



Universidad de la República
Facultad de Ingeniería



Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental

Planta de Tratamiento de Lixiviados del Sitio de Disposición Final de la Ciudad de Montevideo (Vertedero Felipe Cardoso)

MEMORIA DE CÁLCULO Y CONSTRUCTIVA

Informe Final
Proyecto Ingeniería Civil perfil Hidráulica-Ambiental

Noviembre 2013

Tutores:

M.Sc. Ing. Leonel Crosignani

M.Sc. Ing. Juan Sanguinetti

Estudiantes:

Nicolás Cunha

Santiago Pereira

ÍNDICE

1	MEMORIA DE CÁLCULO.....	7
1.1	LAGUNA DE ECUALIZACIÓN	7
1.1.1	<i>Ingreso a laguna de ecualización.....</i>	8
1.1.2	<i>Alivio de laguna de ecualización.....</i>	9
1.1.3	<i>Bypass a la laguna de ecualización y planta de tratamiento.....</i>	9
1.2	POZO DE BOMBEO HACIA CÁMARA 1.....	9
1.2.1	<i>Generalidades.....</i>	9
1.2.2	<i>Ubicación del pozo.....</i>	9
1.2.3	<i>Dimensionado del pozo de bombeo.....</i>	9
1.2.4	<i>Equipo de bombeo.....</i>	16
1.3	POZO DE BOMBEO A COLECTOR Y LÍNEA DE IMPULSIÓN	16
1.3.1	<i>Generalidades.....</i>	16
1.3.2	<i>Ubicación del pozo.....</i>	17
1.3.3	<i>Dimensionado del pozo de bombeo.....</i>	17
1.3.4	<i>Diseño hidráulico de la Tubería de Impulsión</i>	21
1.3.5	<i>Material</i>	22
1.3.6	<i>Profundidad de la línea.....</i>	22
1.3.7	<i>Método de cálculo de las pérdidas de carga.....</i>	22
1.3.8	<i>Velocidad y diámetro de la tubería de impulsión.....</i>	24
1.3.9	<i>Determinación del diámetro más económico.....</i>	24
1.3.10	<i>Cálculo de las pérdidas de carga para el diámetro elegido.....</i>	28
1.3.11	<i>Elección del equipo de bombeo</i>	29
1.3.12	<i>Cálculo de volumen útil con el caudal erogado por bomba.....</i>	32
1.3.13	<i>Sistema de control de operación de las bombas</i>	32
1.3.14	<i>Aliviadero del pozo</i>	32
1.3.15	<i>Verificación de la no flotación del pozo.....</i>	33
1.3.16	<i>Anclajes de la tubería de impulsión.....</i>	33
1.3.17	<i>Anclajes del Manifold</i>	35
1.3.18	<i>Válvulas de aire y de purga</i>	35
1.3.19	<i>Vaciado de la tubería de impulsión</i>	36
1.3.20	<i>Cámara de Sacrificio.....</i>	36
1.3.21	<i>Colector por gravedad hacia la unidad de tratamiento</i>	36
1.3.22	<i>Estudios de fenómenos transitorios en la tubería de impulsión.....</i>	37
1.4	LAGUNA ANÓXICA.....	45
1.5	LAGUNA AIREADA.....	46
1.5.1	<i>Volumen.....</i>	46
1.5.2	<i>Necesidad de oxígeno</i>	47
1.5.3	<i>Sistema de aireación.....</i>	49
1.6	CONSUMO DE ALCALINIDAD.....	51
1.6.1	<i>Consumo de alcalinidad durante la Nitrificación</i>	51
1.6.2	<i>Recuperación de alcalinidad durante la desnitrificación</i>	52
1.6.3	<i>Balance en la alcalinidad y necesidad de alcalinizante.....</i>	52
1.6.4	<i>Bomba para agregado de Soda Cáustica.....</i>	53
1.7	NECESIDAD DE AGREGADO DE FÓSFORO	53
1.8	SEDIMENTADOR.....	54
1.8.1	<i>Caudales de purga y de recirculación</i>	54
1.8.2	<i>Geometría del sedimentador</i>	55

1.8.3	<i>Volumen destinado a lodos.....</i>	56
1.8.4	<i>Altura total del sedimentador.....</i>	56
1.8.5	<i>Sistema de entrada al sedimentador.....</i>	56
1.8.6	<i>Sistema de recolección del lixiviado clarificado.....</i>	56
1.9	BOMBEO PARA DESNITRIFICACIÓN	58
1.10	BOMBEO PARA RECIRCULACIÓN DE LODOS.....	58
1.11	BOMBEO PARA PURGA DE LODOS.....	59
1.12	POTENCIA TOTAL A CONTRATAR	59
1.13	CÁLCULO DE PERFIL HIDRÁULICO DESDE CÁMARA 1 A POZO DE BOMBEO A COLECTOR.....	59
1.13.1	<i>Ingreso a laguna anóxica desde cámara 1.....</i>	60
1.13.2	<i>Pasaje de laguna anóxica a laguna aireada.....</i>	61
1.13.3	<i>Pasaje de laguna aireada al sedimentador.....</i>	62
1.13.4	<i>Perfil hidráulico desde el sedimentador hasta el tratamiento terciario.....</i>	63
1.13.5	<i>Perfil hidráulico desde tratamiento terciario a pozo de bombeo.....</i>	64
1.13.6	<i>Perfil hidráulico desde el sedimentador hacia el pozo de bombeo sin pasar por tratamiento terciario</i>	64
1.14	MOVIMIENTO DE SUELOS.....	65
2	MEMORIA CONSTRUCTIVA	67
2.1	MANIPULEO DE MATERIAL PARA TUBERÍAS	67
2.2	TUBERÍAS	67
2.2.1	<i>Tuberías de Polietileno.....</i>	67
2.2.2	<i>Tuberías de Acero Inoxidable.....</i>	68
2.3	PRUEBA HIDRÁULICA.....	68
2.4	POZO DE BOMBEO	68
2.4.1	<i>Canal de ingreso a pozo de bombeo hacia laguna anóxica.....</i>	69
2.4.2	<i>Control de acceso al pozo.....</i>	69
2.4.3	<i>Equipo de bombeo hacia colector.....</i>	69
2.4.4	<i>Impulsión.....</i>	70
2.5	LAGUNA AIREADA.....	71
2.5.1	<i>Cámara de ingreso (cámara 2).....</i>	71
2.5.2	<i>Geometría.....</i>	71
2.5.3	<i>Colocación de geomembrana.....</i>	72
2.6	SEDIMENTADOR.....	74
3	BIBLIOGRAFÍA.....	76
4	ANEXOS.....	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Cálculo de volumen de laguna de ecualización.....	7
Tabla 1-2 Resultados para el volumen de laguna de ecualización.....	8
Tabla 1-3 Dimensiones de laguna de ecualización	8
Tabla 1-4 Resultados obtenidos para la pérdida de carga en la llegada del lixiviado	8
Tabla 1-5 Cálculo del volumen del pozo de bombeo a cámara 1	11
Tabla 1-6 Resultados de tirante y velocidad en pasaje de rejillas	14
Tabla 1-7 Cálculo del requerimiento de bombas desde pozo de bombeo hacia laguna anóxica	16
Tabla 1-8 Cálculo del volumen útil del pozo de bombeo hacia colector.....	19
Tabla 1-9 Coeficientes de pérdida localizada adoptados	23
Tabla 1-10 Pérdida de carga y diseño de bomba de impulsión para tubería PEAD DN110 ...	25
Tabla 1-11 Pérdida de carga y diseño de bomba de impulsión para tubería PEAD DN125 ...	25
Tabla 1-12 Pérdida de carga y diseño de bomba de impulsión para tubería PEAD DN140 ...	26
Tabla 1-13 Pérdida de carga y diseño de bomba de impulsión para tubería PEAD DN140 ...	26
Tabla 1-14 Costo de inversión de tubería de impulsión	27
Tabla 1-15 Meses para amortizar la instalación de una tubería de diámetro menor a 160 mm	27
Tabla 1-16 Meses para amortizar la instalación de una tubería de diámetro menor a 140 mm	28
Tabla 1-17 Rugosidades para tuberías de impulsión y manifold.....	28
Tabla 1-18 Cálculo de pérdida de carga en el Manifold de la bomba hacia colector.....	29
Tabla 1-19 Cálculo de pérdida de carga en la Impulsión de la bomba hacia colector.....	29
Tabla 1-20 Características mínimas del equipo de bombeo a colector.....	29
Tabla 1-21 NPSH en función de la temperatura del lixiviado	32
Tabla 1-22 Factor de seguridad para la flotabilidad del pozo.....	33
Tabla 1-23 Esfuerzos en singularidades del manifold	35
Tabla 1-24 Parámetros de diseño para el cálculo del volumen de la laguna anóxica.....	46
Tabla 1-25 Dimensiones de laguna anóxica	46
Tabla 1-26 Dimensiones de la laguna de aireación	47
Tabla 1-27 Cálculo de cantidad de difusores a colocar	49
Tabla 1-28 Cálculo de pérdida de carga en tuberías de aire	50
Tabla 1-29 Resultado de pérdida de carga en tuberías de aire.....	50
Tabla 1-30 Cálculo de requerimientos de bombas para dosificación de soda cáustica	53
Tabla 1-31 Parámetros de diseño del sedimentador	55
Tabla 1-32 Resultados de área y diámetro de sedimentador.....	55
Tabla 1-33 Parámetros de diseño para el sistema de entrada al sedimentador	56
Tabla 1-34 Geometría de campana de sedimentador	56
Tabla 1-35 Caudal específico por metro lineal de canal.....	57
Tabla 1-36 Geometría del sistema de salida de lixiviado clarificado	57
Tabla 1-37 Cálculo de requerimientos de bombas para desnitrificación	58
Tabla 1-38 Cálculo de requerimientos de bombas de recirculación de lodos.....	58
Tabla 1-39 Cálculo de requerimientos de bombas de purga de lodos	59
Tabla 1-40 Pérdida de carga entre cámara 1 y laguna anóxica.....	61
Tabla 1-41 Coeficientes de pérdida de carga considerados entre cámara 1 y laguna anóxica	61
Tabla 1-42 Pérdida de carga entre laguna anóxica y cámara 2.....	62
Tabla 1-43 Coeficientes de pérdida de carga entre laguna anóxica y cámara 2	62
Tabla 1-44 Pérdida de carga entre cámara 2 y laguna aireada.....	62
Tabla 1-45 Coeficientes de pérdida de carga entre cámara 2 y laguna aireada	62

Tabla 1-46 Pérdida de carga entre laguna aireada y cámara 3.....	63
Tabla 1-47 Coeficientes de pérdida de carga entre laguna aireada y cámara 3	63
Tabla 1-48 Pérdida de carga entre cámara 3 y sedimentador	63
Tabla 1-49 Coeficientes de pérdida de carga entre cámara 3 y sedimentador.....	63
Tabla 1-50 Cálculo del balance de movimiento de suelos.....	65
Tabla 2-1 Dimensiones de la laguna de aireación	71

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Esquema de ubicación del pozo de bombeo y línea de impulsión	17
Figura 1.2 Intersección de la curva de la instalación y curva de la bomba.....	30
Figura 1.3 Esquema de planta de macizo de anclaje	34
Figura 1.4 Esquema de corte transversal de macizo de anclaje	35
Figura 1.5 Resumen de singularidades de la red de colectores entre la cámara de sacrificio y el colector de descarga	36
Figura 1.6 Perfil hidráulico de tramo por gravedad en tubería de impulsión	37
Figura 1.7 Profundidad máxima alcanzada en el tramo por gravedad.....	37
Figura 1.8 Pantalla de ingreso de datos de bombas en HiTrans	41
Figura 1.9 Perfil modelado sin protección contra transitorios hidráulicos	42
Figura 1.10 Carga piezométrica sin considerar protección contra transitorios hidráulicos	42
Figura 1.11 Presión en la tubería sin considerar protección contra transitorios hidráulicos ...	43
Figura 1.12 Perfil modelado considerando protección contra transitorios hidráulicos	44
Figura 1.13 Carga piezométrica considerando protección contra transitorios hidráulicos	44
Figura 1.14 Presión en la tubería considerando protección contra transitorios hidráulicos	44
Figura 1.15 Evolución del volumen de aire dentro del tanque hidroneumático	45
Figura 1.16 Detalle de sistema de salida a modo ilustrativo.....	58
Figura 1.17 Plano de movimiento de suelo.....	66
Figura 2.1 Colocación de membrana sobre el geotextil en los taludes de una laguna.....	72
Figura 2.2 Zanja de anclaje	73
Figura 2.3 Fotografía ejemplo de zanja de anclaje	73
Figura 2.4 Goma adherida al hormigón	74
Figura 2.5 Unión estanca de la membrana de PVC con el piso de hormigón.....	74

1 Memoria de Cálculo

1.1 Laguna de Ecualización

Los cálculos fueron basados en el manual de DINASA (1). A continuación se presentan los cálculos realizados para el diseño del volumen máximo de la laguna de ecualización y las consideraciones tomadas.

Duración	7000	min
Intensidad	0,04	mm/min
Área	16500	m ²
C escorrentía	1	
Q hacia tto	11,3	L/s
Tc	60	min
Q _{in max}	18	L/s
V _{in}	7761	m ³
V _{out durante}	4762	m ³
V laguna ecu	2999	m³

Tabla 1-1 Cálculo de volumen de laguna de ecualización

Donde:

- Duración= duración de la tormenta en minutos,
- Intensidad= intensidad de tormenta
- Área= área de celdas C y D
- C= coeficiente de escorrentía para método racional.
- Q hacia tto= caudal máximo posible a tratar.
- Tc= tiempo de concentración
- Q_{in máx}= caudal de ingreso a la laguna correspondiente a la tormenta con duración e intensidad especificadas, considerando 8 L/s de aporte máximo de Aborgama.
- V_{in}= volumen de ingreso de lixiviado durante la tormenta.
- V_{out durante}= volumen de salida de lixiviado hacia la planta de tratamiento durante la tormenta.
- V laguna ecu= volumen necesario en la laguna de ecualización para amortiguar los picos de tormentas.

La tormenta que requiere el mayor volumen de almacenamiento para no verter sin tratar el lixiviado es la de duración 7000 minutos (cinco días aproximadamente), obteniendo un volumen necesario para ecualizar de 2999 m³. Esta tormenta tiene un caudal pico de 10 L/s que sumado a los 8 L/s que aportará Aborgama indica un caudal de **18 L/s**.

Cabe destacar que para tormentas de menor duración los caudales picos serán mayores, no así el volumen necesario para almacenarlas.

Con esto se asegura que todo el lixiviado generado podrá ser tratado en la planta de tratamiento, para tormentas con un período de retorno menor o igual a 10 años.

A este volumen hay que sumarle el volumen necesario para garantizar una retención hidráulica de al menos un día para caudales de lixiviados equivalentes a 11,3 L/s.

De esta forma se obtienen los siguientes volúmenes para la laguna de ecualización:

Volumen amortiguación picos (m ³)	2999
Volumen retención hidráulica (m ³)	976
Volumen total (m³)	3975

Tabla 1-2 Resultados para el volumen de laguna de ecualización

Las dimensiones adoptadas para la laguna de ecualización de modo de poder cumplir adecuadamente con su cometido son:

Largo (m)	45
Ancho (m)	33
Profundidad total (m)	6
Volumen útil (m ³)	3975
Revanca (m)	1
Volumen total (m ³)	5350

Tabla 1-3 Dimensiones de laguna de ecualización

La salida de la laguna será diseñada de forma que el caudal hacia la planta de tratamiento nunca supere los 11,3 L/s en funcionamiento normal ($T_r \leq 10$ años). Sin embargo se prevé un alivio de emergencia hacia el arroyo Díaz.

1.1.1 Ingreso a laguna de ecualización

El lixiviado crudo llega a cámara 0 (cámara seca) por medio de una tubería de PVC DN315 proveniente del vertedero.

Para estimar el máximo caudal proveniente por esta se supone que en un evento extremo, el nivel del lixiviado en el vertedero será de 8 m.

El procedimiento de cálculo adoptado es el que se presenta en el capítulo: Método de cálculo de las pérdidas de carga para la línea de impulsión. En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos.

Q (l/s)	340,78
Diámetro interno (mm)	285
Longitud de tubería (m)	70
Pérdida de carga distribuida (m)	3,94
Pérdida de carga localizada (m)	4,06
Pérdida de carga total (m)	8,00

Tabla 1-4 Resultados obtenidos para la pérdida de carga en la llegada del lixiviado

Como se observa en los cálculos, el caudal máximo que podría llegar a la laguna para el evento supuesto de 8 m de lixiviado en el vertedero es de 340 L/s.

1.1.2 Alivio de laguna de ecualización

Se prevé un alivio de la laguna de ecualización hacia el arroyo Díaz, en una tubería de PVC DN500 que conducirá el lixiviado en caso que el nivel en la laguna sea superior a +15,4 m.

La tubería tendrá una pendiente de 0,8% y funcionará con régimen supercrítico por lo que al ingreso a la tubería de alivio se dará tirante crítico ($yc=0,401$). Este tirante asegura que no se desbordará la laguna, ya que la cota máxima que alcanzará será 15,80 m, siendo 16,50 el borde de la misma.

1.1.3 Bypass a la laguna de ecualización y planta de tratamiento

Se prevé un bypass al tratamiento mediante una tubería de PVC DN315 que conecta desde la tubería de llegada a la planta, hasta el alivio de la laguna de ecualización.

Este bypass será accionado mediante válvulas de compuerta ubicadas en la cámara 0.

1.2 Pozo de bombeo hacia cámara 1.

1.2.1 Generalidades

Para el diseño del sistema de bombeo se adopta el siguiente criterio:

Las obras civiles, como ser el pozo de bombeo y la tubería de impulsión, se dimensionan para el año con mayor volumen de generación de lixiviados (11,3 L/s), por ser obras enterradas de funcionamiento continuo, difícil de ampliar en el futuro a costos razonables.

Los equipos electromecánicos se eligen para el año con mayor caudal de lixiviado (11,3 L/s).

En el diseño del pozo se tienen en cuenta los aspectos:

- número de arranques por hora menor que el recomendado por el fabricante de las bombas
- sumergencia mínima de las bombas
- formación de vórtices
- posición de las bombas y cañerías

1.2.2 Ubicación del pozo

El pozo de bombeo estará ubicado junto a la laguna de ecualización, en una zona de fácil acceso de personal y vehículos, de forma de facilitar su operación y mantenimiento.

1.2.3 Dimensionado del pozo de bombeo

1.2.3.1 Caudal de diseño

Para el diseño del pozo se utiliza el caudal máximo anual previsto de llegada de lixiviado a la laguna de ecualización (11,3 L/s).

1.2.3.2 Volumen Útil

El volumen útil se determina considerando:

- Tiempo de ciclo.
- Caudal de bombeo.

1.2.3.2.1 Tiempo de ciclo

Se define por tiempo de ciclo al intervalo de tiempo entre arranques sucesivos de la bomba. Este parámetro es de fundamental importancia, pues durante la partida de motor de la bomba se genera una determinada cantidad de calor. Esa energía liberada en cada arranque debe ser disipada, ya que un número excesivo de arranques puede recalentar el motor de la bomba.

Para determinar el tiempo de ciclo (T), se adopta un máximo de 6 arranques por hora, por lo que el tiempo de ciclo queda determinado en 10 minutos. Se verifica que el tiempo de ciclo adoptado es mayor al mínimo recomendado por el fabricante del equipo de bombeo.

1.2.3.2.2 Caudal de bombeo

Se define:

- Nivel "0", al nivel de apagado de la bomba
- Nivel "1", al nivel de encendido de la bomba

El tiempo de ciclo consta de dos términos:

- T_p : tiempo necesario para llenar el pozo del nivel "0" al nivel "1"

$$T_p = \frac{V_u}{Q_a}$$

- T_{op} : tiempo necesario para vaciar el pozo desde el nivel "1" al nivel "0"

$$T_{op} = \frac{V_u}{Q_b - Q_a}$$

Donde,

- V_u = Volumen útil del pozo de succión, comprendido entre el nivel "1" y el nivel "0".
- Q_a = Caudal afluente al pozo
- Q_b = Caudal de bombeo

El tiempo de ciclo queda determinado según:

$$T_{ciclo} = T_p + T_{op} = \frac{V_u}{Q_a} + \frac{V_u}{Q_b - Q_a} \quad (I)$$

Se asume Q_b y Q_a tales que $Q_b > Q_a$.

El caudal afluente al pozo, para el cual el tiempo de ciclo es mínimo se obtiene anulando su derivada respecto de Q .

$$\frac{dT_{ciclo}}{dQ_a} = V_u \cdot \left(-\frac{1}{Q_a} + \frac{1}{(Q_b - Q_a)^2} \right) = 0$$

De donde se obtiene:

$Q_a = \frac{Q_b}{2}$, condición necesaria para que el tiempo de ciclo, y por tanto también el volumen útil, sean mínimos.

Sustituyendo la ecuación anterior en la ecuación (I) se obtiene:

$$T_{ciclo} = 4 \cdot \frac{V_u}{Q_b}$$

De esta forma se obtiene el volumen útil mínimo:

$$V_u = \frac{Q_b \cdot T_{ciclo}}{4}$$

Para el caudal de bombeo y el tiempo de ciclo adoptado, el volumen útil determinado es:

Impulsión	
Caudal (m³/s)	0,0113
D int (m)	0,097
área (m²)	0,0075
v (m/s)	1,52
Volumen mínimo	
Qbom (m³/s)	0,0113
Qafl (m³/s)	0,00565
T ciclo (min)	10
Vol min (m³)	1,695

Tabla 1-5 Cálculo del volumen del pozo de bombeo a cámara 1

1.2.3.2.3 Dimensiones adoptadas

Por tratarse de una estación de pequeño porte, se adopta una estación de tipo pozo húmedo. Se elige un pozo de planta rectangular de 2,5 m x 2,5 m.

Para la adecuada funcionalidad del pozo se debe asegurar una diferencia de por lo menos 0.15 m entre los niveles de arranque y apagado de la bomba, de forma de evitar que cualquier perturbación de la superficie del agua arranque la bomba.

Para el volumen útil calculado anteriormente, la altura útil (diferencia entre niveles de arranque y apagado de la bomba) queda determinada en 0.23 m, adoptándose 0.30 m como valor de diseño.

$$H_{\text{útil}} \times \text{Área} = V_{\text{útil}}$$

$$H_{\text{útil}} = V_{\text{útil}} / \text{Área}$$

$$H_{\text{útil}} = 1,695 / (3 \times 2,5)$$

$$H_{\text{útil}} = 0.23 \text{ m.}$$

Se busca que la profundidad del mismo sea la mínima necesaria de forma de no sobreelevar la carga a entregar por las bombas y no aumentar los costos de construcción.

También se verifica la sumergencia mínima, con el fin de evitar la formación de remolinos que ingresen aire a la bomba, con la siguiente fórmula:

$$S_{\text{mín}} = \frac{v^2}{2g} + 0,5 = 0,65 \text{ m}$$

Donde:

- v = velocidad en la succión
- g = aceleración gravitacional

Considerando los 30 cm de recorrido, 65 cm de sumergencia mínima, 15 cm desde piso de bomba a toma de la bomba y 10 cm de diferencia entre el nivel de arranque de la bomba y el nivel de llegada del lixiviado desde el canal de rejás, la profundidad que tendrá el pozo de bombeo es de:

$$(N_{\text{terreno}} - N_{\text{ingreso}}) + S_{\text{mín}} + 0,30 + 0,15 + 0,10 = 7,40 \text{ m}$$

Donde:

- N_{terreno} = Nivel del terreno donde se implanta el pozo de bombeo
- N_{ingreso} = Nivel de ingreso de lixiviado desde la cámara de rejás.

1.2.3.3 Canal de rejás

Se considera que el acceso al pozo se realice a través de un canal de rejás para evitar la entrada al pozo de objetos, trapos, etc. que puedan obstruir las bombas. El canal se diseña para el caudal máximo (11,3 L/s).

El canal es de sección rectangular de hormigón. Se elige un ancho de canal de 0.30 m, por considerarse el mínimo aceptable a los efectos de la colocación del sistema de rejás, y permitir la introducción de herramientas de limpieza (palas, etc.). Se elige el largo del canal como el mínimo necesario para permitir la correcta manipulación de las rejás (izaje, limpieza, colocación), así como permitir la introducción de un operario en el canal para permitir la limpieza del mismo durante las operaciones de mantenimiento. El mismo es de 2,2 m.

Se dispone en el canal una reja canasto, de limpieza manual dado que se trata de una estación de pequeño porte, la cual será en acero inoxidable AISI 304. Para la limpieza de la misma se dispone de un malacate el cual permite el izado de la reja. También se prevé una reja auxiliar móvil de iguales características a la reja de canasto (igual ancho de pasaje, ancho de barra y material), que se colocará en el canal durante las operaciones de limpieza del canasto, de forma de evitar la entrada al

pozo de trapos, fibras, etc. mientras la reja de canasto es limpiada. El izado de la misma también se realiza con un malacate.

Se quiere que el flujo dentro del canal sea subcrítico para evitar velocidades altas y facilitar la limpieza manual de las rejás. Como el canal termina en una caída libre (entrada al pozo) se elige una pendiente menor a la crítica:

$$S_{crítica} = 0.63\%$$

Se diseña el canal con pendiente igual a 0.6 %.

Se eligen las siguientes características según las recomendaciones para rejás de pretratamiento para sólidos grandes(2):

Ancho de paso = 1,3 cm

Ancho de reja = 0,6 cm

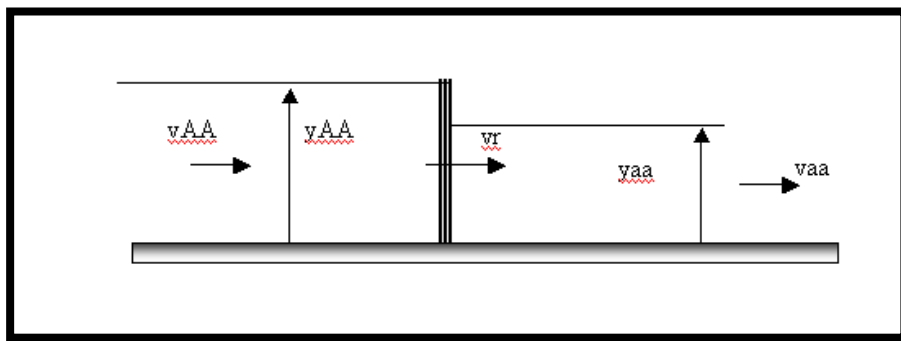
El número de barras y el ancho útil de la reja quedan definidos por estos valores, resultando:

$$n^{\circ} \text{ barras} = \frac{0.30}{0.013 + 0.006}$$

$n^{\circ} \text{ barras} = 15$

Ancho útil = $0,30 - 15 \cdot 0,006$

Ancho útil = 21 cm



Las recomendaciones establecen los siguientes valores para las velocidades en las distintas secciones indicadas en la figura anterior:

$$v_{AA} = 0.3 - 0.6 \text{ m/s}$$

$$v_r = 0.6 - 1.2 \text{ m/s}$$

Para verificar el buen funcionamiento de la reja, se determina el perfil del flujo en el canal. Para ello se resuelve el sistema de ecuaciones:

$$y_{AA} + \frac{v_{AA}^2}{2 \cdot g} = y_{aa} + \frac{v_{aa}^2}{2 \cdot g} + \Delta h$$

$$\Delta h = \frac{(v_r^2 + v_{AA}^2)}{2 \times g \times 0.7}$$

$$v_{AA} = \frac{Q}{b \cdot y_{AA}}$$

$$v_{aa} = \frac{Q}{b \cdot y_{aa}}$$

$$v_r = \frac{Q}{b_{\text{útil}} \cdot y_{AA}}$$

Donde,

- Δh es la pérdida de carga en la reja.
- y_{AA} es el tirante aguas arriba de la reja.
- v_{AA} es la velocidad aguas arriba de la reja.
- y_{aa} es el tirante aguas abajo de la reja.
- v_{aa} es la velocidad aguas abajo de la reja.
- v_r es la velocidad de pasaje en la reja.
- Q es el caudal máximo

El funcionamiento del canal se verifica considerando la reja limpia y reja 50% sucia, condición en la cual el ancho útil se reduce a la mitad ($b_{\text{útil reja sucia}} = 10,5 \text{ cm}$).

El canal termina en una caída libre (entrada al pozo), por lo que ésta constituye una sección de control en la que ocurre el tirante crítico.

El perfil resultante es una curva M2 desde la sección de control hasta la reja. Dada la corta longitud de este tramo, el tirante aguas abajo de la reja se aproxima al tirante crítico.

Considerando un caudal de 11,3 L/s, adoptando un coeficiente de Manning para el hormigón de 0,013, se obtienen los siguientes tirantes:

Situación	$y_{aa} \text{ (cm)}$	$y_{AA} \text{ (cm)}$	$v_{AA} \text{ (m/s)}$	$v_r \text{ (m/s)}$	$\Delta h \text{ (cm)}$
Reja limpia	10,0	11,0	0.34	0.49	1
Reja 50% sucia	10,0	14,0	0.27	0.76	4

Tabla 1-6 Resultados de tirante y velocidad en pasaje de rejas

Donde, y_{aa} = tirante crítico = 0,10 cm para un caudal de 11,3 L/s.

Se observa que las velocidades son levemente inferiores a las recomendadas, pero las variaciones constantes en el caudal del lixiviado hacen que el comportamiento sea muy variable.

Por este motivo se prevé la limpieza diaria de la reja y del canal, con pala y manguera por medio de un operario responsable del mantenimiento de la estación de bombeo.

El perfil de flujo resultante en el canal, una vez colocada la reja auxiliar, será el mismo que el calculado anteriormente dado que en el mismo se despreció la variación del tirante en las curvas de superficie libre (curva M2), debida a la corta longitud del canal.

El canal de rejas será cerrado con dos tapas metálicas de 0.6m x 0.6m, para permitir el retiro y posterior limpieza de las rejas.

Las mismas serán de hierro galvanizado estampado, y serán capaces de soportar un peso de 300 kg (o el equivalente a tres personas paradas encima).

1.2.3.4 Control de entrada al pozo.

Previo al canal de rejas se ubica una válvula de compuerta que permite controlar el ingreso del efluente al pozo.

1.2.3.5 Tabique Aquietador

Con el objetivo evitar la formación de vórtices lo que podría generar problemas en el bombeo, se coloca un tabique aquietador. El mismo tendrá una abertura en la parte inferior para el pasaje del líquido.

1.2.3.6 Sistema de Izaje de las Bombas

Las bombas podrán ser removidas del pozo en caso de reparación o mantenimiento por medio de un polipasto. Las bombas se montan sobre dos barras guías las que permiten el levantamiento de las mismas evitando movimientos laterales bruscos y facilitan posicionamiento de las mismas dentro del pozo al montarlas nuevamente. Estas guías de izaje se vinculan a la estructura del pozo en fondo del mismo y en la parte superior de las mismas mediante unas abrazaderas.

El polipasto se desliza sobre un perfil PNI 16 (calculado a continuación) de acero común que se apoyará sobre un pórtico biempotrado, el cual resistirá los esfuerzos.

1.2.3.7 Cálculo del perfil para polipasto

1.2.3.7.1 Hipótesis de Cálculo

- Largo del perfil: 6,1 metros.
- Carga de diseño: 350 kg.
- Viga simplemente apoyada.

1.2.3.7.2 Módulo resistente

$$M = P \times L / 4 = 350 \text{ Kg} \times 610 \text{ cm} / 4 = 53375 \text{ kgcm} \quad (\text{I})$$

$$\sigma = M / W < \sigma_{ad} = 1500 \text{ Kg/cm}^2 \quad (\text{II})$$

De (I) y (II):

$$W = M / \sigma_{ad} = 53375 / 1500 = 35,6 \text{ cm}^3$$

El perfil más pequeño que presenta un módulo resistente mayor al requerido es PNI 12.

1.2.3.7.3 Módulo de inercia

Se verifica que la flecha máxima sea menor a la admisible (L en cm /350).

$$f_{\text{máx}} = (P \times L^3) / (48 \times E \times I) < f_{\text{ad}} = L / 350 = 610/350 = 1.74 \text{ cm}$$

De esta condición se determina la inercia necesaria:

$$I = (P \times L^2 \times 350) / (48 \times E)$$

El módulo de elasticidad del acero es $E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$.

$$I = 350 \times 610 \times 610 \times 350 / (48 \times 2.1 \times 10^6) = 452,2 \text{ cm}^4.$$

El perfil más pequeño que presenta la inercia requerida es PNI 14.

Por seguridad, se elige **PNI 16**.

1.2.4 Equipo de bombeo

Para determinar las características necesarias de las bombas se necesita calcular las pérdidas de carga entre la succión y la descarga, así como el desnivel geométrico entre ambas.

En la siguiente tabla se presentan los cálculos realizados para estimar las características que deberán poseer las bombas:

Diseño de las bombas	
Pérdida de carga (m)	4,93
Diferencia geométrica. (m)	9,5
Q (m ³ /s)	0,0113
H diseño (m)	16,0
Ef. (%)	50
Potencia (W)	3544
Potencia (HP)	4,8

Tabla 1-7 Cálculo del requerimiento de bombas desde pozo de bombeo hacia laguna anóxica

1.3 Pozo de Bombeo a colector y Línea de Impulsión

1.3.1 Generalidades

Se dispone de una estación de bombeo para aumentar la energía potencial del líquido mediante el uso bombas.

Para el diseño del sistema de bombeo se adopta el siguiente criterio:

- Las obras civiles, como ser el pozo de bombeo y la tubería de impulsión, se dimensionan para máximo caudal de lixiviado (11,3 L/s) correspondiente al año 2014, por ser obras enterradas de funcionamiento continuo, difícil de ampliar en el futuro a costos razonables.
- Los equipos electromecánicos se eligen para el máximo caudal de lixiviado (11,3 L/s). En años con menor caudal de lixiviado la bomba elegida trabajará menos horas de las estimadas.

En el diseño del pozo se tienen en cuenta los aspectos:

- número de arranques por hora menor que el recomendado por el fabricante de las bombas
- sumergencia mínima de las bombas
- formación de vórtices
- posición de las bombas y cañerías
- tipo de impulsor, etc.

1.3.2 Ubicación del pozo

El pozo de bombeo será ubicado junto al pozo de bombeo desde la laguna de ecualización hacia la cámara 1. De esta forma se minimizan los costos de excavación y construcción y se centraliza la operación de las bombas en un solo punto.

1.3.2.1 Esquema general del sistema de elevación

El lixiviado tratado es conducido hacia el colector ubicado en Camino Carrasco y Felipe Cardozo

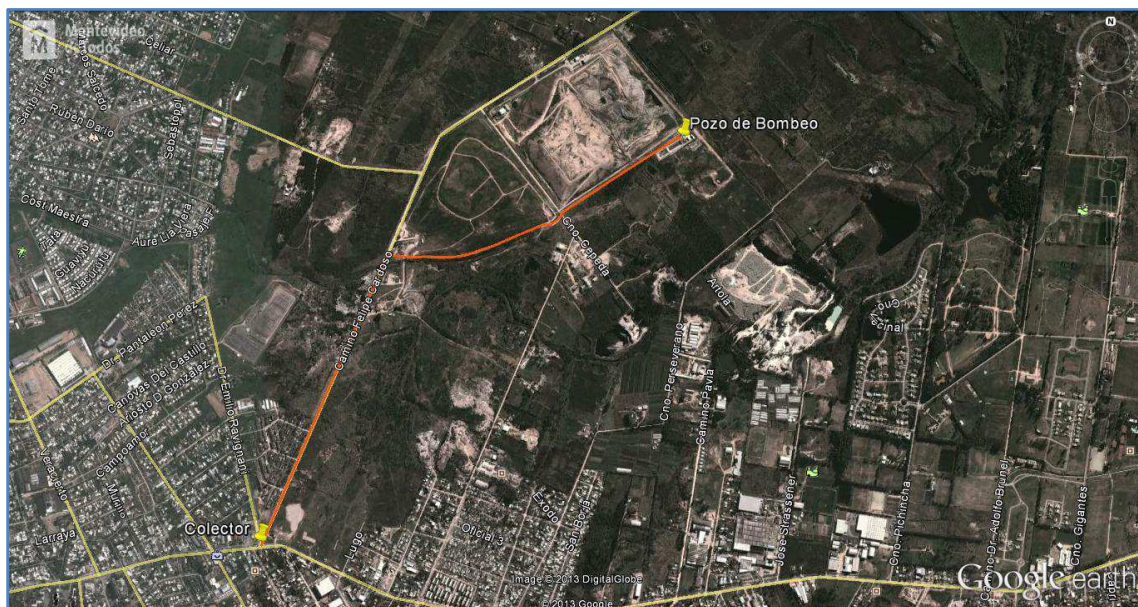


Figura 1.1 Esquema de ubicación del pozo de bombeo y línea de impulsión

1.3.3 Dimensionado del pozo de bombeo

1.3.3.1 Caudales de diseño

Para el diseño del pozo se utiliza el máximo caudal de lixiviado (11,3 L/s) correspondiente al año con mayor producción del mismo.

1.3.3.2 Volumen Útil

El volumen útil se determina considerando:

- Tiempo de ciclo.
- Caudal de bombeo.

1.3.3.2.1 Tiempo de ciclo

Se define por tiempo de ciclo al intervalo de tiempo entre arranques sucesivos de la bomba. Este parámetro es de fundamental importancia, pues durante la partida de motor de la bomba se genera una determinada cantidad de calor. Esa energía liberada en cada arranque debe ser disipada, ya que un número excesivo de arranques puede recalentar el motor de la bomba.

Para determinar el tiempo de ciclo (T), se adopta un máximo de 6 arranques por hora, por lo que el tiempo de ciclo queda determinado en 10 minutos. Se verifica que el tiempo de ciclo adoptado es mayor al mínimo recomendado por el fabricante del equipo de bombeo.

1.3.3.2.2 Caudal de bombeo

Se define,

- Nivel "0", al nivel de apagado de la bomba
- Nivel "1", al nivel de encendido de la bomba

El tiempo de ciclo consta de dos términos:

- T_p : tiempo necesario para llenar el pozo del nivel "0" al nivel "1"

$$T_p = \frac{V_u}{Q_a}$$

- T_{op} : tiempo necesario para vaciar el pozo desde el nivel "1" al nivel "0"

$$T_{op} = \frac{V_u}{Q_b - Q_a}$$

Donde,

- V_u = Volumen útil del pozo de succión, comprendido entre el nivel "1" y el nivel "0".
- Q_a = Caudal afluente al pozo
- Q_b = Caudal de bombeo

El tiempo de ciclo queda determinado según:

$$T_{ciclo} = T_p + T_{op} = \frac{V_u}{Q_a} + \frac{V_u}{Q_b - Q_a} \quad (I)$$

Se asume Q_b y Q_a tales que $Q_b > Q_a$.

El caudal afluente al pozo, para el cual el tiempo de ciclo es mínimo se obtiene anulando su derivada respecto de Q .

$$\frac{dT_{ciclo}}{dQ_a} = V_u \cdot \left(-\frac{1}{Q_a} + \frac{1}{(Q_b - Q_a)^2} \right) = 0$$

De donde se obtiene,

$Q_a = \frac{Q_b}{2}$, condición necesaria para que el tiempo de ciclo, y por tanto también el volumen útil, sean mínimos.

Sustituyendo la ecuación anterior en la ecuación (I) se obtiene:

$$T_{ciclo} = 4 \cdot \frac{V_u}{Q_b}$$

$$V_u = \frac{Q_b \cdot T_{ciclo}}{4}$$

De esta forma se obtiene el volumen útil mínimo:

Para el caudal de bombeo y el tiempo de ciclo adoptado, el volumen útil queda determinado como:

Impulsión	
Caudal (m ³ /s)	0,0113
Dint (m)	0,110
Área (m ²)	0,0095
v (m/s)	1,18
Volumen mínimo	
Qbom (m ³ /s)	0,0113
Qafl (m ³ /s)	0,00565
T ciclo (min)	10
Vol min (m ³)	1,695

Tabla 1-8 Cálculo del volumen útil del pozo de bombeo hacia colector

1.3.3.2.3 Dimensiones adoptadas

Por tratarse de una estación de pequeño porte, se adopta una estación de tipo pozo húmedo. Se elige un pozo de planta cuadrada con dimensiones de 2,5 m x 2,5 m.

Para la adecuada funcionalidad del pozo se debe asegurar una diferencia de por lo menos 0.15 m entre los niveles de arranque y apagado de la bomba, de forma de evitar que cualquier perturbación de la superficie del agua arranque la bomba.

Para el volumen útil calculado anteriormente, la altura útil (diferencia entre niveles de arranque y apagado de la bomba) queda determinada en 0.27 m.

$$H_{\text{útil}} \times \text{Área} = V_{\text{útil}}$$

$$H_{\text{útil}} = V_{\text{útil}} / \text{Área}$$

$$H_{\text{útil}} = 1,695 / (2,5^2)$$

$$H_{\text{útil}} = 0.27 \text{ m.}$$

La altura útil que efectivamente tendrá el pozo quedará determinada por el caudal efectivamente erogado por el equipo de bombeo seleccionado, el cual podrá ser superior al caudal de diseño (11,3 L/s).

Se busca que la profundidad del mismo sea la mínima necesaria de forma de no sobreelevar la carga a entregar por las bombas y no aumentar los costos de construcción. La profundidad total del pozo considera además de la altura útil, una altura adicional con el fin de asegurar:

- la sumergencia de las bombas
- alturas adicionales para niveles de alarma inferior (en caso de que no se respete la sumergencia), y superior (en caso de que la bomba no arranque para evitar el desborde del pozo)
- la profundidad de entrada de la tubería que descarga en él.

Dentro del pozo, por seguridad se adoptan los siguientes niveles de alarma:

- Un nivel inferior N0 por seguridad de forma de mantener una sumergencia mínima de las bombas.
- Dos niveles superiores al nivel de arranque normal de las bombas, N1 y N2.
 - o N1: en caso de que ocurra una falla del equipo.
 - o N2: en caso de falla y que por alguna razón, una vez que el pelo de agua haya alcanzado el nivel N1 no se haya accionado el bombeo.

Por lo tanto, la altura total del pozo queda determinada por:

- Altura libre entre el nivel de entrada al pozo y el Nivel de Alarma 2: 10 cm.
- Altura entre los Niveles de Alarma 1 y 2: 25 cm.
- Altura entre el Nivel de Alarma 1 y el Nivel de Arranque de la bomba: 15 cm.
- Altura entre el Nivel de Arranque y Nivel de Parada de la bomba: 27 cm
- Altura entre el Nivel de Parada de la bomba y Nivel de Alarma: 10 cm.
- Altura entre la toma de lixiviado de la bomba y Nivel de Alarma Inferior (para asegurar la sumergencia de las bombas): 57 cm.
- Altura entre el fondo del pozo y el nivel de toma de la bomba: 15 cm

Considerando los valores de altura antes mencionados la profundidad que tendrá el pozo de bombeo es de:

$$(N_{\text{terreno}} - N_{\text{ingreso}}) + 0,1 + 0,25 + 0,15 + 0,27 + 0,1 + 0,57 + 0,15 = 3,94 \text{ m}$$

Donde:

- N_{terreno} = Nivel del terreno donde se implanta el pozo de bombeo (17,5 m)
- N_{ingreso} = Cota de zameado de tubería de llegada al pozo de bombeo (15,15 m).

1.3.3.3 Control de entrada al pozo.

Se prevé un registro (R1) con compuertas que permiten controlar el ingreso del lixiviado al pozo o el vertido directo hacia la laguna de ecualización.

1.3.3.4 Tabique Aquietador

Con el objetivo evitar la formación de vórtices lo que podría generar problemas en el bombeo, se coloca un aquietador. El mismo tendrá aberturas en la parte inferior para el pasaje del líquido.

1.3.3.5 Sistema de Izaje de las Bombas

Las bombas podrán ser removidas del pozo en caso de reparación o mantenimiento por medio de un polipasto (mismo utilizado para el bombeo hacia la planta de tratamiento). Las bombas se montan sobre dos barras guías las que permiten el levantamiento de las mismas evitando movimientos laterales bruscos y facilitan posicionamiento de las mismas dentro del pozo al montarlas nuevamente. Estas guías de izaje se vinculan a la estructura del pozo en fondo del mismo y en la parte superior de las mismas mediante unas abrazaderas.

1.3.4 Diseño hidráulico de la Tubería de Impulsión

Se analizan 2 tipos de impulsión según el funcionamiento hidráulico en cada una:

- Tramo por bombeo y tramo por gravedad
- Toda la impulsión por bombeo

A continuación se realiza una comparación de las mismas.

Tramo por bombeo y tramo por gravedad

Longitud a presión: 2870 metros.

Longitud por gravedad: 184 metros.

El líquido es bombeado desde el pozo hasta la cámara de sacrificio, a partir de la cual, el líquido descarga por medio de un colector por gravedad hacia el colector de Camino Carrasco

Ventajas

Se evita un punto de depresión en el régimen estacionario.

Mayor accesibilidad a tubería de impulsión lo que facilita las tareas de mantenimiento.

Desventajas

Mayor gasto energético dada la mayor carga a vencer por el equipo de bombeo.

Tramo hasta colector por bombeo

Longitud total: 3054 metros.

Se bombea hasta la zona donde se ubica el colector de Camino Carrasco.

Ventajas

Menor costo energético en bombeo dada la menor carga a vencer por el equipo de bombeo.

Desventajas

Se tendrá un punto más de depresión a atender en el régimen estacionario. Además, por ser punto alto, deberá necesariamente instalarse una válvula de aire, requiriéndose tareas de mantenimiento.

Se debe prever un punto de inspección a la tubería de impulsión para tareas de mantenimiento.

Alternativa elegida

Se opta por la primera alternativa, entendiendo que los beneficios que esto trae son significativos.

Por lo tanto el lixiviado será bombeado hacia la cámara de sacrificio, para luego ser conducido por gravedad por medio de una tubería de PVC DN 160.

1.3.5 Material

Los materiales comúnmente utilizados para tuberías de impulsión son el hierro fundido, acero, polivinilo de cloruro (PVC) y polietileno de alta densidad (PEAD).

Se elige polietileno de alta densidad por su gran facilidad de transporte y colocación en el sitio, por propiedades mecánicas y su resistencia a la presión interna a largo plazo. Este tipo de material, para diámetros inferiores a 160 mm, se suministra en rollos lo que reduce considerablemente el número de uniones necesarias y consecuentemente el tiempo y costo de instalación.

1.3.6 Profundidad de la línea

Se busca que la línea se encuentre a la menor profundidad posible de forma de no sobreelevar los costos de excavación, pero sin comprometer la resistencia estructural de la línea. Se adopta como criterio que la profundidad de la misma, respecto al nivel de terreno, no sea inferior a los 1 m.

Inicialmente se proyecta que la tubería se ubique a una profundidad no menor a de 1 m respecto de la superficie de terreno acompañando en lo posible el perfil natural del mismo. Se considera que profundidades menores a la adoptada comprometen la durabilidad de la tubería debido a las cargas a las que podrá ser expuesta.

Las cotas en función de la progresiva de la línea de impulsión son especificadas en el Plano de Impulsión.

1.3.7 Método de cálculo de las pérdidas de carga

La pérdida de carga total en la impulsión considera:

1. pérdida distribuida
2. pérdida localizada
3. desnivel geométrico

1. Pérdidas distribuidas

Las pérdidas de carga por fricción que ocurre en tuberías a presión se calculan mediante la fórmula Darcy-Weisbach presentada a continuación:

$$hf = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

- h_f = Pérdida de carga por fricción dentro de la tubería
- L = Longitud de la tubería
- D = Diámetro interno de la tubería
- V = Velocidad del fluido dentro de la tubería
- g = Aceleración gravitacional

El valor de f se obtiene al aplicar la ecuación modificada de Colebrook-White:

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,71} + \frac{G}{Re^T} \right) \right]^2}$$

Donde:

- $G=4,555$ y $T=0,8764$ para $4000 \leq Re \leq 1000000$
- ε = Rugosidad absoluta del material de la tubería

2. Pérdidas localizadas

$$\Delta H = K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Donde:

- v es la velocidad del fluido (m/s)
- k es el coeficiente adimensional de pérdida de carga

Los valores para los coeficientes k adoptados son (3):

Pieza	K
Entrada Ahogada	0,50
Codo 90°	0,90
T pasaje directo	0,60
Válvula de compuerta	0,20
Válvula de retención	2,50
Salida de tubería	1,0

Tabla 1-9 Coeficientes de pérdida localizada adoptados

1.3.8 Velocidad y diámetro de la tubería de impulsión

La velocidad de escurrimiento en las tuberías debe ser tal que no permita la deposición de sólidos del efluente. Por ello, para asegurar un correcto funcionamiento hidráulico, y de forma de evitar grandes pérdidas de carga lo que implicaría mayores costos energéticos, las velocidades deben estar comprendidas entre 0.6 y 3 m/s (4).

1.3.9 Determinación del diámetro más económico

El diámetro de la tubería de impulsión debe asegurar que para el caudal de bombeo, la velocidad de escurrimiento se mantenga dentro del intervalo mencionado anteriormente. El diámetro de la tubería de impulsión es hidráulicamente indeterminado, dado que para un mismo caudal si se disminuye el diámetro aumenta la potencia del equipo de bombeo y viceversa. Existen por tanto varios pares diámetros-potencia que permite elevar un caudal dado a una altura geométrica dada.

La determinación del diámetro de la tubería de impulsión se realiza teniendo en cuenta no sólo los aspectos funcionales anteriormente mencionados, sino también considerando los aspectos económicos.

Se elige el diámetro que genera menores costos de implantación, de operación y mantenimiento de todo el sistema de elevación, cotejando los aspectos técnicos y económicos para distintos diámetros de tubería, considerando:

- costos de tubería y piezas
- costos del equipo adecuado para cada valor de diámetro elegido
- operación, mantenimiento y consumo de energía, etc.

Es importante considerar que la instalación eléctrica es más grande para mayores bombas, y que la vida útil de las bombas es mucho menor que la de las tuberías.

De los diámetros comerciales existentes se descartan aquellos en los cuales la velocidad del flujo no se encuentra dentro del intervalo recomendado. Para el estudio, se analizan los diámetros en PEAD 100 (segunda generación) resistentes a una presión nominal de 10 kg/cm² lo que implica una relación diámetro/espesor de 17 (a excepción de la tubería en diámetro nominal 110, que deberá tener una presión nominal de 16 Kg/cm² y una relación diámetro/espesor de 11).

En las siguientes tablas se presentan los resultados de las pérdidas de carga considerando diferentes diámetros de tubería de impulsión y las características que tendrían que tener las bombas.

Para cada diámetro se calcula la carga a entregar por la bomba y la respectiva potencia consumida. Para el cálculo de la potencia consumida, se asume un rendimiento del equipo de 50 % por seguridad.

$$Potencia\ consumida = \frac{\gamma \cdot Q \cdot \Delta H}{\eta}$$
, siendo γ el peso específico del lixiviado estimado en 10.000 N/m³. Las pérdidas de carga se calculan mediante la fórmula de Darcy- Wiesbach.

Tubería en PEAD DN110

Perdida de carga en tuberías	
Q (L/s)	11,3
D int (mm)	90,0
v (m/s)	1,8
Pérdida de carga (m)	86,8
Diseño de las bombas	
Desnivel geométrico (m)	28
H diseño (m)	117
Eficiencia bomba (%)	50
Potencia (kW)	26

Tabla 1-10 Pérdida de carga y diseño de bomba de impulsión para tubería PEAD DN110

Tubería en PEAD DN125

Perdida de carga en tuberías	
Q (L/s)	11,3
D int (mm)	110,2
v (m/s)	1,2
Pérdida de carga (m)	33,4
Diseño de las bombas	
Desnivel geométrico (m)	28
H diseño (m)	64
Eficiencia bomba (%)	50
Potencia (kW)	14

Tabla 1-11 Pérdida de carga y diseño de bomba de impulsión para tubería PEAD DN125

En esta tabla se puede observar que la carga que entregará la bomba es del orden del 68% de la presión nominal de la tubería.

Tubería en PEAD DN140

Perdida de carga en tuberías	
Q (L/s)	11,3
D int (mm)	123,4
v (m/s)	0,9
Pérdida de carga (m)	19,1
Diseño de las bombas	
Desnivel geométrico (m)	28
H diseño (m)	49
Eficiencia bomba (%)	50
Potencia (kW)	11

Tabla 1-12 Pérdida de carga y diseño de bomba de impulsión para tubería PEAD DN140

Tubería en PEAD DN160

Perdida de carga en tuberías	
Q (L/s)	11,3
D int (mm)	141,0
v (m/s)	0,7
Pérdida de carga (m)	10,1
Diseño de las bombas	
Desnivel geométrico (m)	28
H diseño (m)	40
Eficiencia bomba (%)	50
Potencia (kW)	9

Tabla 1-13 Pérdida de carga y diseño de bomba de impulsión para tubería PEAD DN140

Se observa en las tablas anteriores que para los diámetros 110, 125, 140 y 160 mm, las velocidades del flujo están dentro del intervalo recomendado.

A mayor diámetro de la tubería, menor será la potencia de la bomba a instalar, por lo tanto el costo energético de la operación será menor. Sin embargo, el costo de inversión será mayor.

Se realiza un cálculo de la cantidad de meses que deberían pasar para que, instalando una tubería con un diámetro menor a 160 mm, se igualen los costos totales (inversión + operación) que una instalación con tubería de 160 mm.

A partir de ese momento, los costos de haber instalado la tubería con diámetro menor serán mayores que de haber colocado una tubería de diámetro nominal 160 mm.

Luego se realiza el mismo cálculo para una tubería de diámetro nominal 140 mm.

En las siguientes planillas se presentan los cálculos realizados para determinar el costo de inversión, operación y amortización, considerando un precio por kg de PEAD de USD 2,88, un costo de instalación de igual valor (USD 2,88 por kg de PEAD instalado), una longitud total de tubería de 2870m y un precio de kW/h de \$ 4,67.

Tubería DN160 PN10 PE100	
Kg/metro	4,604
Precio total (US\$)	76110
Tubería DN140 PN10 PE100	
Kg/metro	3,518
Precio total (US\$)	58157
Ahorro contra 160mm	17953
Tubería DN125 PN10 PE100	
Kg/metro	2,808
Precio total (US\$)	46420
Ahorro contra 160mm	29690
Ahorro contra 140mm	11737
Tubería DN110 PN16 PE100	
Kg/metro	3,2
Precio total (US\$)	52900
Ahorro contra 160mm	23210
Ahorro contra 140mm	5257

Tabla 1-14 Costo de inversión de tubería de impulsión

Tubería	kWh/mes	US\$/mes	Sobrecosto mensual comparado con 160mm (US\$/mes)	Meses para igualar inversión de 160 mm
PEAD 160 mm	6756	1434		
PEAD 140 mm	8239	1749	315	57
PEAD 125 mm	11899	2526	1092	27
PEAD 110 mm	26075	5535	4101	6

Tabla 1-15 Meses para amortizar la instalación de una tubería de diámetro menor a 160 mm

Tubería	kWh/mes	US\$/mes	Sobrecosto mensual comparado con 140mm (US\$/mes)	meses para igualar inversión de 140 mm
PEAD 140 mm	8239	1749		
PEAD 125 mm	11899	2526	777	15
PEAD 110 mm	26075	5535	3786	1

Tabla 1-16 Meses para amortizar la instalación de una tubería de diámetro menor a 140 mm

Los costos presentados no consideran la compra de la bomba, ya que como una aproximación para la elección del diámetro se puede estimar que el costo de ésta no va a influir en la elección del diámetro más económico.

Diámetro elegido

El diámetro seleccionado para la tubería de impulsión es 125 mm. La elección es fundamentada por lo siguiente:

- El costo de inversión de la tubería de diámetro nominal 110mm resulta más costosa que la tubería de diámetro nominal 125 mm, ya que debe ser capaz de resistir a una presión nominal mayor (debido a la mayor carga de la bomba asociada a este diámetro). Por este motivo el diámetro de 110 mm es descartado de la selección.
- El tiempo que deberá pasar hasta que el costo energético mas el costo de inversión de instalar una tubería de diámetro nominal 125 mm, iguale al costo de inversión y costo energético de una instalación de tubería de diámetro nominal 140 mm y 160 mm es de 15 y 27 meses respectivamente. Estos valores son considerando que durante todo ese tiempo el caudal que trata la planta es de 11,3 L/s. En la realidad ese es el caudal máximo correspondiente a un año en particular (2014). Luego el caudal descenderá y aumentaran los tiempos hasta que se igualen los costos.
- Por tener la tubería de diámetro nominal 125 mm una velocidad mayor que la de 140 mm y la de 160 mm, tendrá menos riesgo de sedimentación, considerando que el lixiviado tratado tendrá una DBO de salida de 700 mg/L.

1.3.10 Cálculo de las pérdidas de carga para el diámetro elegido

En la siguiente tabla se muestran las rugosidades correspondientes a cada tramo.

Tubería	Material	ϵ (mm)	D interior (mm)
Manifold	Acero Inoxidable	0.4	110,1
Impulsión	Polietileno Alta Densidad	0.02	110,2

Tabla 1-17 Rugosidades para tuberías de impulsión y manifold

Para el caudal de diseño (11,3 L/s) las pérdidas distribuidas y localizadas se presentan en las siguientes tablas:

Pérdida de carga en Manifold	
Q (L/s)	11,3
D int (mm)	110,1
v (m/s)	1,19
Pérdida de carga distribuida(m)	0,1
K total	8,50
Pérdida de carga localizada (m)	0,61
Pérdida de carga total (m)	0,70

Tabla 1-18 Cálculo de pérdida de carga en el Manifold de la bomba hacia colector

Pérdida de carga en Impulsión	
Q (L/s)	11,3
D int (mm)	110,2
v (m/s)	1,2
Pérdida de carga distribuida(m)	32,1
K total	4,00
Pérdida de carga localizada (m)	0,29
Pérdida de carga total (m)	32,36

Tabla 1-19 Cálculo de pérdida de carga en la Impulsión de la bomba hacia colector

Por lo tanto las características mínimas que deberá tener el equipo de bombeo son las siguientes:

Diseño de las bombas	
Hf-Ho geo. (m)	28,1
Q (m ³ /s)	0,0113
Hb (m)	61
H diseño (m)	63
Ef. (%)	50
Potencia (kW)	14
Potencia (HP)	19,0

Tabla 1-20 Características mínimas del equipo de bombeo a colector

1.3.11 Elección del equipo de bombeo

Se instalan dos bombas centrífugas sumergibles de eje vertical de velocidad constante. La instalación será fija. El tipo de funcionamiento de las mismas es una en operación y otra de reserva la cual se pondrá en funcionamiento una vez por semana de forma de asegurar que esté en buen estado. Se opta por este tipo de operación frente al funcionamiento alternado para que en caso de falla de la bomba principal, la cual tendrá mayor desgaste, se tenga otra de reserva.

Cada equipo cuenta con una válvula de compuerta para su aislamiento en caso de reparación, y una válvula de retención para evitar el reflujo del líquido bombeado o no descargado. Todos los bulones, tuercas de unión, etc. que se encuentren en contacto con el líquido residual son de acero inoxidable.

El nivel del líquido dentro del pozo asegura la sumergencia mínima de la succión establecida por el fabricante para que las bombas arranquen con líquido en su interior.

Se elige una bomba marca Flygt modelo NP 3171 SH 3~272.

En la siguiente figura se muestra el punto de funcionamiento de la bomba.

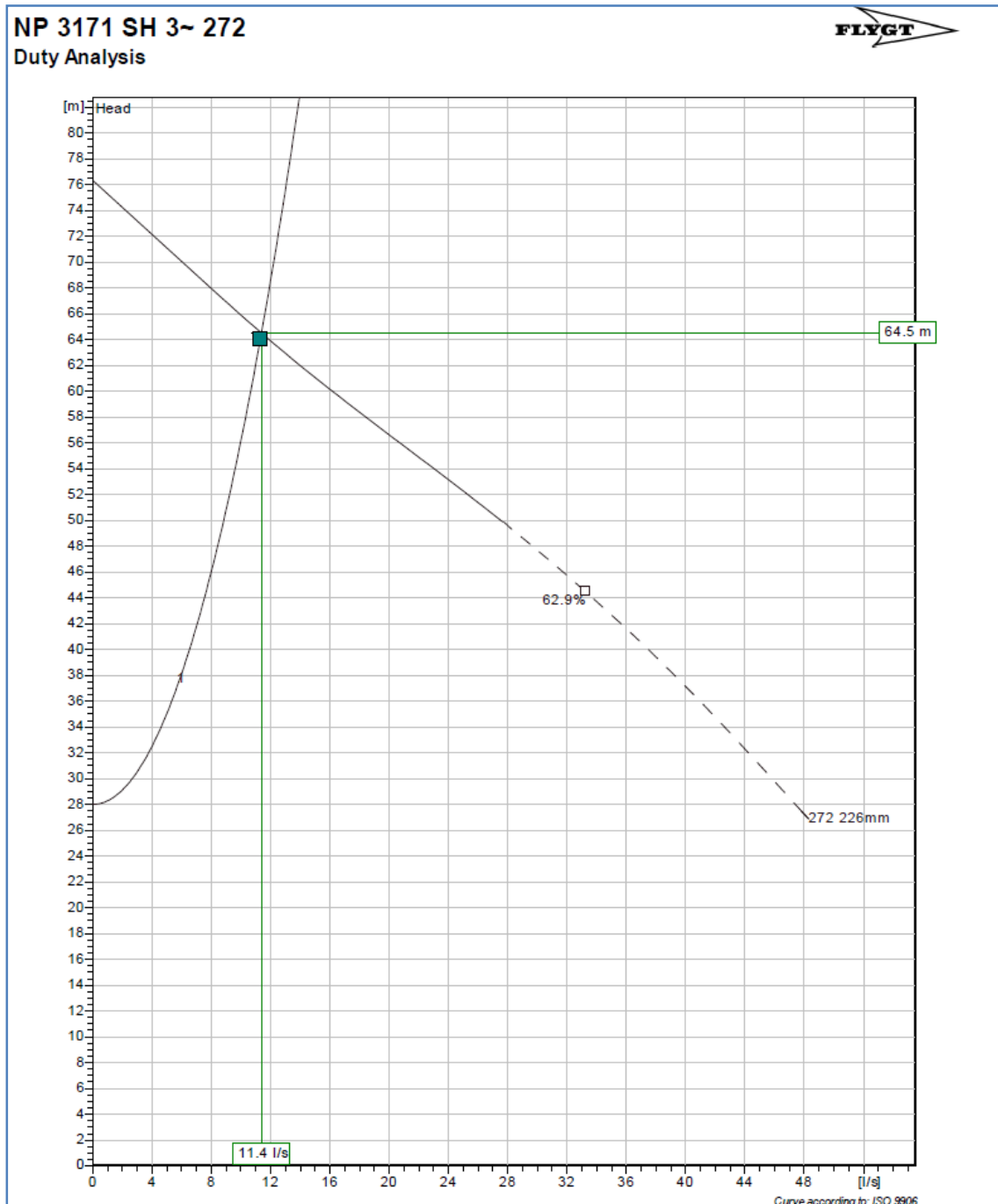


Figura 1.2 Intersección de la curva de la instalación y curva de la bomba

Se presenta junto con este informe el catálogo completo de la bomba.

Según lo establecido en el catálogo de la bomba elegida, ésta admite como máximo hasta 30 arranques por hora. Para el diseño se consideró como máximo 6 arranques por hora, por lo que el motor no estará expuesto a excesivos arranques.

1.3.11.1 Verificación del NPSH

En la tubería de succión se pueden producir presiones manométricas negativas que pueden hacer que se formen cavidades de vapor si la presión absoluta se acerca a la tensión de vapor del agua. La cavitación puede aparecer en las bombas cuando éstas se encuentran a un nivel cercano al de la superficie libre en el depósito de captación y las pérdidas de carga y aumento de cota producen que la presión a lo largo de la tubería de succión disminuya.

El fenómeno de Cavitación produce los siguientes efectos indeseables:

- Las piezas mecánicas están sometidas a esfuerzos alternados pues la potencia solicitada al motor depende del estado líquido o vapor del fluido.
- Descenso brusco del caudal impulsado por la bomba por el estrangulamiento que se produce con la vaporización del fluido.
- La brusca condensación de las burbujas de vapor a alta frecuencia produce elevados esfuerzos, que a su vez fatigan el material. Por esto las zonas de cavitación son de rápida corrosión (destrucción del material).

La aparición de cavitación dependerá de:

- Las condiciones de aspiración. La altura de la bomba respecto al nivel de toma y las pérdidas de carga en el tramo de succión $NPSH_D$. (Net Positive Suction Head disponible).
- Las pérdidas de carga adicionales desde la entrada al cuerpo de la bomba hasta el punto de mínima presión dentro del rodete $NPSH_R$. (Net Positive Suction Head requerido).

Para evitar que la bomba cavite se debe verificar que para el punto de funcionamiento de la bomba se cumpla:

$$NPSH_D > NPSH_R$$

El NPSH requerido es suministrado por el fabricante de la bomba en función del caudal.

El NPSH disponible a la entrada de la bomba debe ser calculado como:

$$NPSH_D = Z - \Delta H_s + \frac{P_{atm}}{\gamma} - \frac{P_v}{\gamma}$$

Donde:

- P_{atm} = presión atmosférica en Pa=101,325
- P_v = es la presión de vapor del agua
- γ = peso específico del agua [N/m^3]
- ΔH_s = pérdida de carga hasta la succión de la bomba en m
- Z = es la altura estática de succión

La pérdida de carga en la succión se desprecia por tratarse de una bomba sumergible. Por seguridad se desprecia la altura estática de agua disponible. En estas condiciones se calcula el NPSH disponible para distintas temperaturas lo que se muestra en la siguiente tabla.

T (°C)	P vapor (m)	NPSH (m)
0	0.06	10.27
5	0.09	10.24
10	0.13	10.2
15	0.17	10.15
20	0.24	10.09
25	0.32	10

Tabla 1-21 NPSH en función de la temperatura del lixiviado

Según la información suministrada por el fabricante (Flyght), la bomba seleccionada presenta un NPSH requerido tan bajo que no requiere ser verificado, es decir menor a 10 mca. El NPSH disponible (una atmósfera) es suficiente para no provocar la cavitación.

1.3.12 Cálculo de volumen útil con el caudal erogado por bomba

Para el caudal erogado por la bomba 11,4 l/s, se recalcula el volumen útil y el tiempo de retención.

El volumen útil se calcula según:

$$V_u = \frac{Q \cdot T_{ciclo}}{4}$$

Por lo tanto el nuevo volumen útil es de:

$$V_u = 1,71 \text{ m}^3$$

Lo que resulta en una altura útil de 27,3 cm, 0,3 centímetros mayor a la calculada para el caudal de diseño (11,3 L/s), dado que el caudal efectivamente erogado por la bomba es apenas mayor al de diseño.

Por este motivo las dimensiones del pozo de bombeo no serán modificadas con respecto a las dimensiones con el caudal de diseño.

1.3.13 Sistema de control de operación de las bombas

Las bombas son controladas por medio de Control Lógico Programable (PLC). También se prevé comandos de arranque y apagado manuales en caso de emergencia o mantenimiento.

El control automático de las bombas se basa en el nivel del líquido dentro del pozo. Los sensores de nivel son de tipo flotador. Cuando el nivel del agua alcanza el flotador, éste cambia de posición cerrando o abriendo un circuito, poniendo en marcha o deteniendo la bomba o activando una alarma. Se prevén también dos sensores del tipo flotador con contacto sin tensión que dan las señales de alarma por niveles máximos.

1.3.14 Aliviadero del pozo

En el caso de una eventual necesidad de vaciado de pozo, se podrá mediante el accionar de compuertas en el registro 1, evitar el ingreso del lixiviado tratado al pozo de bombeo, enviándolo a la laguna de ecualización. A su vez, mediante las bombas en el pozo y el accionar de válvulas en la cámara de válvulas se podrá enviar el lixiviado tratado del pozo de bombeo hacia la laguna de ecualización.

1.3.15 Verificación de la no flotación del pozo

Se verificó la no flotabilidad de toda la estructura para la condición más exigente, situación en la cual se considera:

- el nivel freático se encuentra en el nivel de terreno
- el pozo se encuentra vacío.

En el cálculo, se compara el peso de toda la unidad con el empuje hidrostático que la misma recibe en la situación mencionada anteriormente. Por seguridad, en este balance de fuerzas, no se considera el peso de las bombas, tuberías, macizos de anclajes, piezas, etc.

Para las dimensiones adoptadas se calcula el peso del hormigón de las paredes y fondo del pozo, de la cámara de válvulas y del canal de rejillas. También se considera una losa de hormigón de 20 cm que sobresale 1 metro en todas las direcciones del fondo del pozo de bombeo de baja, y el peso del suelo sobre esta losa, oficiando de fondo de pozo de bombeo y de voladizo para evitar la flotación del pozo. Se asume una densidad de hormigón de 2500 kg/m^3 y de suelo saturado de 900 kg/m^3 . El empuje hidrostático se calcula asumiendo la densidad del agua en 1000 kg/m^3 .

Los resultados obtenidos son:

Volumen de agua desplazado (m^3)	178
Empuje del agua (kN)	1744
Peso del hormigón y suelo (kN)	1932
FS	1,1

Tabla 1-22 Factor de seguridad para la flotabilidad del pozo

El factor de seguridad obtenido es 1,1, lo que se considera aceptable.

1.3.16 Anclajes de la tubería de impulsión

La tubería de impulsión se encuentra sometida a tracciones provocadas por los esfuerzos generados en los cambios de dirección.

Para resistir las tracciones se utilizan macizos de anclaje que transmiten los esfuerzos al terreno.

En los tramos rectos, de todas maneras, se instalarán anclajes constructivos cada 50m de tubería, con dimensiones $0,40\text{m} \times 0,40\text{m} \times 0,20\text{m}$ de altura.

Los esfuerzos en cada cambio de dirección del flujo se determinan mediante un balance mecánico, resultando:

$$E = k \times P \times S$$

Donde,

- E= empuje en Newton
- P = presión en la conducción en Pascales
- S = área de la sección del tubo en metros cuadrados.
- K = coeficiente que depende de la geometría del elemento de canalización
 - o $K = 1 - S'/S$ para reducciones (siendo S' la menor sección)
 - o $K = 2 \times \sin(\alpha/2)$ para codos (siendo α el ángulo del codo)
 - o $K = 1$ para válvulas y tees

Se considera una presión máxima de 10 kg/cm^2 por ser esta la máxima presión a la que podría estar sometida la tubería.

Para resistir el empuje se considera el aporte de la fricción del macizo con el terreno y la reacción de apoyo en la pared de la zanja.

Luego de obtenidos los empujes para cada singularidad, las dimensiones de los macizos se determinan según planos tipo de la OSE.

En las progresivas 13.00 y 26.00 de la tubería de impulsión se presentan 2 codos de 45° . Considerando una resistencia del terreno natural al empuje de 1 kg/cm^2 se tienen los siguientes resultados:

$E = 2 \times P \times A \times \sin(\alpha/2) = 730 \text{ kgf}$. Por lo tanto, según plano tipo de OSE, el macizo de anclaje adecuado será el que tengas las siguientes dimensiones:

$L=0,55\text{m}$, $l= 0,35\text{m}$ y $h= 0,15 \text{ m}$, donde:

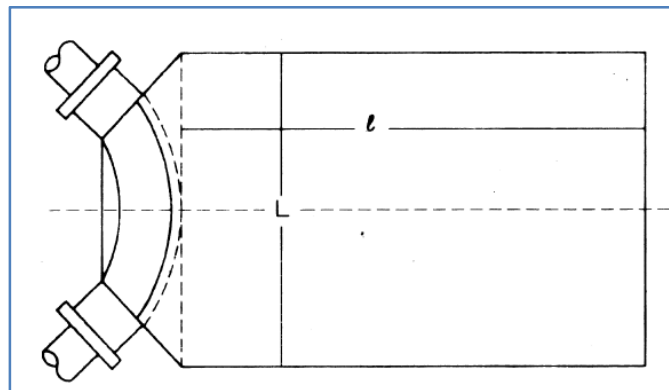


Figura 1.3 Esquema de planta de macizo de anclaje

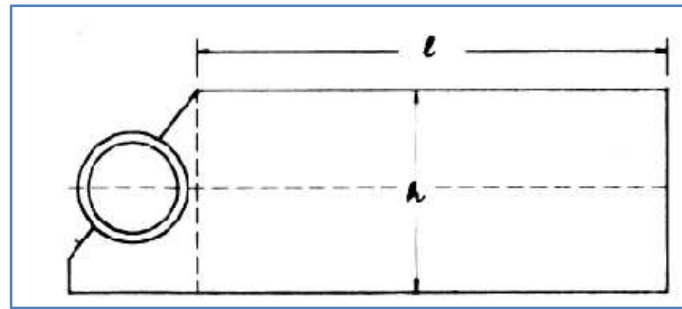


Figura 1.4 Esquema de corte transversal de macizo de anclaje

1.3.17 Anclajes del Manifold

En el caso de las distintas piezas del Manifold de impulsión (tees, codos, válvulas) se construirán macizos de hormigón que actuarán como apoyo y además descargarán las fuerzas generadas en los codos y piezas especiales.

Estos anclajes se realizarán monolíticos con la losa del Manifold. Por lo tanto, los mismos se realizarán durante el llenado del Manifold, vinculados a la losa mediante hierros.

Por seguridad, los mismos se diseñan para resistir la presión de diseño de los anclajes de la tubería de impulsión (10 kg/cm^2).

Los esfuerzos obtenidos para las distintas piezas del Manifold son:

Descripción	S (m2)	S' (m2)	k	p (Pa)	E (N)
Válvula de retención. $\Phi = 4''$	0,010		1	980665	9353
Válvula esclusa. $\Phi = 4''$	0,010		1	980665	9353
Tee $\Phi = 4''$. Fundición dúctil	0,010	0,010	1	980665	9353
Codo $90^\circ \Phi = 4''$. Fundición dúctil	0,010		1,41	980665	13228

Tabla 1-23 Esfuerzos en singularidades del manifold

El dimensionado de los mismos quedará a cargo de un ingeniero estructural.

1.3.18 Válvulas de aire y de purga

Se deben prever puntos de descarga con el fin de poder vaciar la tubería para realizar reparaciones y mantenimiento. Estas descargas se ubican en los puntos bajos de la línea.

En los puntos altos de la línea se deben colocar dispositivos que permitan la salida de aire cuando se está en funcionamiento y la entrada cuando se está vaciando.

Serán colocadas válvulas de aire de tres funciones en las progresivas 800m y 1904,5 m.

Las válvulas de purga serán colocadas en las progresivas 1491,5 m y 2034,5m

Las cámaras para las válvulas de aire se construirán con aros de hormigón armado de 1.20m de diámetro.

Las cámaras a construir no tendrán cono superior y se construirán circulares en toda su altura. El acceso se construirá con tapa de 500mm según plano general de la Intendencia de Montevideo. Tendrán otra tapa de 1m de diámetro para poder desinstalar la válvula de aire. Para poder desmontar dicha válvula sin afectar el servicio se prevé intercalar una válvula de compuerta del mismo diámetro que la ventosa. El acceso de 500mm será tangente a la tapa de 1m.

Para cada uno de los dos desagües ubicados en las progresivas 1491.50 y 2034.50 se construirán dos cámaras según plano general de la Intendencia de Montevideo. La primera de estas cámaras irá junto a la tubería y contendrá la válvula de compuerta DN-100mm PN-10 con volante que permite accionar el desagüe. La otra cámara se construirá contigua a la anterior y actuará como una retención para que el líquido pueda ser extraído mediante succión por un camión barométrico. Dentro de la cámara de la válvula de compuerta la tubería será de acero inoxidable 4". Luego de la válvula esta tubería empalma con un tramo de PVC DN 110mm que realiza el vertido en la segunda cámara de desagüe.

1.3.19 Vaciado de la tubería de impulsión

El vaciado de la tubería de impulsión se realiza mediante un desagüe hacia la laguna de ecualización ubicado en la cámara de válvulas. Este desagüe es el mismo utilizado para vaciar el pozo de bombeo a colector.

Parte del lixiviado contenido en la tubería deberá ser desaguado por medio de las válvulas de purga antes mencionadas, ya que por motivos de geometría de la impulsión, el lixiviado no podrá realizar todo el camino inverso para desaguar hacia la laguna de ecualización.

1.3.20 Cámara de Sacrificio

La tubería de impulsión descarga en una cámara especial destinada a recibir el líquido a presión y a partir de la cual el líquido escurre por gravedad.

La misma se realiza en hormigón revestido con mortero con Epoxi resistente a la agresión química.

El zampeado en la entrada a la cámara de sacrificio se encuentra a 1,5 m por debajo del nivel de terreno, y la tubería subirá dentro de la cámara luego de dos codos para descargar a una altura mayor (cota +43,38m) de forma de disminuir las subpresiones del transitorio.

1.3.21 Colector por gravedad hacia la unidad de tratamiento

Se presenta a continuación un resumen de las singularidades de la red de colectores entre la cámara de sacrificio y el colector del sistema de saneamiento de Camino Carrasco.

Cámara	Zampeado entrada	Zampeado salida	Profundidad
Cámara de sacrificio	42,5	42,5	1,5
Registro A	41,56	41,54	1,69
Registro B	40,6	40,58	1,82
Registro de Llegada al ovoide	40,36	39,41	2,99
Cota Llegada al ovoide	38,93	-	-

Figura 1.5 Resumen de singularidades de la red de colectores entre la cámara de sacrificio y el colector de descarga

Para estudiar el comportamiento del tramo por gravedad, se modeló la situación en el programa SWMM (Storm Water Management Model) creado por la EPA.

Los resultados obtenidos se presentan a continuación, y se podrá observar que para el caudal que llevará la tubería de impulsión, el tramo por gravedad se comportará adecuadamente, funcionando con superficie libre en todo su recorrido.

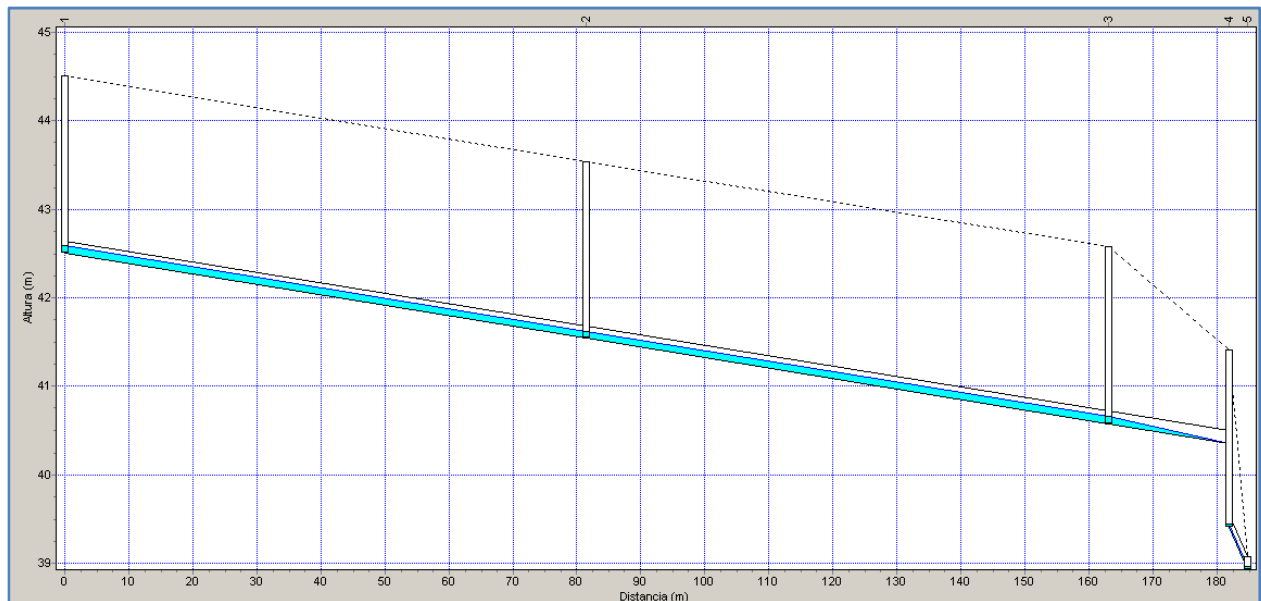


Figura 1.6 Perfil hidráulico de tramo por gravedad en tubería de impulsión

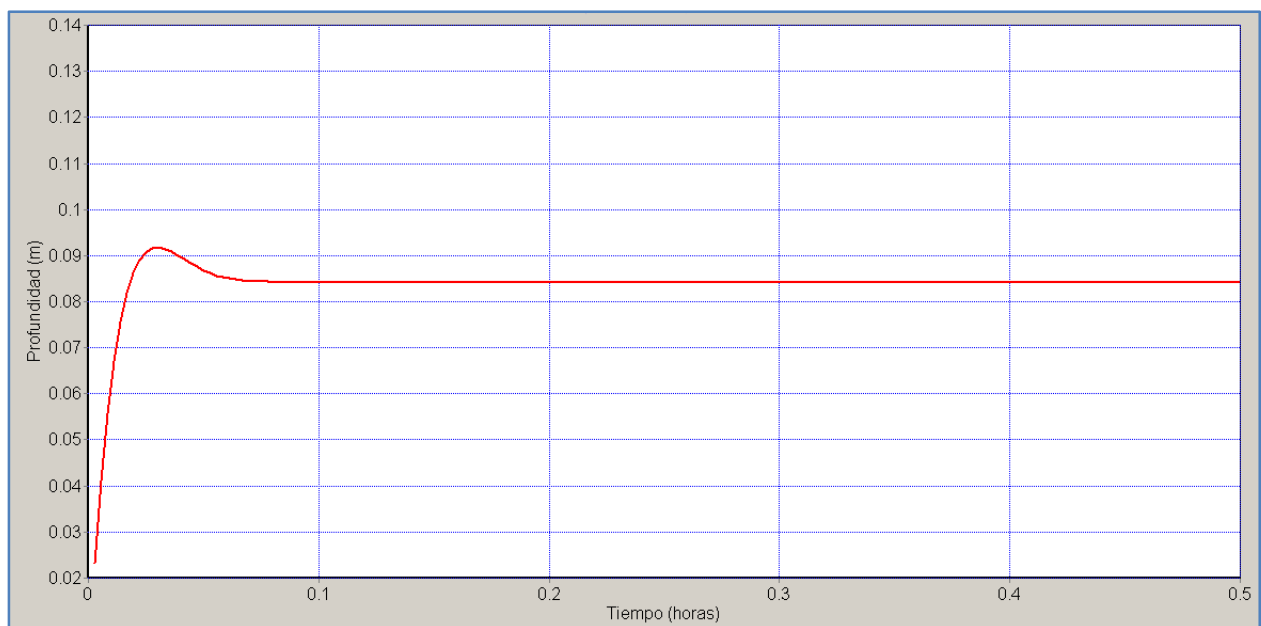


Figura 1.7 Profundidad máxima alcanzada en el tramo por gravedad

1.3.22 Estudios de fenómenos transitorios en la tubería de impulsión

Un cambio brusco en el caudal que circula por una tubería genera presiones muy distintas a las presiones correspondientes al régimen estacionario.

Para asegurar el correcto funcionamiento de la tubería es necesario estudiar los fenómenos transitorios para así poder determinar la máxima presión y la mínima depresión a la que será expuesta la tubería y el fluido, con el fin de diseñar elementos de protección en caso de ser necesarios.

Debe verificarse que la máxima presión a la que será expuesta la tubería sea menor a la máxima admisible por la misma.

También debe asegurarse que la mínima subpresión no genere grandes deformaciones en la tubería o produzca fenómenos de cavitación.

La situación más desfavorable desde el punto de vista de los transitorios hidráulicos, se crea ante una interrupción accidental de la energía eléctrica cuando se encuentra trabajando alguna de las bombas. La interrupción del suministro eléctrico al motor de la bomba, producirá la detención del bombeo, originándose una onda de depresión que avanzará por la tubería. Esta onda de depresión puede causar el colapso de la tubería al crear presiones en su interior sensiblemente menores que la exterior.

Por otra parte, si la presión en la tubería desciende por debajo de la presión atmosférica en el orden de 10 metros de columna de agua, el agua comienza a pasar a la fase gaseosa, formándose burbujas de vapor de diferentes tamaños. Cuando la presión aumenta, aún ligeramente, por sobre la presión de vaporización, las burbujas reducen bruscamente su volumen determinando que las columnas líquidas, inicialmente separadas por las burbujas, choquen y se produzcan grandes sobrepresiones, fenómeno conocido como separación y reunión de columna líquida.

La reflexión de la onda de depresión puede producirse, de acuerdo con las condiciones de frontera, como onda de sobrepresión, por lo que el paro de las bombas puede acarrear la rotura de la tubería al sobrepasarse las tensiones admisibles en el material.

1.3.22.1 Estudio de la parada del equipo de bombeo

Cuando se produce la parada del equipo, la válvula de retención ubicada luego de la bomba se cierra. La inercia del fluido hace que el mismo se siga desplazando, lo que genera una onda de depresión la cual viaja por la tubería con velocidad “a” al mismo tiempo que va deteniendo el fluido, hasta ser reflejada en el otro extremo como una onda de sobrepresión. La onda de sobrepresión viaja hasta la válvula de retención donde se refleja nuevamente. La onda reflejada continúa viajando hacia el extremo libre donde nuevamente se refleja como onda de depresión. Debido a las pérdidas de carga durante el ciclo, la amplitud de la onda reflejada disminuye con el tiempo hasta tener amplitud nula, alcanzándose el reposo dentro de la tubería.

El método de protección de la impulsión utilizado en este caso, por tratarse de una estación de pequeño porte, es la colocación de un tanque hidroneumático a la salida del pozo de bombeo.

1.3.22.2 Primera aproximación: Pulso de Joukowski

De la aplicación de un balance mecánico a una porción de fluido, se deduce el pulso de presión de Joukowski para el máximo cambio de velocidad del flujo posible, desde su valor inicial V_0 hasta cero.

Para el cálculo de la amplitud de la onda de presión se asume:

- Flujo es unidimensional, $v=v(x)$.
- No se consideran pérdidas por fricción en la tubería.
- Detención brusca y total del flujo.
- Tubería horizontal (no se considera la contribución del peso).
- Las pérdidas de carga debidas al término cinético son despreciables.

Se obtiene la amplitud de la onda de presión (Δp), la cual permitirá estimar la máxima sobrepresión y depresión posible (5).

$$\Delta p = \rho \cdot a \cdot V_o$$

Siendo

- a la celeridad de la onda.
- V_o la velocidad del flujo inicial
- ρ densidad del fluido

La celeridad de la onda se calcula mediante un balance de masa, considerando la elasticidad del agua y de las tuberías, obteniéndose:

$$a = \frac{\sqrt{\frac{K}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{K}{E} \cdot \frac{D}{e}}}$$

Donde K y ρ son el módulo de compresibilidad y densidad del fluido, y E es el módulo de Young del material de la tubería.

En el caso del agua (módulo de compresibilidad $K=2.2 \cdot 10^9$ N/m², $\rho =1000$ Kg/m³) la ecuación anterior queda de la forma siguiente:

$$a \text{ (m / s)} = \frac{1440}{\sqrt{1 + \frac{2.709 \times 10^9}{E} \cdot \frac{D}{e}}}$$

Siendo,

- E el módulo de elasticidad de la tubería es $E=0.8 \times 10^9$ Pa para Polietileno
- D/e la relación diámetro/espesor de la conducción= $125/7,4=17$

$$a = \frac{1440}{\sqrt{1 + \frac{2.709 \times 10^9}{0.8 \times 10^9} \cdot 17}}$$

$$a = 190 \text{ m / s}$$

La amplitud de la onda de presión (Pulso de Jukowsky), calculada para el caudal de bombeo 11,4 L/s, se determina en :

$$\Delta p(mca) = 1000 * 190 * 1,18$$

$$\Delta p(Pa) = 224200$$

$$\Delta p(mca) = 22,9$$

La máxima variación de presión que se podrá registrar durante el transitorio respecto del estacionario se puede acotar superiormente por el valor 23 mca.

1.3.22.3 Simulación del transitorio

Mediante el uso de un modelo matemático basado en el método de las características se realizó el estudio de los fenómenos transitorios que se producirán en la tubería de impulsión. Estos fenómenos producirán piezométricas en la línea que para resultar aceptables deberán estar comprendidas dentro del rango de resistencia de la tubería y por sobre la presión de vaporización de la línea.

Se realizó la simulación del transitorio hidráulico frente a una parada del equipo de bombeo mediante el software HiTrans3[®].

La situación modelada corresponde a la parada de un equipo que bombea desde un depósito hacia otro de nivel constante (igual a la cota de descarga de la línea de impulsión).

El software utilizado permite determinar los valores máximos y mínimos de presión alcanzados en la línea. El mismo simula la evolución de la carga y el flujo dentro de la tubería a partir del apagado de la bomba.

La situación más comprometida es aquella correspondiente a la de máximo caudal circulante por la tubería. La cota de la descarga de la impulsión es +43,38 m, y la cota de succión (correspondiente al nivel de apagado del bombeo en el pozo) es +14,38 m. El caudal de bombeo resultante en dicha condición es de 11,4 lt/s. La cota de comienzo de la impulsión es +15,70 m.

1.3.22.3.1 Datos necesarios para la simulación

Los datos necesarios a ingresar al programa son:

- Nivel de agua en el pozo de bombeo
- Nivel de zampeado de tubería a la salida del pozo de bombeo
- Tubería
 - Diámetro
 - Coeficiente de rugosidad f
- Bomba
 - La inercia.
 - Las r.p.m. de giro de la bomba (velocidad angular inicial).
 - Eficiencia
 - Punto de funcionamiento (H,Q)

- Celeridad de la onda

Las pérdidas de carga del Manifold son representadas mediante un coeficiente K_Q determinado como $\Delta H_{\text{Manifold}} = K_Q \cdot Q^2$.

Para el caudal de 11,40 l/s las pérdidas en el Manifold son 1,1 m, resultando el coeficiente $K_Q=8239 \text{ s}^2/\text{m}^5$.

Para el caso de estudio:

- Longitud de la línea de Impulsión: 2870 m
- Coeficiente de rugosidad f : 0.0172
- Celeridad de la onda: 190 m/s
- Cota inicio impulsión: 15,70m
- Cota final impulsión: 43,38 m (nivel de descarga en cámara de sacrificio)

En la siguiente imagen se puede observar el ingreso de datos de las bombas al HiTrans.

Figura 1.8 Pantalla de ingreso de datos de bombas en HiTrans

Definido el sistema, se estudia el comportamiento hidráulico del mismo a partir de la parada de la bomba.

1.3.22.3.2 Tiempo de Simulación

El programa permite determinar el estado del sistema para distintos intervalos de tiempo.

La velocidad de la onda de presión es 190 m/s, lo que implica que la onda recorre dos veces la longitud de la impulsión en 30,21 segundos. Por ello, el tiempo de simulación debe ser superior a los 31 segundos.

1.3.22.3.3 Modelado sin considerar protección contra transitorios

Se realiza un estudio del comportamiento de la tubería sin protección contra transitorios hidráulicos de forma tal de determinar la necesidad o no de la misma. En la siguiente figura se presenta el perfil de tubería modelado:

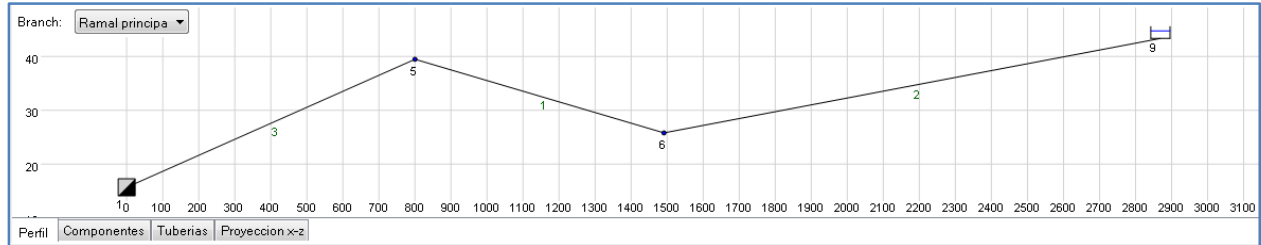


Figura 1.9 Perfil modelado sin protección contra transitorios hidráulicos

Se presentan a continuación las curvas de piezométricas y presiones extremas a lo largo de la tubería para el caudal entregado por la bomba.

La curva celeste representa el perfil de la tubería, la curva azul representa las presiones máximas alcanzadas, la curva roja corresponde a las presiones en régimen estacionario, y la curva verde representa las presiones mínimas registradas durante el transitorio.

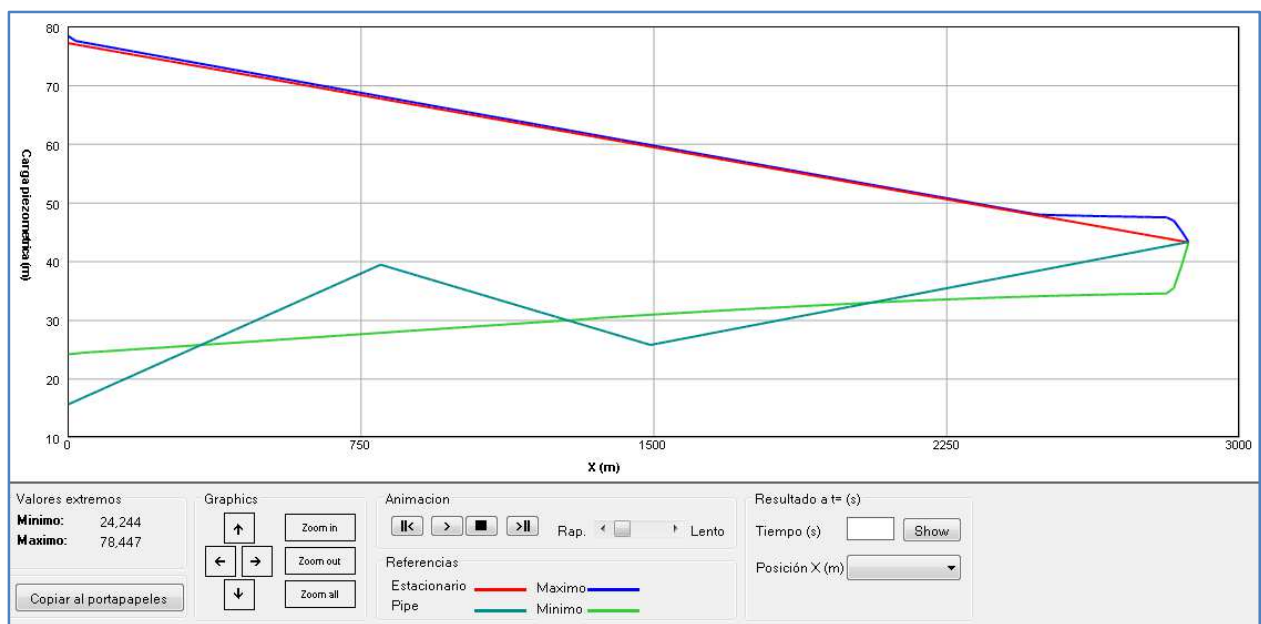


Figura 1.10 Carga piezométrica sin considerar protección contra transitorios hidráulicos

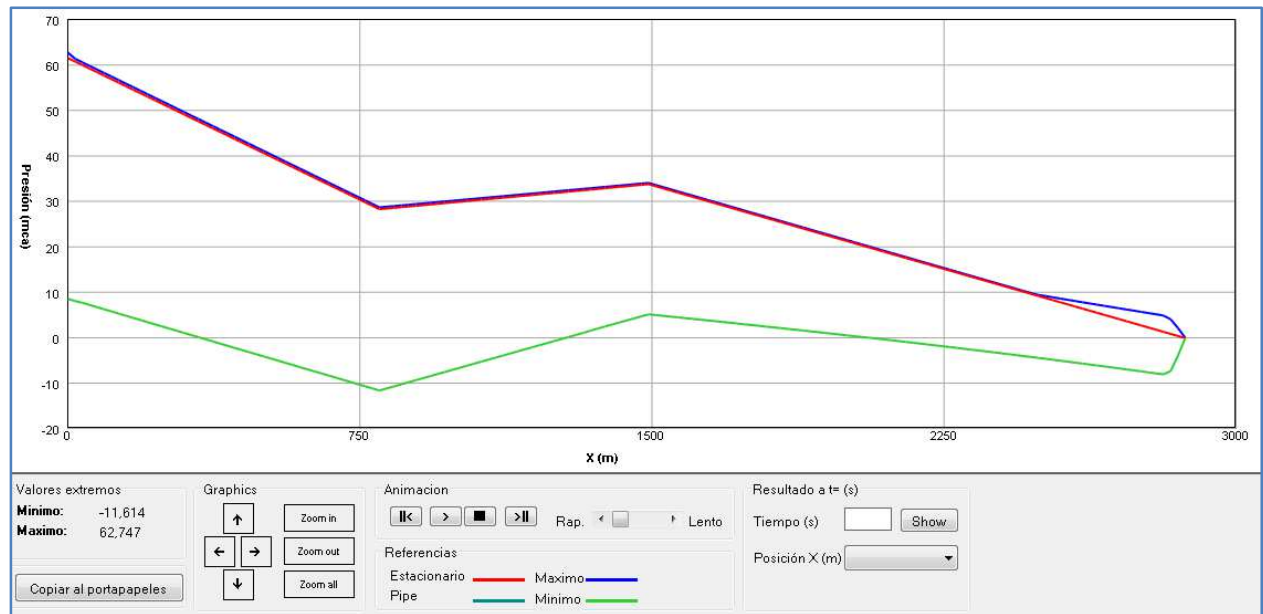


Figura 1.11 Presión en la tubería sin considerar protección contra transitorios hidráulicos

La máxima sobrepresión generada directamente por la detención del bombeo es **62,7 mca**, lo que no provoca una situación comprometida, dado que la clase de la tubería prevista resiste 10 kg/cm^2 . La misma se alcanza en la sección correspondiente a la válvula de retención.

La mínima presión se registra aproximadamente en la progresiva 800 metros, en un punto alto de la impulsión, alcanzando un valor de **-11,6 mca**.

Se observa que se alcanzan depresiones importantes (menores de -10mca) que no son admisibles y por lo tanto es necesario proteger el sistema para tener un funcionamiento controlado en cualquier caso de operación.

1.3.22.3.4 Diseño del sistema de protección

Dado que la mínima depresión es del orden de los -10 mca, se corre riesgo de que dentro de la línea se produzca el fenómeno de separación de la columna líquida.

Se opta por la colocación de un hidroneumático a la salida de la bomba de forma de minimizar los efectos del golpe de ariete.

Para la determinación de las dimensiones del tanque se procede a un proceso iterativo logrando determinar el volumen adecuado que deberá tener el tanque hidroneumático.

1.3.22.3.5 Modelado considerando sistema de protección contra transitorios hidráulicos

En las siguientes imágenes se presenta el perfil adoptado para el modelado, las envolventes de carga y las envolventes de presiones.

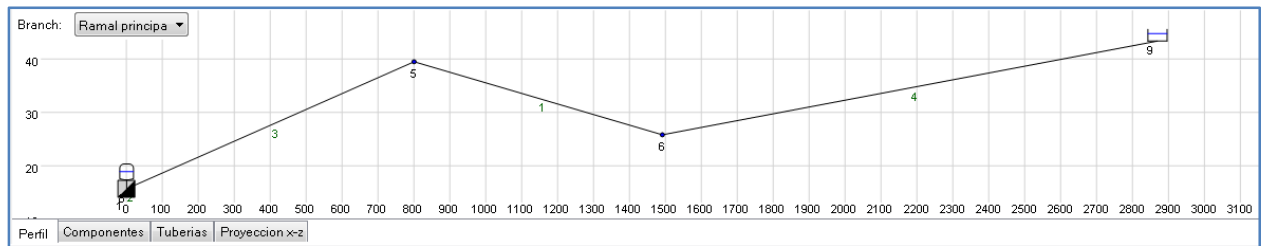


Figura 1.12 Perfil modelado considerando protección contra transitorios hidráulicos

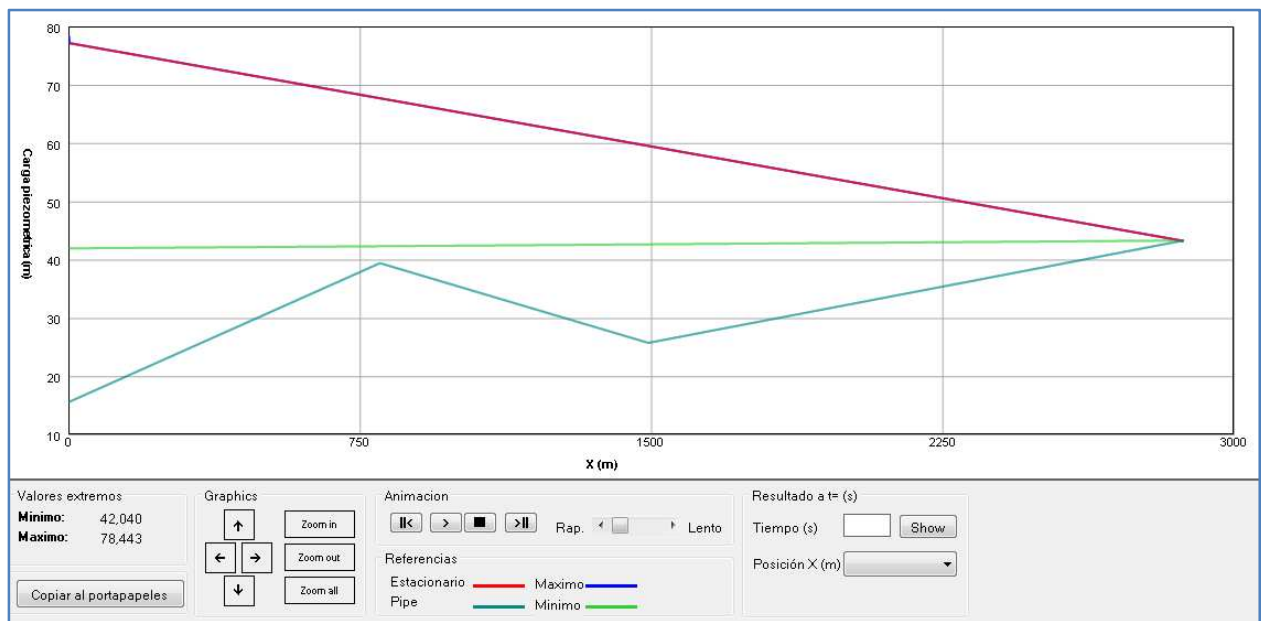


Figura 1.13 Carga piezométrica considerando protección contra transitorios hidráulicos

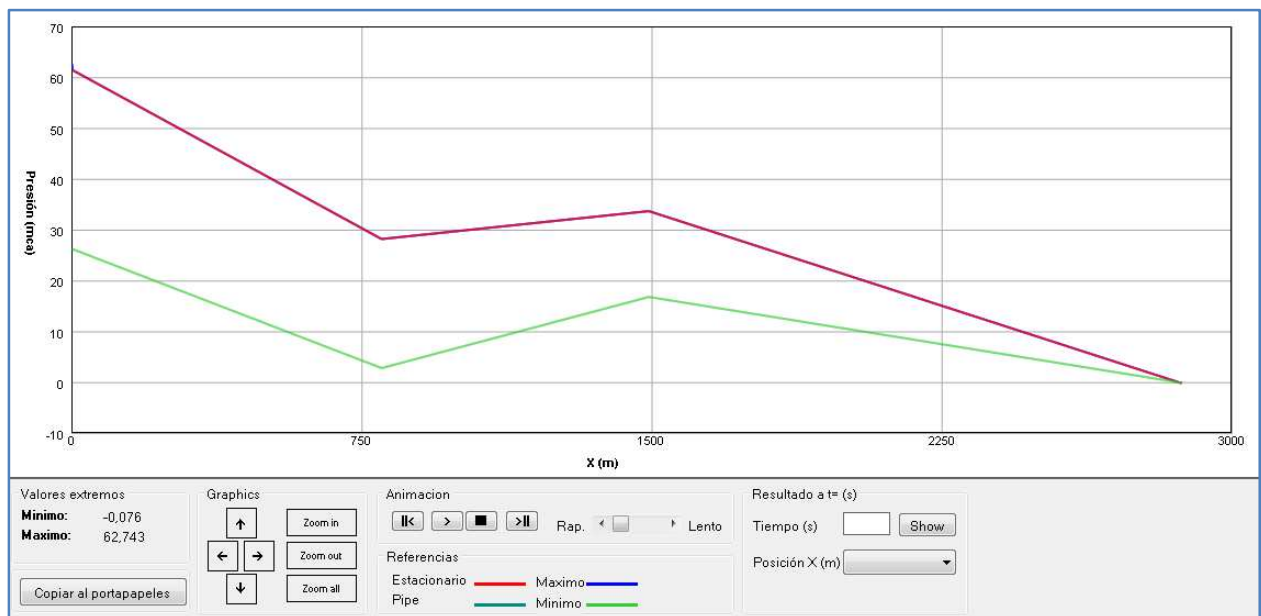


Figura 1.14 Presión en la tubería considerando protección contra transitorios hidráulicos

Como se puede observar en las imágenes anteriores las presiones en la tubería están dentro de los valores aceptables para su correcto funcionamiento.

1.3.22.3.6 Volumen del tanque hidroneumático

En la siguiente figura se muestra un gráfico con la evolución del volumen de aire en el tanque hidroneumático. El volumen máximo de aire previsto en esta modelación alcanza los 1858 litros por lo que se opta por un tanque hidroneumático de 2500 litros de volumen total, de forma de tener como mínimo un 25% del volumen total con líquido.

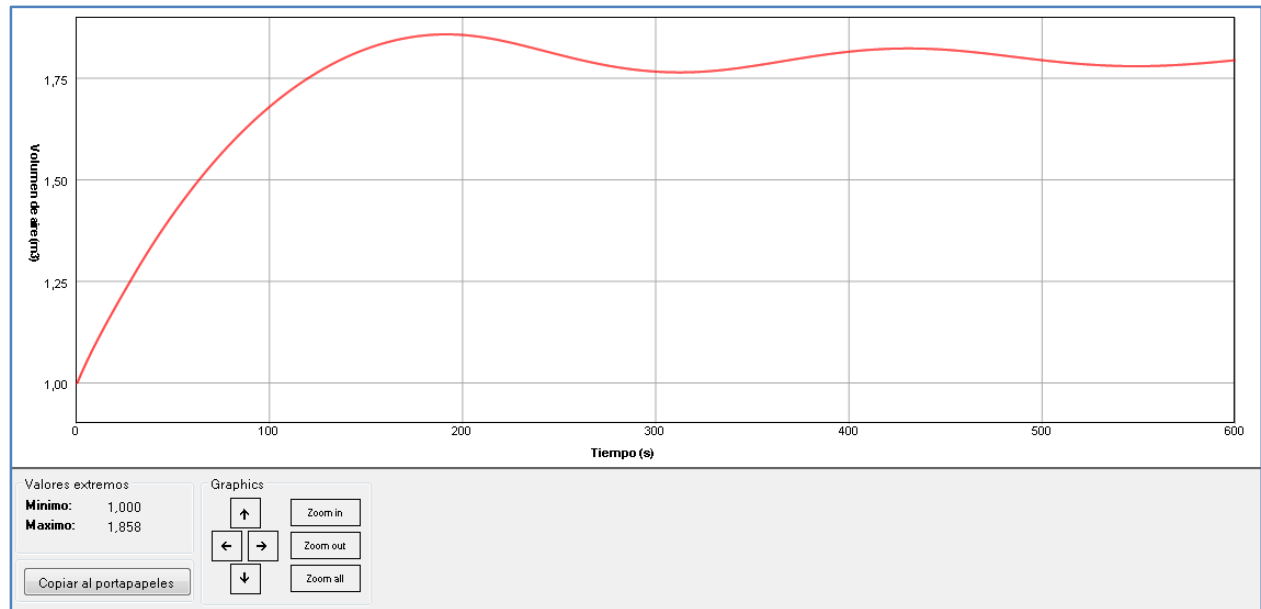


Figura 1.15 Evolución del volumen de aire dentro del tanque hidroneumático

Se deberá contar con un tanque hidroneumático con membrana para separar el aire del lixiviado, evitando de esta forma la disolución del mismo en el líquido y asegurando de esta forma un volumen de aire comprimido dentro del mismo que se encuentre en los rangos antes mencionados para lograr el correcto funcionamiento.

En estos casos los eventos importantes de mantenimiento se producen cuando se rompe la membrana. Para ello es fundamental contar con tanques que tengan una membrana robusta con una buena resistencia química.

1.4 Laguna Anóxica

Para su diseño, se fijan los siguientes parámetros de acuerdo a (2):

- TDE: Tasa de Desnitrificación Específica ($k \text{ NO}_3 / k \text{ SSV/d}$)
- X: Concentración de Sólidos Suspendidos Volátiles en el reactor ($\text{mg SSV} / \text{L}$)
- S_0 : Concentración de DBO_5 a la entrada del reactor

Luego se calcula la relación Alimento/Microorganismos (F/M) a partir de: $\text{TDE} = 0.03(\text{F/M}) + 0.029$ y se verifica que F/M esté dentro del rango recomendado (0,2 a 0,5 $\text{kDBO}_5/\text{d/KSSV}$) según indica (2).

A partir de los datos anteriores se calcula el volumen útil como:

$$V = \frac{S_0 Q}{\left(\frac{F}{M}\right) X}$$

Los valores considerados fueron los siguientes:

Parámetro	Valor	Unidad
TDE	0.04	k NO ₃ / k SSV/d
F/M	0.37	kDBO ₅ /d/KSSV
S _o	4000	mg/L dBO ₅
X	4000	mgSSV/L
Q	976	m ³ /d

Tabla 1-24 Parámetros de diseño para el cálculo del volumen de la laguna anóxica

El volumen útil resultante es $V_{anóxica} = 2663 \text{ m}^3$. Las dimensiones de laguna son:

Largo (m)	54
Ancho (m)	27
Profundidad total (m)	3
Volumen útil (m ³)	2700
Revanca (m)	0,5
Volumen total (m ³)	3409

Tabla 1-25 Dimensiones de laguna anóxica

1.5 Laguna aireada

1.5.1 Volumen

Para determinar el volumen de la laguna aireada se utiliza la siguiente metodología (2):

Se fijan θ_c , X y S_e y luego se eligen Y y K_d.

Utilizando $\frac{1}{\theta_c} = -Y * \left(\frac{r_{su}}{X}\right) - K_d$, donde $r_{su} = -(S_0 - S_e)/\theta_h$, se determina θ_h , y conociendo el caudal de diseño se calcula el volumen necesario de la laguna.

Donde:

- θ_h =Tiempo de retención hidráulico ($=V_{\text{útil}}/Q$).
- θ_c =Tiempo de retención celular (edad del lodo).
- Y= Coeficiente de producción celular.
- K_d= Coeficiente de respiración endógena.
- X= Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el reactor.
- S_e= Concentración de DBO₅ de salida.
- S_o= Concentración de DBO₅ de entrada.

Los valores adoptados para los cálculos fueron los siguientes:

- $\theta_c = 27$ días (recomendación para aireación extendida entre 20 y 30 días).
- $S_e = 700$ mg/L (valor necesario para cumplir con la reglamentación de vertido a colector).
- $Y = 0,6$ kSSV/KDBO₅.
- $K_d = 0,08$ d⁻¹
- $X = 4000$ mgSSV/L (valores recomendados entre 3000 y 6000 mgSSV/L).
- $S_o = 4000$ mg/L.

Con esto resulta un $\theta_h = 104,8$ horas, resultando para un caudal afluente de 11,3 L/s, un volumen útil de laguna de **$V_{\text{aireada}} = 4129 \text{ m}^3$** .

Las dimensiones de la laguna serán:

Largo (m)	54
Ancho (m)	27
Profundidad total (m)	5,5
Volumen útil (m ³)	4141
Revanca (m)	0,5
Volumen total (m ³)	4848

Tabla 1-26 Dimensiones de la laguna de aireación

1.5.2 Necesidad de oxígeno

La necesidad media de oxígeno (O_{CN}) para el sistema de tratamiento considerado resulta del siguiente balance:

$$O_{CN} = O_C + O_N - O_{DES}$$

Siendo:

- O_C = Demanda de oxígeno necesario para la remoción de la materia orgánica
- O_N = Demanda de oxígeno para la nitrificación
- O_{DES} = Aporte de oxígeno en la desnitrificación

1.5.2.1 Oxígeno necesario para la remoción de la materia orgánica

La expresión de necesidad de oxígeno para la remoción de MO es:

$$O_C (\text{Kg } O_2/\text{día}) = \frac{Q \cdot (S_0 - S_e)}{1000 \cdot f} - 1,42 \cdot P_L$$

Donde:

- X_R = SSV en el lodo recirculado y purgado (mg/L)
- P_L = Producción de lodos: $P_L = Q_p \cdot X_R$
- f = Factor de conversión DBO_5 a $DBO_L = 0,68$

El resultado obtenido es:

$$O_c = 3931 \text{ kg } O_2/\text{día}$$

1.5.2.2 Oxígeno para la Nitrificación

Dado que se necesitan 4,57gr O_2 /gr $N_{\text{nitrificable}}$, la necesidad de oxígeno para la nitrificación se define como:

$$O_N = 4,57 \times C_{TKN} \text{ (kg } O_2/\text{d)}$$

Donde:

- C_{TKN} = Carga de Nitrógeno nitrificable

La carga de Nitrógeno nitrificable se determina como:

$$C_{TKN} = N_{\text{NITRIFICABLE}} \times Q / 1000 \text{ (kg } N_2/\text{d)}$$

Siendo el Nitrógeno nitrificable:

$$N_{\text{NITRIFICABLE}} = TKN_0 - 0,05 S_0 - N_e$$

Donde:

- N_e = Nitrógeno en el efluente de vertido, el cual será 50mg/L
- TKN_0 = Nitrógeno Total Kjeldahl = NH_4^+ + Nitrógeno Orgánico ≈ 2800 mg/L

Se obtiene:

$N_{\text{NITRIFICABLE}}$	2550	mg/L
C_{TKN}	2490	kg N_2 /d
O_N	11378	kg O_2 /d

1.5.2.3 Oxígeno aportado por la Desnitrificación

Durante el proceso de desnitrificación hay recuperación de oxígeno, la cual es de 2,86 mg O_2 / mg NO_3^- -N reducido.

La cantidad de nitrato presente en el efluente se puede establecer que es la misma que la cantidad de nitrógeno nitrificable considerado en la etapa de nitrificación en el reactor aerobio ($N_{\text{nitrificable}} = 2550$ mg/L).

El resultado obtenido es:

$$O_{DES}=2,86*2550*Q=7120 \text{ kg } O_2/\text{día}$$

1.5.2.4 Balance de oxígeno

La necesidad media de oxígeno de todo el proceso de remoción de materia orgánica y nitrógeno es:

$$O_{CND} = O_C + O_N - O_{DES} = 8188 \text{ kg } O_2/\text{día}$$

1.5.3 Sistema de aireación

El aporte de oxígeno será llevado a cabo por medio de difusores ubicados en el fondo de la laguna que serán alimentados por un sistema de soplantes ubicados sobre el borde de la laguna, que conducirán el aire por medio de tuberías de PVC.

Las necesidades de aporte de oxígeno son de 8188 kg O_2 /día.

1.5.3.1 Determinación del caudal de aire a aportar

Para determinar el caudal de aire a aportar se debe tener en cuenta la cantidad de oxígeno presente en el aire y la eficiencia de transferencia del mismo al lixiviado.

Considerando una eficiencia del 10% (adecuada para difusores de burbuja fina) y una cantidad de oxígeno en el aire de 0,23 kg O_2 por kg de aire, el caudal necesario a aportar es:

$$Q_a = \frac{O_{CN}}{0,23 * e} = 14833 \text{ kg/h}$$

Considerando una densidad de aire de 1.213 Kg/ m^3 (T=20° C), se tiene que el caudal de aire, en condiciones estándar (1 atm, 20° C) a suministrar por el conjunto de soplantes es de 12.228 Nm^3/h .

1.5.3.2 Cantidad de difusores a colocar

Se colocarán difusores marca Repicky, modelo RG-300. Estos difusores son capaces de erogar un caudal de 5 m^3/h de aire y tienen un valor de transferencia de oxígeno de entre 5% y 8% por metro de profundidad del reactor.

Considerando el menor valor, y que se tienen 5 metros de profundidad se tendría un 25% de valor de SOTE, sin embargo se opta por tomar como valor de diseño 10% para estar del lado de la seguridad.

Según fabricante, pueden ser colocados entre 2 y 6 difusores por metro cuadrado.

En la siguiente tabla se presentan los cálculos para llegar a la cantidad total que se necesita de difusores.

Caudal por difusor (m^3/h)	5
Caudal total requerido (m^3/h)	12228
Cantidad difusores	2446
Área total (m^2)	475
Difusores/ m^2	5,1
Cantidad adoptada (difusores/m^2)	6

Tabla 1-27 Cálculo de cantidad de difusores a colocar

1.5.3.3 Soplanges a instalar

Para determinar los soplanges a instalar es necesario calcular la pérdida de carga que éstos deberán vencer para llegar al difusor más comprometido.

El cálculo de la pérdida de carga se realiza utilizando la formula de Darcy ajustada que se presenta a continuación (2).

$$h(mm) = \frac{f * L}{D} * 1,204 * \frac{v^2}{2g}$$

$$f = \frac{0,029 * D^{0,027}}{(60 * Q)^{0,148}}$$

Donde:

- h= Pérdida de carga expresada en mm
- L= Longitud del tramo en metros
- v= Velocidad del aire en la tubería (m/s)
- D= Diámetro interno de la tubería en metros
- g= Aceleración gravitacional (m/s²)
- Q= Caudal de aire (m³/s)

La pérdida de carga total que deberá vencer el soplante considera:

- Diferencia de presiones al ingreso y a la salida del aire
- Pérdida de carga en la tubería
- Pérdida de carga en el difusor

Tramo	Q (m ³ /s)	L (m)	L eq (m)	L tot (m)	DN (mm)	D int (mm)	V (m/s)	f	H tot (mm)
1-2	1,13	5,0	2,0	7,0	400	361,8	11,0	0,015	2,2
2-3	2,26	3,0	2,0	5,0	400	361,8	22,0	0,014	5,6
3-4	3,39	2,5	2,0	4,5	400	361,8	32,9	0,013	10,6
4-5	2,87	6,0	2,0	8,0	400	361,8	27,9	0,013	13,9
5-6	2,35	6,0	2,0	8,0	400	361,8	22,8	0,014	9,6
6-7	1,82	6,0	2,0	8,0	400	361,8	17,7	0,014	6,0
7-8	1,30	6,0	2,0	8,0	315	285	20,4	0,015	10,6
8-9	0,78	6,0	2,0	8,0	250	226	19,5	0,016	13,0
9-10	0,26	15,0	3,0	18,0	160	144,6	15,9	0,018	35,2
10-11	0,09	1,3	2,0	3,3	75	67,8	24,1	0,021	36,5
11-12	0,04	12,0	36,0	48,0	75	67,8	12,0	0,023	147,1

Tabla 1-28 Cálculo de pérdida de carga en tuberías de aire

Pérdida de carga total (m)	0,29
Pérdida difusor (m)	0,40
Diferencia de presiones (m)	4,80
Pérdida total (m)	5,49

Tabla 1-29 Resultado de pérdida de carga en tuberías de aire

Como se observa en los resultados es necesario un equipo de soplantes capaz de vencer 549 mbar.

Se optó por soplantes marca Repicky modelo R3.8 AV. Se adjuntan catálogos con características técnicas de los mismos.

El caudal que erogarán estos soplantes es de 4500 m³/h cada uno, mientras que su presión diferencial máxima es de 600 mbar.

Serán instaladas cuatro unidades de soplantes que funcionarán en modalidad 3 operativos, más 1 de respaldo.

1.5.3.4 Aumento de temperatura en el aire

Conocida la presión de descarga de los soplantes se estima el incremento de temperatura durante la compresión adiabática con la siguiente fórmula:

$$\Delta T = T_i * \left(\left(\frac{P_f}{P_i} \right)^n - 1 \right)$$

Donde:

- T_i = Temperatura de aspiración en ° K
- P_f = Presión absoluta en la descarga en kgf/cm²
- P_i = Presión absoluta en la aspiración en kgf/cm²
- $n = 0.283$ para el aire

Supuesta una temperatura de aspiración de 30°C se tiene:

$$T_i = 30 + 273 = 303 \text{ ° K}$$

$$P_i = 1.033 \text{ kgf/cm}^2$$

$$P_f = P_i + \Delta P = 1.033 + 0.60 = 1.633 \text{ kgf/cm}^2$$

El incremento de temperatura adiabático es entonces,

$$\Delta T = 42 \text{ °C}$$

Para evitar que la temperatura del aire al salir del difusor sea muy elevada se realiza una extensión del recorrido de la tubería por fuera de la laguna de forma tal de disminuir la misma.

1.6 Consumo de alcalinidad

Basándonos en datos aportados por la IM, se puede considerar que la alcalinidad del líquido de ingreso es de 4.500 mg CaCO₃ / L

1.6.1 Consumo de alcalinidad durante la Nitrificación

El consumo de alcalinidad durante el proceso de nitrificación es de:

$$7,14 \text{ gr CaCO}_3 / \text{gr NH}_4^{4+}\text{-N nitrificado}$$

Considerando que desean nitrificarse al menos 2450 mg/L de NH₄⁴⁺-N, el consumo de alcalinidad en esta etapa es de 17493 mg/L.

1.6.2 Recuperación de alcalinidad durante la desnitrificación

En el proceso de desnitrificación la recuperación de alcalinidad es de:

$$3,57 \text{ gr CaCO}_3 / \text{ mg/L NO}_3^- \text{-N reducido}$$

La recuperación de alcalinidad es entonces 8746 mg/L de CaCO_3 .

1.6.3 Balance en la alcalinidad y necesidad de alcalinizante

Para conocer la cantidad de alcalinizante que es necesario aportar se realiza un balance entre la alcalinidad consumida en la nitrificación, la alcalinidad recuperada en la desnitrificación, la cantidad proveniente del lixiviado crudo y la alcalinidad remanente que debe existir en el sistema de tratamiento (50 mg/L).

Realizando este balance se obtiene que es necesario aportar: $17493 - 8746 - 4500 + 50 = 4197$ mg/L de CaCO_3 .

Para llevar este consumo a cantidad por día es necesario multiplicarlo por el caudal de ingreso a la planta de tratamiento, obteniendo un consumo total de 4097 kg/d de CaCO_3 .

Las alternativas que se estudiaron para el aumento de alcalinidad son el agregado de cal hidratada o el agregado de soda cáustica comercial.

El cálculo de la cantidad necesaria de cal hidratada a agregar se presenta a continuación:

1 mg/L de Ca(OH)_2 (Cal hidratada) eleva $\frac{100}{74} = 1,35$ mg/L de CaCO_3 la alcalinidad por lo que se requiere una cantidad de 3031 kg/d de Ca(OH)_2 .

Considerando que se debe aplicar disuelta en agua con una concentración del 18 % en peso, se requerirán 16838 kg/d.

Considerando una solución al 18% en peso y con una densidad relativa de 1217 Kg/ m^3 será necesario utilizar 13,8 m^3 de solución/día, lo que implicaría un volumen cercano a 100 m^3 por semana.

Esta opción es descartada considerando el gran volumen de almacenamiento necesario, y la dificultad que implica la operación con cal:

- Es necesario un alimentador de la cal en seco hacia un tanque de dilución para suministrar continuamente una cantidad medida al mismo. Este alimentador debe ir colocado debajo de la tolva almacén para minimizar el transporte de la cal en seco.
- Una vez preparada la lechada ésta se transfiere al sistema. Esta operación de transferencia es la que mayores problemas puede ocasionar en el proceso, ya que la lechada de cal reacciona con el CO_2 atmosférico, o los carbonatos del agua de dilución para producir depósitos de CaCO_3 que con el tiempo pueden llegar a tapar las cañerías.
- A su vez debe intentar evitar bombeos con cal, por lo que el suministro de ésta deberá ser por gravedad.

La corrección de alcalinidad entonces se realizará con soda comercial (solución con una concentración al 50% en peso).

1 mg/L de NaOH (Soda cáustica) eleva $\frac{100}{40} = 2,5$ mg/L de CaCO_3 la alcalinidad por lo que se requiere una cantidad de 1639 kg/d de NaOH.

Considerando la concentración en la soda comercial a utilizar, se requerirán 3278 kg/d.

Considerando una solución al 50% en peso y con una densidad relativa de 1391 Kg/ m³ será necesario utilizar 2,36 m³ de solución/día.

Se proyectará lugar para poder almacenar 20 m³ de soda, lo que asegura un abastecimiento durante 8 días en el año con mayor caudal de lixiviado a tratar proyectado. Este valor fue fijado considerando las cargas de soda comercial a mejor relación costo beneficio en el mercado.

1.6.4 Bomba para agregado de Soda Cáustica

La bomba para agregado de soda cáustica se encontrará junto a los tanques de almacenamiento de ésta, y bombeará la misma hacia la cámara 2, previa al ingreso a la laguna aireada.

Se prevé un espacio junto a éstos de 1m x 1m de forma tal de poder albergar dos bombas helicoidales que operarán en modalidad una operativa más una de respaldo.

En la siguiente tabla se presentan los cálculos realizados para estimar las características que deberán poseer las bombas, diseñadas de forma de poder bombear toda la demanda diaria de soda cáustica en una hora. El método utilizado para estimar la pérdida de carga fue presentado en el capítulo referente a la tubería de impulsión:

Diseño de las bombas	
Pérdida de carga (m)	5,80
Hf-Ho geo. (m)	3
Q (m³/s)	0,0007
Hb (m)	8,80
H diseño (m)	10
Ef. (%)	50
Potencia (W)	128
Potencia (HP)	0,17

Tabla 1-30 Cálculo de requerimientos de bombas para dosificación de soda cáustica

1.7 Necesidad de agregado de Fósforo

En base a los resultados obtenidos de la etapa de caracterización, se realiza la relación de nutrientes requeridos para el tratamiento biológico:

C: N: P de 100:2,5:0,5 (efluentes industriales), y se obtiene una relación de 100:56:0,4, lo que muestra un déficit de fósforo, por lo que se debe prever el agregado de fósforo bajo la forma de ácido fosfórico comercial al 85% en peso.

Para determinar la cantidad de fósforo a agregar se intenta llevar la relación C: N: P a los valores deseados obteniendo que es necesario agregar $0,1 * \frac{4000}{100} = 4 \text{ mg/L}$ de fósforo.

1 mg de ácido fosfórico al 85% contiene 0,27 mg de fósforo.

Considerando que es necesario aportar 3,9 kg/d de fósforo, será necesario aportar, para una solución de ácido fosfórico al 85% de concentración, una cantidad de 6,2 L/d, equivalente a 192 L/mes.

El agregado será realizado de forma manual por un operario de la planta, por entenderse que no se justifica el gasto de realizar una tubería de aproximadamente 110 metros para una dosificación de tan solo 6,2 litros por día de ácido fosfórico.

1.8 Sedimentador

Se elige un sedimentador cilíndrico de flujo vertical con barredores de fondo que girarán a una velocidad de 0,03 rpm y una pendiente de fondo de 1,6%.

1.8.1 Caudales de purga y de recirculación

El volumen de lodos generado en el sedimentador será extraído por su parte inferior. Una determinada cantidad de éste será recirculado hacia la laguna anóxica y el resto será purgado hacia tratamiento de lodos.

La determinación del caudal de purga hacia tratamiento de lodos se realiza a partir de la definición del tiempo de retención celular:

$$\theta_c = \frac{V * X}{Q_p * X_R}$$

Se calcula la concentración del lodo de recirculación y de purga, X_R , determinando previamente la concentración del lodo en el sedimentador, X_F y luego según el tipo de sedimentador se halla X_R .

La concentración del lodo en el sedimentador, X_F , se determina a partir de la siguiente expresión:

$$X_F = 1000 * \frac{\sqrt[3]{t_e}}{IVL}$$

Se considera un valor de índice volumétrico de lodos, IVL, de 100 (bajo hipótesis de buena sedimentación, siendo este valor el máximo dentro del rango, situación más desfavorable).

Se define el tiempo de espesado (tiempo entre 2 purgas sucesivas, t_e) de 1 hora.

A partir de lo anterior, X_F resulta: $X_F = 10 \text{ gSST / L}$

Considerando una relación de SSV/SST=0.8 y sabiendo que para sedimentador de flujo vertical se cumple $X_R=X_F$, resulta:

$$X_R = 8000 \text{ mgSSV / L}$$

Los valores recomendados de tiempo de retención celular para garantizar nitrificación son de 20 a 30 días. Se considera $\theta_c = 27$ días.

Sea X la concentración de SSV en el lixiviado presente en la laguna (mg/L), su valor recomendado varía entre 3000 y 6000 mgSSV/L. Se adopta un valor de $X=4000$ mgSSV/L.

El valor del caudal de purga resulta:

$$Q_p = 76.5 \text{ m}^3/\text{d}$$

EL caudal de recirculación se obtiene a partir del balance de sólidos en el sedimentador secundario:

$$Q_R = \frac{QX - Q_P X_R}{X_R - X}$$

Se obtiene:

$$Q_R = 523.4 \text{ m}^3/\text{d}$$

1.8.2 Geometría del sedimentador

Para su diseño se seleccionan los siguientes parámetros(6):

Parámetro	Valor	Unidad
Q diseño	17,5	L/s
	1509	m ³ /d
T.S	25	m ³ /m ² /d
H zona sedimentación	3,6	m

Tabla 1-31 Parámetros de diseño del sedimentador

Donde:

- Q diseño: El caudal de diseño del sedimentador, igual a la suma del caudal de diseño de las lagunas (11.3 L/s) y el de recirculación de lodos (6,2 L/s).
- T.S = Q diseño / $\dot{A}_{\text{sedimentador}}$: Tasa de Sedimentación. EPA recomienda 16 a 33 m³/m²/d.
- H zona sedimentación: La profundidad de la zona de sedimentación. EPA recomienda como mínimo 3 m.

Realizando las siguientes operaciones se logra dar con el área necesaria para la zona de sedimentación.

$$A_{\text{sed}} = \frac{Q_{\text{diseño}}}{T.S}$$

Obteniendo que $A_{\text{sed}}=61,6 \text{ m}^2$.

Con lo anterior resulta:

Á zona sedimentación	61,6	m ²
Diámetro	8,9	m

Tabla 1-32 Resultados de área y diámetro de sedimentador

1.8.3 Volumen destinado a lodos

A la zona de sedimentación se le añade un volumen adicional para acumulación de lodos del mismo diámetro que la zona de sedimentación.

El caudal de recirculación de lodos sumado al de purga a tratamiento es $25 \text{ m}^3/\text{h}$. Al ser el tiempo entre 2 purgas de lodo sucesivas (t_E) de 1 hora, el volumen necesario para acumular lodos durante el tiempo t_E es 25 m^3 . Para esto se adiciona una altura al sedimentador para acumulación de lodos de 40 centímetros.

1.8.4 Altura total del sedimentador

La altura total del sedimentador es la suma de la zona de sedimentación más la de acumulación de lodos:

$$H_{\text{total}} = 3.60\text{m} + 0.40\text{m} = 4.00 \text{ m}$$

1.8.5 Sistema de entrada al sedimentador

Se diseña el sistema de entrada de forma de aproximar las velocidades a 1 m/s en tuberías y orificios y así minimizar las pérdidas de carga.

El lixiviado tratado proveniente de la laguna de aireación ingresará al sedimentador por los orificios en la tubería de ingreso, que atraviesa a éste desde su extremo inferior.

El sistema de ingreso estará compuesto por 15 orificios de 40mm de diámetro ($1 \frac{1}{4}$ ") dispuestos en 3 filas de 5 cada una. En la siguiente tabla se pueden observar los cálculos realizados:

Q diseño ($\text{m}^3/\text{día}$)	1509
Nº orificios	15
ϕ orificios (mm)	40
Área por orificio (m^2)	0.0013
Q por orificio (m^3/s)	0.0012
V (m/s) por orificio	0.93

Tabla 1-33 Parámetros de diseño para el sistema de entrada al sedimentador

A la salida de los orificios se encuentra una campana que realiza una deflexión del lixiviado entrante hacia la zona inferior de forma de favorecer la sedimentación. El diámetro de la campana se proyectó del 25% del diámetro del sedimentador, mientras que la profundidad se considera igual a un tercio de la altura total del sedimentador.

Diámetro campana (m)	2.21
Altura campana (m)	1.60

Tabla 1-34 Geometría de campana de sedimentador

1.8.6 Sistema de recolección del lixiviado clarificado

El sistema de recolección del lixiviado clarificado será realizado por medio de un canal de hormigón armado de 30cm de ancho ubicado en el perímetro exterior de la unidad. El efluente ingresará a este canal por medio de vertederos de acero inoxidable de espesor 3 mm ubicados en su pared.

Se debe limitar la velocidad de aproximación de manera de no generar arrastre de lodo junto con el efluente clarificado. Para esto es necesario calcular el caudal específico por metro lineal de vertedero:

$$q_l = \frac{Q}{L_{\text{vertedero}}}$$

Donde:

- q_l =Caudal específico por metro lineal de vertedero.
- Q =Caudal de diseño de vertedero= $Q_{\text{diseño de planta}} - Q_{\text{purga}}$
- $L_{\text{vertedero}}$ = Longitud total de vertederos.

$Q_{\text{diseño canal}} \text{ (m}^3/\text{día)}$	905
$L_{\text{vertedero}} \text{ (m)}$	27.8
$q_l \text{ (m}^3/\text{d)/m}$	32.5

Tabla 1-35 Caudal específico por metro lineal de canal

Según U.S.Army Technical Manual el caudal específico por metro lineal de vertedero debería ser menor a $124 \text{ (m}^3/\text{d)/m}$ para plantas con Q entre 379 y $3785 \text{ m}^3/\text{d}$, por lo que el valor calculado no presentará problemas.

Considerando vertederos triangulares de 90° de ángulo, y 2,6 cm por encima del pelo de agua de revancha se tiene la siguiente geometría para el sistema de salida de agua clarificada:

Ancho canal (m)	0.3
b total 1 vertedero (m)= b_1+b_2	0.2
Nº vertederos	139
Q 1 vertedero ($\text{m}^3/\text{día}$)	7
h (carga vertedero) (m)	0.02
Altura 1 vertedero (cm)	4.6
b_1 (cm)	9
b_2 (cm)	11
H_{max} (m)	0.09
$H_{\text{total}} \text{ (m)} = H_{\text{max}} + \text{Altura vertedero} + 0.03$	0.16

Tabla 1-36 Geometría del sistema de salida de lixiviado clarificado

Donde:

$$H_{\text{máx}} = \left(\frac{Q_{\text{canaleta}}}{1,38b_{\text{canaleta}}} \right)^{2/3}$$

$$h = \left(\frac{Q_{\text{vertedero}}}{1,4} \right)^{2/5}$$

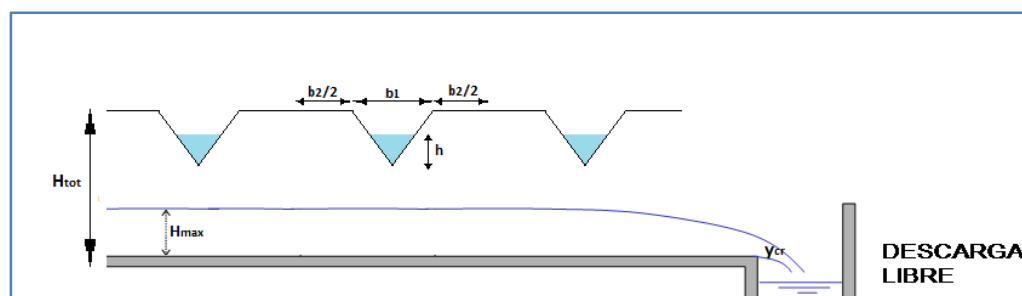


Figura 1.16 Detalle de sistema de salida a modo ilustrativo

1.9 Bombeo para desnitrificación

En la cámara 4 se encuentran las bombas de recirculación para desnitrificación, las cuales succionarán el lixiviado de la laguna aireada (ya nitrificado) enviándolo a la cámara 1 al inicio de la laguna anóxica para lograr la desnitrificación. Para esto se recomienda un caudal de 300% del de diseño ($Q_{\text{desnitrif}} = 11,3 \times 3 = 33,9 \text{ L/s}$).

Para determinar las características necesarias de las bombas se necesita calcular las pérdidas de carga entre la succión y la descarga, así como el desnivel geométrico entre ambas.

En la siguiente tabla se presentan los cálculos realizados para estimar las características que deberán poseer las bombas:

Pérdida de carga (m)	4,16
Hf-Ho geo. (m)	1
Q (m³/s)	0,0339
Hb (m)	5,16
H diseño (m)	7
Ef. (%)	50
Potencia (W)	4651
Potencia (HP)	6,2

Tabla 1-37 Cálculo de requerimientos de bombas para desnitrificación

1.10 Bombeo para recirculación de lodos

Este bombeo será realizado desde el fondo del sedimentador hacia la cámara 1, previa al ingreso de la laguna anóxica.

En las siguientes tablas se presentan los cálculos realizados para estimar las características que deberán poseer las bombas:

Pérdida de carga (m)	1,57
Hf-Ho geo. (m)	6
Q (m³/s)	0,0062
Hb (m)	7,57
H diseño (m)	12
Ef. (%)	50
Potencia (W)	1449
Potencia (HP)	1,94

Tabla 1-38 Cálculo de requerimientos de bombas de recirculación de lodos

1.11 Bombeo para purga de lodos

Este bombeo será realizado desde el fondo del sedimentador hacia el sector de tratamiento de lodos.

El bombeo se diseña a través de una tubería de PEAD DN110 PE100 PN10 y el caudal se define de forma tal que la velocidad del lixiviado en la tubería sea del orden de 1 m/s según los siguientes cálculos:

$$\frac{Q\left(\frac{m^3}{s}\right)}{A(m^2)} = 1\left(\frac{m}{s}\right) \rightarrow Q\left(\frac{m^3}{s}\right) = 0,0078$$

Con este caudal se necesita que las bombas estén en funcionamiento un tiempo de aproximadamente 2,5 horas, respetando como mínimo un tiempo entre purgas sucesivas de una hora.

Pérdida de carga (m)	1,03
Hf-Ho geo. (m)	7
Q (m³/s)	0,0078
Hb (m)	8,03
H diseño (m)	12
Ef. (%)	50
Potencia (W)	1825
Potencia (HP)	2,45

Tabla 1-39 Cálculo de requerimientos de bombas de purga de lodos

1.12 Potencia total a contratar

La potencia total a contratar por la planta deberá ser capaz de permitir el uso simultáneo de las unidades y servicios que se detallarán a continuación:

- Bombeo a colector (21,8 kW)
- Bombeo de lixiviado crudo (3,5 kW)
- Bombeo para desnitrificación (4,8 kW)
- Bombeo para recirculación de lodos (1,5 kW)
- Bombeo para purga de lodos (1,9 kW)
- Decanter (5,8 kW)
- Servicios de oficina e iluminación de la planta (5 kW)
- Soplanges para aireación de laguna aireada (222 kW)

La suma de las potencias antes mencionadas es de 266 kW, por lo que se proyecta contratar una potencia de 320 kW (20% mayor) por aspectos de diseño.

1.13 Cálculo de perfil hidráulico desde cámara 1 a pozo de bombeo a colector

En este capítulo se presentan los cálculos realizados para el perfil hidráulico desde la cámara 1 hasta el pozo de bombeo a colector. Dicho perfil se muestra en el plano PH-01 de la carpeta de planos.

Las pérdidas de carga por fricción que ocurre en tuberías a presión se calculan mediante la fórmula Darcy-Weisbach presentada a continuación:

$$hf = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

- hf= Pérdida de carga por fricción dentro de la tubería
- L= Longitud de la tubería
- D= Diámetro interno de la tubería
- V= Velocidad del fluido dentro de la tubería
- g= Aceleración gravitacional

El valor de f se obtiene al aplicar la ecuación modificada de Colebrook-White:

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,71} + \frac{G}{Re^T} \right) \right]^2}$$

Donde:

- G=4,555 y T=0,8764 para $4000 \leq Re \leq 1000000$
- ε = Rugosidad absoluta del material de la tubería

Para el cálculo de las pérdidas localizadas se utiliza la siguiente expresión:

$$hl = K * \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

- hl= Pérdida de carga localizada
- K= Coeficiente adimensionado de pérdida de carga localizada
- V= Velocidad del fluido dentro de la tubería
- g= Aceleración gravitacional

Por lo tanto la pérdida de carga total en un tramo de tubería será igual a la suma de pérdida de carga distribuida y localizada:

$$\Delta h = hf + hl$$

1.13.1 Ingreso a laguna anóxica desde cámara 1

El ingreso a la laguna anóxica desde la cámara 1 se da mediante una tubería de PVC DN315 con una pendiente del 0,5% mediante la cual circularán 51,4 L/s como máximo (suma de los caudales de diseño, recirculación de lodos y recirculación para desnitrificación).

La tubería funcionará totalmente ahogada y la pérdida de carga entre el ingreso a esta y la salida definirá el nivel en la cámara 1.

En la siguiente tabla se presentan los resultados de pérdida de carga

Q ingreso a laguna anóxica (l/s)	51,4
Diámetro interno (mm)	285
Longitud de tubería (m)	2,90
Pérdida de carga distribuida (m)	0,01
Pérdida de carga localizada (m)	0,08
Pérdida de carga total (m)	0,09

Tabla 1-40 Pérdida de carga entre cámara 1 y laguna anóxica

Los coeficientes para pérdidas de carga localizadas que se consideraron son:

Cámara 1-laguna	Cantidad	k	Ktotal
Entrada	1	0,5	0,5
Salida	1	1	1
K eq			1,5

Tabla 1-41 Coeficientes de pérdida de carga considerados entre cámara 1 y laguna anóxica

Por lo que se observa en los cálculos realizados la cámara 1 deberá tener un nivel de agua **9 cm** por encima del nivel de agua de la laguna anóxica. Considerando que la laguna anóxica tendrá su nivel a 20,00 m, la cámara deberá tener su nivel de agua a 20,09 m.

1.13.2 Pasaje de laguna anóxica a laguna aireada

El pasaje de la laguna anóxica a la laguna aireada se da por intermedio de una cámara con vertedero que oficia de controlador de nivel de laguna anóxica. Se determinan las pérdidas existentes entre la laguna anóxica y la cámara del vertedero, y luego las existentes entre la cámara del vertedero (aguas abajo del mismo) y la laguna aireada.

El lixiviado será conducido a la cámara 2 mediante una tubería de PVC DN315 que funcionará totalmente ahogada. La cota del vertedero será 19,77m y luego del mismo una tubería de PVC DN315 que también funcionará ahogada conducirá el lixiviado hacia la laguna aireada.

La carga sobre el vertedero de 40 cm de ancho para que evacúe el caudal de diseño se determina mediante la fórmula simplificada de descarga para vertederos de pared delgada:

$$Q = 1,838 * b * h^{3/2}$$

Donde:

- b= Ancho del vertedero
- h= carga sobre el vertedero

Considerando el caudal de diseño la carga sobre el vertedero deberá ser de 17 cm. Estos 17 cm sumados a las pérdidas generadas en el ingreso a la cámara 2 determinan el nivel en la laguna anóxica. Los cálculos de pérdida de carga se presentan en las siguientes tablas.

Q ingreso a cámara 2 (l/s)	51,36
Diámetro interno (mm)	285
Longitud de tubería (m)	3,10
Pérdida de carga distribuida (m)	0,01
Pérdida de carga localizada (m)	0,05
Pérdida de carga total (m)	0,06

Tabla 1-42 Pérdida de carga entre laguna anóxica y cámara 2

Tramo 3 (laguna anoxica-camara 2)	Cantidad	k	Ktotal
Entrada	1	0,5	0,5
Salida	1	1	1
K eq			1,5

Tabla 1-43 Coeficientes de pérdida de carga entre laguna anóxica y cámara 2

Para un nivel de cresta de vertedero de 19,77 m, el nivel en la laguna anóxica deberá ser de 20,00 m.

El nivel de la cámara 2 aguas abajo del vertedero deberá ser suficiente para vencer las pérdidas de carga en la tubería que conecta esta cámara con la laguna aireada. En las siguientes tablas se presentan los cálculos de las pérdidas entre la cámara 2 y la laguna aireada.

Q ingreso a cámara 2 (l/s)	51,4
Diámetro interno (mm)	285
Longitud de tubería (m)	3,70
Pérdida de carga distribuida (m)	0,02
Pérdida de carga localizada (m)	0,05
Pérdida de carga total (m)	0,07

Tabla 1-44 Pérdida de carga entre cámara 2 y laguna aireada

Tramo 4 (cámara 2-laguna aireada)	Cantidad	k	Ktotal
Entrada	1	0,5	0,5
Salida	1	1	1
K eq			1,5

Tabla 1-45 Coeficientes de pérdida de carga entre cámara 2 y laguna aireada

Como se observa el nivel de agua en la cámara 2, aguas abajo del vertedero, deberá estar 7 cm por encima del nivel de pelo de agua en la laguna aireada. Considerando que esta será diseñada para funcionar con un nivel de pelo de agua de 19,50 m, entonces el nivel en la cámara 2, aguas abajo del vertedero, será de 19,57 m.

1.13.3 Pasaje de laguna aireada al sedimentador

El pasaje de la laguna aireada al sedimentador será por intermedio de una cámara con vertedero (cámara 3) para controlar el nivel de la laguna, y mediante una tubería de PVC DN160.

El caudal circulante por esta tubería será de 17,5 L/s y la carga necesaria sobre el vertedero de pared delgada y 40cm de ancho para poder transportar ese caudal es de 8 cm.

Los cálculos para la pérdida de carga entre la laguna aireada y la cámara 3 se presentan a continuación:

Q ingreso a cámara 2 (l/s)	17,46
Diametro interno (mm)	144,6
Longitud de tubería (m)	3,1
Perdida de carga distribuida (m)	0,03
Perdida de carga localizada (m)	0,09
Pérdida de carga total (m)	0,12

Tabla 1-46 Pérdida de carga entre laguna aireada y cámara 3

Tramo 5 (Laguna aireada-cámara 3)	Cantidad	k	Ktotal
Entrada	1	0,5	0,5
Salida	1	1	1
K eq			1,5

Tabla 1-47 Coeficientes de pérdida de carga entre laguna aireada y cámara 3

Considerando un nivel de cresta de vertedero de 19,30 m, el nivel en la laguna aireada resulta de 19,50 m.

Los cálculos de pérdida de carga entre la cámara 3 y el sedimentador se presentan a continuación:

Q ingreso a cámara 2 (l/s)	17,46
Diámetro interno (mm)	144,6
Longitud de tubería (m)	25
Pérdida de carga distribuida (m)	0,17
Pérdida de carga localizada (m)	0,15
Pérdida de carga total (m)	0,32

Tabla 1-48 Pérdida de carga entre cámara 3 y sedimentador

Tramo 6 (Cámara 3-sedimentador)	Cantidad	k	Ktotal
Codo 90	3	0,9	2,7
Entrada	1	0,5	0,5
Salida	1	1	1
K eq			4,2

Tabla 1-49 Coeficientes de pérdida de carga entre cámara 3 y sedimentador

Considerando un nivel de pelo de agua en el sedimentador de 18,60 m (valor de diseño), el nivel de agua en la cámara 3, aguas abajo del vertedero, será de 18,96 m.

1.13.4 Perfil hidráulico desde el sedimentador hasta el tratamiento terciario

La canaleta de recolección de lixiviado sedimentado descargará un caudal máximo de 11,3 L/s en una tubería de PVC DN160 que continuará hasta la cámara 6, compartimiento “b”, donde mediante el accionar de válvulas, podrá optarse por enviar el lixiviado hacia el tratamiento terciario, o baypassarlo y enviarlo directamente al pozo de bombeo a colector.

En el caso de enviar el lixiviado hacia la planta de tratamiento terciario se deberá abrir la válvula que permite el pasaje hacia la tubería que conduce al tratamiento terciario.

Del compartimiento “b” de la cámara hacia el tratamiento terciario el lixiviado circulará por una tubería de PVC DN160 con pendiente 0,5% con régimen subcrítico, por lo que estará gobernado de aguas abajo. En el ingreso al tratamiento terciario se dará el tirante crítico, y con las curvas de flujo gradualmente variado se llega a un tirante de +16,71 m en el ingreso a la tubería desde la cámara 6.

La cota de zameado en la salida de C6 (b) es +16,59, y llega al tratamiento terciario con una cota de zameado de +16,55.

Para 11,3 L/s se tiene un tirante crítico $y_c=0,100$ m y un tirante normal: $y_n=0,117$ m.

1.13.5 Perfil hidráulico desde tratamiento terciario a pozo de bombeo

El lixiviado luego del tratamiento terciario será enviado al pozo de bombeo hacia colector, pasando nuevamente por la cámara 6 (mediante el compartimiento “a”), el registro 1, y el registro 2, para luego desembocar en el pozo de bombeo a colector.

Dado que aún no se puede calcular con exactitud la pérdida de carga en el recorrido del tratamiento de cromo, se suponen 80cm.

La tubería de salida de este tratamiento es en PVC DN 160mm, pendiente 0.5, la cual, para un caudal de 11,3 L/s, funciona como un canal a superficie libre, de pendiente suave.

Partiendo de una cota de zameado de salida del tratamiento de +15,75 m llega a la cámara 6 (compartimiento “a”) con un zameado de +15,71 m, donde descargará con tirante crítico ($y_c=0,100$ m), por lo que el tirante a la salida del tratamiento terciario será de +15,81 m.

Luego de la cámara 6 se dirige al registro R1. La cota de zameado a la salida de la cámara 6 (compartimiento “a”) será de 15,55 m y la de llegada al registro será 15,54 m. El lixiviado descargará con tirante crítico en el registro R1 (nivel + 15.64m), con lo que a la salida de la cámara 6 el nivel será de +15,66 m.

La cota de zameado a la salida del registro R1 es de +15,37 y llega al registro R2 con cota de zameado +15,32 m donde descarga con tirante crítico, estableciendo un tirante a la salida de R1 de +15,49 m.

Luego de salir del registro R2 con cota de zameado +15,16 m se dirige hacia el pozo de bombeo, donde descarga, a cota de zameado +15,15 m, con el tirante crítico, estableciendo un tirante a la salida de R2 de +15,27 m.

En ambos registros se colocaron desniveles de 5 cm entre el tirante a la salida y la cota de zameado de llegada al registro para asegurar la descarga libre con tirante crítico en el registro de forma de gobernar el perfil desde aguas abajo.

1.13.6 Perfil hidráulico desde el sedimentador hacia el pozo de bombeo sin pasar por tratamiento terciario

Existe la posibilidad de baypassar al tratamiento terciario, cerrando la válvula que conduce el lixiviado a este, y abriendo la que lo conduce hacia el pozo de bombeo.

Abriendo la que conduce hacia el pozo de bombeo, el lixiviado será conducido desde la cámara 6 compartimiento “c” a la cámara 6 compartimiento “a”.

A partir de este punto el perfil es el mismo que el calculado en el punto anterior.

1.14 Movimiento de suelos

Mediante el programa ArcGis se calculan las cotas de proyecto de terreno de forma tal que el movimiento de suelo necesario para la implantación sea el menor posible. Se traza planos a distintas cotas y el programa determina el volumen necesario a rellenar y excavar para que a partir del terreno natural se alcance dicha cota.

El nivel de terreno alrededor de la laguna de ecualización queda limitado debido a la llegada de lixiviado proveniente de las Usinas a cota 15.5. Se elige esta cota de terreno a 16.5. A continuación se ubica una zona a cota 17.5, en donde se proyecta un espacio para el tratamiento y manejo de lodos además de las oficinas y el sedimentador. La zona alrededor de la laguna aireada será a cota 20 y la de alrededor de la anóxica a 20.5.

En la Figura 1.17 se presenta un plano de movimiento de suelos. El material a excavar en la zona de la laguna anóxica será desperdiciado debido a que en este lugar se encontraba una laguna con lixiviados. En el resto de las lagunas y zonas a excavar se supone que aproximadamente 50cm de profundidad será terreno natural no utilizable para relleno. Con esto resulta el siguiente balance:

Balance movimiento de suelos (m ³)	
A rellenar	2793
Útil para relleno	5407
Material desperdiciado	2797

Tabla 1-50 Cálculo del balance de movimiento de suelos

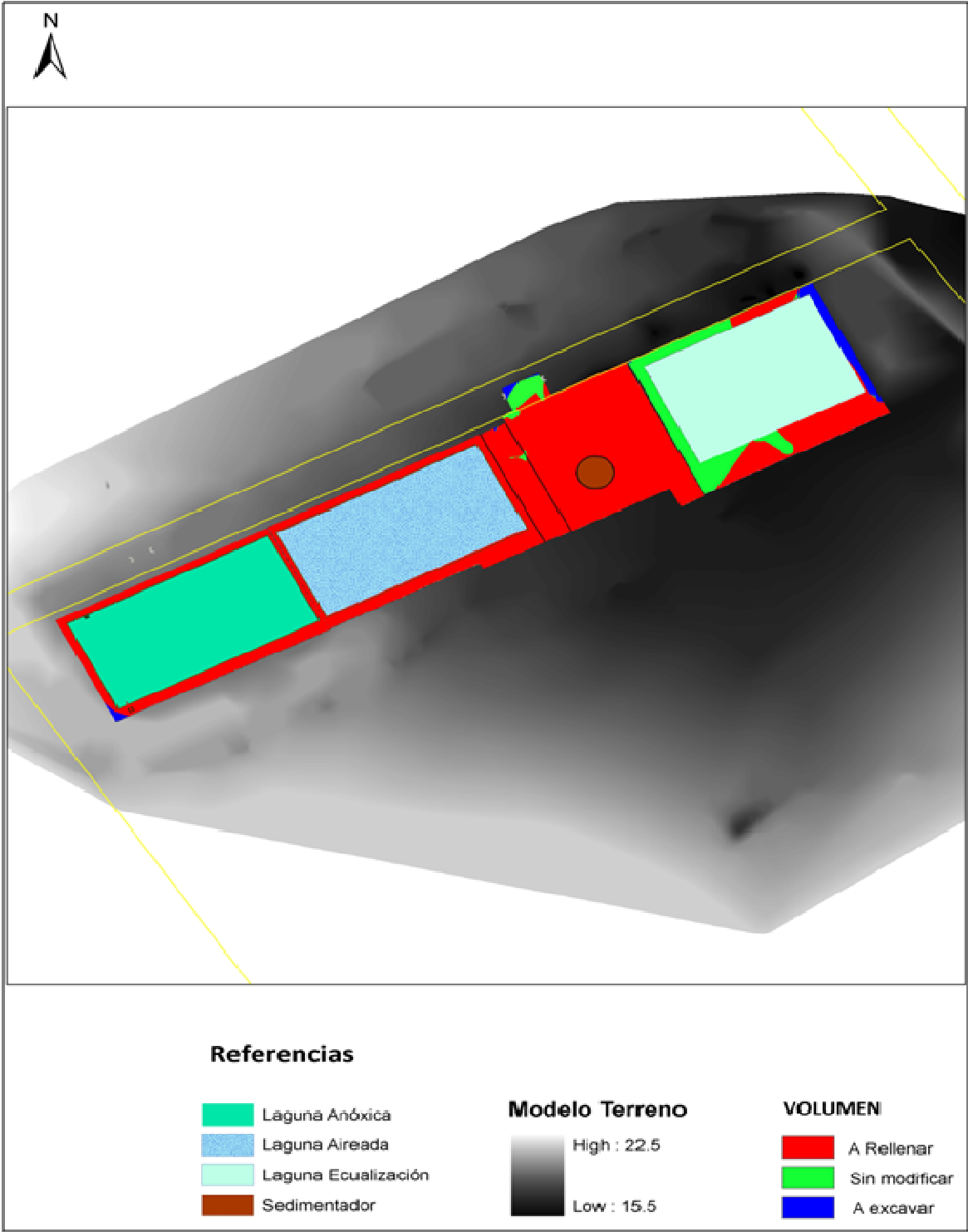


Figura 1.17 Plano de movimiento de suelo

2 Memoria Constructiva

2.1 Manipuleo de material para tuberías

Se observa como de primordial importancia que durante la carga, transporte, descarga, almacenamiento y colocación de los elementos de las tuberías (caños, piezas, etc.), éstos no se encuentren sometidos a esfuerzos de tracción, choque, arrastres sobre el terreno o cualquier otra situación que atente contra la conservación del material.

Carga y descarga

Durante la carga y descarga del material se deben evitar en todos los casos maniobras bruscas. De ser necesario mover los caños sobre el terreno, se colocan maderos sobre los cuales rodarán.

Transporte

El transporte de las piezas se realiza con los equipos adecuados a las dimensiones de las piezas, a las que se le asegura un correcto apoyo, evitándose las partes en voladizo, evitando que se produzcan flechas excesivas, el choque de piezas entre sí y cualquier otra acción que pueda afectar la integridad de las piezas. Debe evitarse el manipuleo violento.

Almacenamiento

Los componentes de la tubería no pueden quedar expuestos al sol o a altas temperaturas, por lo que es imprescindible guardarlos bajo techo o protegidos.

2.2 Tuberías

Las tuberías para lixiviados, lodos y aire deberán cumplir las siguientes normas:

Material	Normas
Tuberías de polietileno de alta densidad	UNIT 799
Tuberías de PVC unión a junta elástica 10 kg/cm ²	UNIT 215
Tuberías de acero inoxidable	ASME/ANSI - B36.10/19

Las tuberías deberán llevar estampadas en letras claramente legibles la identificación del fabricante, material, diámetro nominal, espesor de pared, presión máxima.

2.2.1 Tuberías de Polietileno

Las tuberías de lixiviado bombeado se harán con tuberías de Polietileno de Alta Densidad, presión de trabajo 10 Kg/cm².

De acuerdo a lo establecido en la Norma UNIT 799, los diámetros nominales, espesores mínimos de pared y diámetros internos de las tuberías de Polietileno de Alta densidad son para PN10.

Diámetro Nominal	Espesor de pared	Diámetro Interno
32	2,0 mm	28,0 mm
110	6,6 mm	96,8 mm
125	7,4 mm	110,2 mm
160	9,5 mm	141,9 mm

Las tuberías de Polietileno Alta Densidad se indican en los planos como “PEAD” y los diámetros allí expresados son los nominales en milímetros.

Las tuberías serán del tipo PE100, SDR 17 de la marca PLASTIDUCTO o similar. Los tubos de polietileno de alta densidad se fabricarán con polietileno del tipo y relación SDR igual a lo indicado precedentemente. Deberán cumplir con lo establecido en la norma ISO 4427 (1996). La unión de los tubos será mediante soldadura a tope conforme a la norma de instalación DVS 2207 (Alemania) o similar. También se admitirán uniones rápidas o accesorios de compresión.

2.2.2 Tuberías de Acero Inoxidable

Las tuberías de Acero Inoxidable se indican en los planos como “INOX” y los diámetros allí expresados son los nominales en pulgadas.

Las tuberías podrán ser de la marca HIDRINOX, PRESSINOX, ó similar. Será calidad AISI 304.

Lo mismo vale para las curvas y tees que no pueden ser piezas conformadas en taller sino compradas a empresas que suministran piezas de acero inoxidable.

2.3 Prueba hidráulica

Las tuberías de impulsión y restantes canalizaciones a presión se someterán a pruebas hidráulicas, las que se efectuarán en el más breve lapso posible después de la ejecución.

La prueba hidráulica debe realizarse en condiciones que permita examinar cuidadosamente el tramo que se prueba y muy especialmente las juntas, tanto de los caños entre sí como con las piezas especiales y aparatos. En los tramos donde vaya enterrada la tubería se deberá mantener en posición mediante apoyos perfectamente compactados.

La presión de prueba será 7 Kg./cm² en todas las tuberías PN 10.

Las juntas no deben manifestar la menor exudación y la presión debe ser mantenida durante 20 minutos sin que disminuya más de 0.2 Kg./cm².

2.4 Pozo de bombeo

La estación de bombeo se ubica junto a la laguna de ecualización y comprende tanto el bombeo hacia la laguna anóxica, como el bombeo hacia el colector. Es una estación de tipo pozo húmedo.

El pozo es de planta rectangular.

La estructura se construye in situ en hormigón armado presentando las siguientes características:

- Acero dureza natural grado ADN 500 (UNIT 1050/2001).
- Hormigón de resistencia característica a los 28 días de 250 kg / cm²

La altura total del pozo, en la sección correspondiente al bombeo hacia laguna anóxica es de 7,41m.

La altura total del pozo, en la sección correspondiente al bombeo hacia colector es de 3,94m.

2.4.1 Canal de ingreso a pozo de bombeo hacia laguna anóxica

A la cámara de rejillas previa al pozo de bombeo de baja, llega una tubería de 160 mm de diámetro desde la laguna anóxica.

El ingreso al pozo de bombeo se realiza por medio de un canal de hormigón. El mismo es de sección rectangular de ancho 0.30, con una pendiente de 6 por mil, de 2,2 m de longitud. Es encajonado de forma de contar en sus laterales una base para apoyo del operario encargado de realizar las tareas de mantenimiento.

El canal cuenta con una reja gruesa de canasto, de acero inoxidable AISI 304 apto para líquidos residuales, con el objetivo de remover los sólidos groseros y/o trapos que podrán obstruir las bombas. El ancho de pasaje de la misma es 1,3 cm y 6 mm de espesor de las barras.

El material retirado será colectado en bolsas y se eliminará como residuos sólidos. El izado se realiza mediante un polipasto.

También se dispone una reja móvil auxiliar de iguales características al canasto que se colocará dentro del canal durante las operaciones de limpieza de la misma, contando con una cadena para su izado. Esta reja se colocará en posición únicamente mientras se procede a la limpieza de la reja canasto. El accionamiento de esta reja se hará por medio de un malacate manual.

2.4.2 Control de acceso al pozo

Previo al canal de rejillas se ubica una válvula de compuerta. La misma es de PVC 160 mm de diámetro nominal, y se ubica en la cámara donde estarán ubicadas las rejillas.

2.4.3 Equipo de bombeo hacia colector

Se instalan dos bombas centrífugas sumergibles marca Flygt modelo NP 3171 SH 3~272.

Las bombas son de velocidad constante, de instalación fija, y funcionamiento alternado, poniéndose en operación la bomba de reserva una vez por semana.

Cada equipo cuenta con una válvula de compuerta para su aislamiento en caso de reparación, y una válvula de retención para evitar el reflujo del líquido bombeado o no descargado.

El nivel del líquido dentro del pozo asegura la sumergencia mínima de la succión establecida por el fabricante para que las bombas arranquen con líquido en su interior.

2.4.3.1 Sistema de control de las bombas

Es necesaria la descripción de los niveles del pozo de bombeo a los efectos de la colocación de los flotadores de control. Las bombas son controladas automáticamente por medio un PLC (Programable Logic Control).

También se prevé comandos de arranque y apagado manuales en caso de emergencia o mantenimiento.

El control automático de las bombas se basa en el nivel del líquido dentro del pozo. Los sensores de nivel son de tipo flotador. Cuando el nivel del líquido alcanza el flotador, éste cambia de posición cerrando o abriendo un circuito, poniendo en marcha o deteniendo la bomba o activando una alarma. Se prevén también dos sensores del tipo flotador con contacto sin tensión que dan las señales de alarma por niveles máximos.

2.4.4 Impulsión

2.4.4.1 Tuberías

El Manifold se realiza en acero inoxidable AISI 304 apto para líquidos residuales.

Las tuberías del Manifold y todas las piezas como ser válvulas, juntas de montaje, etc. son de acero inoxidable AISI 304 por su buena resistencia mecánica y durabilidad frente a los agentes agresivos, de diámetro nominal de 4", resistente a presión nominal de 10 kg/cm² de espesor 2 mm.

Las válvulas de retención y de corte se ubican en una cámara de hormigón próxima al pozo, de forma de facilitar el mantenimiento y el manejo de las mismas.

2.4.4.2 Válvulas de retención

Las válvulas de retención serán del tipo de bola para montaje horizontal.

Las mismas deben ser inatascables, especialmente aptas para trabajar con líquido residual crudo, permitiendo el pasaje de cuerpos extraños sin producir inconvenientes. En su parte superior llevarán una amplia tapa de inspección.

No deben tener cavidades o bordes donde se puedan depositar sólidos causantes de eventuales atascamientos. La única parte móvil será la bola. Las válvulas serán a bridas, PN 10, para instalar en posición horizontal.

Las mismas deben ser aptas para operar a la intemperie. Tendrán revestimiento interior y exterior de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.

Se suministrará una de repuesto para cada pozo de bombeo.

2.4.4.3 Juntas

En el caso de los codos, válvulas y Tee del Manifold, se realizan con junta a bridas.

Se coloca una junta de montaje entre la válvula de retención a los efectos de facilitar las tareas de mantenimiento de la misma en caso de ser necesario.

2.4.4.4 Válvulas de corte

Se elige una válvula de compuerta de cierre manual, de acero inoxidable, con junta a bridas, de diámetro nominal 4 pulgadas. Todas las válvulas de corte se accionan con una llave de acople. La misma se guardará y se colocará sólo para realizar alguna maniobra de las válvulas.

2.4.4.5 Pasamuros

Se instalan pasamuros para permitir el cruce de las tuberías a través de los paramentos.

Los pasamuros se realizan en acero inoxidable. Los mismos no podrán ser de otro metal de forma de evitar el dipolo formado entre los dos metales lo que podrá producir la corrosión de las tuberías.

El desagüe pluvial de la cámara de válvulas se realiza mediante una tubería de PVC DN50mm que enviará el agua hacia el pozo de bombeo.

2.4.4.6 Tubería en PEAD

La tubería de impulsión se realiza en PEAD PE 100, SDR 17, diámetro nominal 125 mm, de presión nominal 10 kg/cm². Todas las tuberías deben cumplir con lo establecido en la norma UNIT 799.

La transición Manifold-impulsión se realiza mediante una pieza especial.

La línea de impulsión presenta una longitud de 2870 m.

La profundidad de la línea de impulsión se detalla en el plano referido a la impulsión (ver carpeta de planos).

La misma descarga en la Cámara de Sacrificio (ver carpeta de planos).

Macizos de anclaje de la impulsión

Se realizan dos tipos de macizos en la línea de impulsión. Los macizos correspondientes a los codos de impulsión (2) son de dimensiones 0,55m x 0,35m x 0,15m

También se realizan macizos constructivos cada 50m de dimensiones 0,20 (altura) x 0.40 x 0.40m.

2.5 Laguna aireada

2.5.1 Cámara de ingreso (cámara 2)

La cámara de ingreso a la laguna aireada recibe los lixiviados de la laguna anóxica y por medio de un vertedero (que controla el nivel en la última) el lixiviado ingresa a la laguna aireada.

Esta cámara también puede recibir los lixiviados directamente desde el pozo de bombeo y desde la recirculación de lodos, en el caso que se deseara baypassar la laguna anóxica.

La misma será de hormigón armado, y el vertedero será rectangular de acero inoxidable de 5 mm de espesor

La salida hacia la laguna aireada será de PVC DN 315 Serie 20, y tendrá una longitud total de 4,5 metros.

2.5.2 Geometría

La geometría de la laguna aireada será:

Largo (m)	54
Ancho (m)	27
Profundidad total (m)	6
Volumen útil (m ³)	4300
Revancha (m)	0,5
Volumen total (m ³)	5006

Tabla 2-1 Dimensiones de la laguna de aireación

Esta tendrá un talud en las paredes de 1,5H:1V, siendo su fondo de hormigón armado de 15 cm de espesor y sus paredes de geomembrana de PVC dispuesta sobre un geotextil de forma de evitar pinchaduras por irregularidades del terreno.

De esta forma el sistema de aireación podrá ser fijado al fondo de hormigón, evitando la perforación del geotextil, con los problemas de estanqueidad que esto traería.

2.5.3 Colocación de geomembrana

Inicialmente se coloca un geotextil que cubra todos los taludes de la laguna. Su función es regularizar el talud para evitar pinchaduras de la membrana impermeable de PVC que se colocará sobre éste.

Luego se coloca la membrana impermeable sobre el talud por encima del geotextil, sosteniéndola superiormente mediante bolsones de arena.



Figura 2.1 Colocación de membrana sobre el geotextil en los taludes de una laguna

A 25 cm del inicio del talud de la laguna se realiza una zanja de anclaje como indica la Figura 2.2:

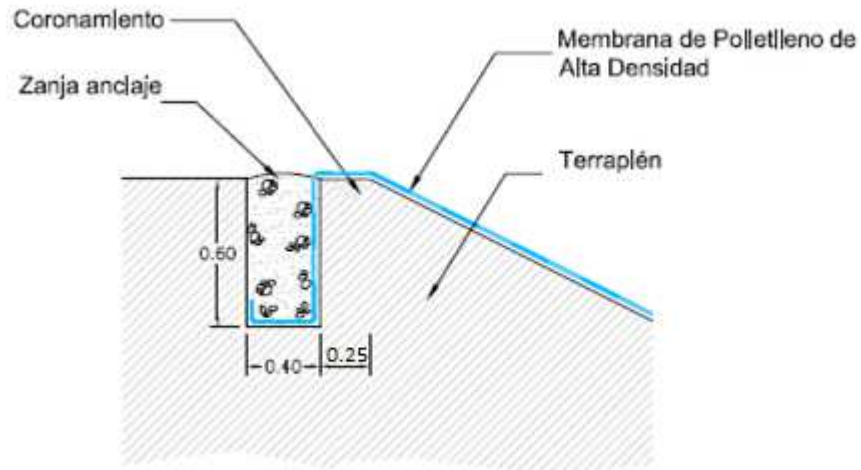


Figura 2.2 Zanja de anclaje

Las zanjas excavadas deberán ser llenadas con el mismo suelo compactado luego de colocada la geomembrana.

A continuación se presenta una fotografía como ejemplo de una zanja de anclaje:



Figura 2.3 Fotografía ejemplo de zanja de anclaje

Para lograr la estanqueidad necesaria en la unión entre la membrana de PVC y el fondo de hormigón se deberá realizar lo siguiente:

-Se coloca una goma adherida al hormigón como se muestra en la Figura 2.4



Figura 2.4 Goma adherida al hormigón

-Se dobla el extremo de la membrana y se lo pega usando solvente de PVC. Se coloca el extremo con el doblez sobre la goma adherida al hormigón y se los pega entre sí con sellador flexible (por ejemplo: Sikaflex-221)

-Se coloca otra goma por encima, una planchuela de aluminio y bulones de aluminio, los cuales se aprietan hasta que quede estanco, como se puede observar en la siguiente figura.



Figura 2.5 Unión estanca de la membrana de PVC con el piso de hormigón

2.6 Sedimentador

La laguna aireada descargará en el sedimentador de sección circular con fondo tronco-cónico.

El ingreso será central por una tubería de 160 mm como muestra el plano PC-05 y sus dimensiones serán:

Diámetro Interior: 8,9 m

Altura útil 4,0 m

La entrada consiste en una tubería de PVC DN160 que ingresa por dentro de una columna central de hormigón armado. Luego el lixiviado ingresa a la zona de sedimentación radialmente a través de orificios en el extremo de la tubería, hasta encontrarse con un cilindro deflector colgado del mismo pilar central.

La salida del lixiviado clarificado será mediante un vertedero diente de sierra que descarga en un canal perimetral hacia una salida como se presenta en el plano PC-05. La descarga se realiza mediante una tubería de DN 160 hacia la cámara 6.

El lodo se remueve con un barredor de tipo pasarela. El barredor tiene un pivot central con una rueda motora perimetral e incluye una pasarela que permite la inspección de la unidad.

Los lodos se purgan mediante una tubería hacia la succión de las bombas ubicadas contiguas a cada sedimentador desde donde toman los lodos para ser recirculados o purgados fuera del sistema.

Las bombas serán instaladas como se muestra en el plano PC-05.

Las tuberías de recirculación y de lodos son de PEAD DN 110.

El sedimentador estará rodeado de veredas de hormigón para una fácil inspección.

3 Bibliografía

1. **DINASA.** *Diseño de Sistemas de Aguas Pluviales Urbanas.* Montevideo : s.n., 2009.
2. **Metcalf & Eddy, Inc.** *Ingeniería sanitaria: tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales.*
3. **Sotelo, Gilberto.** *Hidráulica General.* 1997.
4. **Netto, Azevedo.** *Manual de Hidráulica.*
5. **Rafael Guarga, José Abreu, Joaquín Izquierdo.** *Transitorios y Oscilaciones en sistemas hidráulicos a presión.*
6. **EPA.** *Process Design Manual for Suspended Solid Removal .*
7. U.S. Army Technical Manual.
8. **Argaman, Eckenfelder.** *Process selection criteria for the biological treatment of industrial wastewaters.*
9. **WEF.** *Design manual of wastewater treatment plants "manual of practice 8".*
10. **López, Julieta.** Notas del curso Tratamiento de Efluentes.

4 Anexos

Project	Project ID	Created by	Created on 2013-10-14	Last update
---------	------------	------------	--------------------------	-------------

NP 3171 SH 3~ 272

Performance curve



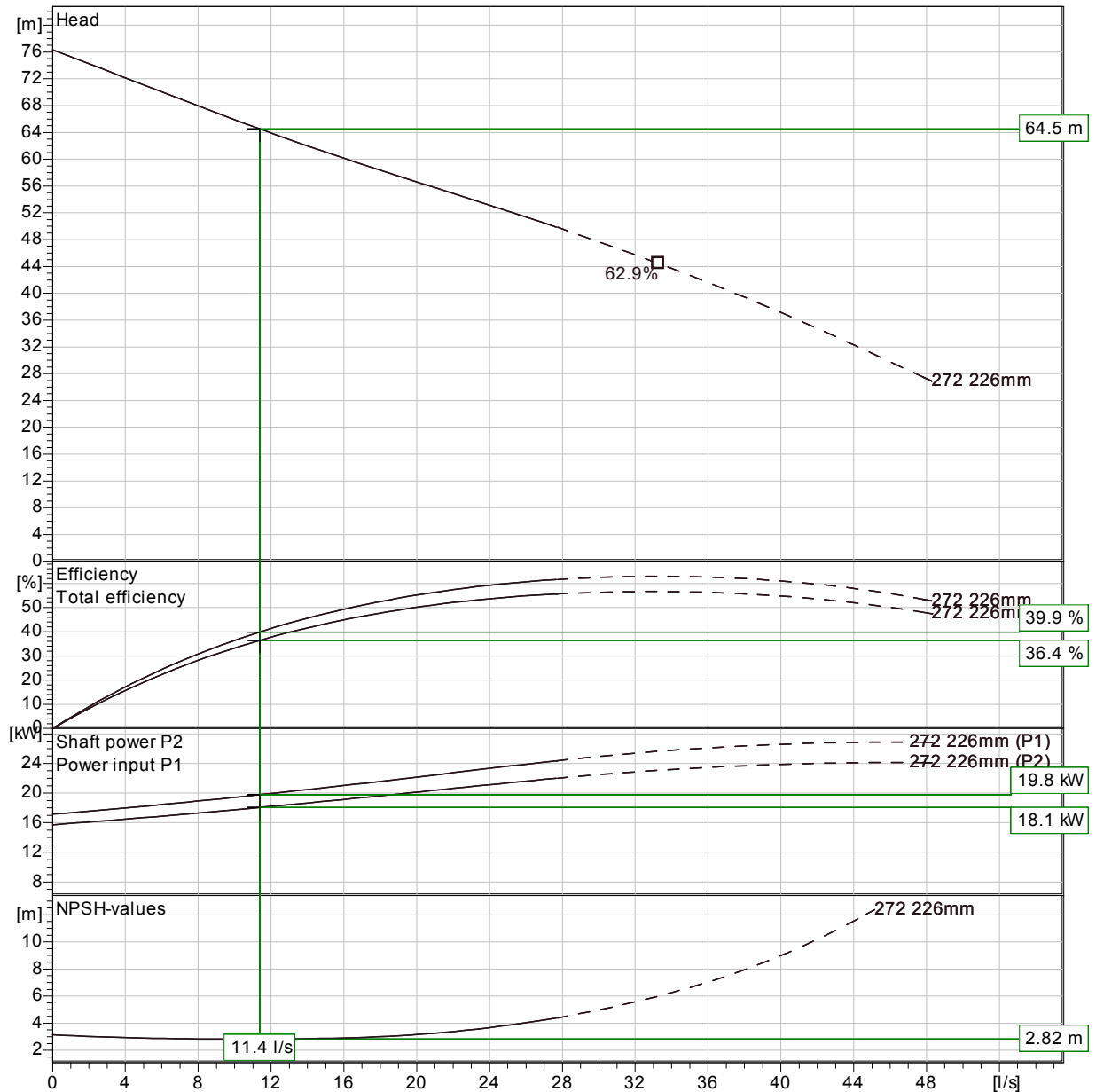
Pump

Outlet width	100 mm
Inlet diameter	150 mm
Impeller diameter	226 mm
Number of blades	2
	0 mm

Motor

Motor #	N3171.181 25-18-2AA-W 22KW
Stator variant	2
Frequency	50 Hz
Rated voltage	230 V
Number of poles	2
Phases	3~
Rated power	22 kW
Rated current	67 A
Starting current	480 A
Rated speed	2930 1/min

Power factor	
1/1 Load	0.91
3/4 Load	0.89
1/2 Load	0.82
Efficiency	
1/1 Load	90.0 %
3/4 Load	91.5 %
1/2 Load	92.0 %

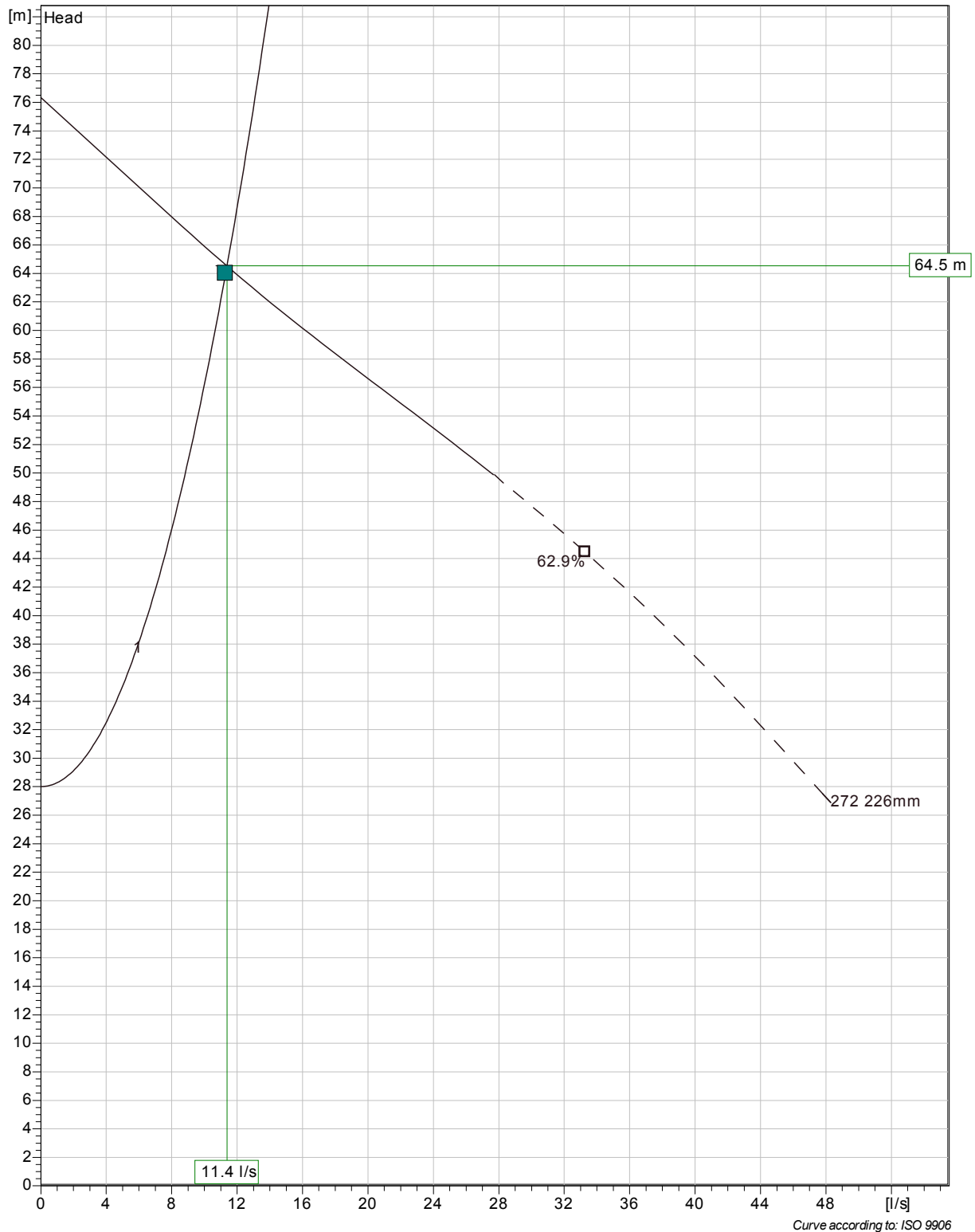


Curve according to: ISO 9906

Project	Project ID	Created by	Created on 2013-10-14	Last update
---------	------------	------------	--------------------------	-------------

NP 3171 SH 3~ 272

Duty Analysis



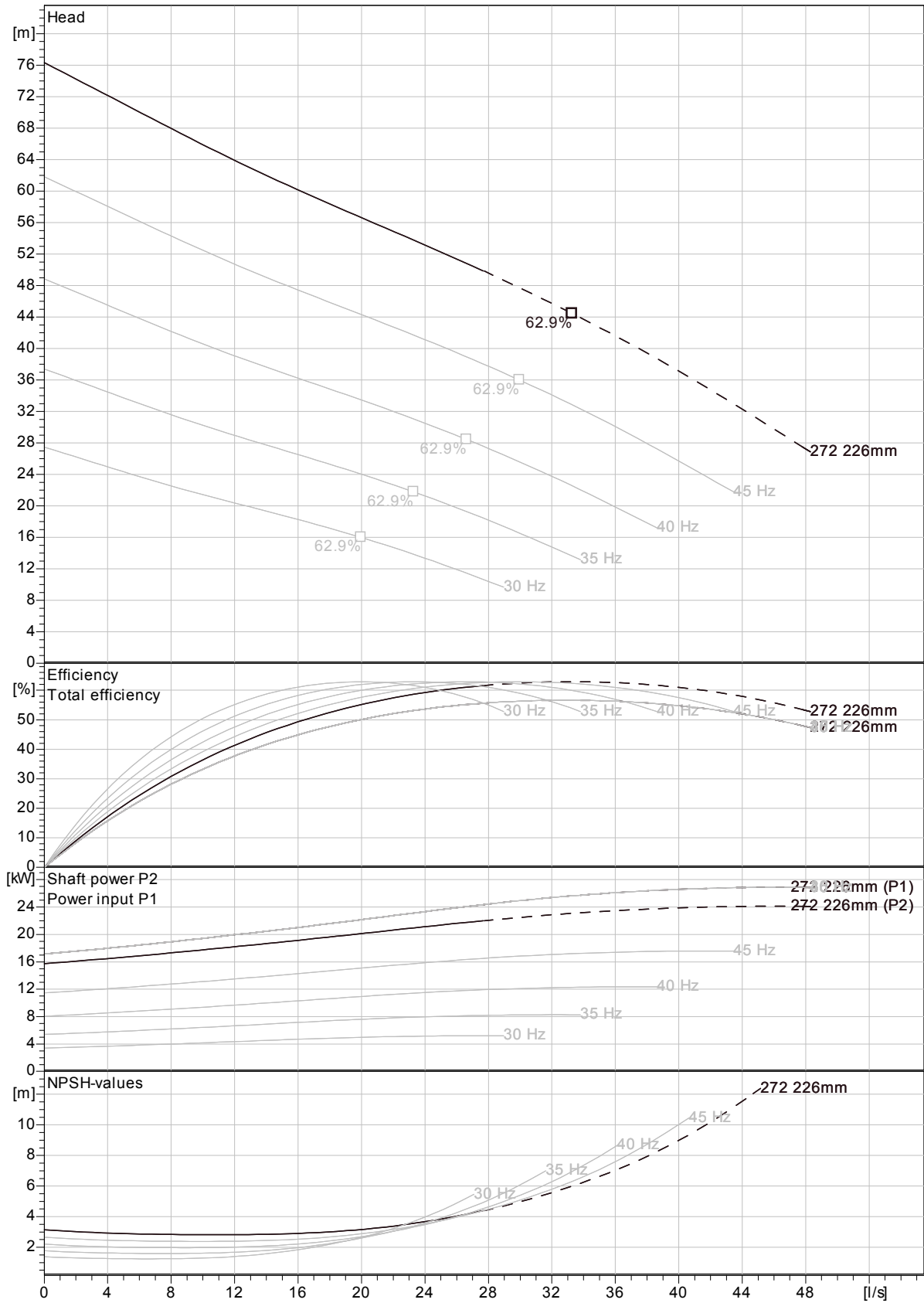
Curve according to: ISO 9906

Pumps running /System	Individual pump			Total					
	Flow	Head	Shaft power	Flow	Head	Shaft power	Hyd. eff.	Specific energy	NPSHre
1	11.4 l/s	64.5 m	18.1 kW	11.4 l/s	64.5 m	18.1 kW	39.9 %	0.483 kWh/m³	2.82 m

Project	Project ID	Created by	Created on 2013-10-14	Last update
---------	------------	------------	---------------------------------	-------------

NP 3171 SH 3~ 272

VFD Curve

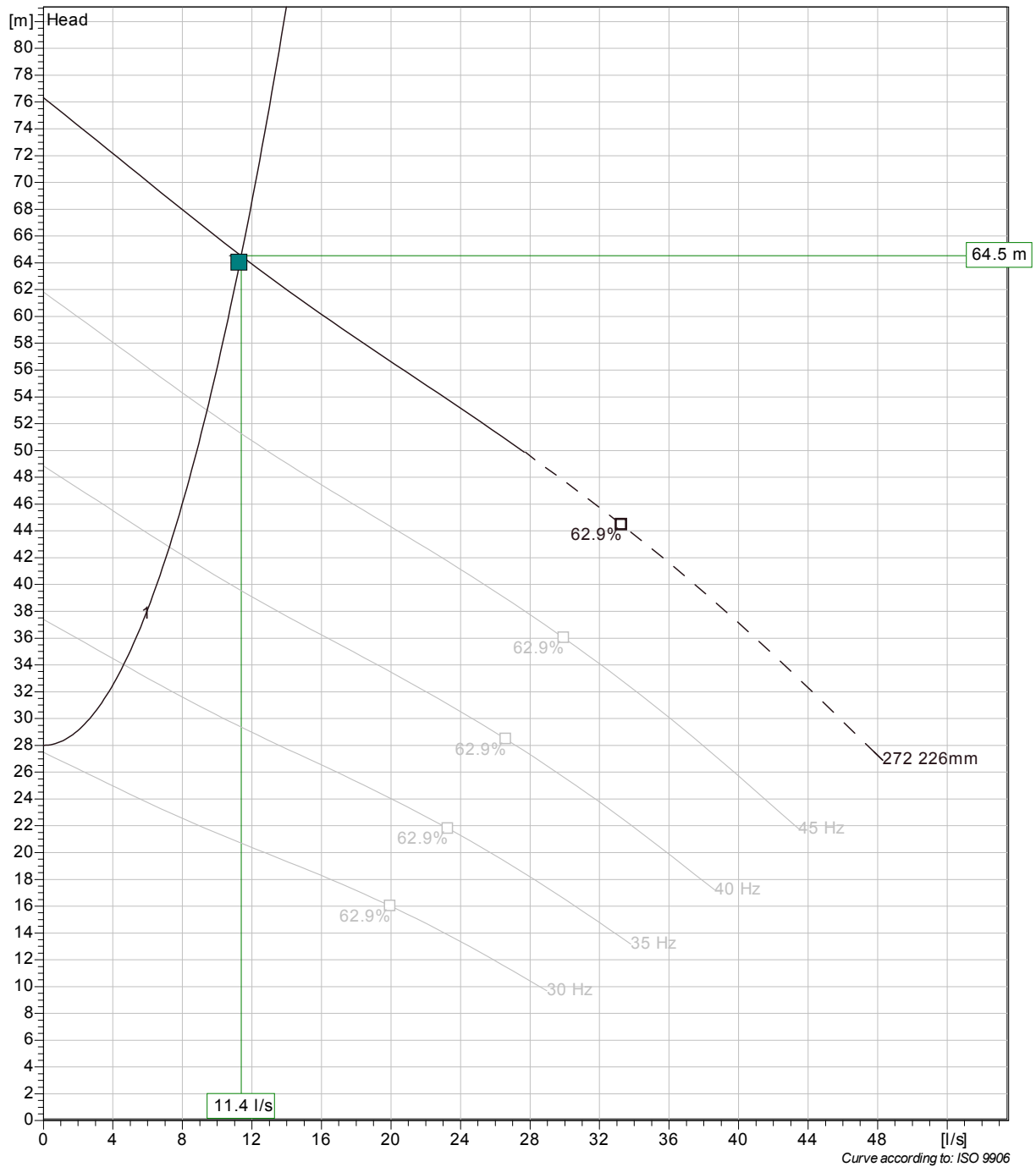


Curve according to: ISO 9906

Project	Project ID	Created by	Created on 2013-10-14	Last update
---------	------------	------------	---------------------------------	-------------

NP 3171 SH 3~ 272

VFD Analysis

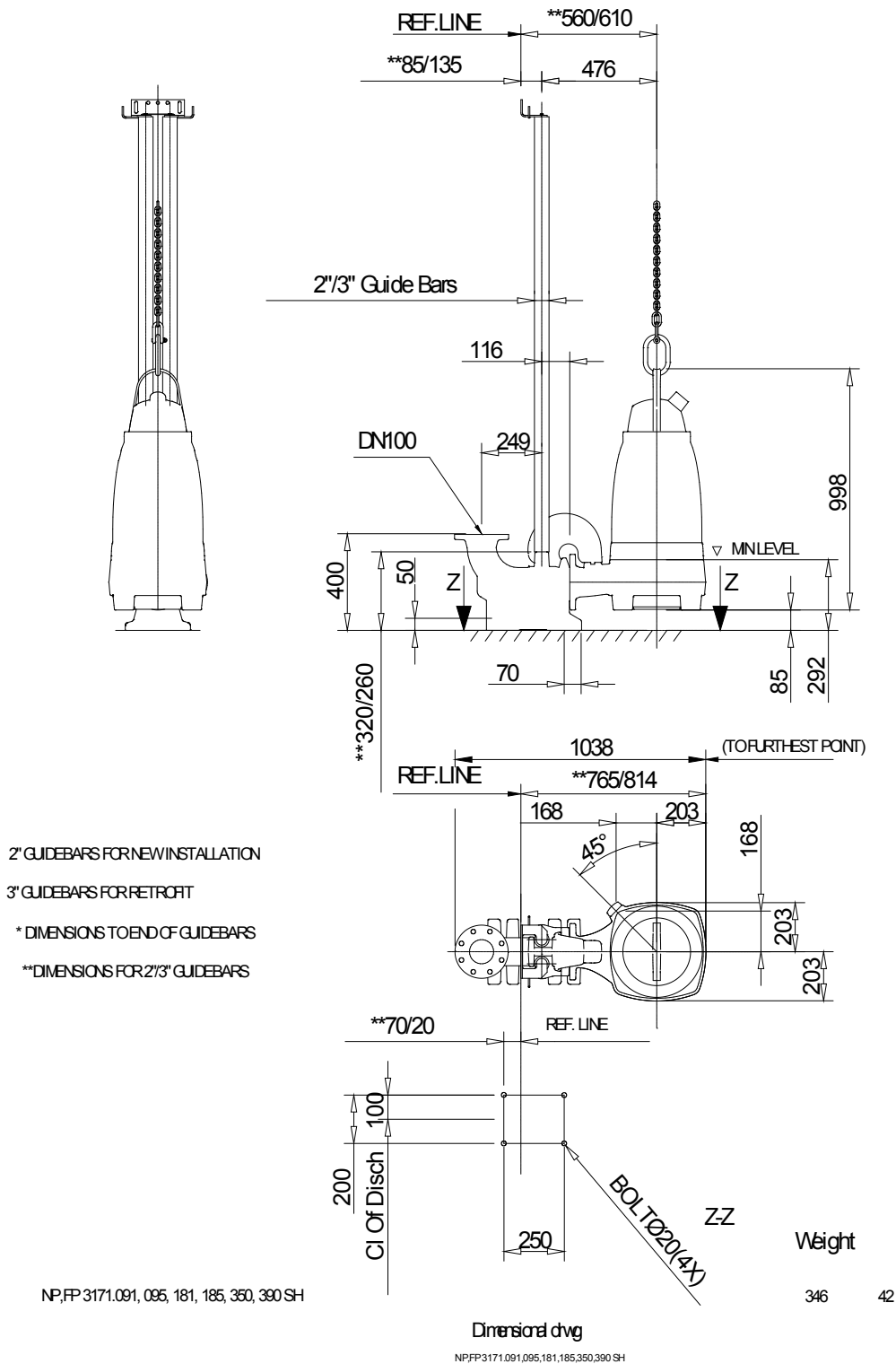


Pumps running /System	Individual pump				Total					Specific energy	NPSH _{re}
	Frequency	Flow	Head	Shaft power	Flow	Head	Shaft power	Hyd eff.			
1	50 Hz	11.4 l/s	64.5 m	18.1 kW	11.4 l/s	64.5 m	18.1 kW	39.9 %	0.483 kWh/m ³	2.82 m	
1	45 Hz	9.46 l/s	53.2 m	13.1 kW	9.46 l/s	53.2 m	13.1 kW	37.7 %	0.419 kWh/m ³	2.39 m	
1	40 Hz	7.28 l/s	43 m	9.04 kW	7.28 l/s	43 m	9.04 kW	33.9 %	0.376 kWh/m ³	1.99 m	
1	35 Hz	4.66 l/s	34.1 m	5.87 kW	4.66 l/s	34.1 m	5.87 kW	26.6 %	0.389 kWh/m ³	1.62 m	
1	30 Hz										

Project	Project ID	Created by	Created on 2013-10-14	Last update
---------	------------	------------	---------------------------------	-------------

NP 3171 SH 3~ 272

Dimensional drawing



Project	Project ID	Created by	Created on	Last update
			2013-10-14	

1. INTRODUCCIÓN.

Las Centrífugas de Deshidratación de fangos de BARIGELLI DECANter, para el tratamiento de Plantas Urbanas ó Industriales, ofrecen las siguientes características:

- ❖ ALTA ECONOMIA
 - Máximos valores de sequedad.
 - Mínimos consumos de Floculantes.
 - Mínimos consumos de Energías.
 - Bajos costes de Explotación.
- ❖ GRANDES Y PEQUEÑOS CAUDALES.
- ❖ ALTOS NIVELES DE DESHIDRATACIÓN Y ESPESAMIENTO CON EL MÁXIMO GRADO DE SEPARACIÓN.
- ❖ MÍNIMO VOLUMEN DE FANGOS.
- ❖ COSTES REDUCIDOS DE VERTIDOS.
- ❖ CONTROL AUTÓNOMO Y CONTÍNUO DEL EQUIPO.
 - Proceso totalmente automático.
 - Rápido ajuste de parámetros (flexibilidad de adaptación).
- ❖ MINIMA NECESIDAD DE ESPACIO.
- ❖ BUENA ERGONOMIA.
- ❖ FÁCIL MONTAJE Y DESMONTAJE.
- ❖ MANTENIMIENTO SENCILLO.
- ❖ SUMINISTRO Y ASISTENCIA TÉCNICA PERMANENTE.

2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.

- ❖ Este DECANTER es fruto de la **Investigación e Innovación** de **BARIGELLI**.
- ❖ Siguiendo las necesidades del mercado y atentos a las nuevas tecnologías se ha realizado un gran desarrollo técnico en el equipo, siendo todo el sistema regulable y utilizable en cada condición de trabajo.
- ❖ La calidad de los componentes, es fundamental para garantizar la productividad del Decanter. Algunos constructivos alcanzan importantes espesores, para consolidar la robustez del equipo, ejemplos son:

-Descarga de sólido deshidratado, construido en **AISI 304 ó 316**, siempre con **rascador**.



-Descarga de líquido construido en **AISI 304 ó 316**.



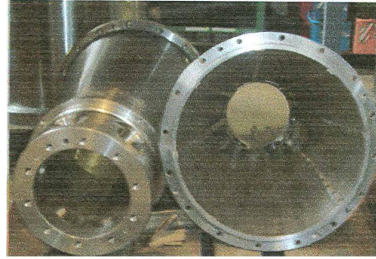
-Estructura del DECANTER construida en acero al carbono de alta calidad.



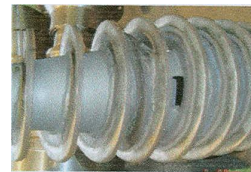
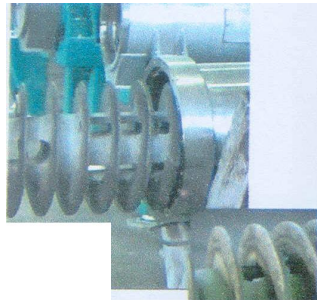
-Casquillos de salida de Lodo, protegidos con **elementos cerámicos**.



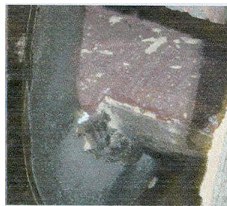
-Tambor de material resistente al desgaste X3 CrNiMo 13.4, ó AISI 316 con varillas longitudinales antidesgaste.



-Tornillo sin fin, revestido de **Carburo de Tungsteno**



-Parte interna del tornillo, capa protectora de **Carburo Cerámico** (opcional).



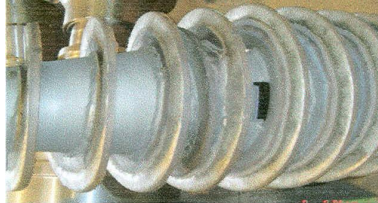
- ❖ El éxito de éste Decanter, se debe también, a otras razones fundamentales, como:
 - Las **Bridas para la regulación de los Niveles** (sólo hay que girar, no cambiar).



-El calibrado de las relaciones a través de **Reductores Especiales** (*uno de los más grandes y mejores del mercado*).

-**Máximo control en las revoluciones diferenciales** (*en los equipos **Electro-Hidráulicos** la **relación diferencial entre sin fin y tambor va de 0,1 a 50 rpm**, esto no se puede conseguir con ningún otro sistema, ejem, con motor eléctrico más variador de frecuencia, no se llega a estos valores*).

-Montaje de un **Disco Separador** sobre el sin fin, con el que podemos conseguir **hasta un 30 % más de capacidad** a igual tamaño de máquina (se puede trabajar con mayores caudales, o mayor aumento de deshidratación, según nos interese).



-Posibilidad de suministrar con diferentes ángulos de conos.

-Posibilidad de poder elegir entre una Amplia Gama de Decanter, que van desde 4 m³ / h, hasta 120 m³ / h de capacidad Hidráulica. Lo cual nos permite afirmar, que tenemos un Decanter apropiado a tipo y cantidad de producto.

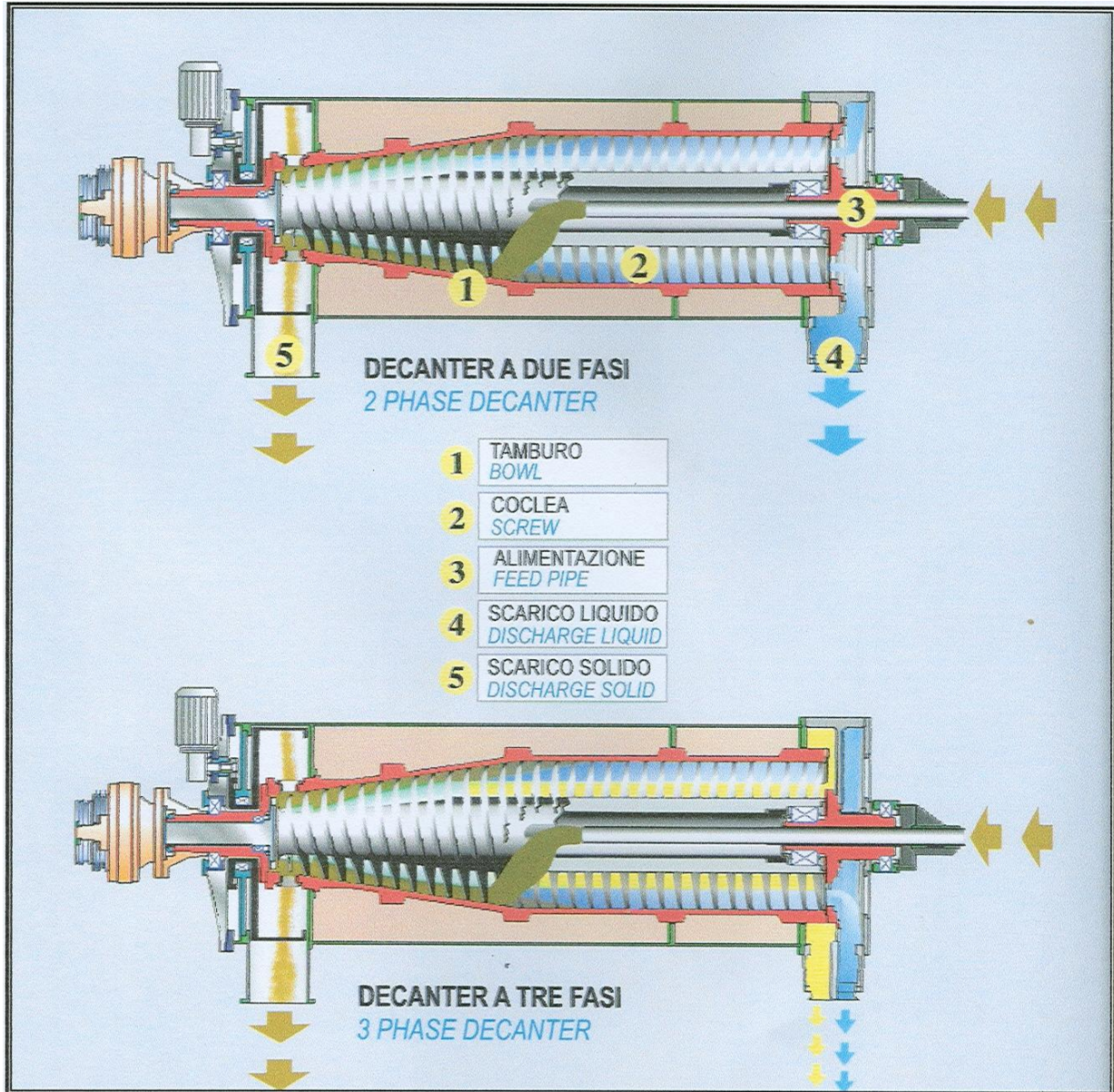
-Posibilidad de suministrar Tambor y Tornillo sin fin con diferentes ángulos.

Fangos Biológicos (concentración 0,5-1 %): Ángulo 17º

Resto de Aplicaciones (concentración 3-5 %): Ángulo 9º

2.1.- DESCRIPCIÓN DEL DECANTER.

- El equipo está destinado a la separación de elementos líquidos de sólidos actuando sobre las diferencias de densidades.

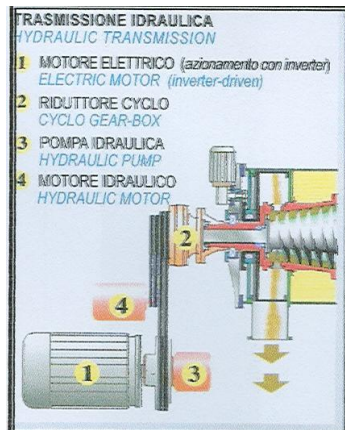


2.2.- TIPOS DE ACCIONAMIENTOS DEL DECANTER

En BARIGELLI existen tres formas de montaje de los DECANTER:

- DECANTER ELECTRO-HIDRÁULICO.
- DECANTER ELECTRO-ELECTRO.
- DECANTER ELECTRO-MECÁNICO.

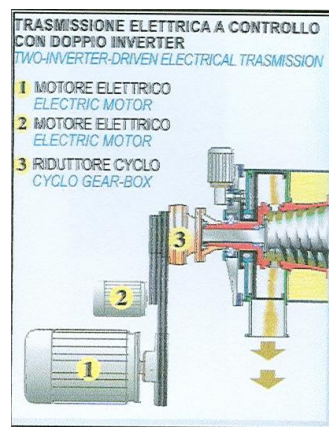
A) DECANTER ELECTRO-HIDRÁULICO.



- El **DECANTER Electro-Hidráulico** es motivo de orgullo para BARIGELLI. **Incorpora una bomba y un motor hidráulico con cilindrada variable**, entre el motor eléctrico y la rotación sin fin interno (en el mercado existen con cilindrada fija).
- El funcionamiento es el siguiente, el motor eléctrico transmite la rotación al tambor, acciona una bomba de pistones, que alimenta a un motor hidráulico, el cual a su vez, transmite la rotación al tornillo sin fin interno.
- Con este sistema se obtiene:
 - Un **control TOTAL** de elevada precisión, de las vueltas diferenciales (0,1 a 50 **rpm**), entre el tornillo sin fin y el cilindro externo (tambor).
 - Posibilidad de una **variación instantánea de esta relación diferencial**, según parámetros programados.
 - **Variación automática** de las vueltas diferenciales, **en función** de la densidad del **producto de entrada**.
 - Todo esto se realiza con un controlador (TC-33) que gestiona el Decanter y la instalación.

- Gracias al sistema de transmisión tambor-bomba de pistones con un único motor, cuando el Decanter se encuentra bajo carga, se produce una reutilización de la energía acumulada por la masa centrífuga en rotación, lo que se traduce en una recuperación de energía eléctrica (l no utilización de otro motor para lograr la variación diferencial requerida). BARIGELLI es especialista en aplicaciones hidráulicas en carga continua y discontinua.
- Esta optimización permite que el Decanter alcance unos **resultados inmejorables**, imposibles de hallar en el mercado.
- **Menor consumo eléctrico, que cualquier equipo con variador eléctrico** (también llamado roto variador).

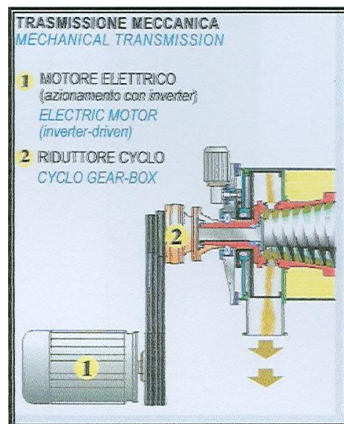
B) DECANTER ELECTRO – ELÉCTRICO.



- El DECANTER Electro – Electro posee las mismas características constructivas que el modelo hidráulico, así como las mismas dimensiones.
- El funcionamiento es el siguiente: existe un motor eléctrico que transmite la rotación al tambor y otro motor que controlado por un variador de frecuencia, transmite la relación diferencial al sin fin interno.
- Con este sistema se obtiene:
 - Un control de menor precisión y rango que el sistema hidráulico, de las vueltas diferenciales (0,5 a un máx., de 30 rpm), entre el tornillo sin fin y el cilindro externo (tambor).
 - Posibilidad de una **variación instantánea de esta relación diferencial**, según parámetros programados.

- Variación automática de las vueltas diferenciales, en función de la densidad del producto de entrada.
- Todo esto se realiza con un controlador (TC-33) que gestiona el Decante y la instalación.

C) DECANTER ELECTRO – MECÁNICO



- El **DECANTER Electro – Mecánico** posee las mismas características constructivas que el modelo hidráulico y el eléctrico, así como las mismas dimensiones.
- El funcionamiento es el siguiente: existe un motor eléctrico que transmite la rotación al tambor, el cual acciona la caja reductora, la cual, transmite la relación diferencial al sin fin interno.
- Con este sistema no podemos tener control exhaustivo del Decanter. Para modificar la relación diferencial al tornillo sin fin se han de cambiar las poleas.
- El sistema **más sencillo y de menores costes iniciales**.

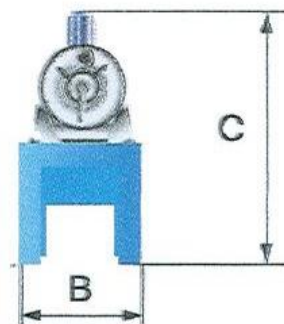
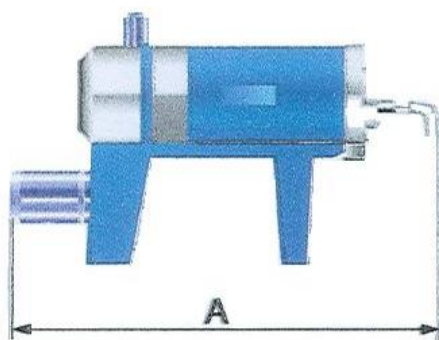
3. TABLA DE CARACTERÍSTICAS.



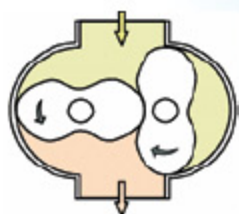
FILTRAMAS, S.A.
www.filtramas.com

Servicio Técnico y Recambios:

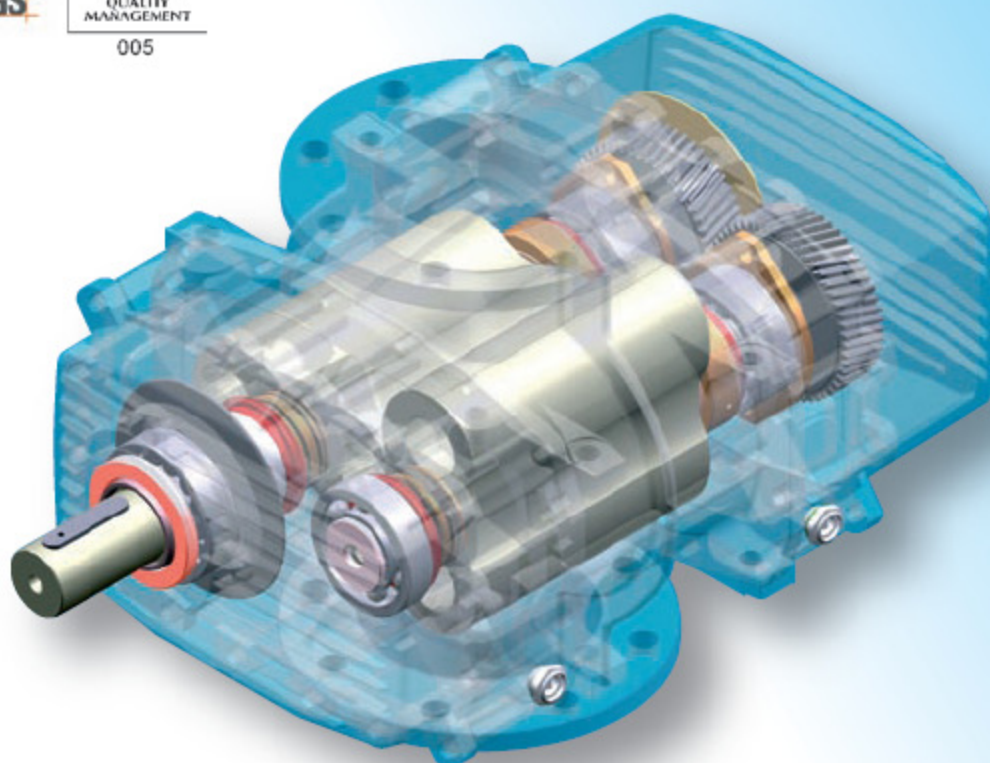
C/ Hormigoneras, 6 - Pol. Ind. San José de Valderas - 28925 Alcorcón (Madrid), Teléfono 91 641 44 13 (3 líneas), Fax 91 641 44 99



MODELO	TAMBOR		L/Ø	ANGULO (°)	VELOCIDAD R.P.M.	POTENCIA INST.	CAPACIDAD HIDRÁULICA	DIMENSIONES			PESO
	(Ø mm)	(L mm)				(kW)	(m³ / h)	A (mm)	B (mm)	C (mm)	(kg)
B/DF 200	280	805	2,9	9° o 17°	4.800	5,5 (+0,3)	4	2.023	690	1.240	600
B/DF 200 H	280	805				7,5 (+0,3)	5	2.043	690	1.240	650
B/DF 300	280	1.050	3,8	9° o 17°	4.800	11 (+0,3)	7	2.220	690	1.340	800
B/DF 300 H	280	1.050				11 (+0,3)	8	2.230	690	1.340	900
B/DF 300 L	280	1.340	4,8	9° o 17°	4.800	11 (+0,3)	10	2.715	690	1.340	1.100
B/DF 300 LH	280	1.340				11 (+0,3)	12	2.715	690	1.340	1.150
B/DF 400	390	1.100	2,8	9° o 17°	3.800	15 (+0,3)	15	2.800	940	1.590	1.700
B/DF 400 H	390	1.100				15 (+0,3)	18	2.800	940	1.590	1.800
B/DF 400 L	390	1.500	3,8	9° o 17°	3.800	18,5 (+0,3)	20	3.200	940	1.590	1.900
B/DF 400 LH	390	1.500				18,5 (+0,3)	25	3.200	940	1.590	2.100
B/DF 500	500	1.400	2,8	9° o 17°	3.100	45 (+0,75)	35	3.300	1.200	1.720	2.500
B/DF 500 H	500	1.400				45 (+0,75)	40	3.300	1.200	1.720	2.800
B/DF 500 L	500	1.950	3,9	9° o 17°	3.100	55 (+0,75)	50	4.000	1.200	1.720	3.200
B/DF 500 LH	500	1.950				55 (+0,75)	55	4.000	1.200	1.720	3.500
B/DF 650	630	1.920	3,0	9° o 17°	2.600	75 (+0,75)	60	4.350	1.450	1.870	5.900
B/DF 650 H	630	1.920				75 (+0,75)	65	4.350	1.450	1.870	6.100
B/DF 650 L	630	2.590	4,1	9° o 17°	2.600	90 (+0,75)	70	4.990	1.450	1.870	6.650
B/DF 650 LH	630	2.590				90 (+0,75)	80	4.990	1.450	1.870	6.800
B/DF 800	800	3.000	3,8	9° o 17°	2.100	150 (+0,75)	100	5.950	1.980	1.800	7.700
B/DF 800 H	800	3.000				150 (+0,75)	120	5.950	1.980	1.800	8.000



Sopladores de Aire y Bombas de Vacío de lóbulo rotativos



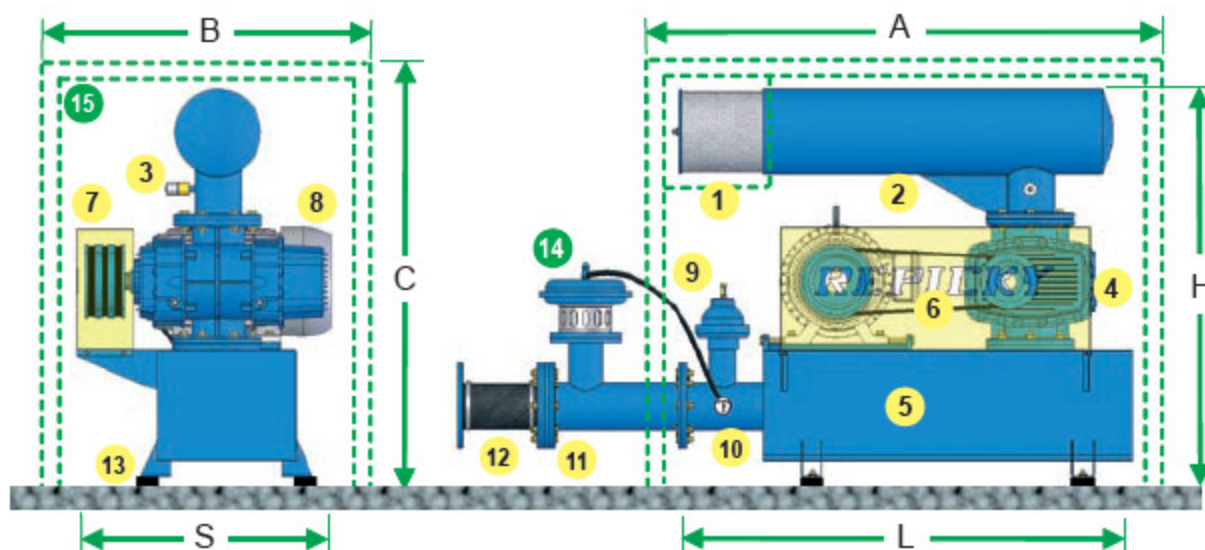
Serie RA equipos desde 10 m³/h a 12800 m³/h
Presiones hasta 1 bar
Vacío hasta 0,5 bar



REPIKY

Desde 1965 el aire confiable en sus proyectos

Equipo con accesorios



Referencias:

- 1- Filtro de aire
- 2- Silenciador de admisión (para equipos de vacío lleva brida ANSI para conexión a proceso)
- 3- Indicador de filtro obstruido (IFO)
- 4- Soplador o Cabezal
- 5- Base compacta con silenciador de impulsión incluido
- 6- Transmisión por correas y poleas o acople elástico.
- 7- Cubretransmisión
- 8- Motor normalizado (puede ser provisto por el cliente)
- 9- Válvula de alivio por presión o vacío.

- 10- Manómetro en baño de glicerina
- 11- Válvula de retención a clapeta
- 12- Amortiguador de vibraciones de caucho
- 13- Tacos antivibratorios (pueden ser provistos por el cliente)
- 14- **Opcional:** Válvula automática para arranque sin carga y pieza Te.
- 15- **Opcional:** Cabina acústica panelizada con reducción entre 15 y 20 db(A) dependiendo condiciones operativas.
- 16- **Otros Opcionales:** Termómetro con o sin contacto de máxima / Presóstato y/o vacuóstato / amortiguador de vibraciones de acero inoxidable/ motores especiales.

Medidas generales en mm

Modelo	A	B	C	L	S	H	Conexión Salida	Peso sin motor ni cabina [kg]
R100	1039	400	550	890	224	465	1,25" BSP	43
R200	850	500	590	950	432	572	2" BSP	93
R300	1125	864	1000	965	547	752	3" Brida ANSI	218
R500	1125	864	1000	965	674	799	3" Brida ANSI	261
R600	1448	1076	1234	1130	714	886	4" Brida ANSI	366
R1000	1448	1076	1234	1130	755	986	4" Brida ANSI	416
R1200	1448	1076	1234	1130	742	986	4" Brida ANSI	431
R1.5	2152	1372	1562	1460	838	1273	6" Brida ANSI	755
R2.0	2152	1372	1562	1823	990	1400	6" Brida ANSI	827
R2.5	2152	1372	1562	1823	1083	1400	6" Brida ANSI	1125
R3.0	2152	1372	1562	1823	1067	1400	6" Brida ANSI	1199
R3.5	2855	1950	2080	2020	1133	1580	8" Brida ANSI	1579
R3.8	2855	1950	2080	2020	1313	1580	8" Brida ANSI	1679
R4.0	2855	1794	2080	2020	1149	1710	8" Brida ANSI	1780
R4.5	3240	2145	2080	2565	1272	1877	10" Brida ANSI	2232
R5.0	3240	2145	2424	2565	1272	1957	10" Brida ANSI	2728
R5.5	2774	2528	2589	2970	1568	1780	12" Brida ANSI	3304
R6.0	2774	2528	2589	2970	1682	2070	12" Brida ANSI	3721
R6.5	3400	2700	2800	3428	2000	2340	14" Brida ANSI	4848

Nota: Repicky se reserva el derecho de modificar parcial o totalmente la información contenida en este catálogo. Sugerimos solicitar medidas actualizadas al hacer su pedido.



REPICKY

Tabla de selección de Sopladores trabajando como compresor

Los valores indicados con una tolerancia de +/- 5 %, tanto de caudal de aspiración como de potencia del cabezal sin accesorios, corresponden a presión atmosférica normal P= 1013 mbar y temperatura de admisión del aire T = 20°C.
Para otros gases y/o condiciones operativas, consultar.



Δp (mbar)	100			200		300		400		500		600		700		800		900		1000	
Modelo	RPM	Q m³/h	P HP	Q m³/h	P HP	Q m³/h	P HP	Q m³/h	P HP	Q m³/h	P HP	Q m³/h	P HP	Q m³/h	P HP	Q m³/h	P HP	Q m³/h	P HP	Q m³/h	P HP
R100	1450	29,8	0,4	23,1	0,5	18	0,7	13,7	0,9												
	2250	54	0,6	47,5	0,8	42,2	1,1	38,1	1,4	34,3	1,6	30,8	1,8								
	2900	74	0,7	67,3	1,1	62,2	1,4	57,9	1,6	54,1	2,0	50,6	2,3	47,4	2,7						
	4500	123	1,5	116	1,6	111	2,1	107	2,6	103	3,1	99	3,7	96	4,2						
R200	1450	83	0,6	52	0,9	43,3	1,3	35,9	1,6												
	2250	112	0,9	101	1,4	92,1	1,9	84,6	2,4	78,1	2,9	72,1	3,4								
	2900	152	1,2	140	1,8	132	2,4	124	3,1	118	3,8	112	4,5	106	5,1	101	5,7				
	4500	249	1,7	238	2,8	229	3,8	222	4,9	215	5,8	209	6,9	204	7,9						
R300	1450	89	0,6	80	1,1	65	1,5	56	1,9	48	2,4										
	2250	156	0,9	142	1,6	131	2,3	122	3,0	114	3,7	107	4,4	100	5,0						
	2900	210	1,2	196	2,0	185	3,0	176	3,9	168	4,8	161	5,6	154	6,5	148	7,5				
	4500	342	1,8	328	3,2	318	4,7	309	6,0	301	7,4	293	8,7	286	10,2	280	11,5				
R500	1450	142	1,0	132	1,6	112	2,3	101	3,0	91	3,6	82	4,3	74	4,9						
	2250	241	1,5	225	2,5	211	3,6	200	4,6	190	5,6	181	6,7	173	7,8						
	2900	322	1,9	306	3,3	292	4,6	281	5,9	271	7,3	262	8,6	254	10,0	246	11,3				
	4500	521	3,0	504	5,0	491	7,1	480	9,2	470	11,3	461	13,4	452	15,4	444	17,6	437	19,6		
R600	1450	185	1,2	158	2,1	138	3,0	120	3,9	105	4,9										
	2250	319	1,8	293	3,3	272	4,7	255	6,1	239	7,5	225	8,9	212	10,3						
	2900	429	2,4	402	4,2	382	6,0	364	7,9	349	9,7	335	11,4	321	13,3	309	15,1				
	4500	698	3,7	692	6,5	651	9,3	634	12,1	618	14,9	604	17,8	591	20,7						
R1000	1450	297	2,0	275	3,3	259	4,6	245	5,8	232	7,2	221	8,4	210	9,7						
	2250	487	3,1	466	5,1	449	7,1	435	9,1	422	11,1	411	13,1	400	15,0	390	17,1	381	19,0		
	2900	641	4,0	620	6,6	603	9,1	589	11,7	577	14,3	565	16,8	555	19,4	545	21,9	535	24,5	527	27,1
	4300	974	5,9	953	9,8	936	13,6	922	17,4	910	21,1	898	24,9	888	28,7	878	32,6	868	36,4		
R1200	1450	433	2,5	407	4,4	387	6,2	370	8,1	355	9,8	341	11,8	329	13,5	317	15,3				
	2250	703	4,0	677	6,8	657	9,6	640	12,4	625	15,2	612	18,0	599	21,0	587	23,8				
	2900	922	5,0	897	8,7	877	12,4	860	16,0	845	19,7	831	23,3	819	27,0	807	30,6				
	4300	1395	7,6	1370	13,0	1350	18,3	1333	23,8	1318	29,2	1304	34,5	1292	40,0						
R1.5	1450	605	4,0	570	6,5	543	9,0	520	11,6	499	14,2	481	16,7	464	19,2	448	21,7				
	2250	981	6,2	947	10,1	920	14,1	897	18,0	877	21,9	859	25,9	840	29,9	825	33,8	809	37,7	795	41,7
	2900	1288	8,0	1253	13,1	1226	18,1	1203	23,2	1183	28,3	1164	33,4	1147	38,4	1131	43,6	1115	48,6	1101	53,7
	3400	1523	9,5	1489	15,3	1461	21,2	1438	27,3	1371	31,2	1352	37,9	1335	43,7	1319	49,6	1304	55,3	1290	61,1
R2.0	1450	892	5,1	850	8,8	816	12,5	788	16,2	763	19,8	740	23,5	719	27,2	699	30,8				
	2250	1437	8,0	1395	13,7	1362	19,4	1333	25,0	1308	30,7	1285	36,5	1264	42,2	1244	47,8				
	2900	1881	10,3	1838	17,6	1805	24,9	1776	32,3	1751	39,7	1728	46,9	1707	54,3	1688	61,7				
	3400	2222	12,0	2179	20,7	2146	29,3	2117	37,8	2126	47,1	2099	55,1	2048	63,7						
R2.5	1450	1269	6,6	1213	11,8	1170	17,0	1133	22,2	1100	27,4	1070	32,6								
	2250	2039	10,3	1983	18,3	1940	26,4	1903	34,4	1870	42,5	1840	50,5								
	2900	2685	13,3	2609	23,7	2565	34,0	2528	44,4	2495	54,8	2465	65,2								
	3400	3147	15,5	3090	27,7	3046	39,9	3009	52,1	2976	64,2										
R3.0	1450	1268	7,4	1212	12,5	1168	17,8	1131	22,9	1088	28,1	1068	33,3	1041	38,5	1015	43,7	990	48,8		
	1750	1556	8,9	1500	15,1	1457	21,4	1420	27,6	1387	34,0	1357	40,2	1329	46,4	1303	52,7	1279	59,0	1255	65,2
	2250	2037	11,4	1981	19,5	1937	27,5	1900	35,5	1867	43,6	1837	51,6	1810	59,7	1784	67,7	1759	75,8	1738	83,8
	2750	2517	14,0	2462	23,8	2418	33,7	2381	43,5	2348	53,3	2318	63,1	2290	72,9	2264	82,7	2240	92,6		
R3.5	1450	1707	9,2	1626	16,2	1562	23,3	1508	30,3	1461	37,2	1418	44,3	1377	51,3	1340	58,4				
	1750	2097	11,1	2016	19,6	1953	28,0	1899	36,8	1851	45,0	1808	53,4	1768	62,0	1731	70,4				
	2250	2749	14,3	2667	25,1	2605	36,1	2551	46,9	2503	57,9	2460	68,2	2420	79,6	2382	90,6				
	2750	3400	17,5	3319	30,7	3256	44,1	3202	57,4	3144	70,7	3111	84,1	3071	97,4	3033	111				
R3.8	1450	2408	12,2	2280	22,2	2180	32,2	2098	42,3	2020	52,3	1952	62,4								
	1750	2967	14,7	2838	26,9	2738	38,9	2654	510,2	2578	63,1	2510	75,3								
	2250	3897	18,9	3768	34,5	3668	50,1	3583	65,6	3509	81,2	3440	96,7								
	2750	4827	23,2	4698	42,2	4598	61,2	4513	80,2	4438	99,2	4370	118								
R4.0	1000	1676	9,4	1600	16,3	1539	23,2	1488	30,1	1442	36,9	1400	43,7	1363	50,6	1326	57,5	1293	64,4		
	1450	2510	13,6	2432	23,6	2372	33,6	2320	43,6	2274	53,4	2233	63,4	2196	73,5	2160	83,4	2126	93,4	2094	103
	1750	3065	16,4	2987	28,4	2927	40,5	2876	52,6	2830	64,6	2788	76,6	2750	88,7	2714	101	2681	113	2648	125
	2150	3804	20,2	3728	34,9	3667	49,8	3616	64,5	3570	79,3	3528	94,1	3490	109	3454	124	3421	139		
R4.5	1000	2262	11,7	2160	21,0	2080	30,3	2014	39,6	1953	48,8	1900	58,1	1848	67,3	1800	77				
	1450	3382	17,1	3281	30,5	3202	43,9	3134	57,3	3074	70,8	3020	84,2	2970	97,7	2923	111				
	1750	4131	20,6	4028	36,8	3950	55,7	3882	69,3	3822	85,5	3768	102	3718	118	3670	134				
	2150	5128	25,3	5025	45,2	4947	65,2	4878	84,6	4818	105	4763	125	4714	145						
R5.0	900	3080	18,8	2945	31,4	2842	44,0	2752	56,6	2675	69,2	2605	82	2537	94	2475	107	2418	119		
	1150	4020	24,2	3885	40,2	3780	56,2	3692	72,3</												

Tabla de selección de Sopladores trabajando como bomba de vacío

Los valores indicados con una tolerancia de +/- 5 %, tanto de caudal de succión como de potencia del cabezal sin accesorios, corresponden a descarga a presión atmosférica normal $P = 1013 \text{ mbar}$ y temperatura de admisión del aire $T = 20^\circ\text{C}$. Para otros gases y/o condiciones operativas, incluyendo necesidades simultáneas de presión y vacío, consultar.

$\Delta p(\text{mbar})$		100		200		300		400		500	
Modelo	RPM	Q m³/h	P HP	Q m³/h	P HP	Q m³/h	P HP	Q m³/h	P HP	Q m³/h	P HP
R100	1450	29	0,4	20	0,5	12	0,7				
	2250	53	0,6	45	0,8	37	1,1				
	2900	73	0,7	64	1,1	57	1,4				
	4500	122	1,1	113	1,7	105	2,1	97	2,6		
R200	1450	62	0,6	47	0,9	34	1,3				
	2250	110	0,9	96	1,4	82	1,9				
	2900	150	1,2	136	1,9	122	2,4	108	3,104		
	4500	248	1,7	233	2,9	219	3,8	205	5		
R300	1450	87	0,6	70	1,1	53	1,5				
	2250	154	0,9	136	1,7	119	2,3	101	3,0		
	2900	207	1,2	190	2,1	173	3,0	155	3,9		
	4500	340	1,8	322	3,3	306	4,7	288	6,0		
R500	1450	140	1,0	118	1,7	104	2,3				
	2250	240	1,5	210	2,6	197	3,7	189,75	4,7		
	2900	319	1,9	298	3,4	277	4,6	256	5,9		
	4500	518	3,0	496	5,2	476	7,1	454	9,2		
R600	1450	181	1,2	147	2,2	115	3,0				
	2250	315	1,8	281	3,4	249	4,7	215	6,1		
	2900	425	2,4	391	4,3	359	6,0	325	7,9		
	4500	686	3,7	660	6,7	628	9,3	594	12,1		
R1000	1450	294	2,0	266	3,4	240	4,6	212	5,8		
	2250	484	3,1	456	5,3	430	7,1	403	9,1		
	2900	638	4,0	611	6,8	585	9,1	557	11,7		
	4300	972	6,0	944	9,8	919	13,6	892	17,4	858	21,1
R1200	1450	429	2,5	396	4,5	365	6,2	322	8,1		
	2250	669	4,0	666	7	635	9,6	602	12,4		
	2900	919	5,0	886	9	854	12,4	822	16,0	784	19,7
	4300	1459	7,9	1426	14	1395	19,2	1362	24,8		
R1.5	1450	599	4,0	578	7	513	9,1	468	11,6		
	2250	976	6,2	932	10,4	889	14,1	844	18,0		
	2900	1283	8,0	1238	13,5	1197	18,7	1152	23,2	1103	28,3
	3400	1518	9,3	1474	15,8	1431	21,2	1386	27,3	1338	33,2
R2.0	1450	886	5,1	831	9,1	799	12,5	724	16,102		
	2250	1431	8,0	1376	14,1	1324	19,4	1269	25,0	1206	30,7
	2900	1874	10,3	1819	18,1	1767	24,9	1712	32,3	1648	39,7
	3400	2215	12,0	2160	21,3	2108	29,3	2053	37,8		
R2.5	1450	1261	6,6	1189	12,2	1121	17,0	1049	22,2		
	2250	2031	10,3	1959	18,9	1891	26,4	1819	34,4		
	2900	2657	13,3	2585	24,4	2516	34,0	2444	44,4		
	3400	3138	15,5	3066	28,6	2998	39,9	2925	52,1		
R3.0	1450	1260	7,4	1188	12,9	1120	17,8	854	19,7		
	1750	1548	8,9	1477	15,1	1408	22	1295,9	28,5	1214,4	34,9
	2250	2029	11,4	1957	19,5	1889	27,5	1816	35,5	1733	43,6
	2750	2509	14,0	2437	24,5	2369	33,7	2250	43,5	2214	53,3
R3.5	1450	1694	9,2	1591	16,7	1492	23,3	1382	30,3		
	1750	2085	11,1	1981	20,2	1882	28,0	1778	36,6		
	2250	2737	14,3	2632	25,9	25,34	36,1	2448	46,9	2308	57,8
	2750	3389	17,5	3284	31,7	3185	44,0	3080	57,4		
R3.8	1450	2390	12,2	2225	22,9	2070	32,3	1903	42,3		
	1750	2948	14,7	2784	27,7	2627	38,9	2462	51,0		
	2250	3878	18,9	3713	35,6	3558	50,1	3391	65,6	3202	81,2
	2750	4808	23,2	4643	43,5	4487	61,2	4329	80,2		
R4.0	1000	1665	9,4	1565	16,8	1472	23,2	1371	30,0		
	1450	2498	13,6	2399	24,3	2304	33,6	2204	43,6	2089	53,5
	1750	3053	16,4	2953	29,3	2859	39,9	2759	52,6	2644	64,6
	2150	3794	20,2	3693	36	3600	49,8	3499	64,5	3384	79,3
R4.5	1000	2247	11,7	2115	21,7	1992	30,3	1861	39,6		
	1450	3367	17,1	3237	31,4	3113	43,9	2980	57,3	2831	70,8
	1750	4115	20,6	3984	37,9	3860	53,0	3729	69,3	3577	85
	2150	5112	25,3	4980	46,6	4856	65,1	4725	85,1		
R5.0	900	3059	18,8	2888	32,4	2724	43,9	2552	56,6		
	1150	4000	24,2	3827	41,4	3665	58,3	3492	72,3		
	1450	5125	30,4	4952	52,2	4791	70,9	4620	91,2	4422	111
	1700	6066	35,6	5893	61,2	5729	83,1	5556	107	5360	131
R5.5	900	4616	25,0	4388	45,1	4173	62,5	3943	81		
	1150	6017	32,0	5788	57,7	5573	79,8	5343	104	5080	128
	1450	7691	40,4	7466	72,7	7252	101	7025	131	6760	161
	1700	9091	47,2	8866	85,2	8648	118	8423	153		
R6.0	800	5854	34,5	5585	60	5327	82	5049	106		
	1000	7450	43,2	7175	75	6919	102	6645	132	6328	162
	1200	9040	51,8	8764	90	8511	123	8234	158	7919	194
	1350	10233	58,3	9961	101	9688	138	10225	191	9109	218
R6.5	800	7892	42,6	7548	76,6	7230	106	6881	138		
	1000	10025	53,3	9689	95,8	9365	133	9017	172	8622	212
	1200	12158	63,9	11816	115	11493	159	11154	207	10760	254
	1350	13768	71,9	13425	129	13099	179	12749	233	12361	286



Recomendamos verificar con Repicky o su representante, el motor adecuado para las condiciones de operación solicitadas, ya sean de presión o vacío.



Conversión de Unidades

Caudal

$\text{Nm}^3/\text{h} (\text{aire}) \times 1,0728 = \text{m}^3/\text{h std}$
 $\text{Pie}^3/\text{min} (\text{SCFM}) \times 1,69 = \text{m}^3/\text{h std}$
 $\text{l/h} \times 0,001 = \text{m}^3/\text{h standard}$
 $\text{L}/\text{min} \times 0,06 = \text{m}^3/\text{h std}$

Presión

$\text{PSIG} (\text{lb}/\text{plg}^2) \times 68,9 = \text{mbar}$
 $\text{At}(\text{Kg}/\text{cm}^2) \times 980,06 = \text{mbar}$
 $\text{m H}_2\text{O a } 4^\circ\text{C} \times 98 = \text{mbar}$
 $\text{mmHg a } 0^\circ\text{C} \times 1,332 = \text{mbar}$
 $\text{Torr} \times 1,333 = \text{mbar}$

Potencia

$\text{HP} \times 0,746 = \text{KW}$
 $\text{KW} \times 1,341 = \text{HP}$



REPICKY



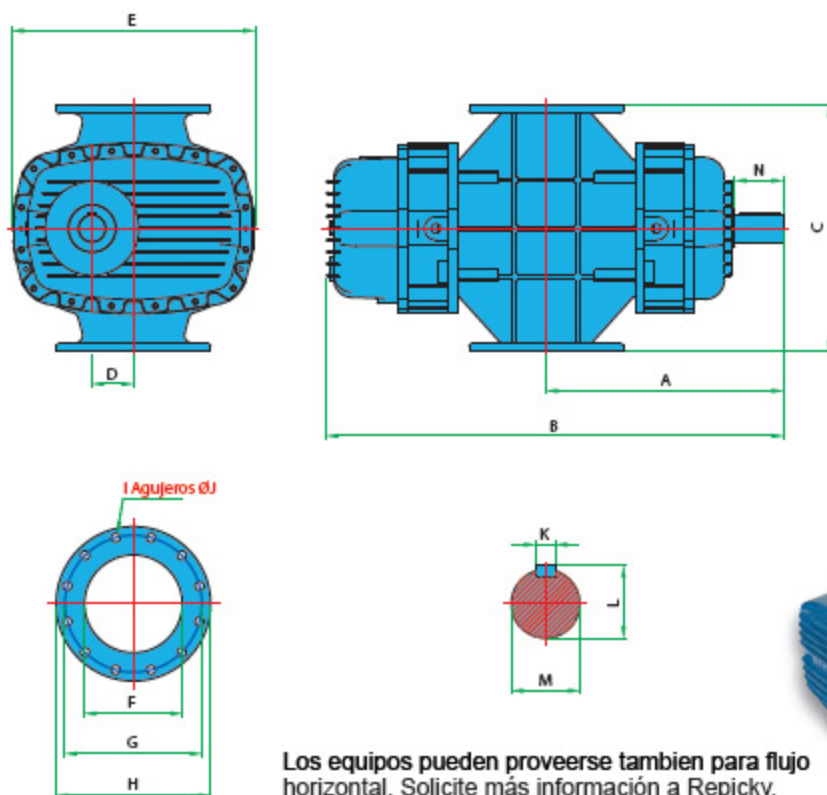
Soplador R300 con accesorios



Soplador MR-100, acople directo con accesorios



Soplador R200 con accesorios



Los equipos pueden proveerse también para flujo horizontal. Solicite más información a Repicky.



Rotores sincronizados



Cabezal R2.5AV

	Dimensiones generales					detalle bridas					eje				Peso
Modelo	A	B	C	D	E	ØF	ØG	ØH	I	ØJ	K	L	ØM	N	Kg
R100	solicite folleto para este modelo														21
R200	200	382	193	34	215	50	125	150	4	11	8	33	30	66	38
R300	221	427	214	34	215	80	160	200	4	18	8	32	30	70	41
R500	258	516	260	43	260	80	160	200	4	18	12	42	40	85	64
R600	286	572	260	43	260	100	180	220	8	18	12	42	40	85	69
R1000	319	636	360	53,3	332	100	180	220	8	18	14	47,5	45	97	110
R1200	361	718	360	53,3	326	100	180	220	8	18	14	47,5	45	96	120
R1.5	376	741	400	67,5	430	150	240	285	8	22	16	57,5	55	99	193
R2.0	428	846	400	67,5	435	150	240	285	8	22	16	57,5	55	99	222
R2.5	498	986	400	67,5	430	150	240	285	8	22	16	57,5	55	99	234
R3.0	475	917	500	84	487	150	240	285	8	22	18	63	60	125	302
R3.5	529	1018	500	83,8	487	200	295	340	8	22	18	63	60	120	393
R3.8	620	1198	500	84	487	200	295	340	8	22	18	63	60	125	470
R4.0	542	1039	630	106	615	200	295	340	8	22	20	74	70	125	571
R4.5	607	1170	630	106	615	250	350	395	12	22	20	74	70	125	814
R5.0	605	1162	710	135	842	250	350	395	12	22	25	94	90	135	1250
R5.5	720	1392	710	135	842	300	400	440	12	22	25	94	90	135	1360
R6.0	837,5	1578	1000	167,5	960	300	400	445	12	22	28	106	100	210	1780
R6.5	947,5	1798	1000	167,5	975	350	460	505	16	22	28	106	100	210	2020

Sopladores y Bombas de Vacío para prestaciones de máximo eficiencia

Desde 1965 somos en Argentina la Empresa Líder en la fabricación de Sopladores y Bombas de Vacío tipo Roots libres de aceite, para aire y gases en general. Nuestros equipos, reconocidos por su robustez y confiabilidad, están presentes en las más importantes y exigentes instalaciones tanto en nuestro país como en el exterior. La línea **RA** de este catálogo comprende equipos que operan con presiones relativas de hasta **1 bar** y vacío relativo de **0,5 bar**. Disponemos de la línea de Vacío Medio **RVM** con valores hasta menos **0,9 bar** relativos. Completan la línea nuestros boosters para alto vacío.



Uso en transporte neumático por presión positiva



Uso en aireación de efluentes líquidos con difusores a membrana

Los equipos **REPICKY** son utilizados en:

- TRANSPORTE NEUMÁTICO POR PRESIÓN O VACÍO.
- AIREACIÓN DE EFLUENTES LÍQUIDOS INDUSTRIALES Y CLOACALES.
- AGITACIÓN NEUMÁTICA.
- SECADO POR VACÍO.
- CAMIONES SUCCIONADORES Y DESOBSTRUCTORES.
- COMO SOBREALIMENTADORES EN PRESIÓN Y VACÍO.
- EN ENVASADORAS, METALIZADORAS POR VACÍO O ALTO VACÍO.

Somos Proveedores de: INDUSTRIAS ALIMENTICIAS, QUÍMICAS, TEXTILES, CURTIEMBRES, METALÚRGICAS, PETROQUÍMICAS, CEMENTERAS, FARMACÉUTICAS, GRÁFICAS, CONSTRUCTORAS, PESQUERAS, PISCICULTURA, INDUSTRIA DEL VIDRIO Y MINERAS, ENTRE OTRAS.



Nuestros ingenieros están preparados para orientarlo en la selección del equipo más eficiente para su proceso, ya sea actual o futuro, permitiendo optimizar su inversión en cada etapa. Como concepto integral brindamos servicios de puesta en marcha y mantenimiento acorde con las necesidades de nuestros clientes.



REPICKY SA

Ventas: Calle 162 N° 98
(B1883 FKB) Bernal Oeste - Bs. As - Argentina
Tel/fax: 54-11- 5354-5100 / 4259-2618

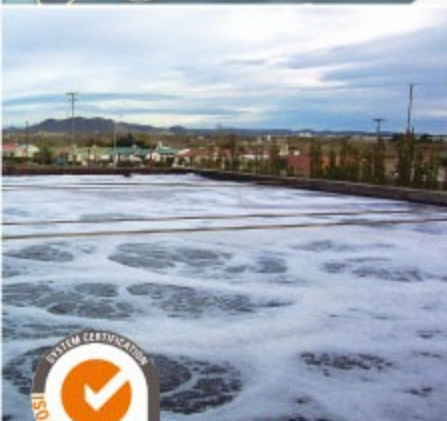
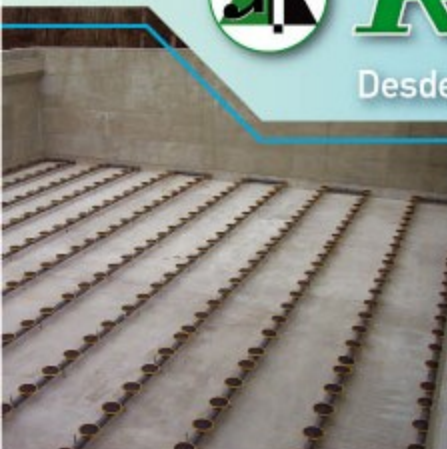
sopladores@repicky.com.ar / comex@repicky.com.ar
más productos en www.repicky.com.ar





REPICKY

Desde 1965 el aire confiable en sus proyectos



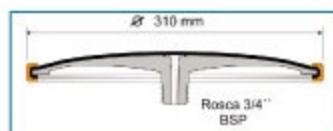
**Sistemas de aireación
para tratamiento
de efluentes líquidos
Industriales y cloacales**

La mejor alternativa para optimizar los costos operativos

Los difusores de membrana Repicky se fabrican en dos versiones, los de burbuja fina modelo RG-300, con miles de microperforaciones permiten obtener valores muy altos de transferencia de O_2 siendo ideales para su instalación en los reactores aeróbicos de las plantas de tratamiento de efluentes, tanto industriales como cloacales.

Difusor de burbuja fina | RG-300

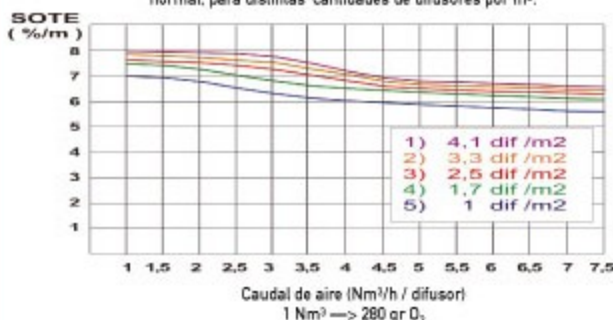
Rango de caudal:	2 a 8 Nm ³ /hora
Caudal de diseño:	5 Nm ³ /hora
Pérdida de carga:	20 mbar para 2 Nm ³ /hora 40 mbar para 5 Nm ³ /hora 70 mbar para 8 Nm ³ /hora
Densidad:	1 a 6 difusores/m ²
SOTE:	15,4 gr. (5.5%) a 22,4 gr. (8%) por m ³ /h de aire y por m de profundidad.
Eficiencia de transferencia de O_2 :	2.5 — 6 Kg. O_2 /KWh



Para otros diámetros o materiales de cañerías consultar el tipo de adaptador.

Por otra parte los difusores de burbuja gruesa CB-300 se utilizan en tanques de equalización, digestores aeróbicos y también en cámaras de aireación de efluentes con muy baja demanda de O_2 (DBO).

Transferencia de O_2 para el modelo RG-300 por metro de profundidad en función del caudal de aire por difusor (m³/h) a 20° C, agua limpia y presión atmosférica normal, para distintas cantidades de difusores por m².



La membrana de EPDM de ambos modelos permite operar en forma intermitente, sin que ingrese líquido a las cañerías sumergidas facilitando el arranque de los soplores de aire.

Difusor de burbuja gruesa | CB-300

Rango de caudal:	3 a 25 Nm ³ /hora
Caudal de diseño:	10 Nm ³ /hora
Pérdida de carga:	20 mbar para 3 Nm ³ /hora 40 mbar para 10 Nm ³ /hora 70 mbar para 25 Nm ³ /hora
Densidad:	0.5 a 3 difusores/m ²
SOTE:	5.1 gr. (1.8%) a 7.4 gr. (2.6%) por m ³ /h de aire y por m de profundidad.
Eficiencia de transferencia de O_2 :	0.8 — 2 Kg. O_2 /KWh



REPICKY

Ofrecemos sistemas de alta eficiencia para la aireación y mezcla de efluentes líquidos industriales y cloacales. La tecnología desarrollada por REPICKY permite el uso de los sistemas de aireación no sólo en nuevos proyectos sino en la optimización de plantas existentes.

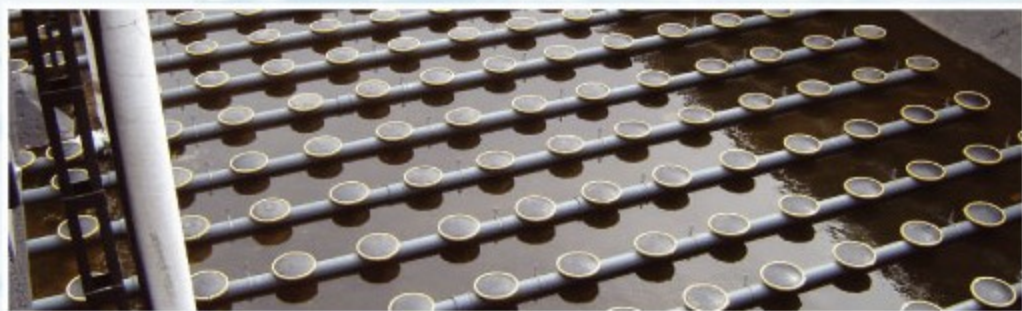


SISTEMAS DE GRILLA FIJA

Es el sistema más utilizado para la instalación de difusores a membrana.

Existen distintas configuraciones de grillas que permiten adaptarse a todas las geometrías de tanques, de modo de operar en forma eficiente aún en procesos con demandas de O_2 variables.

Los difusores son montados en ramales de PVC o PP y llevan soportes regulables de acero inoxidable para su vinculación al fondo y su correcta nivelación.



PRINCIPALES VENTAJAS FRENTE A LA AIREACIÓN MECÁNICA:



- Ahorro de energía eléctrica de hasta un 50%.
- Mayor flexibilidad ante demandas de oxígeno variables.
- Eliminación de spray contaminantes en los alrededores de la planta.
- Menores costos de mantenimiento.
- Eliminación de zonas muertas en cualquier geometría de reactor y en cualquier profundidad.



- Posibilidad de crecimiento modular tanto en los difusores como en los sopladores, la que permite cubrir las necesidades de aire en forma confiable y con los montos de inversión adecuados en cada etapa del crecimiento.





SISTEMAS DE MÓDULOS REMOVIBLES

Son recomendados para aquellas instalaciones donde el vaciado del reactor a futuro, para tareas de mantenimiento quiera evitarse por completo. En este caso la grilla se divide en módulos removibles con alimentación independiente de aire.

Existen distintas configuraciones de módulos que se adaptan a todas las geometrías, incluyendo plantas en operación.



REPICKY



Más productos en www.repicky.com.ar

Los Sistemas Repicky son la mejor opción para la aireación de efluentes líquidos Industriales o cloacales.

La línea de Sopladores comprende equipos desde 10 m³/h hasta 12.000 m³/h y presiones de hasta 1 bar lo que permite su aplicación aún en reactores muy profundos. Los difusores de membrana permiten altas tasas de transferencia O₂ optimizando los costos operativos en comparación con la aireación mecánica convencional.

Nuestros servicios abarcan la ingeniería para la correcta selección del sistema, hasta la provisión llave en mano cuando es requerido por el cliente. Los equipos Repicky son reconocidos internacionalmente por su robustez y confiabilidad.



REPICKY SA

Gral. Smith 76 - (B1883FKB) - Bernal Oeste

Pcia. de Buenos Aires - Argentina

email: difusores@repicky.com.ar

Tel/Fax: 011 - 5354-5100 / 4259 - 2618

www.repicky.com.ar



Consultas fuera del País:
Tel/Fax: 54-11-5354 - 5100
email: comex@repicky.com.ar