Este tipo de bombas por lo general el impulsor está alojado en una carcasa en forma de espiral llamada una voluta. Tanto el impulsor como el motor deben estar ubicados en una cámara seca y la succión del líquido se realiza en el pozo húmedo mediante la tubería de succión.



Figura 13. Bomba centrífuga horizontal

Curva característica de la bomba

El primer dato a verificar en una bomba para ver si cumple con los requerimientos del diseño es la capacidad que tiene la bomba de impulsar cierto caudal a una altura dada. Para ello, las bombas cuentan con curvas características que muestran el comportamiento de la bomba. En estas curvas también se incluyen las

gráficas de eficiencia y potencia. La operación normal de la bomba debe estar cercana al punto de máxima eficiencia. En la figura 14 se muestra una curva característica típica de una bomba centrífuga.

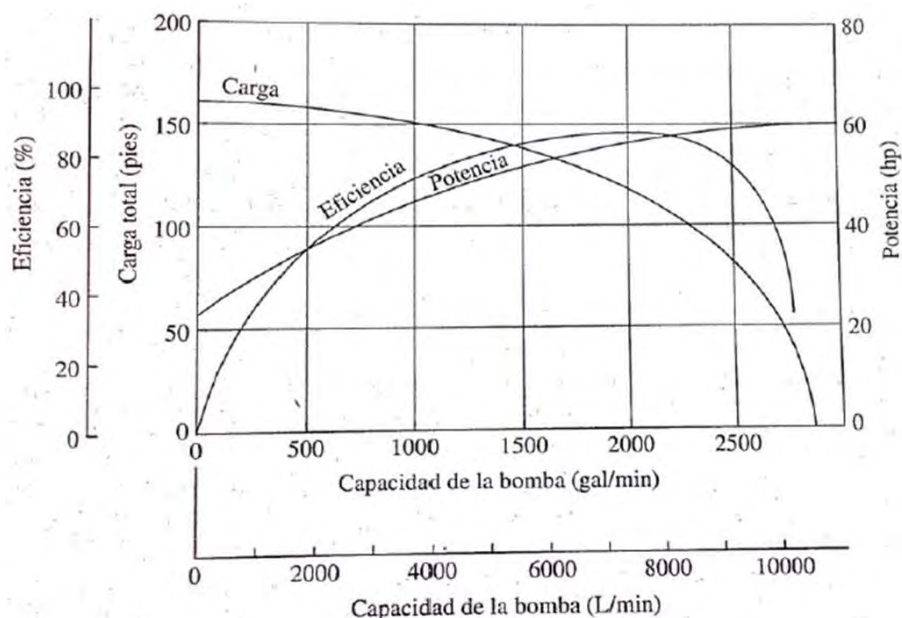


Figura 14. Curva característica de bomba

Equipos de bombeo actuales

Los equipos sumergibles que se utilizan en el sistema de tratamiento, son de la marca GRUNDFOS, con características similares pero con diferentes potencias de bombeo según la configuración de la línea hidráulica que abastece cada una. En la tabla 11 se presentan brevemente las características principales de los 3 equipos de bombeo sumergibles que se utilizan.

Código	Voltaje (V)	Eficiencia η_{MAX} (%)	Potencia (HP)
SLV.65.65.40	220	36.6	6.5
SLV.80.80.75	220	42.4	10
SLV.80.80.110	220	38.2	20

Tabla 11. Equipos de bombeo sumergible

De cada uno de los equipos se cuenta con su ficha técnica que contiene la curva de característica, así como otra información relevante para el análisis del sistema. La figura 15 muestra un fragmento del equipo SLV.65.65.40 GRUNDFOS de 6.5 HP. Toda la información completa se encuentra en el Anexo III al final del documento

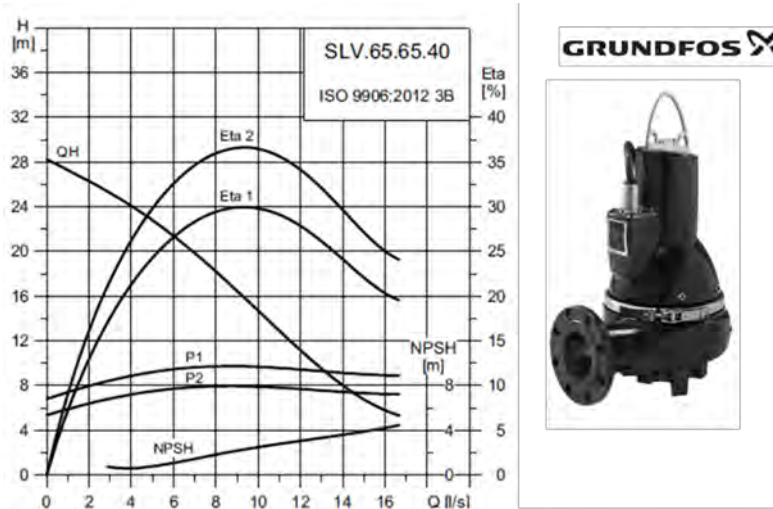


Figura 15. Ficha técnica de la bomba sumergible 6.5 HP GRUNDFOS

X. Análisis de carga por línea hidráulica

Se obtiene la curva H-Q para cada una de las líneas hidráulicas descritas, y se observa cuál es su punto de operación para el equipo de bombeo que se utiliza en cada caso específico. A continuación se presenta de forma detallada el análisis para la línea hidráulica de la Caja Derivadora, la cual tiene dos líneas gemelas que usan un equipo de bombeo de 6.5 HP respectivamente. Dichas condiciones y equipo de bombeo es similar para 7 de los 9 sistemas bajo análisis. Posterior al análisis detallado de la línea de la Caja Derivadora se presenta un resumen de resultados para los 6 equipos restantes con condiciones similares (bomba de 6.5HP), los detalles del análisis de cada uno de los sistemas se presenta en el Apéndice II.

Línea hidráulica Caja Derivadora

Cada una de las dos líneas presentes en esta etapa usan un equipo de bombeo de 6.5 HP y deben de transportar un flujo de 9 l/s respectivamente. En base a las características presentadas en la sección VIII se obtiene la curva H-Q del sistema, mediante el cálculo de la pérdida de carga de la línea debido a tubería y accesorios. Para la pérdida por accesorios se emplea la ecuación 1.

$$h_{\text{accesorio}} = K_{\text{accesorio}} \left(\frac{V_S^2}{2g} \right) \quad (1)$$

Así mismo se pueden poner las pérdidas de carga asociada a los accesorios como una función del gasto, dicha relación se muestra en la ecuación 2.

$$h_i = K_i \left(\frac{V_s^2}{2g} \right) = \frac{8K_i}{\pi^2 D_s^4 g} Q^2 \quad (2)$$

En la tabla 12 se presenta un resumen de los resultados para los accesorios de la línea hidráulica bajo análisis.

Accesorios línea hidráulica Caja Derivadora				
Accesorio o Línea	Diámetro Nominal	Coefficiente de resistencia (K)	$8K_i/\pi^2 D^4 g$	Perdida de carga h_i(m)
3 Codos Standard 90°	3"	0.518	1161.382	0.784
Válvula No Retorno	3"	5.866	13162.324	2.962
Válvula Check	3"	1.725	3871.272	0.871
Válvula Globo	3"	2.588	5806.908	1.307

Tabla 12. Análisis de accesorios línea hidráulica caja derivadora

Posteriormente se procede a realizar el cálculo de perdidas asociadas con la tubería de línea hidráulica de la caja derivadora, para lo cual se aplica la ecuación 3

$$h_{Ls} = f \frac{L V_s^2}{D 2g} \quad (3)$$

Que también puede expresarse en términos de gasto, de la siguiente forma

$$h_{Ls} = f \frac{L}{D} \frac{\left(\frac{Q}{A_{succión}} \right)^2}{2g} \quad (4)$$

Poniendo en términos del diámetro de la línea hidráulica que es el de 3", se obtendría lo siguiente

$$h_{Ls} = f \frac{L_s}{D} \frac{\left(\frac{4Q}{\pi D_s^2} \right)^2}{2g} = 8f \frac{L_s}{D} \frac{Q^2}{\pi^2 D_s^4 g} = 8 \frac{f L_s}{\pi^2 g D_s^5} Q^2 \quad (5)$$

Se hace el cálculo de todos los parámetros para dejar la perdida de Darcy en función del gasto, como se muestra en la tabla 13.

Tubería línea hidráulica Caja Derivadora						
Longitud (m)	Diámetro Nominal	V (m/s)	Re	Factor de Fricción (f)	$8fL/\pi^2gD^5$	Perdida de carga h_L(m)
13.11	3"	3.15	269684	0.018769	7087.25	1.595

Tabla 13. Análisis de tubería línea hidráulica caja derivadora

Posteriormente se realizó el cálculo de la carga total del sistema para poder encontrar el punto de operación (H,Q). Dicha carga se calcula mediante la aplicación de la ecuación de la energía que se presenta en la ecuación 6.

$$H = \Delta z + h_{\text{accesorios}} + h_{\text{línea hidráulica}} \quad (6)$$

El término de Δz de la ecuación 6 no influye ya que la línea hidráulica parte y descarga a una misma altura, por lo que la carga no se ve impactada por este término. Se sustituyen las variables que se construyeron para cada uno de los accesorios y la línea hidráulica.

$$H = h_{\text{Accesorio1}} + h_{\text{Accesorio2}} + \dots + h_{\text{Accesorio7}} + h_{L_Tuberia} \quad (7)$$

La pérdida de carga total para el sistema en función de los accesorios y de las tuberías se presenta en la tabla 14.

Línea o Accesorio	Perdida de carga h_i(m)
3 Codo Standard 90°	0.784
Válvula No Retorno	2.962
Válvula Check	0.871
Válvula Globo	1.307
Tubería	1.595
Total	7.518

Tabla 14. Perdida de carga línea hidráulica caja derivadora

Así mismo se construye la curva de la carga H como una función del caudal, dicha función estaría dada por una ecuación de la siguiente forma.

$$H(Q) = A + BQ^2 \quad (8)$$

En este caso dado que lo que se tiene es un sistema de fricción pura, el termino A es igual a 0, por lo que el termino B es el único que tiene un valor, dicho parámetro se calculó de la siguiente forma.

$$B = \frac{8K_1}{\pi^2 D_s^4 g} + \frac{8K_2}{\pi^2 D_s^4 g} + \dots + \frac{8K_7}{\pi^2 D_d^4 g} + 8 \frac{fL_d}{\pi^2 g D_d^5} \quad (9)$$

Usando todos los coeficientes de proporcionalidad tanto de accesorios como de tubería, la ecuación 9 en conjunto con la ecuación 8, dan como resultado una función para H de la siguiente forma.

$$H(Q) = 31089.13Q^2 \quad (10)$$

En base a lo anterior se muestra en la figura 16 la curva de carga (H) del sistema como función del caudal.

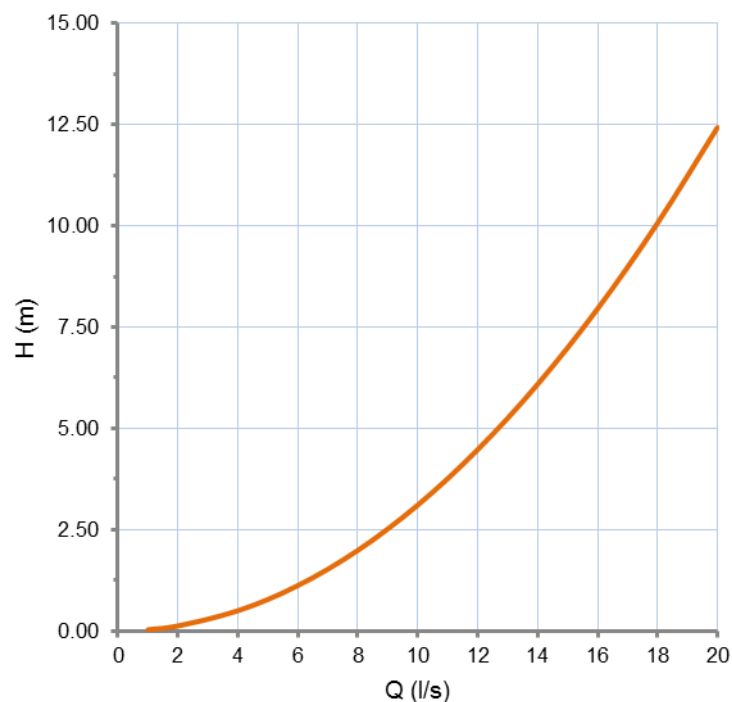


Figura 16. Curva característica de carga (H) de la Línea Caja Derivadora como función del caudal (Q)

En base a las características del equipo de bombeo se cuenta con la curva H-Q de la bomba de 6.5 HP, y en base a esta información se obtiene el punto de operación del sistema, así como la eficiencia con que opera la bomba. Mostrando en la figura 17 las curvas características del sistema y de la bomba, necesarias para el análisis hidráulico.

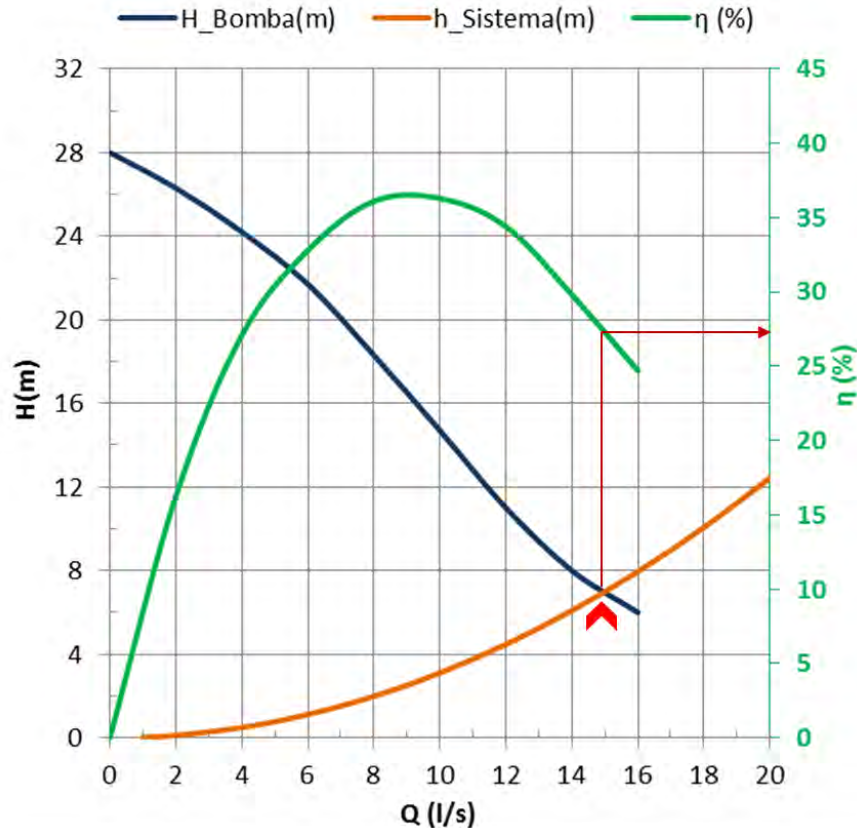


Figura 17. H-Q de la Línea Caja Derivadora y la bomba 6.5 HP

Q (l/s)	H (m)	η(%)
14.9	7.51	28

Tabla 15. Punto de operación Caja Derivadora

Como se observa en la figura 17, la línea hidráulica bajo las condiciones que se plantean operando con la bomba de 6.5 HP daría un flujo de 14.9 l/s, lo cual concuerda aproximadamente con las condiciones de operación establecidas, sin embargo la eficiencia del equipo es bastante baja, dado que el rendimiento es de aproximadamente 28%, lo cual hace poco eficiente su funcionamiento respecto al uso energético en este tipo de bomba, lo que plantea la hipótesis de que cambiar de equipo de bombeo podría ser una solución al consumo energético.

Como se observa en la tabla 15, la curva en el gráfico H-Q muestra que el valor de la eficiencia del equipo de bombeo se encuentra en un $\eta=28\%$, lo cual se encuentra muy cercano a su punto de máxima de eficiencia el cual es de aproximadamente $\eta_{\max}=36.6\%$. Por tanto los bph requeridos para la operación de la línea hidráulica Caja Derivadora serían de:

$$bph(W) = \frac{\gamma QH}{\eta_{bomba}} \quad (11)$$

$$bph(W) = \frac{\left(1100 \frac{kg}{m^3}\right) \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right) \left(0.0149 \frac{m^3}{s}\right) (7.51m)}{0.28} = 4.3 kW$$

Tomando en cuenta que la eficiencia de los motores eléctricos es de aproximadamente 90% para 6.5 HP, la potencia eléctrica demanda por el sistema tendría un estimado de:

$$P_{ele}(W) = \frac{bph(W)}{\eta_{motor\ electrico}} \quad (12)$$

$$P_{ele}(W) = \frac{4.3kW}{0.9} = 4.8kW \approx 6.5HP$$

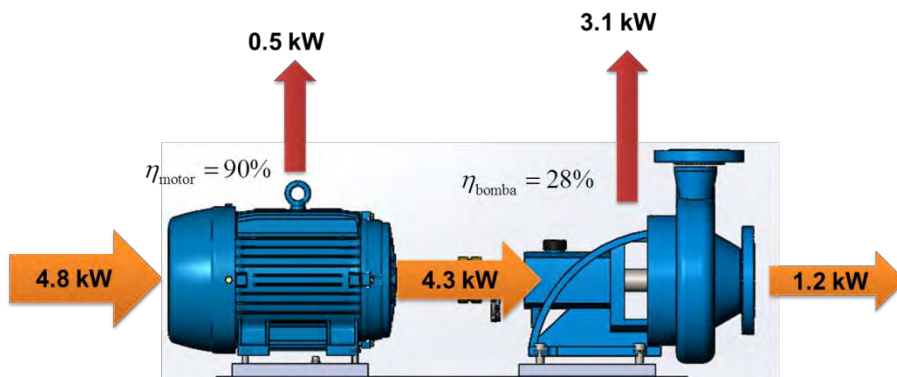


Figura 18. Análisis del equipo de bombeo de la Derivadora

A partir de lo anterior se puede observar que el equipo está justo en su dimensionamiento, sin embargo la bomba presenta una eficiencia baja lo que presenta una oportunidad para el mejoramiento del sistema desde el punto de vista energético.

Líneas hidráulicas gemelas con equipo de bombeo 6.5 HP

Como se mencionó en la sección anterior, 6 de los 9 sistemas tiene características hidráulicas similares, dado que para el sistema Caja Derivadora, ya se presentó de forma detallada el análisis anteriormente, en esta sección se presenta de forma resumida los resultados para los 5 sistemas restantes de características similares. La tabla 16 presenta las condiciones de operación de los 5 sistemas, a partir de

las curvas H-Q que se obtuvieron y que se presentan de forma detallada en el Apéndice II.

Etapa	Q (l/s)	H (m)	η(%)	Bomba (HP)
Cárcamo 1	14.7	7.73	29.5	6.5
Tanque de Homogenización	15.1	7.04	27.5	6.5
DAF	14.75	7.2	27.3	6.5
Cárcamo 2	15.3	6.49	26.2	6.5
Reactor Aerobio 1	14.9	7.32	28	6.5
Reactor Aerobio 2	14.9	7.32	28	6.5
Clarificador 1	14.7	7.54	27.4	6.5
Clarificador 2	14.7	7.54	27.4	6.5

Tabla 16. Punto de operación de las líneas hidráulicas con equipos de 6.5 HP

Líneas hidráulicas con equipo de bombeo 10 HP y 20 HP

Como se mencionó en secciones anteriores, 3 de los 9 sistemas tiene características hidráulicas diferentes al resto, dado que hacen uso de dos equipos de bombeo de diferentes potencias al común de las demás líneas. Pare le caso de la línea hidráulica de los reactores Anaerobios (RAFA), transportan las dos líneas haciendo uso de una bomba de 10 HP para cada línea, mientras que en la caso de tanques Anóxicos, estos hacen uso de una sola línea de transporte, que usa un equipo de bombeo de 20 HP, por lo cual se tratan de forma independiente a las otras líneas del resto del sistema.

La tabla 17 presenta las condiciones de operación de los 3 sistemas mencionados, a partir de las curvas H-Q que se obtuvieron de forma similar al caso de la Caja Derivadora.

Infraestructura	Q (l/s)	H (m)	η(%)	Bomba (HP)
RAFA 1 (Reactor Anaerobio)	14.6	22.2	42	10
RAFA 2 (Reactor Anaerobio)	14.6	22.2	42	10
Anóxico 1	21.8	22.8	39.5	20
Anóxico 2				

Tabla 17. Punto de operación de las líneas hidráulicas de la Planta

XI. Diagnóstico y Propuestas de Ahorro Energético del sistema de bombeo hidráulico

Análisis de Demanda eléctrica y tarifas de la PTAR

Actualmente la PTAR del complejo industrial WTC San Luis Potosí, cuenta con dos contratos ante CFE, uno en tarifa GDMTH (Gran Demanda Media Tensión Horaria) y otro en tarifa GDMTO (Gran Demanda Media Tensión Ordinaria). En base a la información proporcionada por los operarios de la planta, esto es con el fin de segmentar los equipos de mayor consumo y de que en un esquema de facturación anterior al actual, se pretendía tener ahorros.

Dicha distribución de equipos en los diversos esquemas tarifarios, se presentan en la tabla 18 y la tabla 19.

Equipos Esquema GDMTH				
Infraestructura	Equipos	Cantidad	Potencia (HP)	Potencia Total (kW)
Caja Derivadora	Bomba	2	6.5	9.685
Carcamo 1	Bomba	2	6.5	9.685
Tanque de Homogenización	Bomba	2	6.5	9.685
DAF	Bomba	2	6.5	9.685
Carcamo 2	Bomba	2	6.5	9.685
RAFA 1 (Reactor Anaerobio)	Bomba	1	10	7.45
RAFA 2 (Reactor Anaerobio)	Bomba	1	10	7.45
Anoxico 1 & 2	Bomba	1	20	14.9
Reactor Aerobio 1	Bomba	2	6.5	9.685
Reactor Aerobio 2	Bomba	2	6.5	9.685
Clarificador 1	Bomba	2	6.5	9.685
Clarificador 2	Bomba	2	6.5	9.685
			TOTAL	116.965

Tabla 18. Equipos del esquema tarifario GDMTH

Equipos Esquema GDMTO				
Infraestructura	Equipos	Cantidad	Potencia (HP)	Potencia Total (kW)
Cuarto de Sopladores	Sopladores	1	20	14.9
DAF	Compresor	2	5	7.45
Cisterna	Bomba	2	6.5	9.685
Afluente Salida Cisterna	Bomba	1	15	11.175
DAF	Agitador	2	7	10.43
Iluminación				30
Control				10
TOTAL				93.64

Tabla 19. Equipos del esquema tarifario GDMTO

En base a lo anterior, se construye una matriz de demanda (kW) para cuantificar cual es el porcentaje de cada uno de los equipos que opera en la planta, dado que no se cuenta con los horarios exactos de operación de cada uno de los equipos de la planta, no se construye una matriz de consumo energético, sin embargo dado que los operarios comentan que operan 12 hrs diarias, y todo los equipos en promedio operan de forma continua, suponemos que la matriz de demanda proporciona una idea clara de una repartición del consumo energético con un comportamiento muy similar.

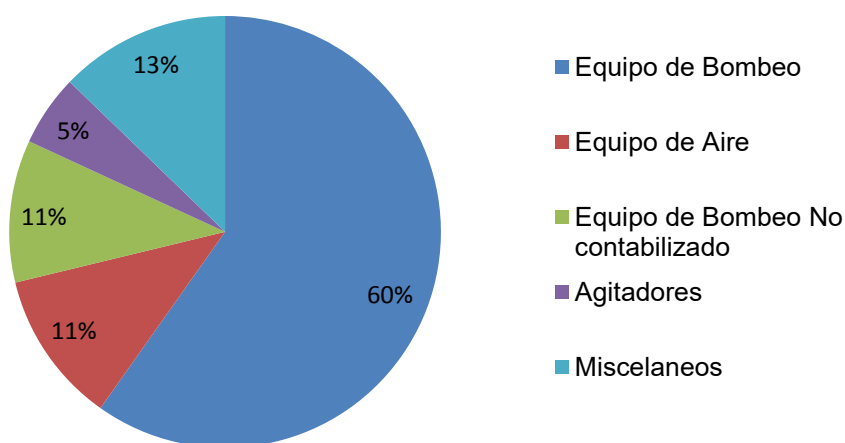


Figura 19. Matriz de Demanda Energética

En base a la figura 19, se puede observar que los equipos de bombeo que se analizan tienen el mayor porcentaje de demanda y de la misma forma del consumo energético, por lo cual se enfoca el análisis solo en estos equipos del esquema tarifario GDMTH.

Mediante la información proporcionada por la PTAR, se tiene un historial anual de la facturación eléctrica, con lo cual se hace un análisis del comportamiento del consumo, la demanda, el factor de potencia, y los costos de los principales rubros de la facturación, con la finalidad de conocer el comportamiento de las diversas variables e identificar anomalías y oportunidades de mejoramiento.

La planta se encuentra en una tarifa GDMTH (Gran Demanda Media Tensión Horaria), con una demanda contratada de 122 kW. Debido a la ubicación geográfica de la planta, la región tarifaria que le corresponde es la región Golfo Centro, los datos de facturación se muestran en la figura 20. Para el caso de la tarifa GDMTO (Gran Demanda Media Tensión Ordinaria), se tiene una demanda contratada de 95 kW como lo muestra la figura 21.

				TOTAL A PAGAR: \$163,217.00 <small>(CIENTO SESENTA Y TRES MIL DOSCIENTOS DIECISIETE PESOS 00/100 M.N.)</small>	
NO. DE SERVICIO: 961050700011		RMU: 79420 05-07-19 DPL -001122 001 CFE		PERIODO FACTURADO: 30 SEP 18 - 31 OCT 18	
TARIFA: GDMTH	NO. MEDIDOR: 4X2W02	MULTIPLICADOR: 80	FECHA LÍMITE DE PAGO: 12 NOV 18		
CARGA CONECTADA kW: 122	DEMANDA CONTRATADA kW: 122	CORTE A PARTIR: 13 NOV 18			

Concepto	Consumo <small>Medio ● Extremo ●</small>	Precio (Mx\$)	Subtotal (Mx\$)
kWh base	-	15,776	
kWh intermedia		30,744	
kWh punta		3,816	
kW base		77	
kW intermedia		82	
kW punta		79	
kWMaxAñoMovil		82	
kVAh		37,192	

Costos de la energía en el Mercado Eléctrico Mayorista					Desglose del importe a pagar	
Concepto	\$	\$kW	\$kWh	Importe (Mx\$)	Concepto	Importe (Mx\$)
Suministro	447.83	0	0	447.83	Cargo Fijo	447.83
Distribución	0	9614.98	0	9614.98	Energía	128,200.88
Transmisión	0	0	7978.27	7978.27	2% Baja Tensión	2,574.77
CEMACE	0	0	458.05	458.05	Cargo Factor de Potencia	9,301.07
Generación B	0	0	14305.6	14305.6	Subtotal	140,704.55
Generación I	0	0	52120.31	52120.31	IVA 16%	22,812.72
Generación P	0	0	7830.1	7830.1	Facturación del Periodo	163,217.27
Capacidad	0	35821.74	0	35821.74	Adeudo Anterior	156,158.55
SCMEM	0	0	271.83	271.83	Su Pago	156,158.00
Total	447.83	45,436.72	82,854.16	128,738.71	Total	\$163,217.82

Figura 20. Facturación eléctrica GDMTH de la PTAR

TOTAL A PAGAR: \$10,969.00 <small>(DIEZ MIL NOVECIENTOS SESENTA Y NUEVE PESOS 00/100 M.N.)</small>		
NO. DE SERVICIO: 929100409274		PERIODO FACTURADO: 01 OCT 18 - 31 OCT 18
NO. DE SERVICIO (RMU): -- - CFE		LÍMITE DE PAGO: 17 NOV 18
TARIFA: GDMTO	NO. MEDIDOR: 308F4U	MULTIPLICADOR: 1
CARGA CONECTADA kW: 95	DEMANDA CONTRATADA kW: 95	CORTE A PARTIR: 18 NOV 18

Concepto	Lectura actual		Lectura anterior		Diferencia	Precio (M2)	Subtotal (M2)
	Medida	Estimada	Medida	Estimada			
KWh	308F4U		62783		60230	2553	2,553
KWh	308F4U		33		17	16	16
KWh	308F4U		46155		43113	3042	3,042

Concepto	Costo de la energía en el mercado				Desglose del importe a pagar	
	\$	\$/kW	\$/kWh	Importe (M2)	Concepto	Importe (M2)
Suministro	441.94	0.00	0.00	441.94	Cargo Fijo	441.94
Distribución	0.00	777.78	0.00	777.78	Energía	7,034.17
Transmisión	0.00	0.00	404.66	404.66	Demanda Máxima	1,473.32
CENACE	23.29	0.00	0.00	23.29	2% Baja Tensión	102.83
Energía	0.00	0.00	3,354.66	3,354.66	Cargo Factor de Potencia	1,256.26
Capacidad	0.00	0.00	0.00	0.00	Subtotal	9,455.78
SCMEM	0.00	0.00	0.00	0.00	IVA 16%	1,512.92
Total	465.17	777.78	3,759.30	5,002.25	Facturación del Periodo	10,968.70
					Adeudo Anterior	11,523.44
					Su Pago	11,523.00
					Total	\$10,969.14

Figura 21. Facturación eléctrica GDMTO de la PTAR

Como se observa en las figuras 20 y 21, los montos por facturación más importantes se dan en la facturación GDMTH, lo cual aún más respalda la decisión de hacer en análisis en enfocado en los equipos que pertenecen a esta tarifa.

Con los datos del historial de facturación, se desglosa los valores del consumo en sus tres horarios correspondientes a la tarifa GDMTH, los cuales se presentan en la figura 22.

Consumo

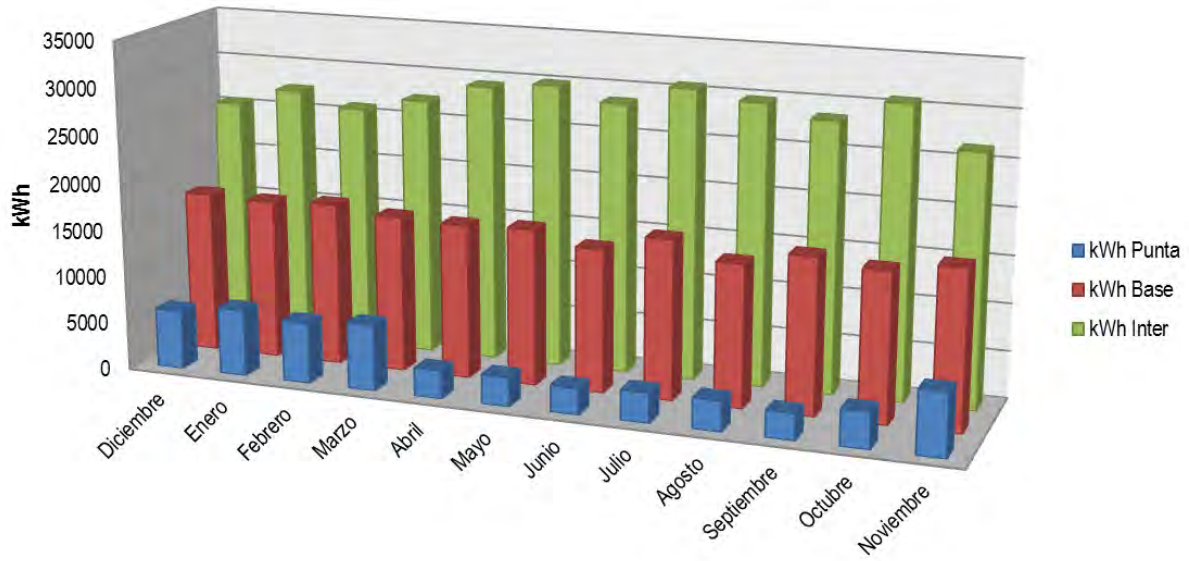


Figura 22. Consumo eléctrico anual de la PTAR

Demanda

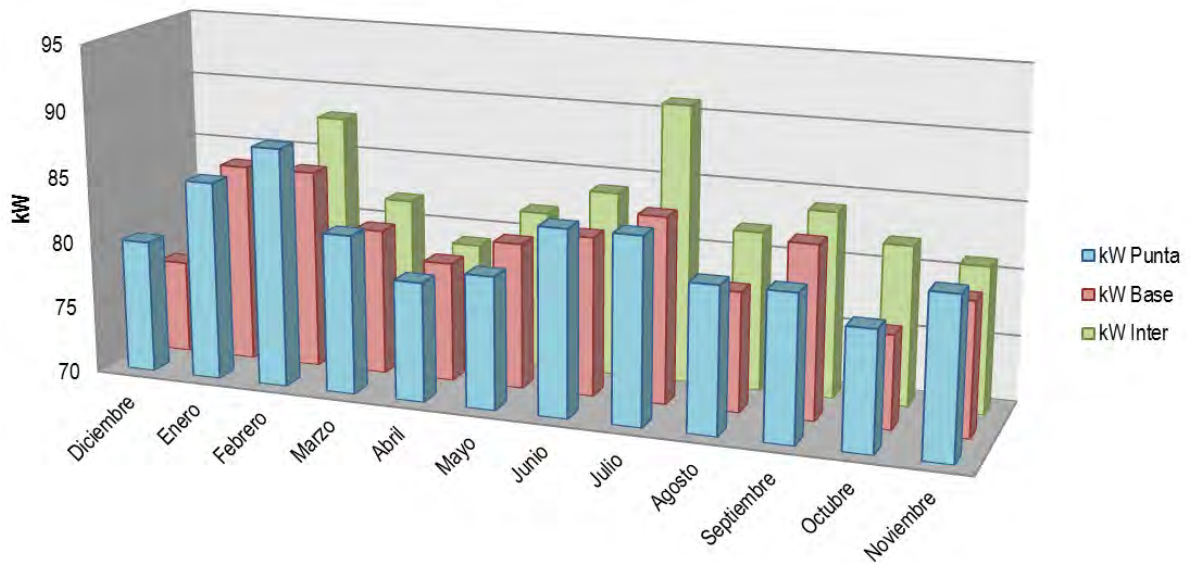


Figura 23. Demanda eléctrica anual de la PTAR

Factor de Potencia

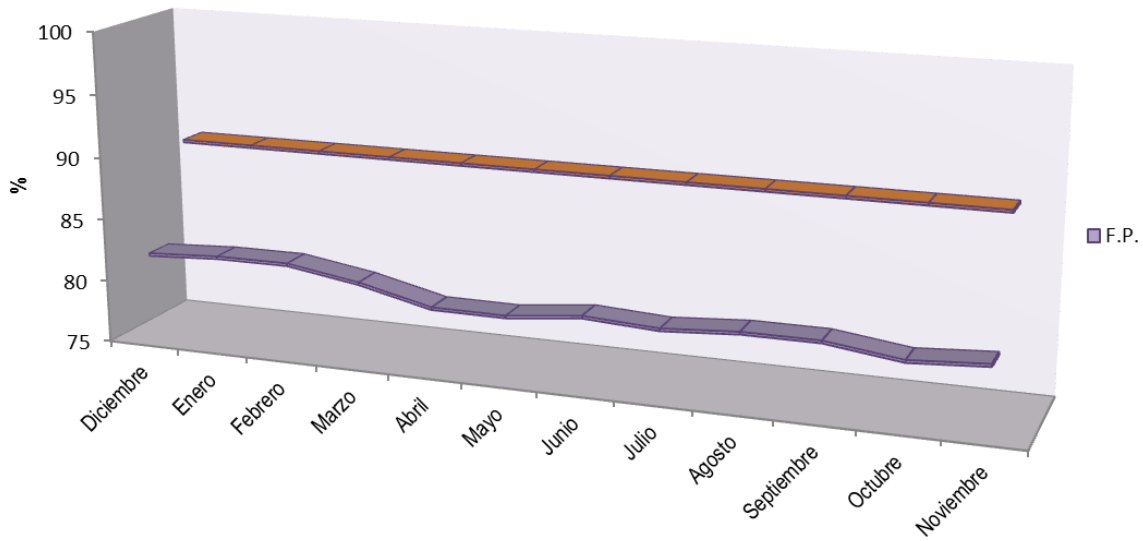


Figura 24. Factor de potencia anual de la PTAR

Consumo (\$)

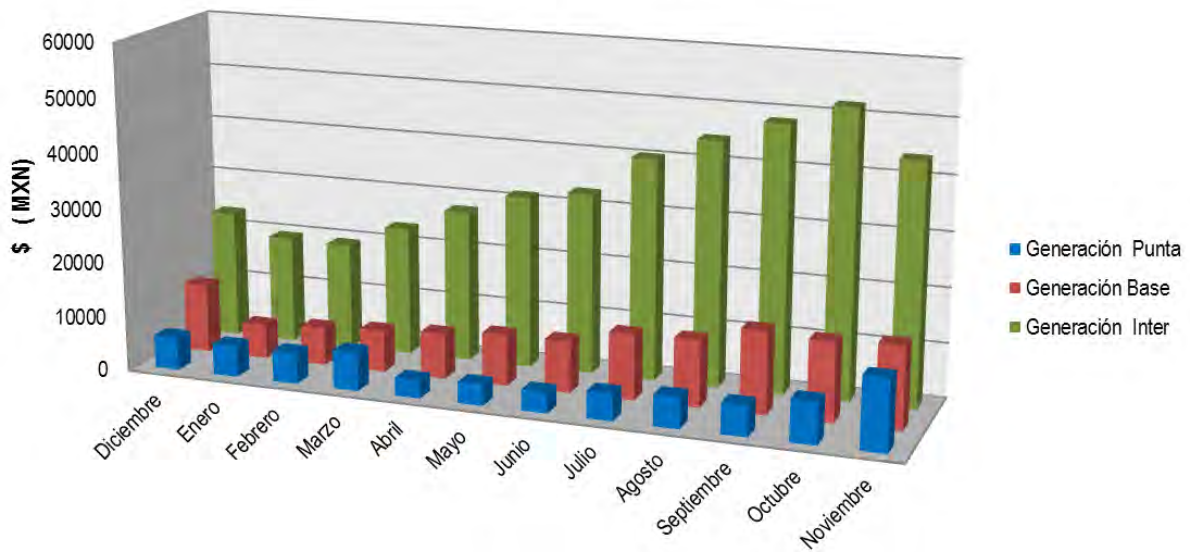


Figura 25. Costo del consumo eléctrico de la PTAR

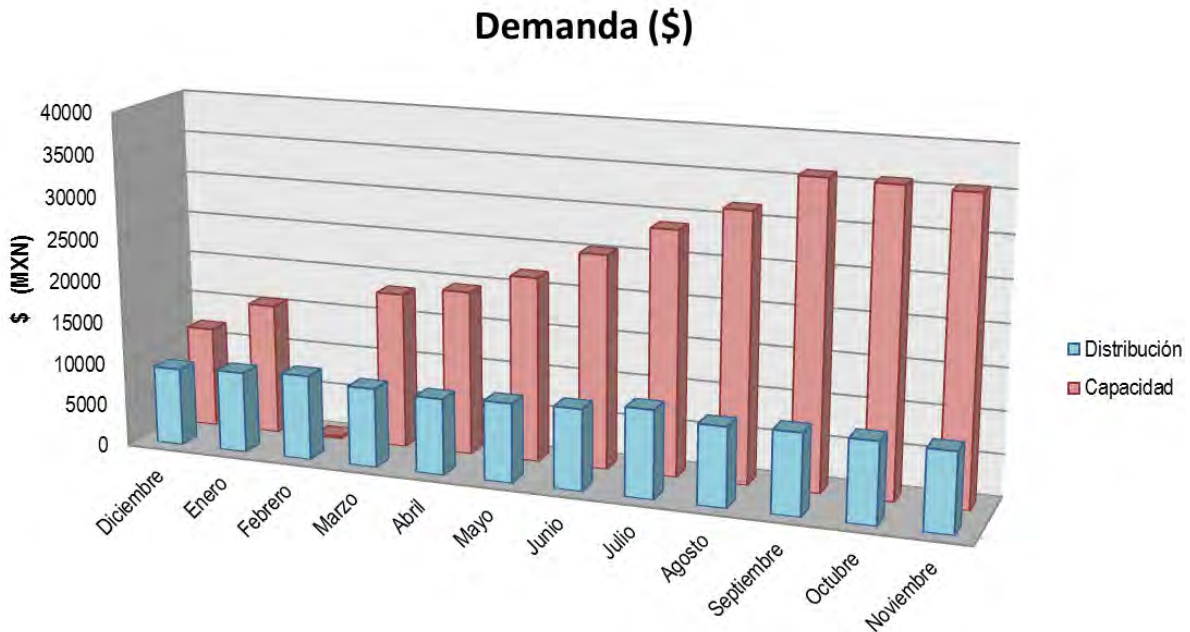


Figura 26. Costo de la demanda eléctrico de la PTAR

En base a la figura 22 se puede apreciar que el consumo energético es mayor en el horario intermedia, lo que se esperaba por ser la mayor parte del el horario laboral de la planta. Para el caso de la demanda como lo muestra la figura 23, en la gran mayoría de los casos es homogénea en los tres horarios para cada uno de los meses estudiados, lo que indica que la distribución del funcionamiento de los equipos es equitativa, todas las fases del tratamiento de agua residual funcionan al mismo tiempo en la mayoría de los casos.

En el caso del factor de potencia, la figura 24 presenta a simple vista una de las problemáticas de la planta, tener un bajo factor de potencia lo que se traduce en una penalización que representa casi un 8% de la facturación total, lo cual hace viable una oportunidad de ahorro, mediante la implementación de un sistema para la corrección del factor de potencia. En un análisis detallado posterior se estima la rentabilidad del costo del proyecto y cuál es la viabilidad del mismo.

En la figura 25 se muestra el costo debido al rubro de consumo eléctrico, del cual se aprecia su gran incremento a los largo del año de estudio, y es este incremento el que no concuerda con el casi constante consumo en horario intermedia, lo cual indica que son los ajustes al esquema tarifario lo que ha incrementado en casi un 200% la facturación por energía, no el incremento en el consumo eléctrico de la planta como los operadores inferían, por lo tanto las medidas de ahorro energético son de suma importancia en la planta para subsanar estos ajustes en contra de la economía de la empresa.

Por último la figura 26 presenta el costo por el rubro Distribución y Capacidad, los cuales están directamente ligados con la demanda que los equipos hacen a la red de suministro. A diferencia de lo que se mencionó respecto a la figura 23, donde se observa una demanda aparentemente constante a lo largo del año, el costo de rubro también se vio afectado por el nuevo esquema tarifario, dándose al igual que para el costo de consumo un aumento de casi un 300%, haciendo importante encontrar alguna estrategia que pudiera reducir el impacto económico sobre la facturación.

En base a los análisis anteriores se identificó diferentes problemáticas que afectan el uso adecuado de la energía, así como su afectación en el costo económico por el uso de la PTAR, resultando es una serie de oportunidades que se mencionan a continuación.

- **Equipos de servicio en tarifa GDMTH:** Los equipos de bombeo pertenecientes al esquema tarifario GDMTH, son los que tendrían mayor impacto en ahorro y uso eficiente de la energía, si se modifican para su mejora, por lo cual todas las propuestas de modificación se hacen solo en estos equipos.
- **Baja eficiencia de los equipos actuales:** Como se observó en el capítulo X del análisis de carga hidráulica, cada uno de las líneas bajo análisis, tiene oportunidades de ahorro energético, principalmente en el caso del equipo de bombeo que es poco eficiente. En base a la información obtenida de la planta, los equipos que se usan lleva más de 7 años de funcionamiento, con lo cual la tecnología actual en equipo de bombeo sumergido ofrece una gama más acorde y eficiente a sus necesidades.
- **Dimensionamiento adecuado y actualizado de los equipos de servicio:** En base a la investigación de equipos de bombeo sumergido, se cuenta con la información de equipos más eficientes y con potencias más pequeñas. Por lo tanto se hace un análisis de los equipos propuestos para cada una de las líneas descritas, y obtener el mejor equipo que sea más adecuado y eficiente en la medida de lo posible, ya que muchas líneas pueden hacer uso de equipos de menor demanda y por tanto también de consumo al ser en muchos de los caso más eficientes a los que actualmente se tiene instalados.
- **Bajo Factor de Potencia**

En el análisis de facturación se detectó un bajo factor de potencia en todo el año 2018 con que se cuenta la información, lo que revela una oportunidad

inmediata para corregir esta situación e impactar de forma positiva en la facturación de la planta

Propuestas de ahorro y uso eficiente de la energía

Propuesta de eficiencia Línea hidráulica Caja Derivadora

A partir del análisis en la sección de diagnóstico de las líneas hidráulicas, se puede observar que el equipo de bombeo está justo en el dimensionado, pero tiene una eficiencia baja en comparación con otras alternativas de bombeo actuales, lo cual ofrece una oportunidad de ahorro de consumo energético y de la demanda eléctrica, si se realiza un cambio de tecnología más adecuado y más eficiente al sistema.

Se propone hacer el cambio de equipo de bombeo por uno de capacidad más pequeña ($P=5$ HP) pero más eficiente, con la finalidad de que este más acorde a las necesidades reales del sistema. De entre las opciones de equipos más acordes, se tiene el equipo SL1.50.65.30 de la marca GRUNDFOS, el cual es de una capacidad de 5 HP que es menor que la potencia del equipo actual, sin embargo al tener un impulsor más eficiente la potencia de 5 HP será más que suficiente para dicha operación.

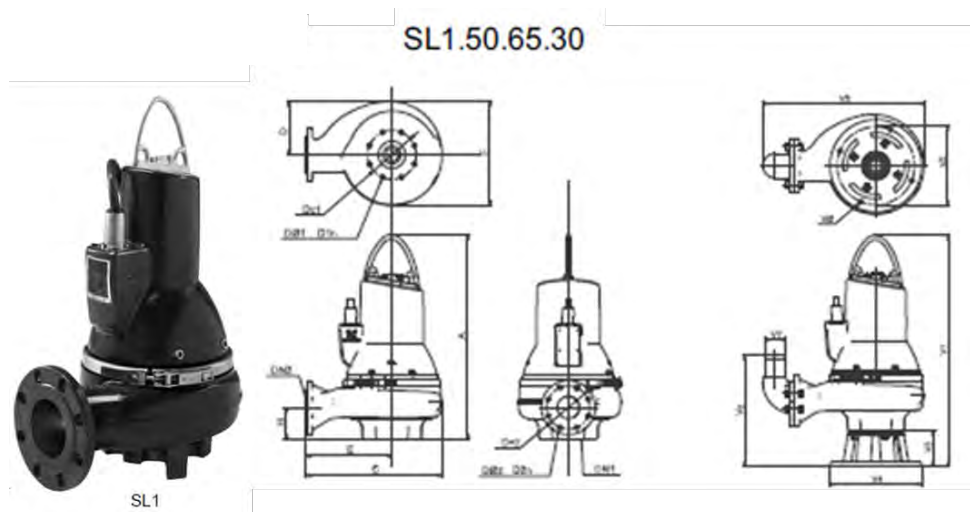


Figura 27. Equipo SL1.50.65.30 marca GRUNDFOS

La Curva H-Q, η -Q, y NPHS-Q para este equipo se muestra en la figura 28, a partir de la cual se observa su mayor eficiencia que el equipo actual que se propone reemplazar.

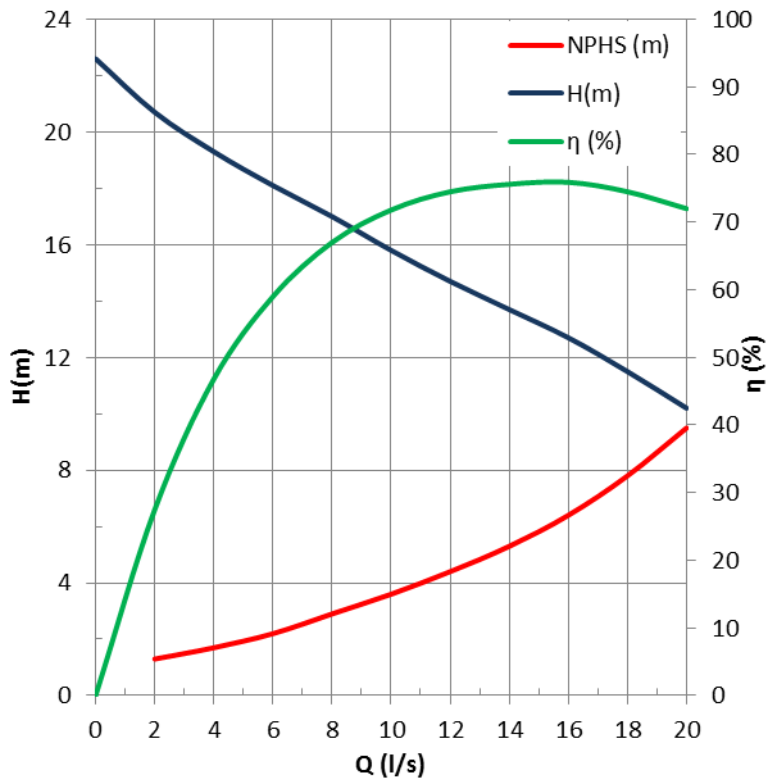


Figura 28. Curvas técnicas del equipo SL1.50.65.30

Con los datos de la figura anterior se obtiene la curva H-Q para la línea hidráulica Caja Derivadora y el equipo propuesto de 5 HP. Los resultados se observan en la figura 29 a continuación.

Q (l/s)	H (m)	η (%)
15.2	12.8	74

Tabla 20. Punto de operación propuesto Caja Derivadora con 5 HP

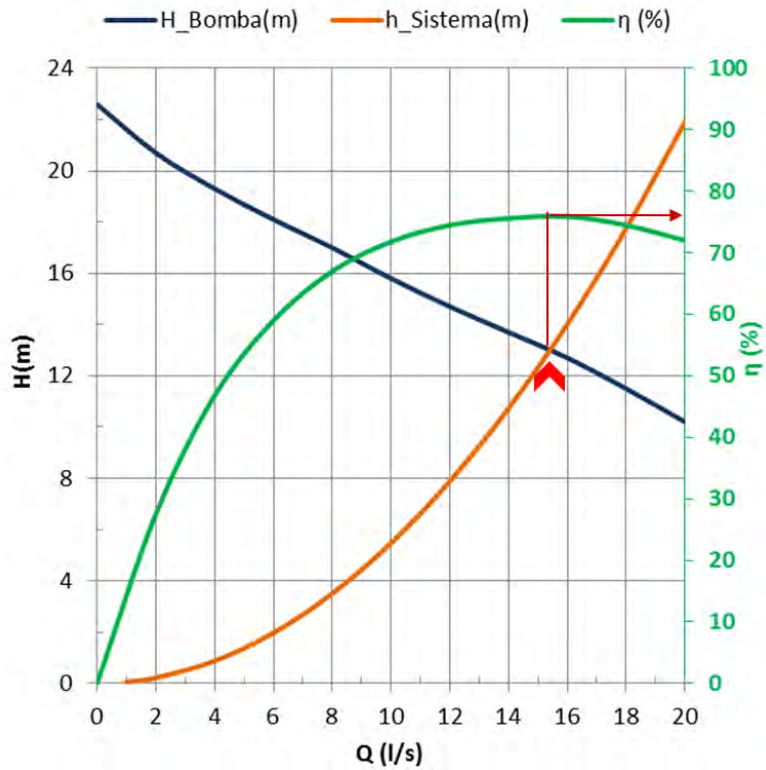


Figura 29. H-Q de la Línea Caja Derivadora y la bomba 5 HP

Como se observa en la tabla 20, la curva en el gráfico H-Q muestra que el valor de la eficiencia del equipo de bombeo se encuentra en un $\eta=74\%$, lo cual se encuentra relativamente cercano al punto de máxima de eficiencia el cual es de aproximadamente $\eta_{max}=75.9\%$. Por tanto los bph requeridos para la hidráulica Caja Derivadora serían de:

$$bph(W) = \frac{\gamma QH}{\eta_{bomba}} \quad (13)$$

$$bph(W) = \frac{\left(1100 \frac{kg}{m^3}\right) \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right) \left(0.0152 \frac{m^3}{s}\right) (12.8m)}{0.74} = 2.83kW$$

Tomando en cuenta que la eficiencia de los motores eléctricos es de aproximadamente 90%, se tendría que la potencia eléctrica demanda por el sistema tendría un estimado de:

$$P_{ele} (W) = \frac{bph(W)}{\eta_{\text{motor electrico}}} \quad (14)$$

$$P_{ele} (W) = \frac{2.83kW}{0.9} = 3.15kW \approx 4.2HP$$

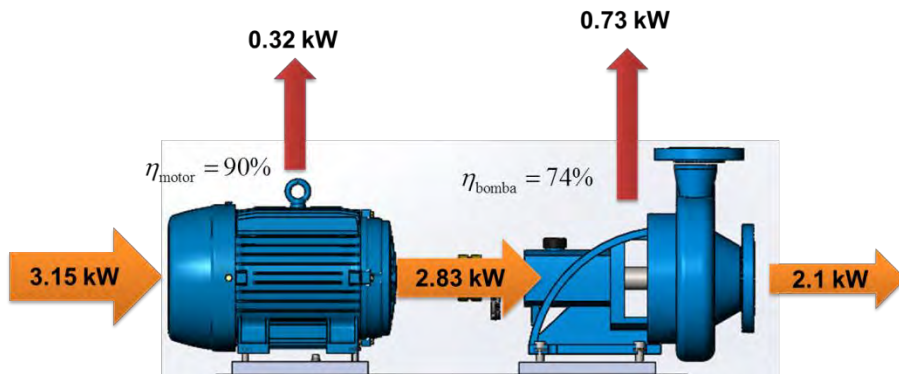


Figura 30. Análisis de la propuesta para la Caja Derivadora

En base al análisis anterior se observa que se disminuye la demanda del equipo y por tanto también el consumo energético, así mismo se presume que se puede tener un equipo de menos capacidad que realice la tarea, por lo que se procede a realizar el mismo análisis para un equipo con las características similares pero de 3 ¾ HP

Después de realizar un análisis similar, como se observa en la figura 31 y tabla 21, la curva en el gráfico H-Q muestra que el equipo de bombeo no tiene la capacidad de dar el flujo requerido de 15 l/s promedio, lo que implica que no es posible su implementación, a pesar de que podría ser idóneo energéticamente, técnicamente no es funcional para esta tarea. Por lo cual el equipo factible para reemplazar el actual es el de 5 HP.

Q (l/s)	H (m)	η(%)
13.9	10.2	71.5

Tabla 21. Punto de operación Caja Derivadora con 3 ¾ HP

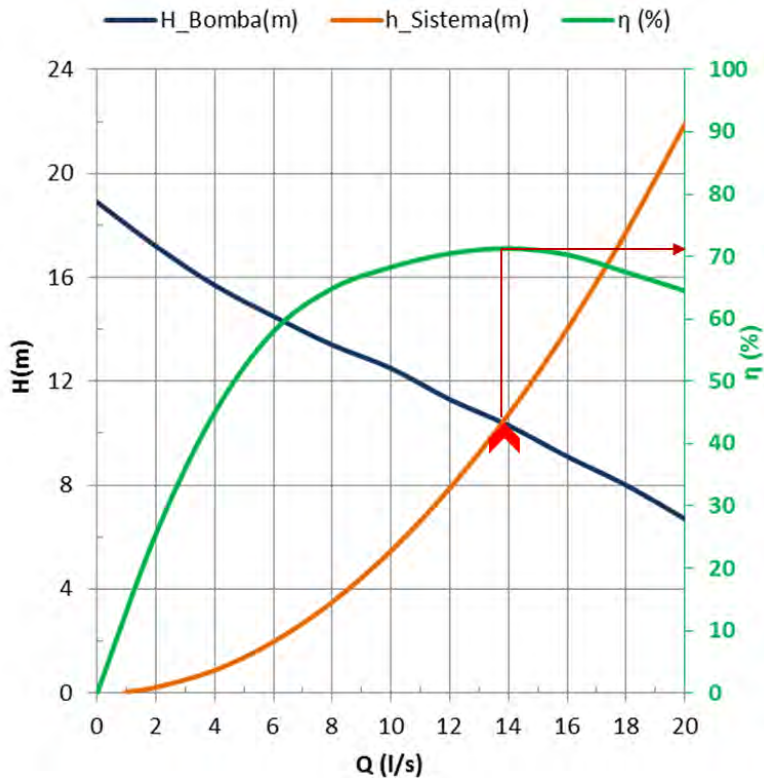


Figura 31. H-Q de la Línea Caja Derivadora y la bomba 3 3/4 HP

Propuesta de eficiencia Línea hidráulica Cárcamo 1

De igual forma que la propuesta anterior, en base al análisis en la sección de diagnóstico de las líneas hidráulicas, se puede observar que el equipo de bombeo está justo en el dimensionado, pero tiene una eficiencia baja en comparación con otras alternativas de bombeo, lo cual ofrece una oportunidad de ahorro de consumo energético y de la demanda eléctrica, si se realiza un cambio de tecnología más adecuado y más eficiente al sistema.

También se propone hacer el cambio de equipo de bombeo por uno de capacidad más pequeña (5 HP) pero más eficiente.

Se propone el mismo equipo SL1.50.65.30 de la marca GRUNDFOS, de 5 HP de capacidad.

Se obtiene nuevamente la curva H-Q para la línea hidráulica Cárcamo 1 y el equipo propuesto de 5 HP. Los resultados se observan en la figura 32 y la tabla 22 a continuación.

Q (l/s)	H (m)	η(%)
14.85	13.8	74

Tabla 22. Punto de operación Cárcamo 1

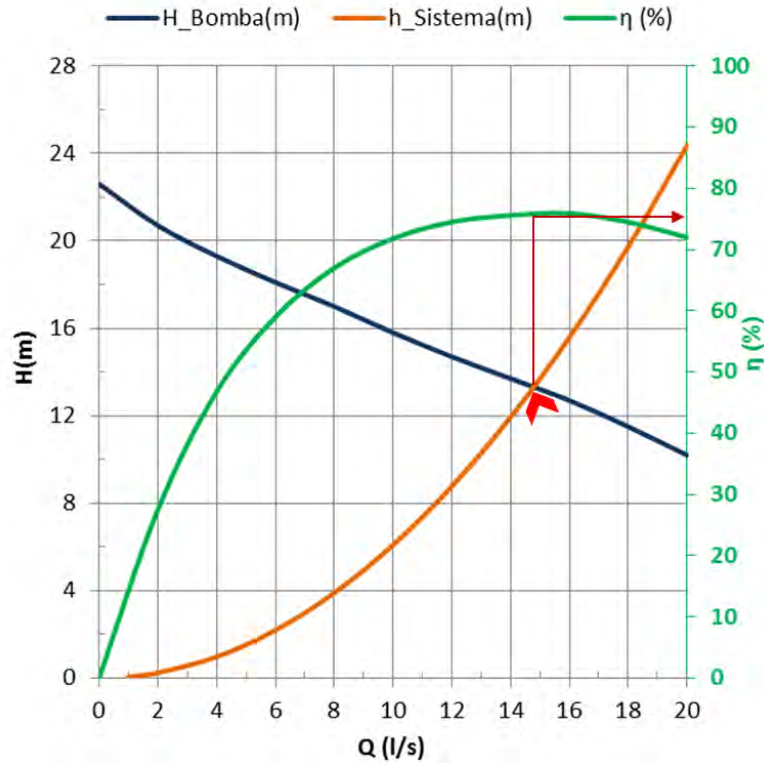


Figura 32. H-Q de la Línea Cárcamo 1 y la bomba 5 HP

Como se observa en la figura 32, la curva en el gráfico H-Q muestra que el valor de la eficiencia del equipo de bombeo se encuentra en un $\eta=74\%$, lo cual se encuentra cercano al punto de máxima de eficiencia el cual es de aproximadamente $\eta_{\max}=75.8\%$. Por tanto los bph requeridos para la línea hidráulica Cárcamo 1 serían de:

$$bph(W) = \frac{\gamma QH}{\eta_{bomba}} \quad (15)$$

$$bph(W) = \frac{\left(1100 \frac{kg}{m^3}\right) \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right) \left(0.01485 \frac{m^3}{s}\right) (13.8m)}{0.74} = 2.98kW$$

Tomando en cuenta que la eficiencia de los motores eléctricos es de aproximadamente 90% para 5 HP, se tendría que la potencia eléctrica demanda por el sistema tendría un estimado de:

$$P_{ele} (W) = \frac{bph(W)}{\eta_{\text{motor electrico}}} \quad (16)$$

$$P_{ele} (W) = \frac{2.98kW}{0.9} = 3.3kW \approx 4.4HP$$

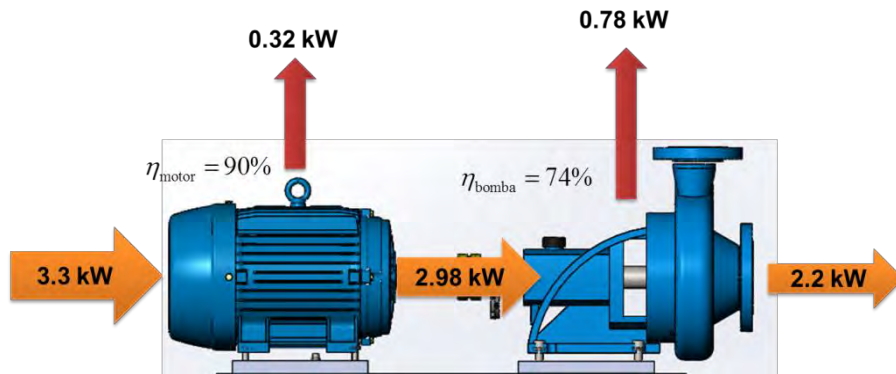


Figura 33. Análisis de la propuesta para el Cárcamo 1

Al igual que en el análisis anterior se observa que se disminuye la demanda del equipo y por tanto también el consumo energético, e igual forma se presume que se puede tener un equipo de menos capacidad que realice la tarea, por lo que se procede a realizar el análisis para un equipo de 3 ¾ HP. Nuevamente como en caso anterior, se observa en la figura 34, que el equipo de bombeo no tiene la capacidad de dar el flujo requerido de 15 l/s promedio, lo que lo descarta de ser una opción, a pesar de que podría ser idóneo energéticamente, técnicamente no es funcional para esta tarea.

Q (l/s)	H (m)	η(%)
13.4	9.8	70

Tabla 23. Punto de operación Cárcamo 1

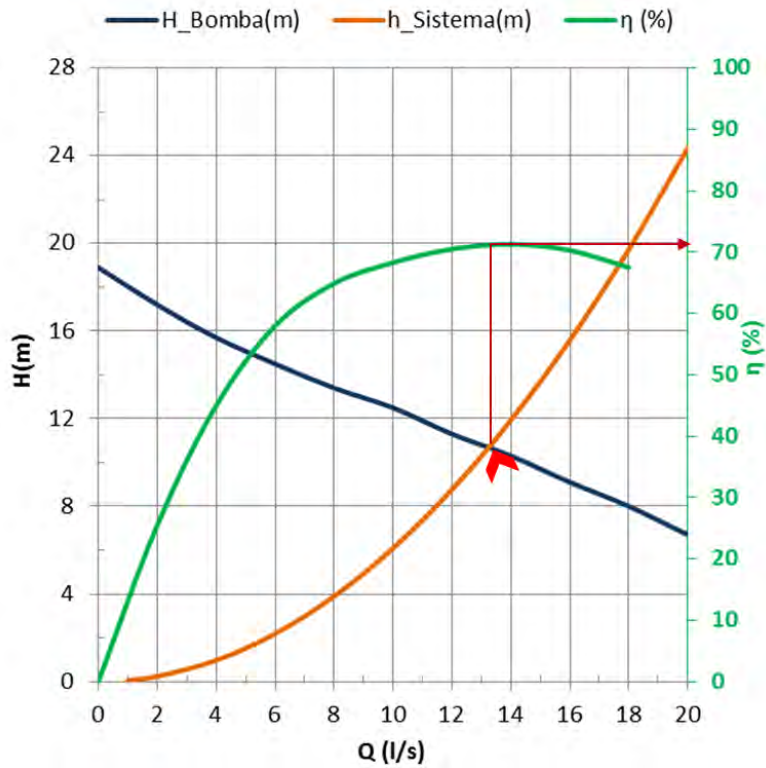


Figura 34. H-Q de la Línea Cárcamo 1 y la bomba 3 ¾ HP

Propuesta de eficiencia línea hidráulica con equipo actual sumergible de 6 HP

Como se ha podido observar en los dos casos anteriores con equipos actuales de 6.5 HP, es factible el reemplazo por un equipo más moderno y de menos demanda, por lo cual se presenta los resultados para las 7 etapas restantes.

Etapa	Q (l/s)	H (m)	η(%)	Bomba (HP)
Tanque de Homogenización	15.2	13	72	5
DAF	15.05	12.8	72.4	5
Cárcamo 2	15.3	12.9	73	5
Reactor Aerobio 1	15.1	12.75	73.5	5
Reactor Aerobio 2	15.1	12.75	73.5	5
Clarificador 1	14.9	12.8	72.5	5
Clarificador 2	14.9	12.8	72.5	5

Tabla 24. Propuestas de modificación de líneas hidráulicas con equipos de 6.5 HP

Todas las etapas con equipos de 6.5 HP son factibles de ser remplazados por equipos de 5 HP, los cuales tiene una eficiencia mucho más alta que los actuales, y a pesar de hacer análisis para poder ser reemplazados por equipos más pequeños de 3 ¾ HP, ninguna de las etapas fue técnicamente factible dado que el equipo no puede abastecer la carga requerida para el caudal de 15 l/s en promedio establecido, por lo tanto solo la propuesta de 5 HP es técnicamente posible aunado a la disminución de demanda eléctrica y por tanto de consumo.

Propuesta de eficiencia Línea hidráulica Reactor Anaeróbico (RAFA 1& 2) con equipo actual sumergible de 10 HP

Para los reactores RAFA que se hacen uso de bombas sumergibles de 10 HP, se propone hacer el cambio de equipo de bombeo por uno de capacidad más pequeña de 8 HP, con la finalidad de tener un equipo de bombeo más eficiente con la ventaja adicional de disminuir la demanda y por tanto el consumo.

De entre las opciones de equipos más acordes, se tiene el equipo SLV.80.80.60 de la marca GRUNDFOS, el cual es de una capacidad de 8 HP cuyas características resumidas se presentan en la figura 35.

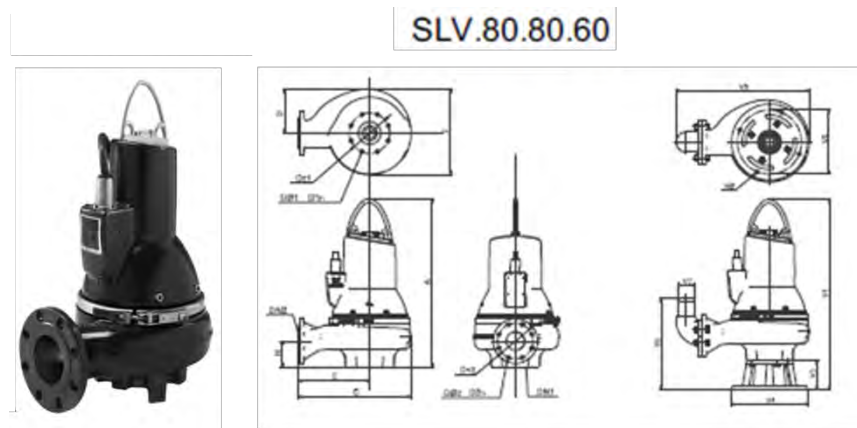


Figura 35. Equipo SLV.80.80.60 marca GRUNDFOS

La Curva H-Q, η -Q, y NPHS-Q para este equipo se muestra en la figura 36, a partir de la cual se observa su mayor eficiencia que el equipo actual que se propone remplazar.

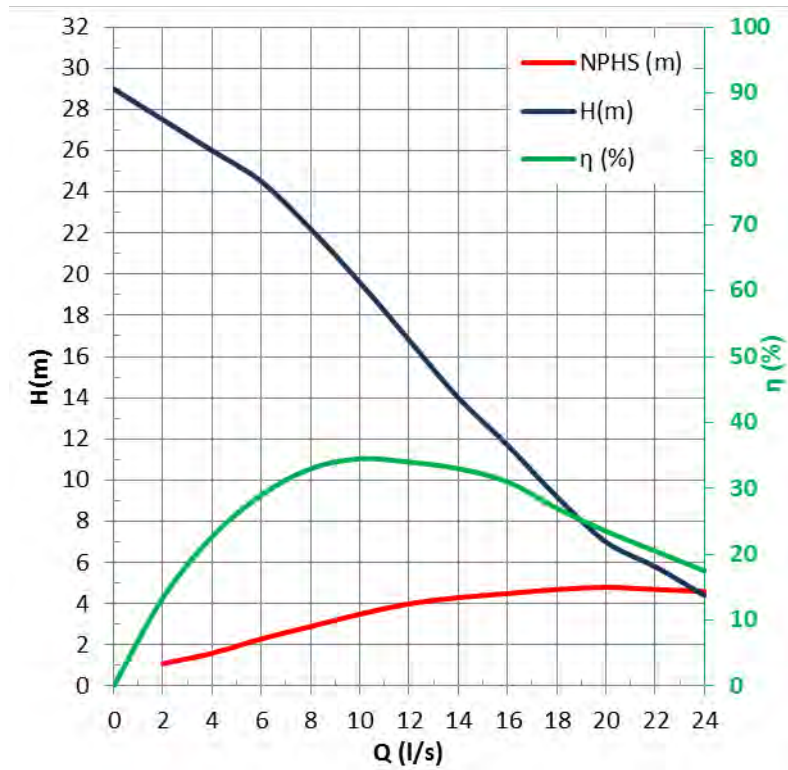


Figura 36. Curvas técnicas del equipo SLV.80.80.60 (8 HP)

Con los datos se obtiene nuevamente la curva H-Q para la línea hidráulica RAFA y el equipo propuesto de 8 HP. Los resultados se observan en la figura 37 y la tabla 25 a continuación.

Q (l/s)	H (m)	η(%)
12.4	16	34.2

Tabla 25. Punto de operación RAFA

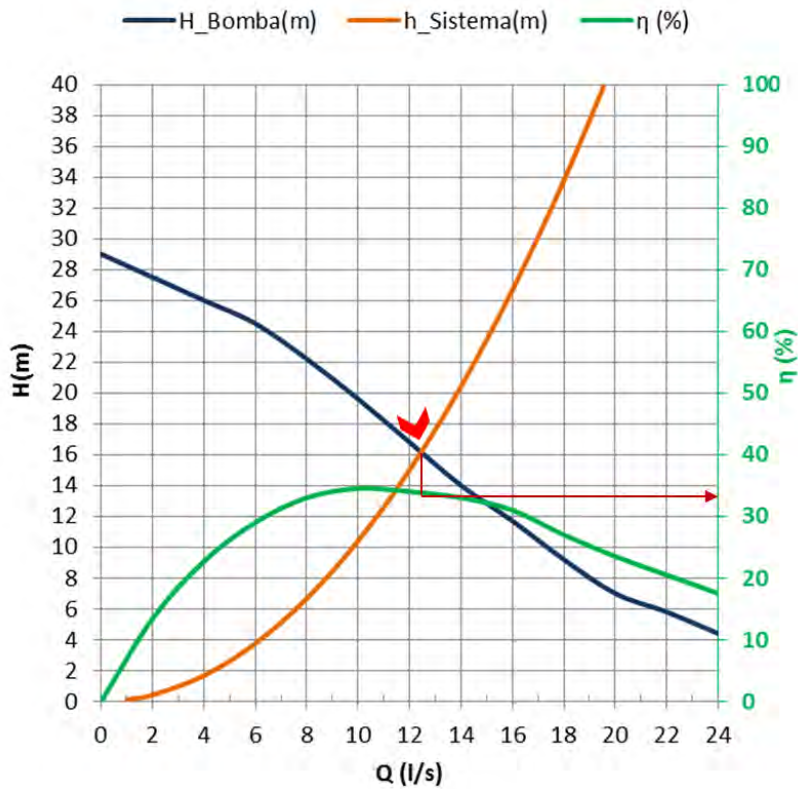


Figura 37. H-Q de la Línea RAFA y la bomba 8 HP

Como se observa en la figura 37, la curva en el gráfico H-Q muestra que el equipo de bombeo propuesto SLV.80.80.60, no puede satisfacer las necesidades del sistema, ya que en base a los cálculos se puede ver que si el equipo fuera puesto en marcha solo podría abastecer un flujo de 12.4 l/s y suministrar un carga de 16 m, por lo tanto una bomba de 8 HP con las características propuestas, no tiene la potencia necesaria para satisfacer la demanda que la línea hidráulica del reactor RAFA requiere, haciendo no factible el empleo del equipo propuesto y quedando descartada la modificación del sistema.

Propuesta de eficiencia Línea hidráulica Tanques Anóxicos con equipo actual sumergible de 20 HP

Se propone hacer el cambio de equipo de bombeo por uno de capacidad más pequeña de 18 HP con la finalidad de que este más acorde a las necesidades reales del sistema y equipo más eficiente en la medida de lo posible.

De entre las opciones de equipos más acordes, se tiene el equipo SLV.80.100.110 de la marca GRUNDFOS, el cual es de una capacidad de 18 HP.

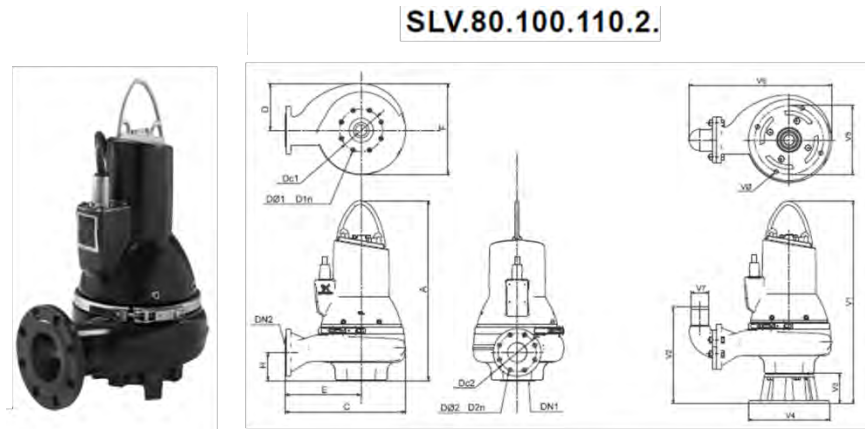


Figura 38. Equipo SLV.80.100.110 marca GRUNDFOS

La Curva H-Q, η -Q, y NPHS-Q para este equipo se muestra en la figura 39, a partir de la cual se observa una ligera mayor eficiencia que el equipo actual que se propone remplazar, pero lo más importante es que demanda un potencia más pequeña.

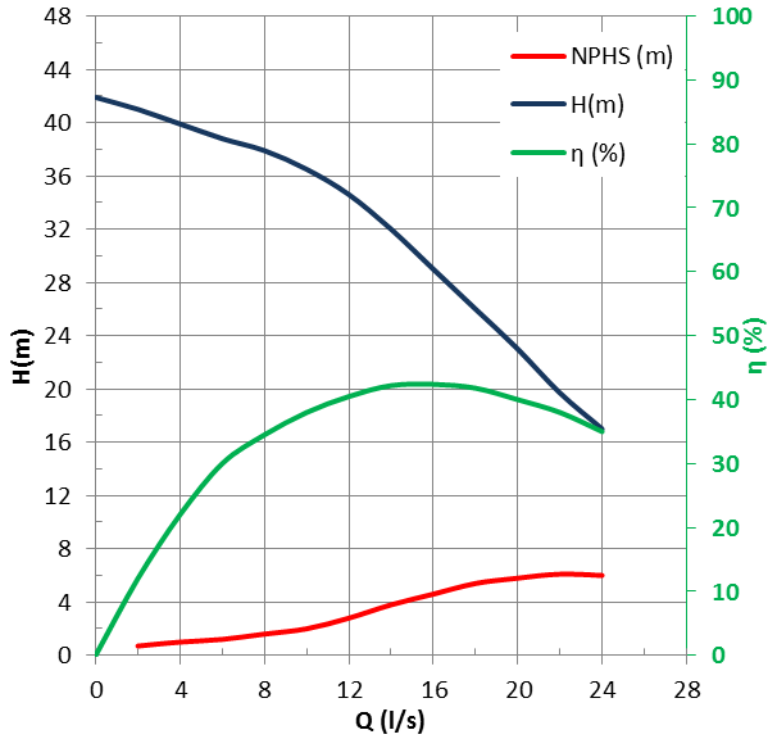


Figura 39. Curvas técnicas del equipo SLV.80.100.110 (18 HP)

Con los datos se obtiene nuevamente la curva H-Q para la línea hidráulica Anóxico y el equipo propuesto de 18 HP. Los resultados se observan en la figura 40 y la tabla 26 a continuación.

Q (l/s)	H (m)	η (%)
21.6	21.8	39.5

Tabla 26. Punto de operación Anóxico

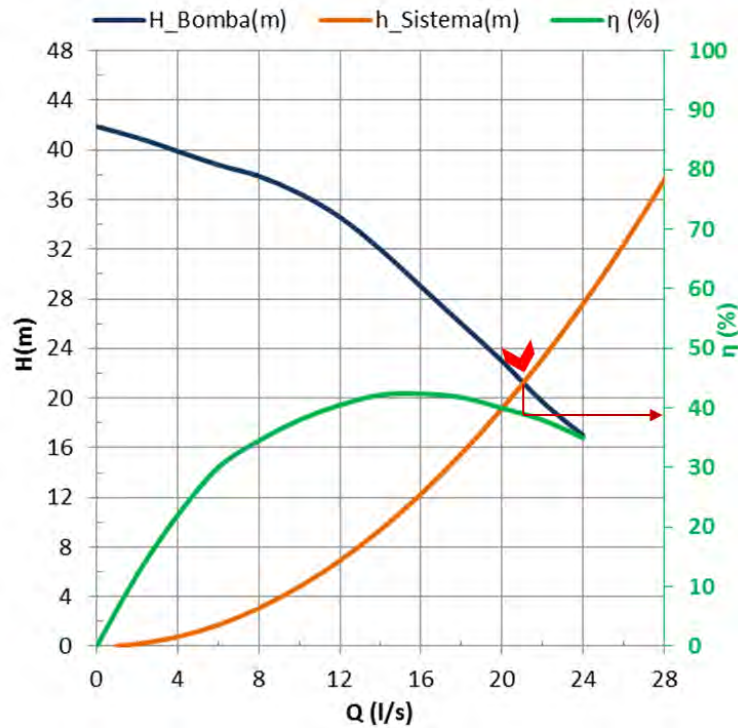


Figura 40. H-Q de la Línea Anóxico y la bomba 18 HP

Como se observa en la figura 40, la curva en el gráfico H-Q muestra que el valor de la eficiencia del equipo de bombeo se encuentra en un $\eta=39.5\%$, lo cual se encuentra cercano del punto de máxima eficiencia para este equipo, el cual es de aproximadamente $\eta_{max}=42.4\%$, teniendo además un flujo de operación cercano a los 22 l/s que se requieren. A partir de la información anterior se realizó el cálculo del bph requerido:

$$bph(W) = \frac{\gamma QH}{\eta_{bomba}} \quad (17)$$

$$bph(W) = \frac{\left(1100 \frac{kg}{m^3}\right) \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right) \left(0.0216 \frac{m^3}{s}\right) (21.8m)}{0.395} = 12.86kW$$

Tomando en cuenta que la eficiencia de los motores eléctricos es de aproximadamente 98.5% para 18 HP, se tendría que la potencia eléctrica demanda por el sistema tendría un estimado de:

$$P_{ele} (W) = \frac{bph(W)}{\eta_{\text{motor electrico}}} \quad (18)$$

$$P_{ele} (W) = \frac{12.86kW}{0.985} = 13kW \approx 17.4HP$$

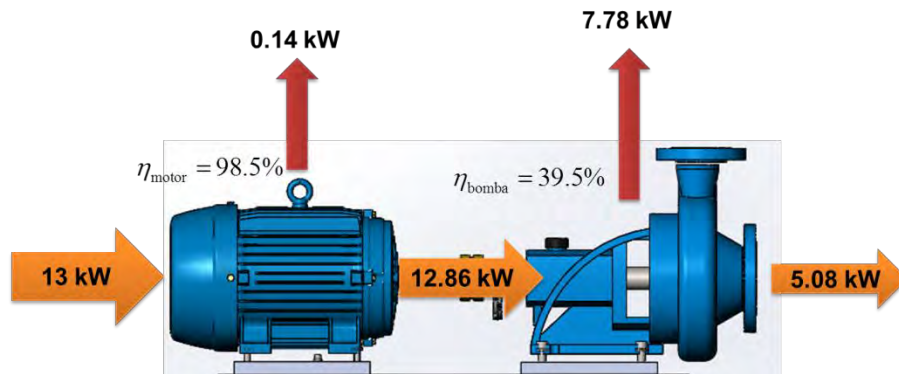


Figura 41. Análisis de la propuesta para los Tanques Anóxicos

Por lo tanto una bomba de 18 HP con las características propuestas, tendría un aprovechamiento más cercano al punto máximo de eficiencia, así mismo una demanda menor y por tanto un consumo eléctrico menor a los largo de la operación del sistema. Siendo viable la propuesta de sustitución del equipo actual de 20 HP por el equipo propuesto de 18 HP.

En resumen, todos los sistemas con equipos de 6.5 HP susceptibles de ser reemplazados por bombas de 5 HP, mientras que para la línea del Reactor Anaeróbico (RAFA 1& 2) con equipo de bombeo actual de 10 HP no es técnicamente factible el reemplazo debido a que no se pueden satisfacer las necesidades de operación de la línea, mientras que para el sistema de para los Tanques Anóxicos con un solo equipo de 20 HP se propone su reemplazo por una bomba de 18 HP siendo aceptable las condiciones de operación del equipo para las necesidades del sistema

Propuesta de corrección F.P.

De acuerdo a las medias impuesta por la CFE, los usuarios deben de procurar mantener un factor de potencia (F.P.) por arriba del 90%, si este factor de potencia durante periodo de facturación tiene un valor menor de 90%, determinado por los métodos establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes, el

suministrador (CFE) impondrá un recargo que resulte de aplicar al monto de la facturación el porcentaje de recargo que se determine según la fórmula que se señala a continuación. En el caso de que el factor de potencia tenga un valor igual o superior de 90%, el suministrador tendrá la obligación de bonificar al usuario la cantidad que resulte de aplicar a la factura el porcentaje de bonificación según la fórmula que también se señala.

$$\text{Recargo bajo F.P.} = \frac{3}{5} \times \left[\frac{90}{FP} - 1 \right] \times 100 \quad (19)$$

$$\text{Bonificación alto F.P.} = \frac{1}{4} \times \left[1 - \frac{90}{FP} \right] \times 100 \quad (20)$$

Los valores resultantes de la aplicación de estas fórmulas se redondearán a un decimal, según sea o no menor que 5 el segundo decimal. En ningún caso se aplicarán porcentajes de recargo superiores a 120%, ni porcentajes de bonificación superiores a 2.5%. En la tabla 27 se presenta un historial del F.P. y su impacto en la facturación.

Periodo de consumo	Cargo por F.P. (\$)	F.P. (%)	kVArh	Demanda Maxima (kW)
30 NOV 17 - 31 DIC 17	\$4,254.11	82.06	34024	80
31 DIC 17 -31 ENE 18	\$3,781.17	82.37	35384	85
31 ENE 18 -28 FEB 18	\$3,834.74	82.39	34152	88
28 FEB 18 - 31 MAR 18	\$4,832.00	81.47	36192	82
31 MAR 18 -30 ABR 18	\$5,786.74	80.1	36328	79
30 ABR 18 -31 MAY 18	\$6,410.19	80.07	37136	80
31 MAY 18 -30 JUN 18	\$6,309.10	80.7	34096	84
30 JUN 18 -31 JUL 18	\$7,761.88	80.37	37568	84
31 JUL 18 -31 AGO 18	\$7,901.54	80.77	35072	81
31 AGO 18 -30 SEP 18	\$8,689.15	80.77	34864	81
30 SEP 18 -31 OCT 18	\$9,391.07	80.49	37192	82
31 OCT 18 -30 NOV 18	\$9,247.85	80.38	36944	82

Tabla 27. Historial F.P. tarifa GDMTH

A partir de los datos anteriores se obtienen valores promedio de cada uno de los rubros presentados, lo cuales se muestran en la tabla 28.

	Cargo por F.P. (\$)	F.P. (%)	kVARh	Demanda Maxima (kW)
Promedio	\$6,516.63	81.00	35746.00	82.33

Tabla 28. Valores promedio de las variables del F.P.

De acuerdo a la tabla 28, se debe compensar en promedio 35,746 kVARh al mes, pero los valores más altos registrados según el historial de la tabla 27 han sido de 37,568 kVARh, si se desea tener un F.P. de 100%, tenemos que intentar disminuir los kVARh lo más cerca de cero, por lo cual calculamos un promedio entre el valor promedio (35,746 kVARh) y el valor más alto (37,568 kVARh), para intentar abatir alguna situación donde se rebase el promedio anual calculado.

$$\text{Promedio kVARh} = \frac{37568\text{kVARh} + 35746\text{kVARh}}{2} = 36657\text{kVARh} \quad (21)$$

Si se considera un mes promedio con 30 días y 360 horas activas, entonces es necesario compensar con un banco de capacitores de:

$$\text{Banco de Capacitores kVARh} = \frac{36657\text{kVARh}}{360\text{h}} = 101.82\text{kVAR} \quad (22)$$

Sera necesario un banco de capacitores de 100 kVAR, para corregir el F.P.

Con este banco de capacitores se espera tener un F.P. de 0.99, por lo cual se procede a realizar el análisis del costo beneficio de implementar esta medida de ahorro.

Análisis Económico de Banco de Capacitores

El precio estimado del costo por kVAR es de \$600 pesos por unidad instalada en promedio, por lo cual la inversión requerida para el banco propuesto es de:

Inversión Banco de Capacitores de 100 kVAR
\$ 61095

Posteriormente se procede a calcular los ahorros que se tendrían en el año 2018 del cual se tienen toda la facturación, esto con el fin de ver realmente los ahorros que se hubieran podido tener si se hubiera implementado esta medida en el año 2018. Dado que se conoce realmente todos los datos del historial de facturación. La tabla 29 muestra el análisis para el año 2018.

Periodo de consumo	Ahorro por Penalización F.P. (\$)	(FBas)	Cargo 2% Baja Tensión	(FNet)	F.P. Propuesto	Bonificación	Bonificación por F.P. (\$)	Beneficios Totales (\$)
30 NOV 17 - 31 DIC 17	\$4,254.11	\$71,456.76	\$1,438.17	\$72,894.93	0.99	0.023	\$1,656.70	\$5,910.81
31 DIC 17 -31 ENE 18	\$3,781.17	\$65,749.08	\$1,328.94	\$67,078.02	0.99	0.023	\$1,524.50	\$5,305.67
31 ENE 18 -28 FEB 18	\$3,834.74	\$67,907.52	\$1,367.11	\$69,274.63	0.99	0.023	\$1,574.42	\$5,409.16
28 FEB 18 - 31 MAR 18	\$4,832.00	\$74,746.73	\$1,503.89	\$76,250.62	0.99	0.023	\$1,732.97	\$6,564.97
31 MAR 18 -30 ABR 18	\$5,786.74	\$76,218.00	\$1,533.32	\$77,751.32	0.99	0.023	\$1,767.08	\$7,553.82
30 ABR 18 -31 MAY 18	\$6,410.19	\$84,477.91	\$1,698.51	\$86,176.42	0.99	0.023	\$1,958.56	\$8,368.75
31 MAY 18 -30 JUN 18	\$6,309.10	\$89,195.49	\$1,792.87	\$90,988.36	0.99	0.023	\$2,067.92	\$8,377.02
30 JUN 18 -31 JUL 18	\$7,761.88	\$105,242.24	\$2,113.80	\$107,356.04	0.99	0.023	\$2,439.91	\$10,201.79
31 JUL 18 -31 AGO 18	\$7,901.54	\$111,821.79	\$2,245.39	\$114,067.18	0.99	0.023	\$2,592.44	\$10,493.98
31 AGO 18 -30 SEP 18	\$8,689.15	\$123,012.74	\$2,469.21	\$125,481.95	0.99	0.023	\$2,851.86	\$11,541.01
30 SEP 18 -31 OCT 18	\$9,391.07	\$128,290.88	\$2,574.77	\$130,865.65	0.99	0.023	\$2,974.22	\$12,365.29
31 OCT 18 -30 NOV 18	\$9,247.85	\$125,476.12	\$2,518.48	\$127,994.60	0.99	0.023	\$2,908.97	\$12,156.82

Tabla 29. Análisis económico del Banco de Capacitores

Los beneficios mensuales promedio serían de \$ 8,687.42 con cual es posible obtener la Tasa Simple de Retorno (TSR)

$$TSR = \frac{\$ \text{ Inversión}}{\$ \text{ Beneficios}} = \frac{\$61,095}{\$8,687.42} = 7.03 \text{meses} \quad (23)$$

Por lo tanto se recuperaría la inversión en un periodo aproximado de 7 meses, algo bastante atractivo dado los beneficios que traería consigo en el futuro. Además de una compensación económica desde luego, los beneficios son para el mismo sistema y la red que lo abastece.

Ahorro energético y económico de la propuesta

Con base a la propuesta cambiar los equipos actuales de bombeo por los propuestos, las modificaciones pertinentes se presentan en la siguiente tabla.

Infraestructura	Equipos	Cantidad	Actuales		Propuestos	
			Potencia (HP)	Potencia Total (kW)	Potencia (HP)	Potencia Total (kW)
Caja Derivadora	Bomba	2	6.5	9.69	5	7.45
Carcamo 1	Bomba	2	6.5	9.69	5	7.45
Tanque de Homogenización	Bomba	2	6.5	9.69	5	7.45
DAF	Bomba	2	6.5	9.69	5	7.45
Carcamo 2	Bomba	2	6.5	9.69	5	7.45
RAFA 1 (Reactor Anaerobio)	Bomba	1	10	7.45	10	7.45
RAFA 2 (Reactor Anaerobio)	Bomba	1	10	7.45	10	7.45
Anoxico 1 & 2	Bomba	1	20	14.90	18	13.41
Reactor Aerobio 1	Bomba	2	6.5	9.69	5	7.45
Reactor Aerobio 2	Bomba	2	6.5	9.69	5	7.45
Clarificador 1	Bomba	2	6.5	9.69	5	7.45
Clarificador 2	Bomba	2	6.5	9.69	5	7.45
			TOTAL	116.97	TOTAL	95.36

Tabla 30. Modificación de la demanda con la propuesta de mejora.

Como se presenta en la figura 42, la modificación propuesta de los equipos, daría como resultados una disminución de la demanda, de aproximadamente Δ Demanda= 21.61 kW y por tanto del consumo eléctrico, impactado de forma directa en la facturación mensual de la PTAR. Así mismo se implementa también la corrección del F.P. que se propuso

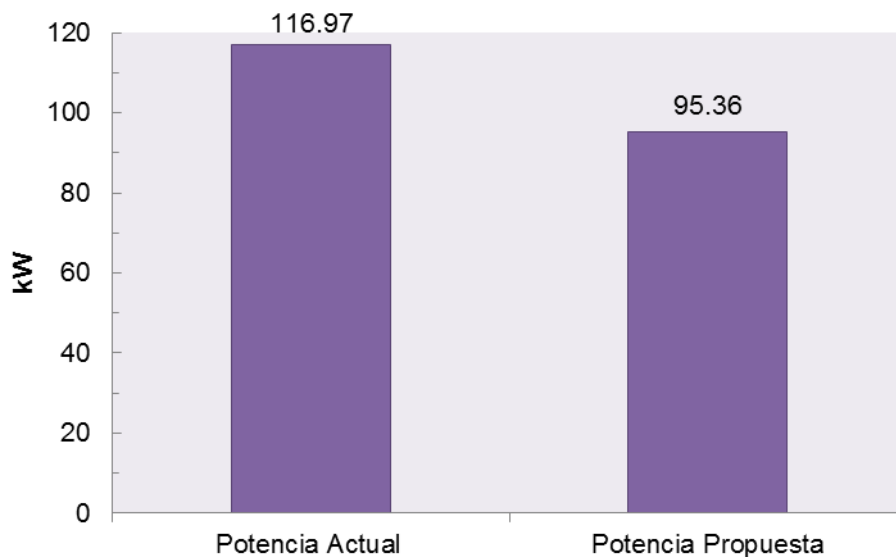


Figura 42 Modificación de la demanda de los equipos de bombeo

En base al historial de facturación se sabe que la demanda se mantiene aproximadamente constante a lo largo de los periodos base, intermedia y punta. Mientras que los tiempos de operación para un mes típico son los siguientes:

Horario	Tiempo promedio de operación (hrs.)
Base	117
Intermedia	215
Punta	28

Tabla 31. Tiempos de operación promedio de los equipos de bombeo

En base la tabla 31, se construye un caso hipotético de facturación, tanto con los datos de la demanda actual de los equipos como de la propuesta de modificación tecnológica, con la finalidad de comparar los impactos en el ahorro por facturación.

Caso hipotético de facturación para comparación de ahorro en facturación

Para el caso de facturación hipotética con los equipos actuales, se presentan los siguientes datos necesarios para la facturación en el esquema GDMTH.

Tarifa GDMTH	Datos	Datos
Consumo Base	(117 hr)(116.97 kW)	13686 kWh
Consumo Intermedio	(215 hr)(116.97 kW)	25149 kWh
Consumo Punta	(28 hr)(116.97 kW)	3275 kWh
Consumo Total	----	
Demanda Base	117	117
Demanda Intermedia	117	117
Demanda Punta	117	117
Demanda Facturable	----	----
Factor de Potencia	80.00%	80.00%
Medicion en Baja Tensión	Si	Si

Tabla 32. Datos hipotéticos de facturación mes de Octubre 2018 potencia actual

Con base a los datos de la tabla 32 anterior, se realizó el análisis de la facturación y los montos hipotéticos, bajo estas condiciones actuales del sistema en el mes de Octubre de 2018 región Golfo Centro.

Importe del Periodo (\$)	
SubTotal Cargo Fijo	\$447.83
SubTotal Cargo por Distribución	\$11,401.32
SubTotal Cargo por Transmisión	\$6,674.44
SubTotal Cargo por CENACE	\$383.20
SubTotal Cargo por Generación	\$61,671.94
SubTotal Cargo por Capacidad	\$44,055.42
SubTotal Cargo por SCnMEM	\$227.39
SubTotal Energía	\$124,861.53

Tabla 33. Importes de la facturación hipotética del mes de Octubre 2018 potencia actual

Se considera para la facturación total que el F.P. todavía no es corregido y por lo cual se considera en el análisis hipotético la penalización por este rubro como se presenta en la tabla 34

Tarifa GDMTH	Cargos (\$)
Cargo Energia Base	\$14,657.71
Cargo Energia Intermedia	\$46,621.22
Cargo Energia Punta	\$7,067.45
Cargo Energia Total	
Cargo por Distribución	\$11,401.32
Cargo por Capacidad	\$44,055.42
Cargo Fijo	\$447.83
Cargo por CENACE	\$383.20
Cargo por SCnMEM	\$227.39
Factura Basica	\$124,861.53
Cargo Medición B.T.	\$2,497.23
Factura Normal	\$127,358.76
Penalización por F.P.	\$9,551.91
Facturación Neta	\$136,910.67
IVA (16%)	\$21,905.71
Facturación Total	\$158,816.38

Tabla 34. Facturación hipotética del mes de Octubre 2018 bajo el esquema de potencia actual

Para el siguiente caso de facturación hipotética se plantea en base a la modificación de los equipos en el análisis de las propuestas de ahorro. Se presentan los siguientes datos necesarios para la facturación en el esquema GDMTH.

Tarifa GDMTH	Datos	Datos
Consumo Base	(117 hr)(95.36 kW)	11157
Consumo Intermedio	(215 hr)(95.36 kW)	20502
Consumo Punta	(28 hr)(95.36 kW)	2670
Consumo Total	----	
Demanda Base	96	96
Demanda Intermedia	96	96
Demanda Punta	96	96
Demanda Facturable	----	----
Factor de Potencia	99%	99%
Medicion en Baja Tensión	Si	Si

Tabla 35. Datos hipotéticos de facturación mes de Octubre 2018 potencia propuesta

Con base a los datos de la tabla 35 anterior, se realizó el análisis de la facturación y los montos hipotéticos, bajo las condiciones una vez se realicen el cambio de tecnología del sistema, en el mes de Octubre de 2018 región Golfo Centro.

Importe del Periodo (\$)	
SubTotal Cargo Fijo	\$447.83
SubTotal Cargo por Distribución	\$9,294.60
SubTotal Cargo por Transmisión	\$5,441.15
SubTotal Cargo por CENACE	\$312.39
SubTotal Cargo por Generación	\$50,276.47
SubTotal Cargo por Capacidad	\$35,914.95
SubTotal Cargo por SCnMEM	\$185.38

SubTotal Energía	\$101,872.77
-------------------------	---------------------

Tabla 36. Importes de la facturación hipotética del mes de Octubre 2018 potencia propuesta

Tarifa GDMTH	Cargos (\$)
Cargo Energia Base	\$11,949.15
Cargo Energia Intermedia	\$38,006.61
Cargo Energia Punta	\$5,761.86
Cargo Energia Total	
Cargo por Distribución	\$9,294.60
Cargo por Capacidad	\$35,914.95
Cargo Fijo	\$447.83
Cargo por CENACE	\$312.39
Cargo por SCnMEM	\$185.38
Factura Basica	\$101,872.77
Cargo Medición B.T.	\$2,037.46
Factura Normal	\$103,910.22
Bonificación por F.P.	\$2,361.60
Facturación Neta	\$101,548.63
IVA (16%)	\$16,247.78
Facturación Total	\$117,796.41

Tabla 37. Facturación hipotética del mes de Octubre 2018 bajo el esquema de potencia propuesta

Como se puede observar comparando las tablas 34 y 37, existe un gran ahorro en la facturación total, bajo las mismas condiciones. A partir de la figura 43 se puede observar que el caso 2 donde se tendrían los equipos propuestos en el remplazo de tecnología, presentan un ahorro sustancial de \$ 29,240.33 pesos mensuales en promedio, en comparación con el caso 1 donde se tienen los equipos actuales.

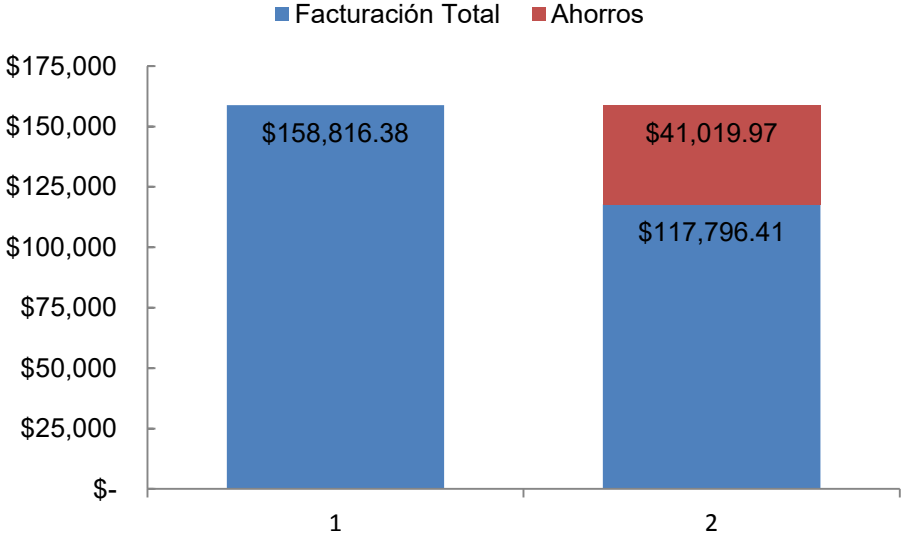


Figura 43. Comparación de la facturación total de los casos bajo análisis

Caso	Consumo energético mensual (kWh/mes)
Actual	42110
Propuesto	34329

Tabla 38. Tiempos de operación promedio de los equipos de bombeo

Por lo tanto con la implementación de las medidas de corrección propuestas, es posible tener un ahorro económico del 18.4% en comparación con las condiciones actuales, del mismo modo para el caso de consumo energético se tiene un ahorro aproximado del 18.5%, ambas situaciones hacen que sea sumamente atractiva la propuesta que se plantea no solo desde el punto de vista energético, sino también económico.

XII. Conclusiones

Se pudo constatar que el sistema hidráulico actual está diseñado y operando en condiciones energéticamente deficientes que pueden ser mejoradas, ya que en la gran mayoría de las líneas hidráulicas es posible hacer el cambio del sistema de bombeo actual por uno más eficiente y de menor demanda.

A pesar de que en algunos casos se tenía un equipo mucho más eficiente que los propuestos como remplazo de los actuales, no fue posible su propuesta, dado que aunque desde el punto de vista energético era factible, no tenía la capacidad de poder suministrar la carga hidráulica requerida por algunas de las líneas analizadas.

Para 7 de las 9 líneas analizadas se propuso remplazar el equipo de bombeo sumergible de 6.5 HP por uno de 5 HP, para el caso del Reactor Anaerobio (RAFA) dado que tiene una longitud más larga y más accesorios de la línea de suministro hidráulico, es necesario una bomba de mayor potencia, en el caso actual se cuenta con una bomba de 10 HP, sin embargo después del análisis de esta línea, se concluyó que un equipo de 8 HP actual que es un poco más eficiente, no puede cumplir con la misma tarea que el equipo actual. Para el caso donde se tiene el equipo de bombeo más grande que es el caso de la línea hidráulica de Tanques Anóxicos, solo una línea sustrae el agua de tratamiento de ambos tanques y la descarga en los Reactores Aeróbicos (RB), llevando consigo un flujo de 22 l/s en promedio, lo que ocasiona que se necesite un equipo de tal potencia, sin embargo al igual que en los demás casos, resulto que un equipo actual de menor capacidad sería factible de utilizar, con una capacidad de 18 HP, dando también una reducción de la demanda y el consumo.

El F.P. es otro factor importante en el análisis realizado ya que a lo largo del historial que se tiene de la plata siempre está por debajo del 90%, lo que impacta la facturación de forma palpable y su corrección no requiere de una modificación tan complejo como la propuesta para el equipo de bombeo, por lo cual sería la primera de las medidas de ahorro a implementar, ya que su Tasa Simple de Retorno es de apenas 7 meses lo que la hace como la acción más atractiva para iniciar las correcciones. Sin embargo se deben de realizar estudios más detallados del porque esta F.P. tiene ese valor así como otras medidas para no afectar el sistema, tal vez un filtro de armónicos.

Para poder analizar el impacto económico de dicha propuesta, tanto del cambio de tecnología de bombeo como el de la implementación del banco de capacitores, se realizó un análisis del impacto en la facturación bajo el esquema de tarifa GDMTH,

tomando como hipótesis que la demanda a lo largo de los tres horarios de facturación se mantenía igual y constante, lo que hace que los resultados obtenidos se tomen con reserva de ser una representación exacta de los ahorros reales, de la misma manera, para el dato de los consumos de energía también fueron datos hipotéticos, lo que aun más pone en estatus de reservados los ahorros por facturación total durante la comparación final de este análisis.

Existen otras posibilidades de ahorro, las cuales serían, modificar las líneas hidráulicas para poder disminuir la pérdida de carga a lo largo de ellas, lo cual reduciría aún más la necesidad de equipos de bombeo tan grandes, sin embargo tendríamos que poseer más información detallada de los procesos, condiciones y demás información técnica para poder una evaluación que esté acorde con las necesidades de la PTAR.

XIII. Apéndice I. Análisis de carga por línea hidráulica

Línea hidráulica Cárcamo 1

Esta sistema usa dos líneas con un equipo de bombeo de 6.5 HP cada una y debe de trasportar un flujo de 15 l/s. Así mismo se presentan las correspondientes cálculos de perdida de carga

Accesorio	No. Pieza	Longitud Equivalente (Le/D)	f_T	K	h_{Ai} (m)	$8Ki/\pi^2 D^4 g$
Codo Standard 90°	4	30	0.017253701	0.517611015	1.04524337	1161.382
Válvula Globo	1	340	0.017253701	5.866258172	2.96152289	13162.324
Válvula No Retorno	1	100	0.017253701	1.725370051	0.87103614	3871.272
Válvula Check	1	150	0.017253701	2.588055076	1.30655422	5806.908

Tubería	Longitud (m)	f_L	$h_{L\text{Tubo}}$ (m)	$8f_L L/\pi^2 g D^5$
Acero Cedula 40	24.42	0.018768998	2.97031981	13201.421

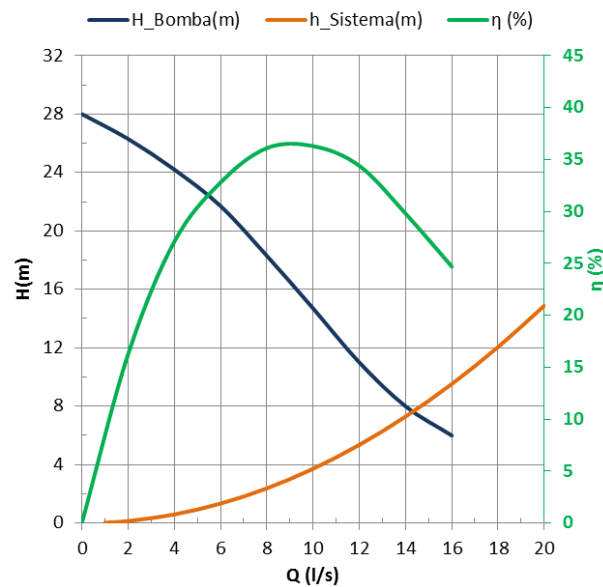


Figura 44. H-Q de la hidráulica Cárcamo 1 y la bomba 6.5 HP

Línea hidráulica Tanque de Homogenización

Accesorio	No. Pieza	Longitud Equivalente (Le/D)	f_T	K	h_{Ai} (m)	$8Ki/\pi^2 D^4 g$
Codo Standard 90°	3	30	0.017253701	0.517611015	0.78393253	1161.382
Válvula Globo	1	340	0.017253701	5.866258172	2.96152289	13162.324
Válvula No Retorno	1	100	0.017253701	1.725370051	0.87103614	3871.272
Válvula Check	1	150	0.017253701	2.588055076	1.30655422	5806.908

Tubería	Longitud (m)	f_L	$h_{L\text{Tubo}}$ (m)	$8f_L L/\pi^2 g D^5$
Acero Cedula 40	13.45	0.018768998	1.63598695	7271.053

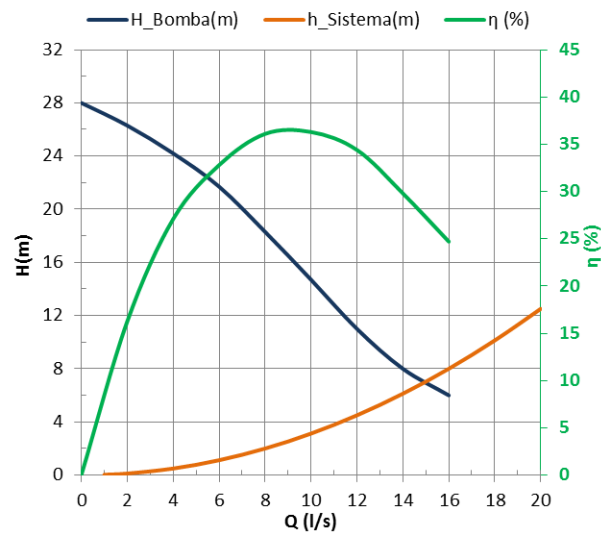


Figura 45. H-Q de la hidráulica Tanque de Homogenización y la bomba 6.5 HP

Línea hidráulica DAF

Accesorio	No. Pieza	Longitud Equivalente (Le/D)	f_T	K	h_{Ai} (m)	$8Ki/\pi^2 D^4 g$
Codo Standard 90°	7	30	0.017253701	0.517611015	1.8291759	1161.382
Válvula Globo	1	340	0.017253701	5.866258172	2.96152289	13162.324
Válvula No Retorno	1	100	0.017253701	1.725370051	0.87103614	3871.272
Válvula Check	1	150	0.017253701	2.588055076	1.30655422	5806.908

Tubería	Longitud (m)	f_L	$h_{L\text{Tubo}}$ (m)	$8f_L L/\pi^2 g D^5$
Acero Cedula 40	17.17	0.018768998	2.0884681	9282.080

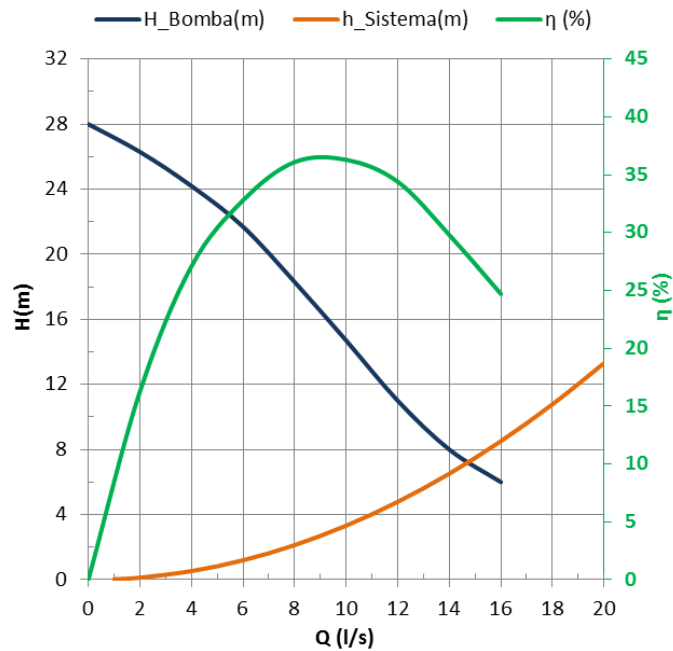


Figura 46. H-Q de la hidráulica DAF y la bomba 6.5 HP

Línea hidráulica Cárcamo 2

Accesorio	No. Pieza	Longitud Equivalente (Le/D)	f_T	K	h_{Ai} (m)	$8K_i/\pi^2 D^4 g$
Codo Standard 90°	2	30	0.017253701	0.517611015	0.52262169	1161.382
Válvula Globo	1	340	0.017253701	5.866258172	2.96152289	13162.324
Válvula No Retorno	1	100	0.017253701	1.725370051	0.87103614	3871.272
Válvula Check	1	150	0.017253701	2.588055076	1.30655422	5806.908

Tubería	Longitud (m)	f_L	$h_{L\text{Tubo}}$ (m)	$8f_L L/\pi^2 g D^5$
Acero Cedula 40	6.85	0.018768998	0.83319782	3703.101

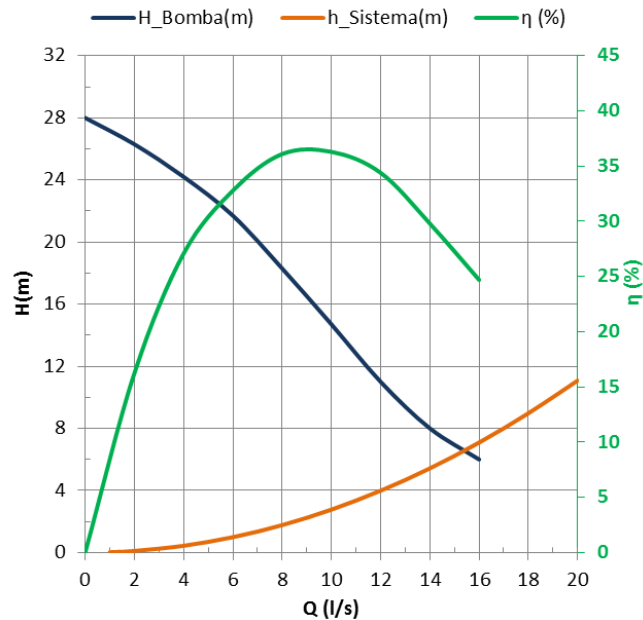


Figura 47. H-Q de la hidráulica Cárcamo 2 y la bomba 6.5 HP

Línea hidráulica RAFA 1 &2 (Reactor Anaerobio)

Accesorio	No. Pieza	Longitud Equivalente (Le/D)	f_T	K	h_{Ai} (m)	$8Ki/\pi^2D^4g$
Codo Standard 90°	3	30	0.018141116	0.544233476	1.96399372	8728.861
Válvula Globo	1	340	0.018141116	6.167979395	7.41953185	32975.697
Válvula No Retorno	1	100	0.018141116	1.814111587	2.18221525	9698.734
Válvula Check	0	150	0.018141116	2.72116738	0	0.000

Tubería	Longitud (m)	f_L	$h_{L,Tubo}$ (m)	$8f_L L/\pi^2gD^5$
Acero Cedula 40	32.2	0.019230671	11.8799976	52799.989

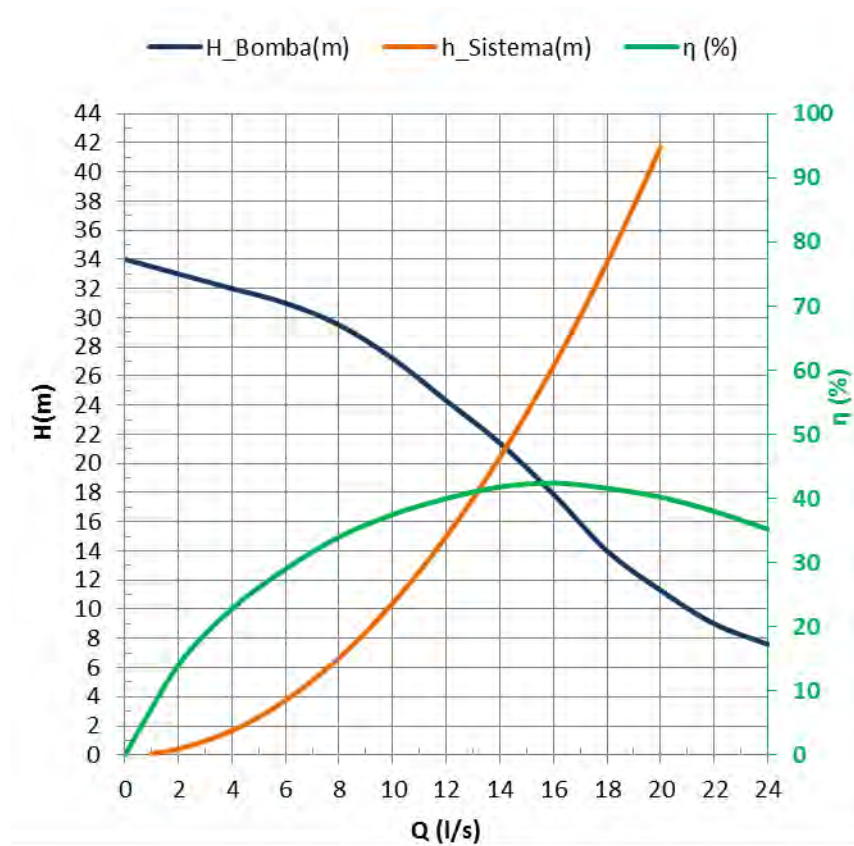


Figura 48. H-Q de la hidráulica RAFA 1 &2 y la bomba 10 HP

Línea hidráulica Anóxico 1 & 2

Accesorio	No. Pieza	Longitud Equivalente (Le/D)	f_T	K	h_{Ai} (m)	$8Ki/\pi^2 D^4 g$
Codo Standard 90°	3	30	0.017253701	0.517611015	1.68632598	3484.145
Válvula Globo	2	340	0.017253701	5.866258172	12.7411296	26324.648
Válvula No Retorno	1	100	0.017253701	1.725370051	1.87369553	3871.272
Válvula Check	1	150	0.017253701	2.588055076	2.81054329	5806.908

Tubería	Longitud (m)	f_L	$h_{L\text{Tubo}}$ (m)	$8f_L L/\pi^2 g D^5$
Acero Cedula 40	15.94	0.018335525	4.07437486	8418.130

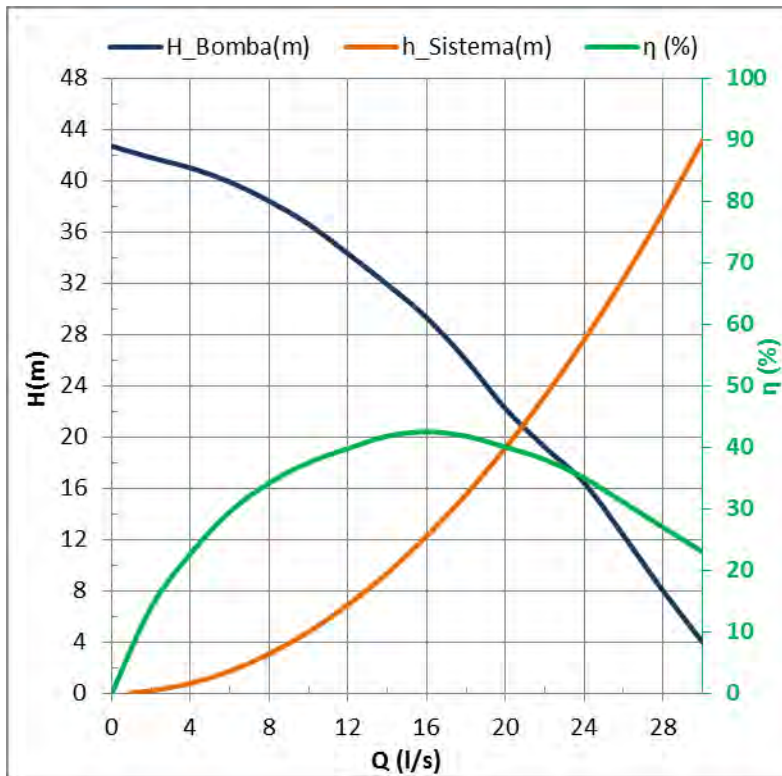


Figura 49. H-Q de la hidráulica Anóxico 1 & 2 y la bomba 20 HP

Línea hidráulica Reactor Aerobio 1 & 2

Accesorio	No. Pieza	Longitud Equivalente (Le/D)	f_T	K	h_{Ai} (m)	$8Ki/\pi^2 D^4 g$
Codo Standard 90°	3	30	0.017253701	0.517611015	0.78393253	3484.145
Válvula Globo	1	340	0.017253701	5.866258172	2.96152289	13162.324
Válvula No Retorno	1	100	0.017253701	1.725370051	0.87103614	3871.272
Válvula Check	1	150	0.017253701	2.588055076	1.30655422	5806.908

Tubería	Longitud (m)	f_L	$h_{L\text{Tubo}}$ (m)	$8f_L L/\pi^2 g D^5$
Acero Cedula 40	12.33	0.018769071	1.49976192	6665.609

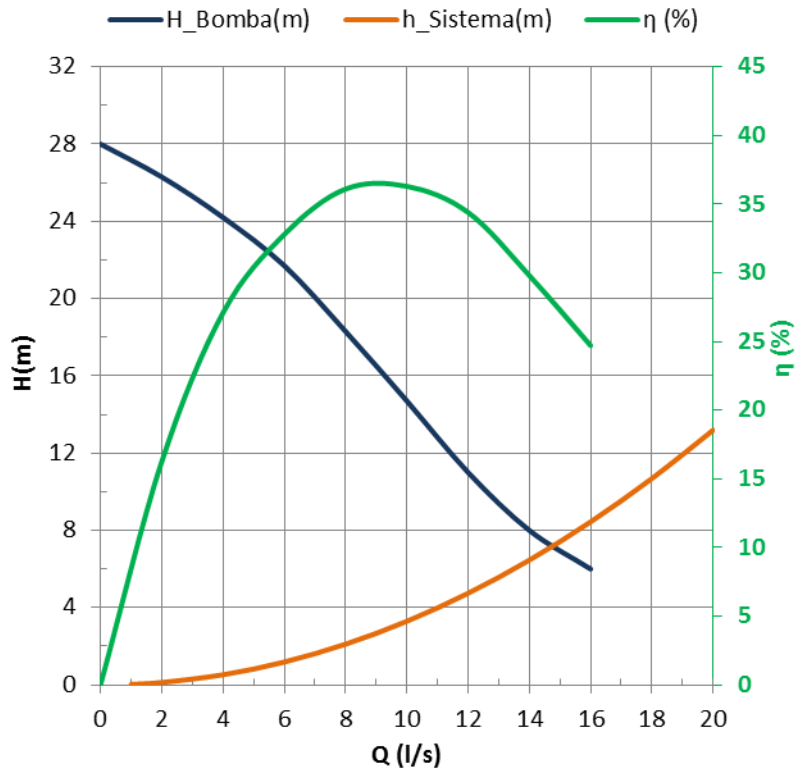


Figura 50. H-Q de la hidráulica Reactor Aerobio 1 & 2 y la bomba 6.5 HP

Línea hidráulica Clarificador 1 & 2

Accesorio	No. Pieza	Longitud Equivalente (Le/D)	f_T	K	h_{Ai} (m)	$8Ki/\pi^2D^4g$
Codo Standard 90°	3	30	0.017253701	0.517611015	0.78393253	3484.145
Válvula Globo	1	340	0.017253701	5.866258172	2.96152289	13162.324
Válvula No Retorno	1	100	0.017253701	1.725370051	0.87103614	3871.272
Válvula Check	1	150	0.017253701	2.588055076	1.30655422	5806.908

Tubería	Longitud (m)	f_L	$h_{L\text{Tubo}}$ (m)	$8f_L L/\pi^2gD^5$
Acero Cedula 40	15.84	0.018769071	1.92670145	8563.118

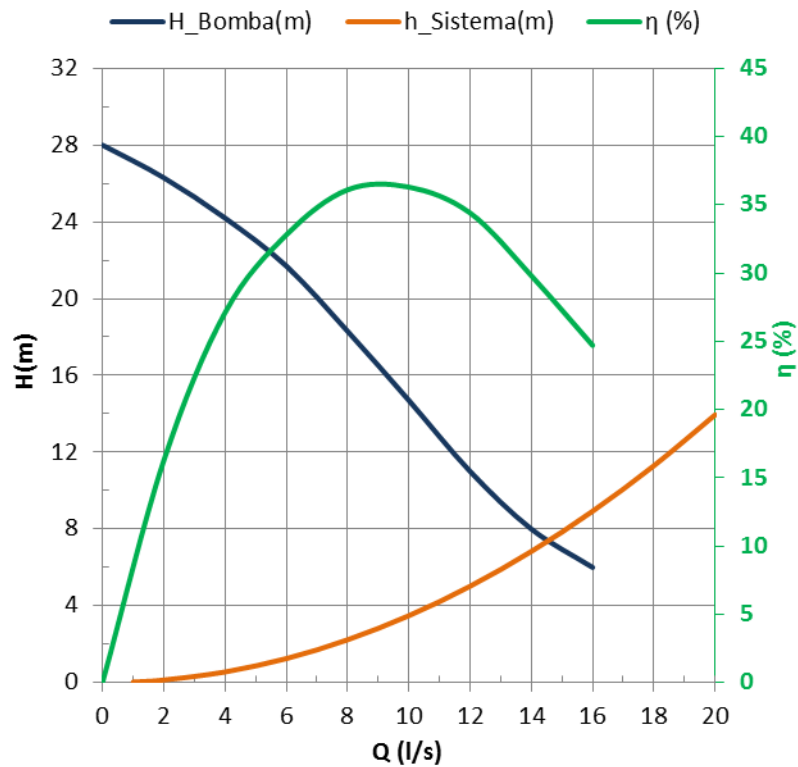


Figura 50. H-Q de la hidráulica Clarificador 1 & 2 y la bomba 6.5 HP

XIV. Apéndice 2. Isométricos de líneas hidráulicas

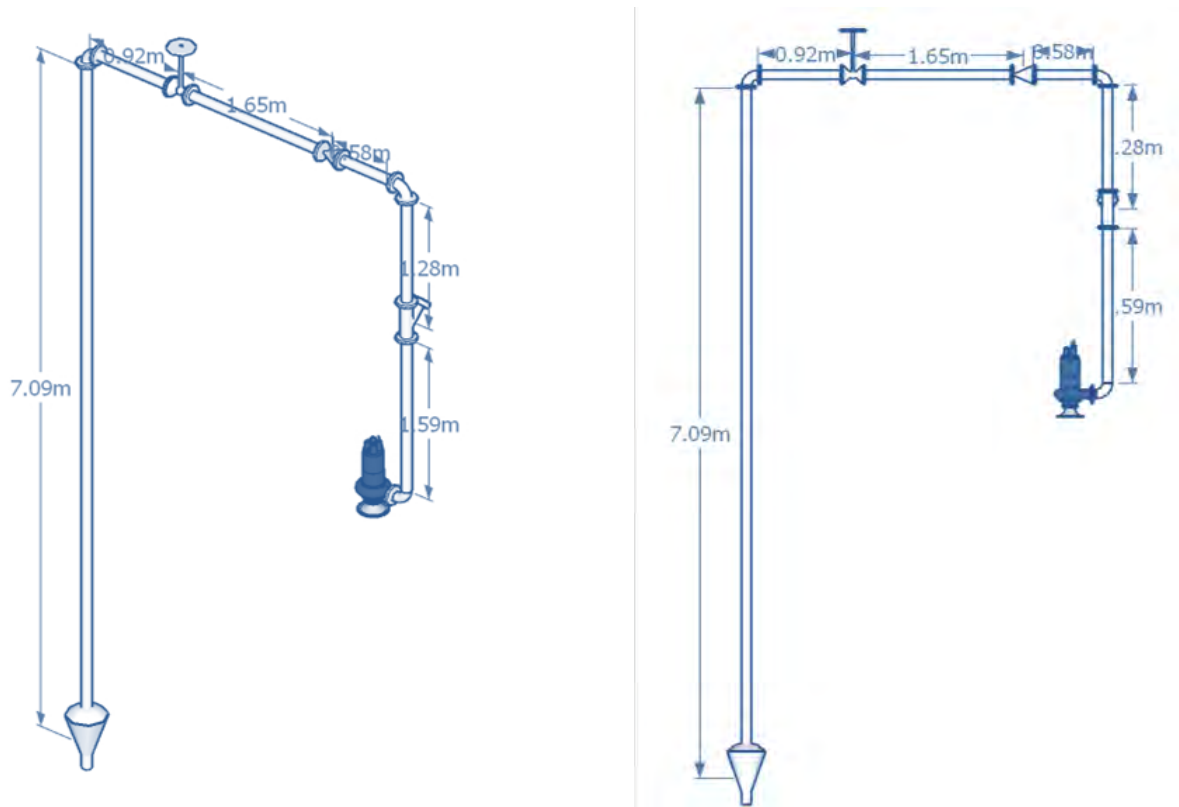


Figura 51. Isométrico de la línea hidráulica de la Caja de Derivación

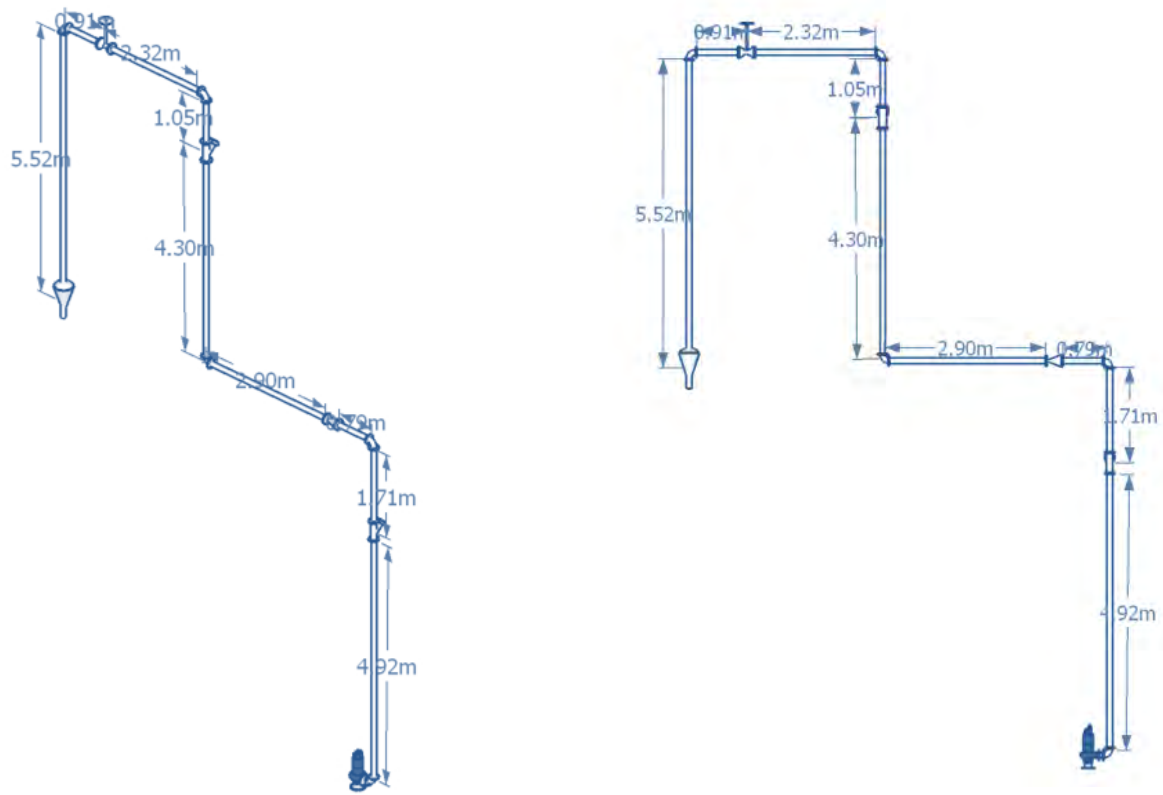


Figura 52. Isométrico de la línea hidráulica Cárcamo 1

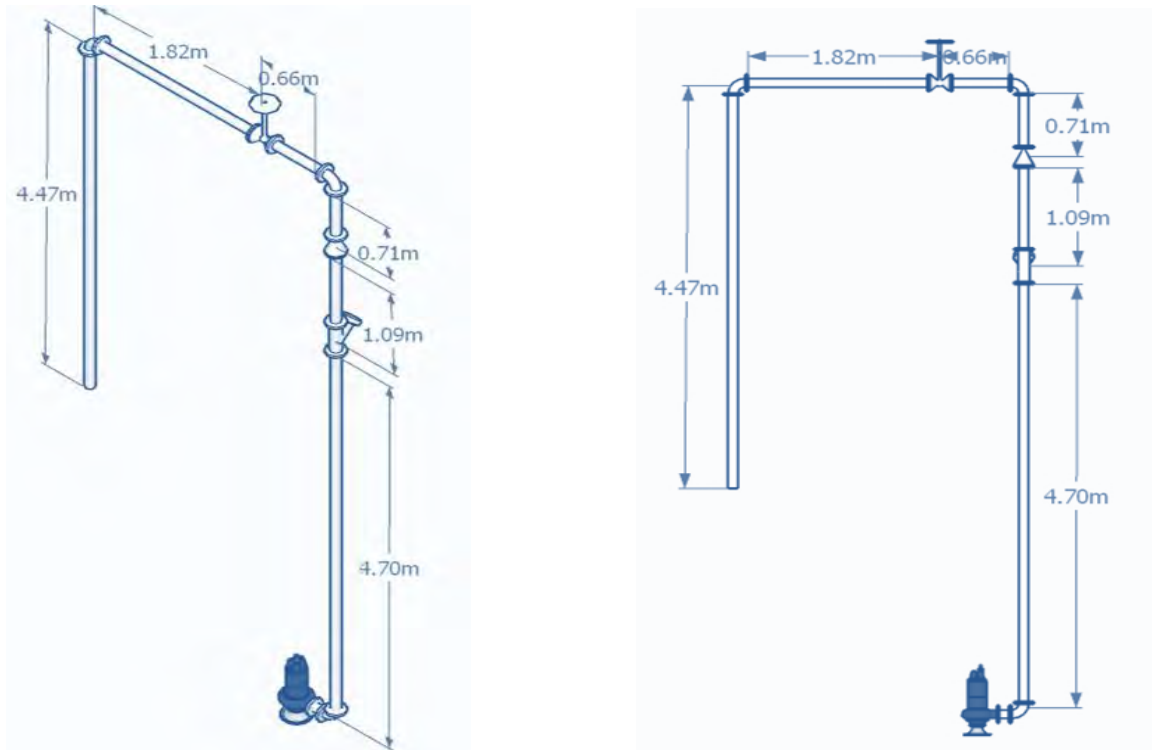


Figura 53. Isométrico de la línea hidráulica Tanque de Homogenización

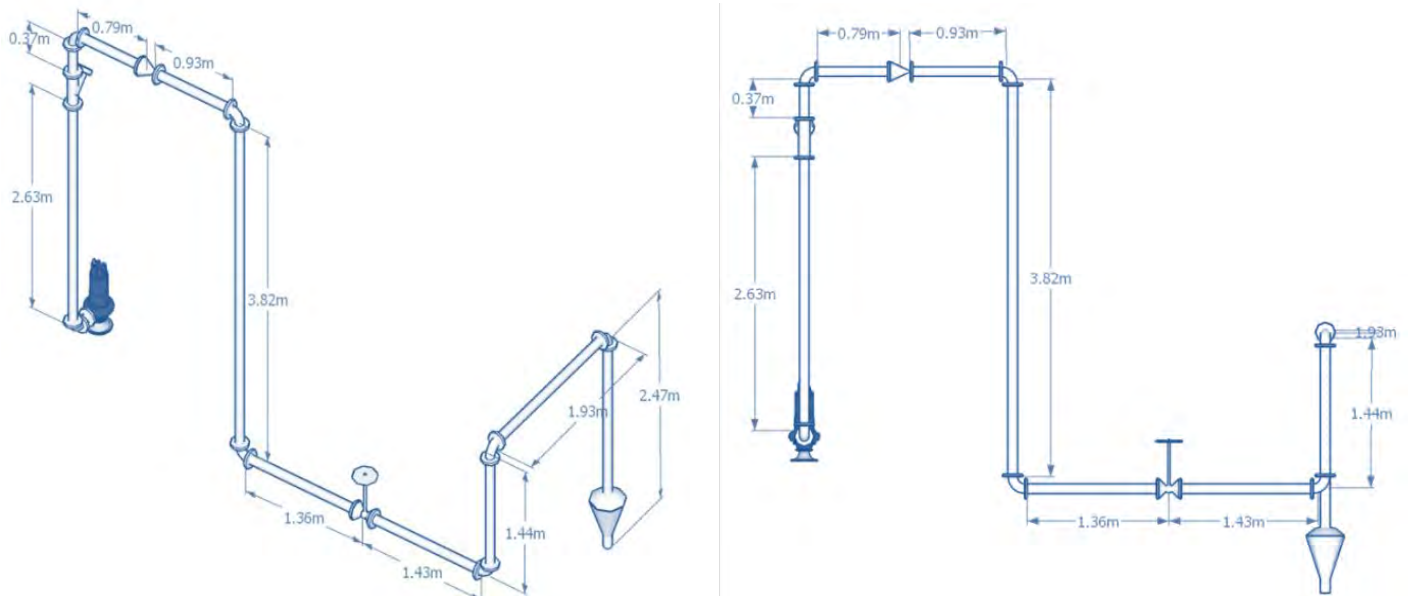


Figura 54. Isométrico de la línea hidráulica DAF

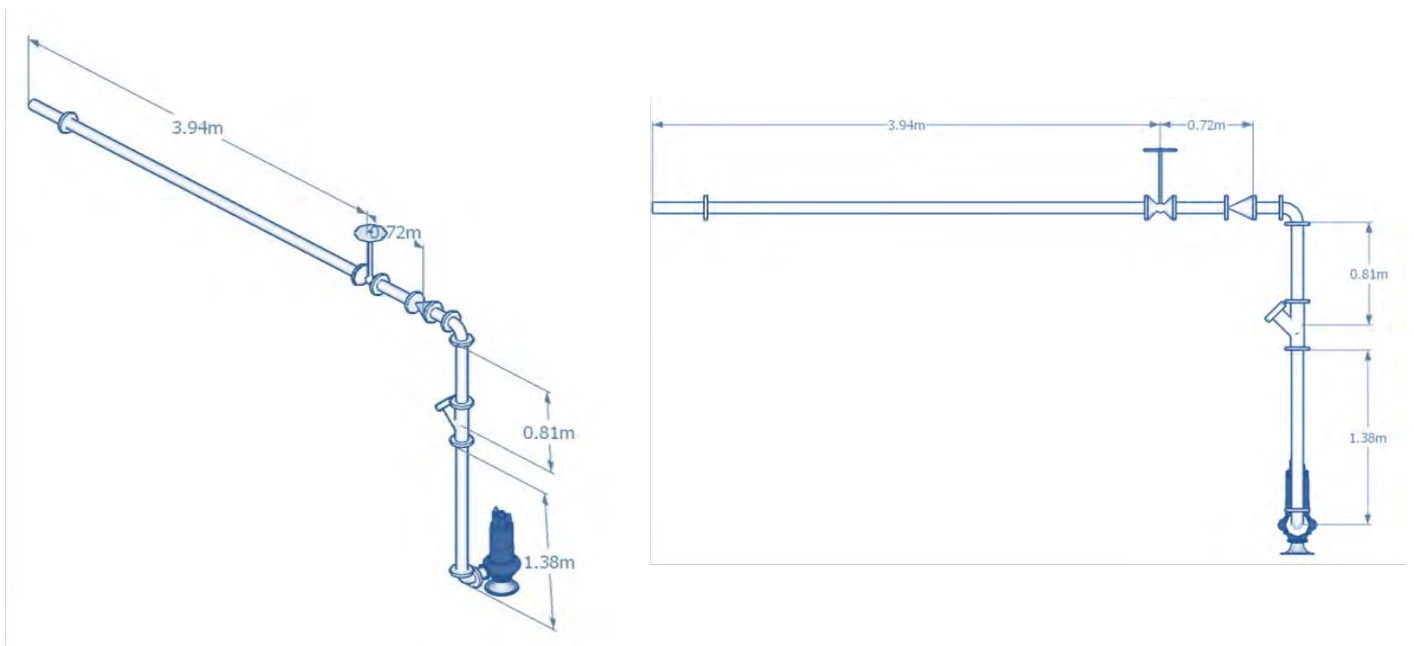


Figura 55. Isométrico de la línea hidráulica Cárcamo 2

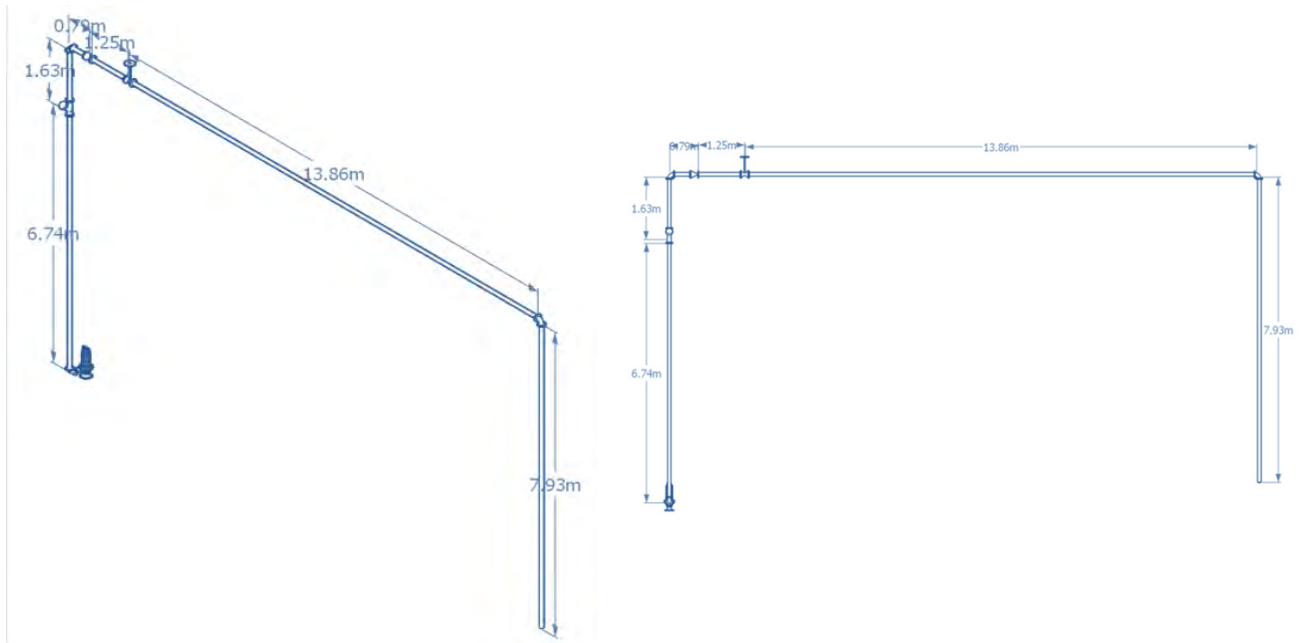


Figura 56. Isométrico de la línea hidráulica RAFA 1&2

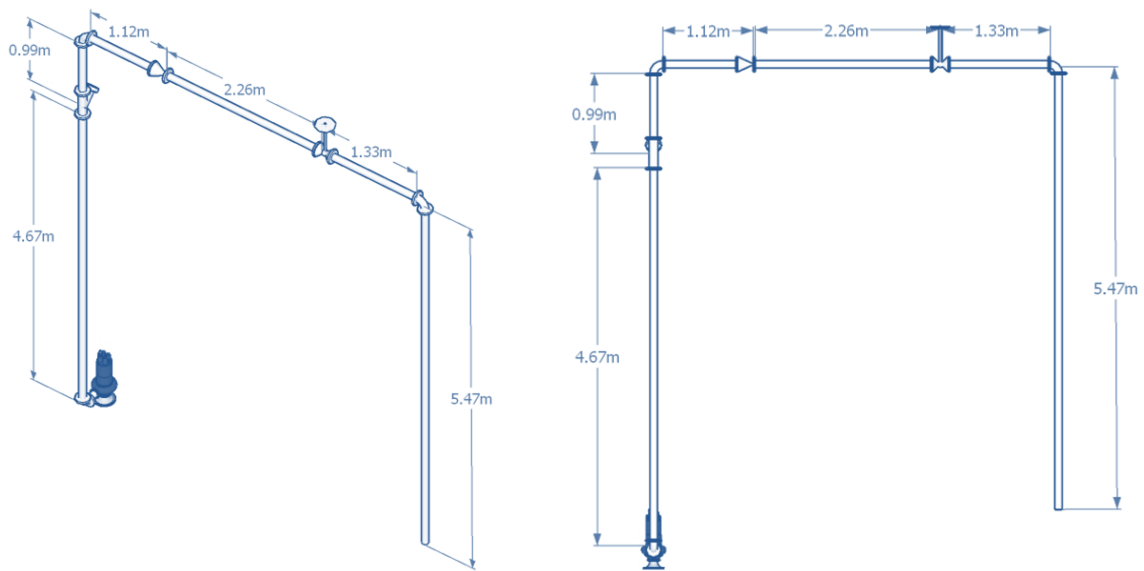


Figura 57. Isométrico de la línea hidráulica Cárcamo 2

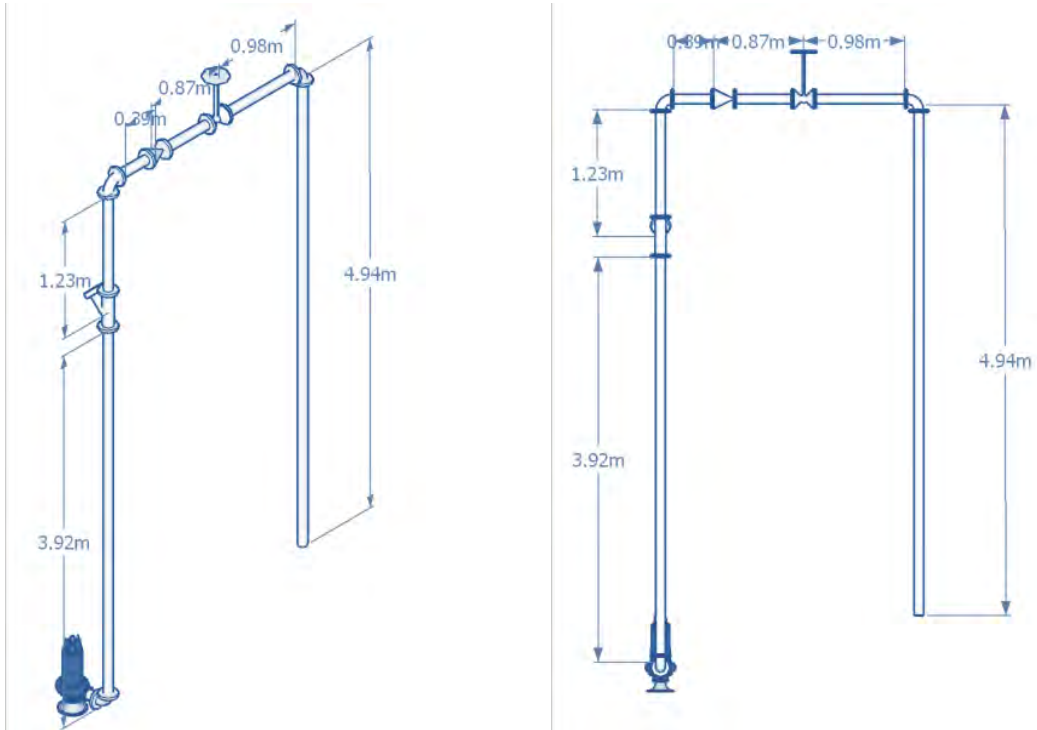


Figura 58. Isométrico de la línea hidráulica Reactor Aeróbico (RB)

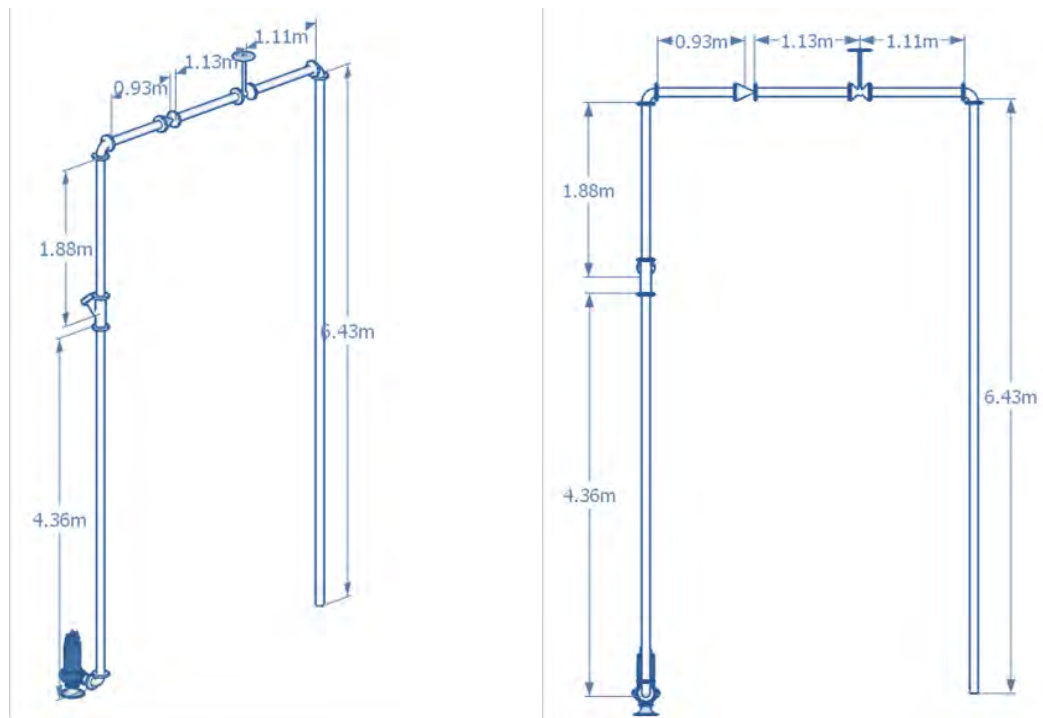


Figura 59. Isométrico de la línea hidráulica Clarificador

XV. Apéndice 3. Ficha técnica equipo de bombeo

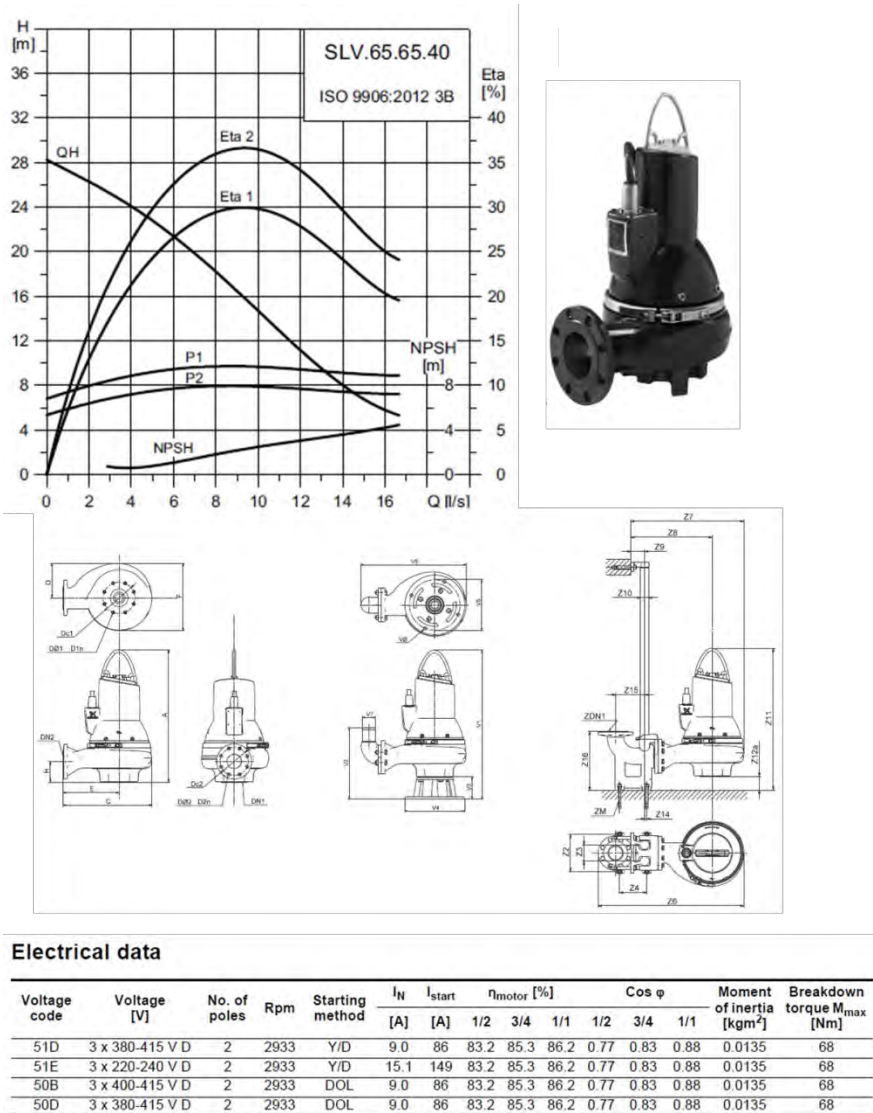
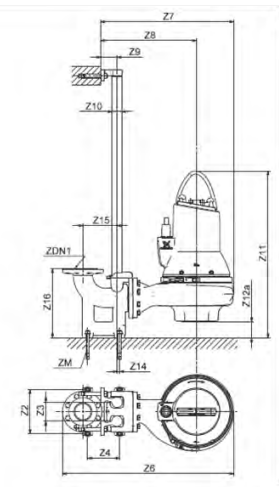
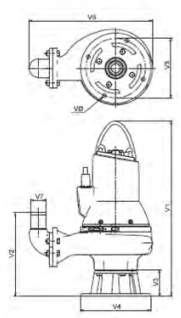
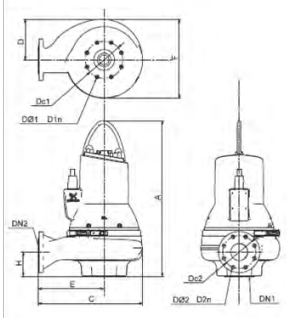
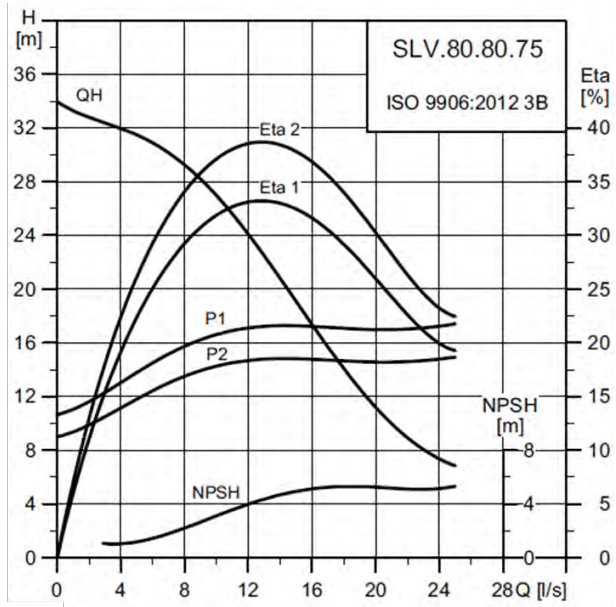


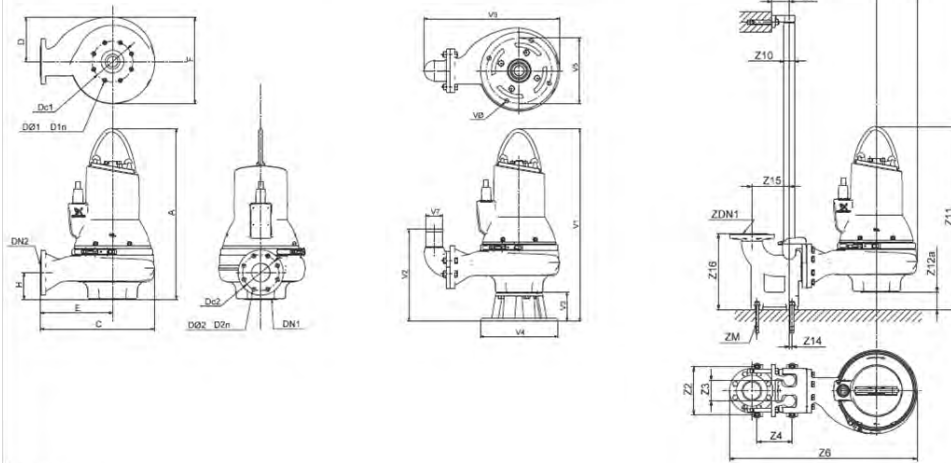
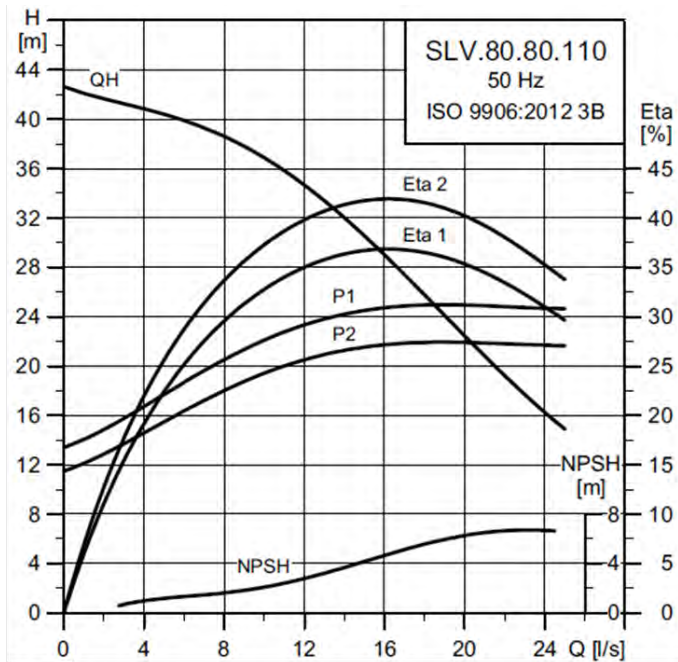
Figura 60. Ficha técnica Bomba Sumergible SLV.65.65.40



Electrical data

Voltage code	Voltage [V]	No. of poles	Rpm	Starting method	I_N			I_{start}			η_{motor} [%]			$\cos \varphi$			Moment of inertia [kgm ²]	Breakdown torque M_{max} [Nm]
					[A]	[A]		1/2	3/4	1/1	1/2	3/4	1/1	1/2	3/4	1/1		
51D	3 x 380-415 V D	2	2923	Y/D	16.3	117	90.0	90.1	89.2	0.72	0.81	0.86	0.0179	97				
51E	3 x 220-240 V D	2	2923	Y/D	27.6	203	90.0	90.1	89.2	0.72	0.81	0.86	0.0179	97				
50B	3 x 400-415 V D	2	2923	DOL	16.3	117	90.0	90.1	89.2	0.72	0.81	0.86	0.0179	97				
50D	3 x 380-415 V D	2	2923	DOL	16.3	117	90.0	90.1	89.2	0.72	0.81	0.86	0.0179	97				

Figura 61. Ficha técnica Bomba Sumergible SLV.80.80.75



Electrical data

Voltage code	Voltage [V]	No. of poles	Rpm	Starting method	I_N					I_{start}			$\eta_{motor} [\%]$			$\cos \varphi$			Moment of inertia [kgm ²]	Breakdown torque M_{max} [Nm]
					[A]	[A]	1/2	3/4	1/1	1/2	3/4	1/1	1/2	3/4	1/1					
51D	3 x 380-415 V D	2	2946	Y/D	23.7	160	90.6	90.9	90.5	0.70	0.80	0.84	0.034	123						
51E	3 x 220-240 V D	2	2946	Y/D	40.0	277	90.6	90.9	90.5	0.70	0.80	0.84	0.034	123						
50B	3 x 400-415 V D	2	2946	DOL	23.7	160	90.6	90.9	90.5	0.70	0.80	0.84	0.034	123						
50D	3 x 380-415 V D	2	2946	DOL	23.7	160	90.6	90.9	90.5	0.70	0.80	0.84	0.034	123						

Figura 62. Ficha técnica Bomba Sumergible SLV.80.80.110

I. Bibliografía

- Manuel Viejo Zubicaray (2003). *Bomba: teoría, diseño y aplicaciones*. Editorial: México Limusa, 2003.
- Metcalf y Eddy, Inc. (1996). *Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización*. México: McGraw-Hill/Interamericana Editores SA de CV.
- Metcalf y Eddy, Inc. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. New York, NY, USA: McGraw-Hill.
- Shammass, N. K., Wang, L. K. (2009). Selection and Design of Nitrogen Removal Processes. En: L. K. Wang, N. K. Shammass, Y. T. Hung, *Advanced Biological Treatment Processes*. (pp. 818). New York, NY, USA: Humana Press.
- Tyler G. Hicks (1990) *Bombas su selección y aplicación*. Editorial: CECSA Año: 1990 México
- WEF-ASCE (2010). *Design of Municipal Wastewater Treatment Plants*. WEF Manual of Practice No. 8. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practices No. 76, Vol. II Liquid Treatment Processes. WEF, Alexandria, VA, USA, Y ASCE, Reston, VA, USA: WEFPress, WEF, ASCE/EWRI, McGraw-Hill.
- GRUNDFOS DATA BOOKLET, SL1, SLV pumps Cataloge