

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA Y TEXTIL



TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL

DE INGENIERO QUIMICO

**“EVALUACION TECNICA Y ECONOMICA DE UNA PLANTA PILOTO
DE EFLUENTES INDUSTRIALES”**

PRESENTADO POR:

PABLO CESAR SÁNCHEZ ALVARADO

LIMA – PERU

2009

INDICE

INDICE.....	ii
CAPITULO 1 - INTRODUCCION	4
1.1 Planteamiento del problema	4
CAPITULO 2 - ANTECEDENTES	6
2.1 Descripción de las actividades de la empresa.....	6
2.2 Estado actual del efluente.....	6
2.2.1 Estudios.....	6
2.2.2 Monitoreos.....	10
2.3 Leyes nacionales e internacionales y normas vigentes	12
CAPITULO 3 – SELECCIÓN DE TRATAMIENTO	15
3.1 Depuración Físicoquímica	16
3.2 Depuración Biológica	19
3.3 Proceso de depuración utilizado en la agroindustria.....	24
3.4 Selección del método utilizado	26
CAPITULO 4 – FUNDAMENTO DE LA TECNOLOGIA SELECCIONADA	36
4.1 Tecnología escogida	36
4.2 Fundamento teórico del proceso	37
4.3 Parámetros del proceso	46
4.4 Variables de control.....	48
4.5 Diseño del equipo piloto	50
CAPITULO 5 – DESCRIPCION DEL EQUIPO	54
5.1 Descripción técnica de los equipos.....	54
5.2 Descripción mecánica	57
5.3 Descripción eléctrica.....	58
5.4 Sistemas de control.....	58
5.5 Esquema de diseño	60
CAPITULO 6 – OPERACIÓN DE LA PLANTA PILOTO	61
6.1 Operación de la planta piloto.....	61
6.1.1 Pruebas hidráulicas	61
6.1.2 Pruebas mecánicas	61
6.1.3 Puesta en marcha	62
6.1.4 Formación de lodos.....	63
6.1.5 Configuraciones.....	64
6.2 Comportamiento del efluente	64
6.3 Monitoreo del efluente.....	66
6.3.1 Método del monitoreo	66
6.3.2 Puntos de muestreo	66
6.3.3 Variables monitoreadas	67
6.4 Análisis de las variables de operación	67
6.5 Rango de valores de las variables en estudio	68
6.5.1 Variación de ph	68

6.5.2	Variación de oxígeno disuelto	68
6.5.3	Variación de porcentaje de lodos.....	68
6.5.4	Variación de DBO.....	69
6.6	Efecto de las variables manipulables	69
6.6.1	Caudal	69
6.6.2	Aireación.....	69
6.6.3	Recirculación	69
CAPITULO 7 - RESULTADOS		70
7.1	Datos reales del efluente y monitoreo en el equipo piloto	70
7.2	Resultados del equipo piloto.....	71
7.3	Análisis de resultados.....	72
7.4	Selección del punto de diseño y operación	77
7.5	Caracterización del efluente	77
7.6	Hipótesis y confirmación de algunos parámetros.....	79
7.7	Bases de diseño.....	79
7.8	Características del efluente de salida requeridos	80
7.9	Diseño final del sistema de tratamiento	80
7.10	Consumo de reactivos químicos y energía.....	81
CAPITULO 8 - COSTOS		82
8.1	Costos de equipos y servicios	82
8.2	Costo de operación de la planta piloto.....	84
8.3	Costo real del sistema de tratamiento	84
CAPITULO 9 - CONCLUSIONES		85
9.1	Conclusiones	85
9.2	Observaciones	85
CAPITULO 10 - BIBLIOGRAFIA		86
•	Degrémont Water Treatment Handbook: Industrial effluents. Sixth edition. Año 1991. Lavoisier Publishing. France	86
•	Metcalf & Eddy Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento vertido y reutilización. Tercera edición. Año 1998. Mc Graw Hill. España	86
•	American Water Works Association Research Foundation Water treatment: Membrana processes. Primera edición. Año 1996. Mc Graw Hill. EEUU	86
CAPITULO 11 - ANEXOS		87
11.1	Registro de datos diarios.....	87
11.2	Fotos	95
11.3	Planta piloto	100
11.4	Resultados SGS.....	103

CAPITULO 1

INTRODUCCION

1.1 Planteamiento del problema

En los últimos años las empresas agroindustriales están creciendo significativamente, por las exigencias del mercado y con los nuevos proyectos del Perú de firmar tratados de libre comercio con los EEUU, Canadá y esta apuntando al mercado Asiático. Los niveles de producción crecerán progresivamente incrementando los efluentes en todo el proceso.

La progresiva concientización de la colectividad acerca del deterioro que la actividad humana origina en su entorno, ha promovido la promulgación de normas medioambientales cada vez más estrictas, en todos los países unos más estrictos que otros, obligando a los países exportadores a cumplir con estas exigencias en el proceso productivo, para poder ingresar al mercado.

No todas las empresas agroindustriales del Perú producen lo mismo, por lo tanto los efluentes que generan varían entre ellas, esto implica que no se puede tener un sistema de tratamiento establecido que resuelva el problema para todas en su conjunto.

Son pocas las empresas dedicadas a este rubro que cuentan con sistemas de tratamiento de efluentes modernos, eficientes y confiables. En los próximos años las exigencias serán mayores y no estarán preparadas para afrontarlas.

Esta tendencia, unida al elevado costo de explotación de las plantas de tratamiento de efluentes industriales y a la escasa superficie disponible para su construcción, han promovido el desarrollo de plantas de tratamiento capaces de eliminar materia orgánica y nutrientes del agua residual mediante diversos procesos biológicos y físico-químicos que tienen lugar en reactores óxicos, anóxicos, anaerobios y facultativos.

No obstante, la complejidad de estas plantas se puede llegar al grado de generar dificultades de trabajo de los operadores, que demandan herramientas que faciliten la operación fiable y eficiente de las plantas de tratamiento.

Descripción de los objetivos

El fin del estudio consiste en obtener el diseño final de un sistema de tratamiento para eliminar los contaminantes a un grado tal, que su vertimiento no ocasione ningún perjuicio a la fauna y flora del medio receptor.

Para ello tenemos que desarrollar los siguientes puntos:

- Determinar los parámetros de diseño del sistema de tratamiento de efluentes
- Determinar las variables óptimas de operación.
- Establecer el costo-eficacia del sistema.

CAPITULO 2

ANTECEDENTES

2.1 Descripción de las actividades de la empresa

La planta agroindustrial donde se realizaran los estudios se ubica en la Región La Libertad, se dedica principalmente al cultivo de hortalizas y procesamiento de conservas vegetales como pimiento del piquillo, alcachofa y espárragos de dos clases, blancos y verdes. Estos productos, gracias a su calidad, son en su mayoría exportados a los diferentes mercados de Europa, Oceanía y América del Sur.

Las actividades productivas de la planta de, son la elaboración de conservas de espárragos, pimientos y alcachofas.

Los procesos productivos se realizan en dos sectores que se denominan Planta 1 y Planta 2; en la Planta 1 se producen conservas de pimientos y alcachofas y en la Planta 2 se producen conservas de espárragos.

2.2 Estado actual del efluente

2.2.1 Estudios

Se cuenta con el informe final de la empresa SACITEC S.A. Los objetivos del estudio fueron dos:

- Caracterizar el agua residual generada en los procesos productivos de la Planta, durante tres días del periodo de alta producción.
- Medir el Caudal horario del agua residual generada en los procesos productivo de la Planta durante tres días del periodo de alta producción.

El nivel de producción de las conservas de espárragos varía ligeramente durante el año; asimismo se producen conservas de pimiento todo el año sin embargo el nivel de producción es muy variable. La producción de conservas de alcachofas se realiza durante seis meses por año aproximadamente, siendo el periodo de alta producción los meses de Agosto, Setiembre y Octubre y el periodo de baja producción de Noviembre-Diciembre. Véase en el Gráfico N°2.2.1.1 la representación de los volúmenes procesados en los dos periodos de medición de caudales.

GENERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

En los procesos productivos, de las diversas etapas, se requiere el uso de agua dando lugar a la generación a efluentes industriales.

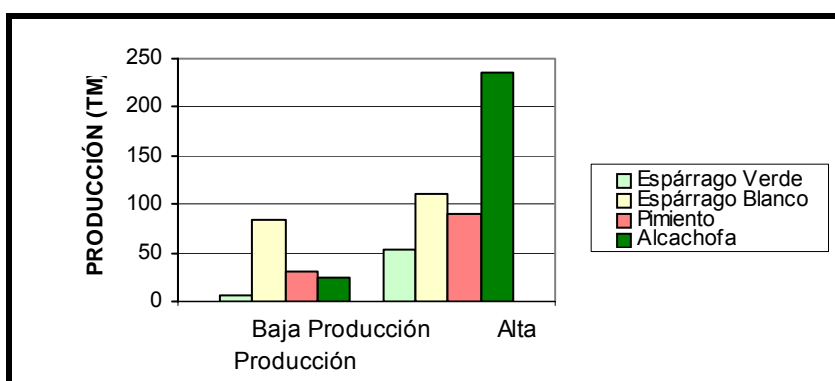


Grafico Nº 2.2.1.1 Nivel de producción en los dos periodos de medición

Las aguas residuales industriales generadas en las plantas se descargan por dos redes independientes; una red recolecta las aguas residuales de las actividades productivas de la Planta 1 y la otra red recolecta las descargas de la Planta 2. Ambas redes se reúnen en una caja de registro fuera de la planta.

Actualmente, el agua residual procedente de los ablandadores y purgas del caldero son descargados a la red de la Planta 2. Considerando que la producción diaria en la planta es variable, el volumen diario de generación de aguas residuales también variará, siendo mayor en periodos de mayor producción.

Agua para uso industrial

Calderos

Procesos

Sanitización de líneas de proceso

Sanitización de jvas y bandejas

Agua para uso doméstico

Comedor

Servicios Higiénicos

Lavandería

Riego de jardines

PLANTA 1

Conservas de Pimientos

En las descargas de aguas residuales del proceso, destacan dos puntos de alta generación que son:

- lavado del pimiento luego del cocinado y
- lavado del pimiento luego del cortado

Ambas descargas son continuas y se caracterizan por presentar color marrón negrozco y contenido de sólidos: pequeñas láminas negras o piel del pimiento tostado y semillas de éste. Por un aforo se halló que la descarga de aguas residuales del lavado del pimiento, luego de cortado, es de aproximadamente 2-3 litros por segundo (l/s) por línea; estas dos descargas son las que mayormente contribuyen a la contaminación por materia orgánica en los efluentes industriales de la Planta N° 1.

Otra contribución importante al caudal, es la a sanitización de las líneas de producción de pimiento, que se realiza con abundante agua y sus descargas elevan el caudal de agua residual y contienen sustancias cloradas.

Durante el tratamiento térmico, también se descarga agua residual, procedente del ciclo térmico de alta temperatura, esta descarga es de baja contaminación y temperatura entre 80- 90°C. También al finalizar el tratamiento térmico, se descarga hacia las canaletas: (i) el agua del interior de los autoclaves y luego (ii) el agua de la sanitización de los autoclaves.

La contaminación por materia orgánica de las aguas residuales de la planta N° 1 se incrementa en la producción de conservas que llevan aceite en el líquido de gobierno.

Conservas de Alcachofas

La etapa de mayor generación de aguas residuales es la del blanqueado o escaldado de doble efecto, en la cual las alcachofas se someten a dos temperaturas: 45° C y 90° C y luego se enfrían en agua; por lo tanto las temperaturas de descarga de las aguas residuales en esta etapa son del mismo orden y de diferente caudal.

Por aforo, se ha determinado que durante la operación del equipo de doble efecto, se descargan 5 litros por segundo (lps) aproximadamente de aguas residuales, con lo cual durante el procesamiento de alcachofa se da lugar a una contribución relevante para la descarga de la planta N° 1. El agua residual del sistema de doble efecto es de color verdoso claro y escasos sólidos suspendidos y se reúnen en una caja de registro ubicada en el jardín colindante con el área del equipo de escaldado.

Por ser procesamiento de alimentos, la sanitización de las líneas tiene una contribución importante al caudal de la Planta N° 1, ya que se hace uso de abundante agua, principalmente al finalizar la producción diaria.

En la etapa de tratamiento térmico, también se genera agua residual, procedente del ciclo térmico de alta temperatura, esta descarga es de baja contaminación y temperatura entre 80- 90°C. También al finalizar el tratamiento térmico, se descarga hacia las canaletas: (i) el agua del interior de las autoclaves y luego (ii) las aguas de la sanitización de las autoclaves.

Conservas de Alcachofas - fondos

La generación de aguas residuales en este proceso es menor que en el caso del procesamiento de las alcachofas, sin embargo las etapas en que se genera el mayor volumen son las mismas: blanqueado y enfriamiento, y contribuye también la sanitización y las descargas del tratamiento térmico.

Similarmente que en el caso del proceso de pimientos, la contaminación por materia orgánica de las aguas residuales de la planta N° 1 se incrementa con la producción de conservas de alcachofas que llevan aceite en el líquido de gobierno.

Planta 2

Conservas de Espárragos

Es importante mencionar que esta línea es la de mayor capacidad de producción y por lo tanto la que contribuye en mayor proporción al caudal total de las aguas residuales industriales de la planta.

Los caudales mayores que se generan están localizados en las etapas de lavado de la materia prima, pelado y enfriamiento de los espárragos luego del blanqueado; estas descargas son continuas durante el proceso, no tienen color, presentan bajo contenido de sólidos suspendidos y son de menor contaminación por materia orgánica que las aguas residuales de la Planta N° 1.

En general, al ser mayor los niveles de producción, contribuirán proporcionalmente a incrementar el caudal, la mayor frecuencia de operación de las autoclaves y una mayor área que requiere sanitizarse.

2.2.2 Monitoreos

Para la caracterización de las aguas residuales de la agroindustria, SACITEC programó inspecciones de muestreo en los dos puntos de salida de las plantas, que denominaremos Puntos de Monitoreo:

Punto PM-1 - Descarga de la Planta N° 1

Punto PM-2 - Descarga de la Planta N° 2

Las muestras compensadas fueron analizadas en los Laboratorios Envirolab-Perú S.A.C., Laboratorio Acreditado por Indecopi.

Código de Muestra compensada	Periodo y fecha de Muestreo	Parámetros a Determinar en la muestra compensada
AR-SV/1	08:00 a 19:00 h	pH
	Del 20.07.05	DBO5
AR-SV/2	08:00 a 19:00 h	DQO*
	Del 21.07.05	NTK*
AR-SV/3	08:00 a 19:00 h	Fósforo Total*
	Del 22.07.05	Aceites y grasas*

Cuadro N° 2.2.2.1 (*Muestras preservadas)

Fecha	Descarga Planta N° 1 (PM-1)				Descarga Planta N° 2 (PM-2)			
	T(°C)		pH		T(°C)		pH	
	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
20/07/2005	25.1	31.8	5.9	7.5	24.5	41	7.5	7.8
21/07/2005	22.6	29.8	6.1	7.8	25.8	35.2	7.5	7.8
22/07/2005	25.7	30.4	4.7	7.6	26.2	37.3	7.5	7.8

Cuadro N° 2.2.2.2 valores Máximos y Mínimos de pH y Temperatura

Parámetro	Muestra AR-SV/1	Muestra AR-SV/2	Muestra AR-SV/3
DBO ₅ , mg/L	351	120	305
DQO , mg/L	468	294	774
Aceites y Grasas, mg/L	10	7	15
Sólidos Suspendidos Totales , mg /L	89	27	100
Nitrógeno Total , mg /L	10,53	<1 (C)	11,90
FósforoTotal , mg/L	1,93	1,26	2,36

Cuadro N° 2.2.2.3 Resultados de los Análisis de las Muestras Compensadas

Medición del Caudal de los efluentes líquidos industriales

Sacitec realizó una inspección de las redes de desagües industriales para aplicar el método Pendiente-Sección, en el que se mide las tirantes de descarga o alturas de líquido en el tubo cada hora, durante los tres días.

Para la aplicación del método se midió los diámetros de las tuberías que descargaban a los puntos de monitoreo y se evaluó las condiciones de los tubos, tramos de PVC. También previamente se midió la pendiente topográfica de los dos tramos finales de ambas redes. Véase en el Cuadro N° 5 las características completas del punto de medición.

Punto de Monitoreo	Diámetro (Cm)	n	Pendiente	Material
			%	
PM-1	20,32	0,0163	2,06	PVC
PM-2	30,48	0,016	2,2	PVC

Cuadro N° 2.2.2.4 Características de los Puntos de Medición

Caudales Planta N° 1			Caudales planta N° 2			Caudal Total (Planta 1 + 2)		
Mín	Máx	Prom	Mín	Máx	Prom	Mín	Máx	Prom
0,22	19,05	9,02	5,36	30,78	18,54	6,96	44,49	27,56

Cuadro N° 2.2.2.5 Caudales medidos (lps)

2.3 Leyes nacionales e internacionales y normas vigentes

Contamos con la Ley General de Aguas, donde nos muestran los valores límites permitidos según la clasificación de los cursos de agua, de las zonas costeras.

ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA

CATEGORÍA 1: POBLACIONAL Y RECREACIONAL

PARÁMETRO	UNIDAD	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable			Aguas superficiales destinadas para recreación	
		A1	A2	A3	B1	B2
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado	Contacto Primario	Contacto Secundario
		VALOR	VALOR	VALOR	VALOR	VALOR
FÍSICOS Y QUÍMICOS						
Aceites y grasas (MEH)	mg/L	1	1,00	1,00	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0,005	0,022	0,022	0,022	0,022
Cianuro Wad	mg/L	0,08	0,08	0,08	0,08	**
Cloruros	mg/L	250	250	250	**	**
Color	Color verdadero escala Pt/Co	15	100	200	sin cambio normal	sin cambio normal
Conductividad	us/cm ¹⁰	1 500	1 600	**	**	**
D.B.O. ₅	mg/L	3	5	10	5	10
D.Q.O.	mg/L	10	20	30	30	50
Dureza	mg/L	500	**	**	**	**
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,5	0,5	na	0,5	Ausencia de espuma persistente
Fenoles	mg/L	0,003	0,01	0,1	**	**
Fluoruros	mg/L	1	**	**	**	**
Fósforo Total	mg/L P	0,1	0,15	0,15	**	**
Materiales Flotantes		Ausencia de material flotante	**	**	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitratos	mg/L N	10	10	10	10	**
Nitritos	mg/L N	1	1	1	1(5)	**
Nitrógeno amoniacal	mg/L N	1,5	2	3,7	**	**
Olor		Aceptable	**	**	Aceptable	**
Oxígeno Disuelto	mg/L	>= 6	>= 5	>= 4	>= 5	>= 4
pH	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 – 9,0	6-9 (2,5)	**
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500	**	**
Sulfatos	mg/L	250	**	**	**	**
Sulfuros	mg/L	0,05	**	**	0,05	**
Turbiedad	UNT ²⁰	5	100	**	100	**
INORGÁNICOS						
Aluminio	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2	**
Antimonio	mg/L	0,006	0,006	0,006	0,006	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,05	0,01	**
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	0,7	**
Berilio	mg/L	0,004	0,04	0,04	0,04	**
Boro	mg/L	0,5	0,5	0,75	0,5	**
Cadmio	mg/L	0,003	0,003	0,01	0,01	**
Cobre	mg/L	2	2	2	2	**
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	**
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	**
Hierro	mg/L	0,3	1	1	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	0,4	0,5	0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,001	**
Níquel	mg/L	0,02	0,025	0,025	0,02	**
Plata	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	0,05
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	**
Selenio	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	**
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	5	5	3	**
ORGÁNICOS						
I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES						
Hidrocarburos totales de petróleo, HTTP	mg/L	0,05	0,2	0,2		
Trihalometanos	mg/L	0,1	0,1	0,1	**	**
Compuestos Orgánicos Volátiles, COVs						
1,1,1-Tricloroetano -- 71-55-6	mg/L	2	2	**	**	**
1,1-Dicloroetano -- 75-35-4	mg/L	0,03	0,03	**	**	**
1,2 Dicloroetano -- 107-06-2	mg/L	0,03	0,03	**	**	**
1,2-Diclorobenceno -- 95-50-1	mg/L	1	1	**	**	**
Hexaclorobutadieno -- 87-68-3	mg/L	0,0006	0,0006	**	**	**
Tetracloroetano -- 127-18-4	mg/L	0,04	0,04	**	**	**
Tetracloruro de Carbono -- 56-23-5	mg/L	0,002	0,002	**	**	**
Tricloroetano -- 79-01-6	mg/L	0,07	0,07	**	**	**
BETX						

CATEGORÍA 3: RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDAS DE ANIMALES

PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES DE TALLO BAJO Y TALLO ALTO		
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR
Fisicoquímicos		
Bicarbonatos	mg/L	370
Calcio	mg/L	200
Carbonatos	mg/L	5
Cloruros	mg/L	100-700
Conductividad	(μ S/cm)	<2 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	15
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	40
Fluoruros	mg/L	1
Fosfatos - P	mg/L	1
Nitratos (NO ₃ -N)	mg/L	10
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	0,06
Oxígeno Disuelto	mg/L	> =4
pH	Unidad de pH	6,5 – 8,5
Sodio	mg/L	200
Sulfatos	mg/L	300
Sulfuros	mg/L	0,05
Inorgánicos		
Aluminio	mg/L	5
Arsénico	mg/L	0,05
Bario total	mg/L	0,7
Boro	mg/L	0,5-6
Cadmio	mg/L	0,005
Cianuro Wad	mg/L	0,1
Cobalto	mg/L	0,05
Cobre	mg/L	0,2
Cromo (6+)	mg/L	0,1
Hierro	mg/L	1
Litio	mg/L	2,5
Magnesio	mg/L	150
Manganeso	mg/L	0,2
Mercurio	mg/L	0,001
Níquel	mg/L	0,2
Plata	mg/L	0,05
Plomo	mg/L	0,05
Selenio	mg/L	0,05
Zinc	mg/L	2
Orgánicos		
Aceites y Grasas	mg/L	1
Fenoles	mg/L	0,001
S.A.A.M. (detergentes)	mg/L	1
Plaguicidas		
Aldicarb	μ g/L	1
Aldrin (CAS 309-00-2)	μ g/L	0,004
Clordano (CAS 57-74-9)	μ g/L	0,3
DDT	μ g/L	0,001
Dieldrin (N° CAS 72-20-8)	μ g/L	0,7
Endrin	μ g/L	0,004

CAPITULO 3

SELECCIÓN DE TRATAMIENTO

Todos los vertidos urbanos presentan impurezas minerales y orgánicas cuya naturaleza y concentración son bastante similares de una ciudad a otra, y por ello sus líneas de tratamiento son análogas. Los vertidos industriales, debido a su gran diversidad, necesitan una investigación propia de cada tipo de industria y la aplicación de procesos de tratamientos específicos.

Pueden citarse algunos factores principales que la contaminación industrial tiene en común con la contaminación de origen urbano, pero las vías de depuración, normalmente, deben definirse para cada caso específico.

Las industrias agrícolas y alimentarias, las cuales, por la naturaleza de la contaminación que producen, justifica unos tratamientos principalmente biológicos, parecidos a los de las aguas urbanas.

Las estaciones de tratamiento de aguas industriales se destinan a cumplir unas normas de vertido, que no se refieren únicamente a la DBO, a la DQO y a los contenidos de materia en suspensión, sino también, a un cierto número de compuestos minerales y orgánicos. Como nos indican las leyes peruanas y extranjeras.

La definición de todo tratamiento deberá basarse en:

- El conocimiento de los diversos contaminantes
- La caracterización de los efluentes
- La organización de los desagües y la separación de los efluentes
- La elección entre los diversos métodos de depuración fisicoquímica y/o biológica.

Por tanto, el buen funcionamiento de la instalación dependerá de que se realice previamente un estudio minucioso, ya que cualquier elemento nocivo, que no se hubiera tenido en cuenta, podría perturbar seriamente la instalación.

Los procesos de depuración pueden ser Fisicoquímicos, Biológicos o una Mezcla de ambos

3.1 Depuración Físicoquímica

El tratamiento físicoquímico generalmente es un tratamiento aplicado a los efluentes industriales y que comprende una floculación o una precipitación seguida de una separación líquido – sólido por decantación o flotación

Las aportaciones significativas de contaminación que se enumeran seguidamente, se han clasificado en función de los métodos de tratamiento que les son aplicables.

- **Elementos insolubles separables físicamente con o sin floculación:** materias grasas, flotantes. Materias sólidas en suspensión (arena, óxido, pigmentos, fibras, látex, etc.)
- **Elementos orgánicos separables por adsorción:** colorantes, detergentes, compuestos fenoles.
- **Elementos separables por precipitación:** Metales tóxicos o no, Fe, Cu, Zn, Ni, Be, Ti, Al, Pb, Hg, Cr, sulfitos, fosfatos, fluoruros por adición de Ca^{2+}
- **Elementos separables por desgasificación o stripping:** H_2S , NH_4 , alcoholes, fenoles, sulfuros.
- **Ácidos y bases:** ácido clorhídrico, nítrico, sulfúrico y fluorhídrico.

3.1.1 Caracterización de los efluentes

Para la buena definición de un sistema de tratamiento de aguas residuales industriales, es necesario disponer de los siguientes datos, cuidadosamente evaluados:

- Volúmenes diarios
- Caudales horarios mínimos y máximos
- Composición del agua de aportación a la fábrica
- Procesos continuos, discontinuos
- Importancia y periodicidad de los puntos de mayor contaminación
- Posibilidad de separación de los circuitos
- Posibilidad de tratamientos o recirculaciones locales o parciales
- Contaminaciones secundarias

Al realizar el proyecto en una agroindustria, estos datos, recogidos después del análisis de los circuitos de procesos, deben compararse con informaciones procedentes de industrias similares.

3.1.2 Principales cadenas de procesos fisicoquímicos

La depuración de un efluente se puede realizar por separado o conjuntamente, el rendimiento de la depuración depende de numerosos factores, en especial:

- Regularidad del caudal y de la carga (Carga orgánica) del efluente a tratar
- Proporción de agua residual industrial
- Concentración del agua bruta (agua sin tratar)
- Temperatura del agua a tratar

Teniendo en cuenta estos factores podemos describir los siguientes procesos con sus rendimientos:

a. Instalaciones de depuración físicas

Tenemos el pretratamiento (desbaste, desarenado, etc.), la decantación primaria, puede eliminar la DBO en el orden de 10%, los SST hasta un 90%

b. Instalaciones de depuración físico química

En ellas pueden separarse, por coagulación, las materias en suspensión no sedimentables, obteniéndose así un resultado más eficaz que mediante una simple decantación, la coagulación elimina igualmente ciertos metales pesados, así como los fosfatos. La eliminación de DBO puede estar en el orden del 70% y los SST en 90%

Las condiciones de tratamiento previo de los efluentes generados en las industrias, son más variadas que el caso de los efluentes urbanos.

La operación de desbaste automático es deseable en la mayoría de las industrias e indispensables en alguna de ellas.

El desarenado solo se realiza en algunos casos particulares.

La eliminación de aceites se utiliza con mucha frecuencia, los aceites y grasas aparecen en varios procesos productivos.

También se prevé frecuentemente la regulación del caudal hidráulico y de la carga contaminante, que puede llevarse a cabo:

- Mediante el empleo de tanques, en los que se almacena el agua de tormentas y lluvias, de volumen siempre menor que las aguas urbanas, arrastran y diluyen contaminantes. La finalidad de estos depósitos es evitar que la línea de tratamiento haya que dimensionarse en función de algunas puntas excepcionales de caudal
- Mediante el empleo de tanques de homogenización, en los que se almacena durante algunas horas, e incluso por espacio de varios días, la totalidad de los efluentes producidos por una unidad o por toda la planta procesadora. Es indispensable prever la agitación de estos depósitos. Su objetivo es el de reducir las puntas de contaminación, con el fin de evitar sobrecargas de concentración perjudiciales para el funcionamiento regular de la línea de depuración. Con ellos se consigue, además, un cierto grado de previsión en la explotación.

Algunas veces se realizan operaciones previas de neutralización, de oxidación y de reducción, para tratar efluentes concentrados o tóxicos. En estas operaciones intervienen sistemas automáticos de regulación de pH o de potencial redox.

La depuración fisicoquímica puede constituir, según el caso, una etapa intermedia o la etapa final del tratamiento total. Tiene las siguientes finalidades:

- Precipitación de metales o sales tóxicas
- Eliminación de aceites en emulsión y materias en suspensión
- Clarificación con reducción simultánea de la DBO5 coloidal y de la DQO

Este tratamiento implica la necesidad de mantener una zona de pH bastante reducida, y según la naturaleza del proceso (precipitación, cristalización, adsorción o floculación), puede realizarse en reactores, decantadores o clarificadores muy diferentes

La elección de uno de estos equipos depende no solo del proceso dominante que haya de efectuarse, sino también de otros parámetros propios de la industria considerada.

Según las circunstancias, esta depuración fisicoquímica puede ir precedida o seguida de uno de los siguientes procesos:

- Neutralización
- Oxidación o reducción
- Desgasificación

Solo se quiere una filtración en el caso de normas de vertido muy estrictas relativas a las materias en suspensión y a los metales totales.

3.2 Depuración Biológica

En la depuración biológica aerobia de los efluentes, intervienen sistemas que provocan el desarrollo de bacterias que por acción física y fisicoquímica, retienen la contaminación orgánica, alimentándose de la misma.

Entre los mecanismos de depuración biológica se tiene que tener en cuenta los elementos que se adaptan a este tratamiento pueden ser todos los elementos biodegradables por definición, azúcares, proteínas, fenoles.

Se debe recordar los siguientes puntos:

- La relación entre la DQO y la DBO en aguas industriales es muy diferente de la que se obtiene en aguas domésticas. Esta relación evoluciona en las diversas fases del tratamiento, pudiendo llegar la DQO final, en algunos casos, hasta valores mayores de 5 veces el valor de la DBO correspondiente.
- La presencia de tóxicos muy activos puede enmascarar la presencia de materias biodegradables y falsear la medida de la DBO.

3.2.1 Principales cadenas de procesos biológicos

A veces resulta conveniente aislar ciertos efluentes y someterlos a un tratamiento específico. Se impone esta forma de proceder siempre que el efluente que procede de una unidad de proceso presenta una de las siguientes características:

- Concentraciones muy elevadas de DQO o de DBO debidas a la presencia de compuestos solubles
- Concentraciones medias o elevadas de H_2S , NH_4 o de elementos tóxicos.

En lugar de diluir estos efluentes, suele ser más económico utilizar uno de los siguientes procedimientos:

Concentración con vistas a reutilizar el producto

- Destrucción por pirolisis (descomposición química de materia orgánica causada por el calentamiento en ausencia de oxígeno u otros reactivos) del líquido o del vapor procedente de un stripping.
- Extracción líquido – líquido
- Procesos biológicos

A continuación se mencionan tratamientos muy usados:

a. Instalaciones de depuración biológica

Se puede obtener una eliminación más completa de la contaminación orgánica por acción bacteriana. Puede obtenerse un rendimiento elevado en la reducción de la DBO, más del 95% en instalaciones de pequeñas cargas másicas, inferior a 0,3 kg de DBO/kg de SST en una aereación.

b. Instalaciones de tratamiento y secado de Lodos

Los lodos primarios depositados en los decantadores, y lodos en exceso producidos en un tratamiento biológico son aculados en tanques o lechos de secado para su post tratamiento. Los cuerpos y sus productos de transformación, retirados de la fase líquida en cualquier tratamiento de agua, cualquiera que sea su naturaleza, se reúnen finalmente en suspensiones más o menos concentradas, denominadas lodos.

c. Tratamiento terciario

Bajo esta denominación se agrupan cierto número de tratamientos destinados a completar generalmente una depuración biológica (o secundaria). Estos tratamientos comprenden, principalmente: Filtración, aireación en lagunas, cloración, post-precipitación química, adsorción a través de carbón activado, desmineralización, etc.

3.2.2 Tratamientos biológicos

La posibilidad de recurrir a la depuración biológica depende de la biodegradabilidad de los efluentes, y deben tenerse en cuenta, en su concepción, ciertas peculiaridades de las aguas industriales:

- El agua que se ha sometido, generalmente con varios propósitos, a un tratamiento fisicoquímico previo, se encuentran poco cargadas de materias en suspensión.
- Su composición en nutrientes casi nunca es equilibrada, por lo que debe practicarse una corrección referente al fósforo y/o al nitrógeno.
- Una deficiencia inicial de microorganismos debe compensarse mediante una siembra adecuada y la aclimatación de organismos específicos.
- La presencia de compuestos biodegradables puede hacer necesario el mantenimiento de una relativa constancia de su concentración y el desarrollo de una flora específica.
- Las concentraciones demasiado elevadas de sales minerales y, sobre todo, sus variaciones rápidas, pueden perturbar el desarrollo de la depuración.
- La nitrificación – desnitrificación puede verse afectada por unas concentraciones demasiado elevadas de DQO y de amoníaco y dentro de rangos de pH.
- Debe presentarse una atención especial al mantenimiento de zonas de temperatura bastante constantes, ya que la temperatura de ciertos efluentes favorecen el desarrollo de bacterias termófilas.

La línea de tratamiento puede estar compuesta de las siguientes fases:

- Lodos activados a alta carga, media carga o en caso general en aereación prolongada.
- Lechos bacterianos de materiales plásticos ordenados, en pretratamiento o en tratamiento de afino.
- Lechos de bacterias tradicionales.
- Filtros del Biolite, en el tratamiento principal o en tratamiento de fino
- Lagunas aireadas o mixtas, en el tratamiento afino.

3.2.3 Eliminación de la DQO no biodegradables

La depuración biológica constituye la vía más racional para la reducción de la DBO y de su correspondiente DQO. Sin embargo, la aplicación de reglamentaciones cada vez más rigurosas puede requerir que sea necesaria la eliminación complementaria de la DQO no biodegradable, de color y de ciertos compuestos específicos.

Esta DQO se debe a compuestos orgánicos, en general disueltos y de naturaleza muy diversa: disolventes, hidrocarburos aromáticos, derivados nitratos y sulfonatos, etc.

Los procedimientos usuales para la eliminación de la DQO son los siguientes:

- Adsorción a través de carbón activado con regeneración térmica o química o a través de adsorbentes diversos.
- Ultrafiltración y Osmosis inversa
- Oxidaciones diversas (aire, oxígeno, ozono, cloro)

3.2.4 Lodos industriales

Naturalmente, el carácter específico de las aguas residuales industriales se observa también en los Lodos producidos, que a veces son de predominio orgánico y otras (este es el caso más frecuente) de predominio mineral.

En general, los lodos de depuraciones fisicoquímicas son más abundantes que los que proceden de depuraciones biológicas. Se observa, por último, que los lodos procedentes de la clarificación de aguas de aportación industriales son a veces preponderantes. Todas las técnicas de tratamiento que se han definido para los lodos urbanos son igualmente aplicables en este caso. Se citan simplemente algunas particularidades relativas al espesamiento y a la deshidratación mecánica.

a) Espesamiento de lodos

El espesamiento se lleva a cabo, sobre todo, por decantación, aplicándose cargas superficiales muy variables, de 10 a 800 kg MS/(m².d), según la composición de los lodos. La presencia de

hidrocarburos en cantidad apreciable puede dar lugar a una segunda fase líquida en el espesador y dificultar su funcionamiento. Por ello, en refinería, solo se utiliza con fines de almacenamiento.

b) Deshidratación de lodos

El volumen de los lodos orgánicos producidos no justifica, en general, el empleo del acondicionamiento térmico. Por el contrario, es frecuente la realización de un acondicionamiento químico, utilizándose polielectrolitos sintéticos y/o reactivos minerales, y, en menor escala, cargas de materias inertes (kieselguhr, carbonato cálcico, harina de madera).

Las condiciones de filtrabilidad o de sedimentabilidad o escurrido centrífugo de los lodos difieren no solo según su composición química, sino también según su modo de formación. Se producen variaciones de filtrabilidad en las relaciones de 1 a 10, según los productos, y de 1 a 3 para un mismo producto.

Cuando no se conocen exactamente las características de los lodos, es indispensable realizar ensayos previos.

La filtración al vacío de ciertos hidróxidos o de aceites floculados exige el empleo de una precava (harina de madera, diatomeas, etc)

Para mejorar la filtrabilidad de un fango, puede recurrirse, a veces, a ciertos subproductos del proceso de producción.

c) Destino final de los lodos

Según la naturaleza de los lodos, las formas de evacuación de los mismos son muy diferentes:

- Los lodos minerales relativamente estables y no tóxicos (carbonatos cálcico, hidróxido férrico, sulfato cálcico) pueden esparcirse como abono, descargarse en escombreras al aire libre o utilizarse como material inerte como relleno de carreteras
- Los Lodos minerales inestables o tóxicos (hidróxidos ferrosos, hidróxidos metálicos diversos, fluoruro cálcico) deben almacenarse en vertederos controlados, estabilizarse o incluso, en algunos casos, tratarse por incineración, los lodos tóxicos, y en

especial los que contengan metales pesados, solo podrán almacenarse en vertederos estancados, aislados de toda capa freática.

- Los lodos orgánicos, fermentables en general, deben estabilizarse antes de su esparcimiento o descarga en vertederos, o eliminarse por incineración.
- Cuando los lodos ricos en aceites no son recuperables, deben incinerarse.

Evidentemente, la solución ideal es reintroducir los lodos a la cadena de producción, pero, en la práctica, esta posibilidad se presenta solo en los casos de la agroindustria, que utilizan los lodos luego del proceso de secado, como abono.

3.3 Proceso de depuración utilizado en la agroindustria

Las características del efluente que elimina la agroindustria pueden ser semejantes o muy diferentes, esto depende de la línea de producción que tenga cada uno de ellas. La contaminación es esencialmente orgánica y biodegradable, tienen una tendencia general hacia la acidificación y una rápida fermentación.

Podemos decir que su tratamiento fundamental es biológico, pero, en muchos casos, el medio no dispone de Nitrógeno y fósforo suficiente.

La contaminación es muy variable, según los procedimientos utilizados y los productos que se tratan.

Estos vertidos son generalmente ricos en materia orgánica. Se puede observar mayor presencia de Fósforo en comparación del Nitrógeno.

El tratamiento de estos vertidos debe incluir siempre un sistema de separación de sólidos, para retener residuos y mondaduras.

Una solución teóricamente válida para estos vertidos es el riego por aspersión luego de un proceso de descontaminación.

Teniendo en cuenta el carácter de la contaminación, el tratamiento más adecuado en este tipo de industria parece ser la depuración biológica con baja carga. Esto dependerá de las pruebas que se realicen y se recomienda realizar pruebas pilotos para definir un sistema real de tratamiento.

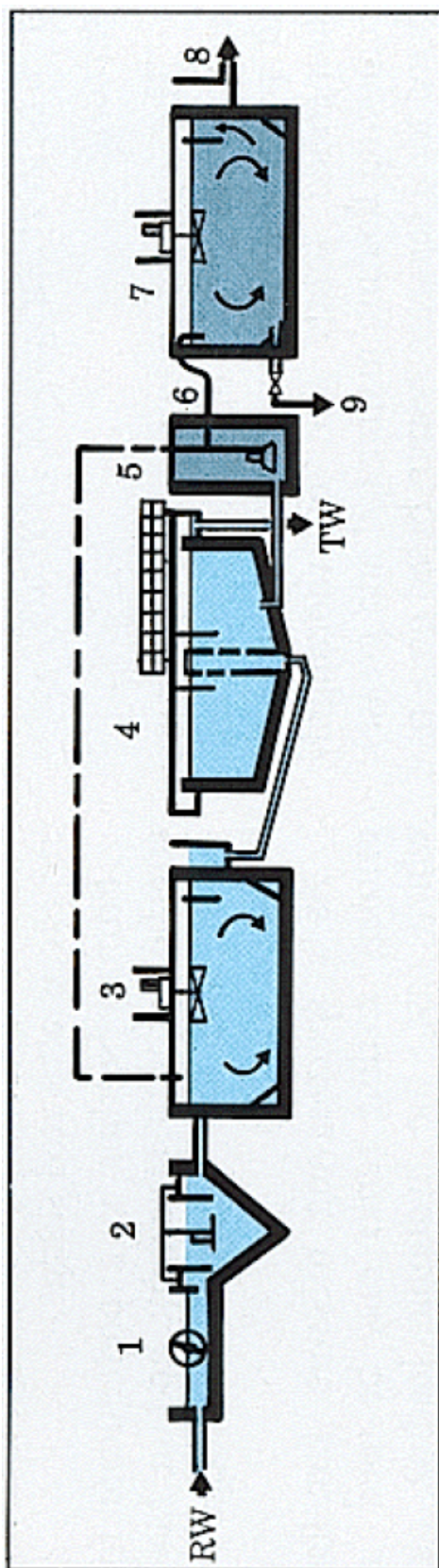


Figura N° 3.4.1

1. Rejas
2. Separador de arena y grasas
3. Tanque de aeración
4. Clarificador (tanque de decantación)
5. Recirculación de lodos
6. Eliminación de lodos en exceso
7. Estabilizador de espumas
8. Eliminación de espumas
9. Lodo concentrado

3.4 Selección del método utilizado

Luego de realizar análisis con respecto a los diferentes sistemas de tratamiento que existen, la tendencia para el tratamiento de los efluentes generados por la agroindustria es el tratamiento biológico, específicamente un tratamiento de aireación biológica.

3.4.1 Lodos activados

El procedimiento consiste en provocar el desarrollo de un cultivo bacteriano disperso en forma de flóculos (lodos activados) en un tanque agitado y aireado (aereación) y alimentando con el agua que ha de depurarse.

3.4.1.1 Crecimiento del lecho bacteriano

En la figura 3.4.1.1.1 se muestra las diferentes fases de crecimiento del lecho bacteriano.

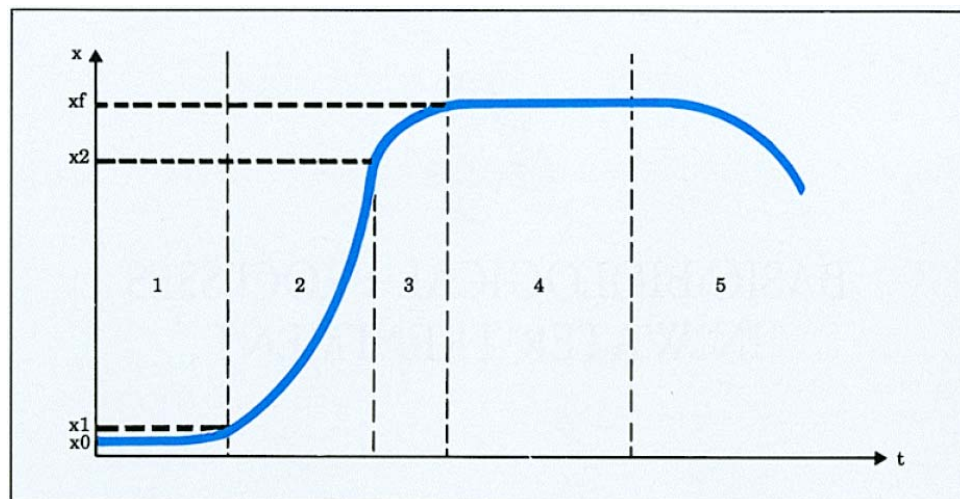


Figura 3.4.1.1.1

En la fase 01 ocurre el aclimatamiento de las bacterias al medio nutritivo, por modificación del sistema enzimático del cultivo. Es una etapa primordial para la existencia de la colonia cuando no se produce una siembra previa del agua residual.

$$X=C=X_0$$

Donde X_0 es la concentración celular para t_0

Por lo tanto no existe variación

$$\frac{dX}{dt} = 0$$

En la fase 02, es el crecimiento exponencial las bacterias ya aclimatadas empiezan a reproducirse aceleradamente.

$$\frac{dX}{dt} \cdot \frac{1}{X} = \mu_m$$

Donde μ_m es el máximo ratio de crecimiento

$$\text{Log} \frac{X_2}{X_1} = \mu_m (t_2 - t_1)$$

En la fase 03, el crecimiento se ve afectado por la sobrepoblación de bacterias.

En la fase 04, es la fase estacionaria, se tiene que mantener un equilibrio entre el alimento y la población de bacterias.

$$X = X_{\max}$$

En la fase 05, el índice de mortalidad de bacterias aumenta en esta fase y tiene que ser controlado.

3.4.1.2 Sistema de aireación

Todo el proceso se da en un tanque aireado y agitado, tiene por objeto evitar sedimentos y homogenizar la mezcla de los flóculos bacterianos y el agua usada (licor mixto), la aeración, que puede hacerse partiendo del oxígeno del aire, de un gas enriquecido en oxígeno, o incluso con oxígeno puro, tiene por objeto disolver este gas en el licor mixto, con el fin de hacer frente a las necesidades de las bacterias depuradoras.

Las condiciones y criterios normales de aireación pueden caracterizarse por medio de lo siguiente:

- Aportación horaria: en Kg de oxígeno disuelto por hora
- Aportación específica: en Kg de oxígeno disuelto por Kwh consumido
- Capacidad de oxigenación: en Kg de oxígeno disuelto por hora por m^3 de depósito.

- Rendimiento de oxigenación: es el porcentaje de la masa de oxígeno efectivamente disuelto con relación a la masa de oxígeno inyectado, en un sistema de aire comprimido.

Existen diferentes tipos de sistemas de aeración:

Aireación superficial

Los aeradores superficiales se dividen en tres grandes grupos:

- Aeradores de eje vertical y velocidad lenta
- Aeradores de eje vertical y gran velocidad
- Aeradores de eje horizontal

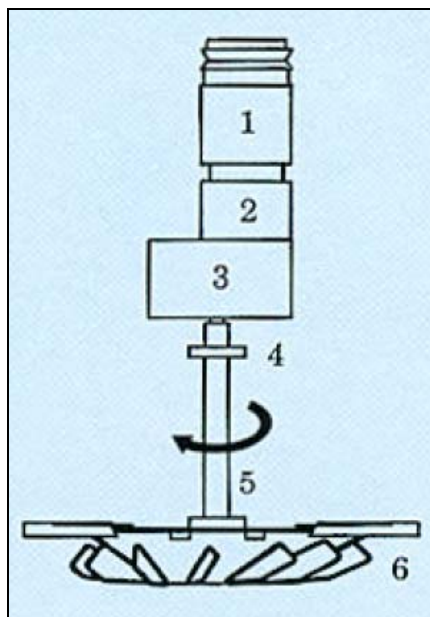


Figura 3.4.1.2.1

Aeración por aire comprimido

Consiste en inyectar el aire a presión en la masa líquida, mediante dispositivos apropiados. Estos se dividen en tres grandes grupos:

- Burbujas gruesas ($\varnothing > 6\text{mm}$), el aire se inyecta directamente por tubos verticales, o mediante difusores de grandes orificios

- Burbujas de tamaño medio (\varnothing 4 a 6mm), pueden reducirse el tamaño de las burbujas mediante diversos dispositivos (válvulas, pequeños orificios, etc.)
- Burbujas finas ($\varnothing < 3\text{mm}$), emitidas por difusores del aire a través de cuerpos porosos.

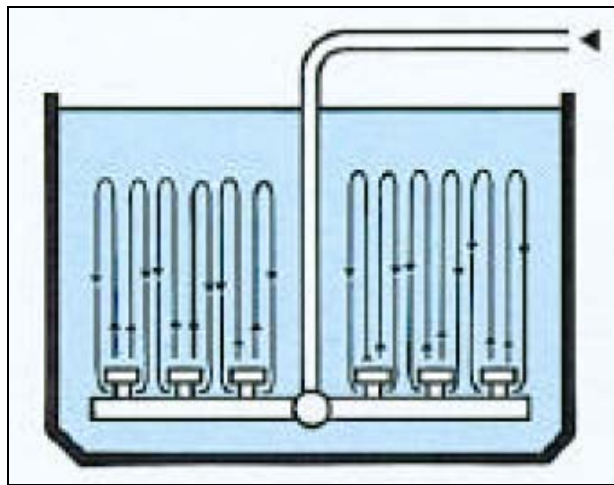


Figura 3.4.1.2.2

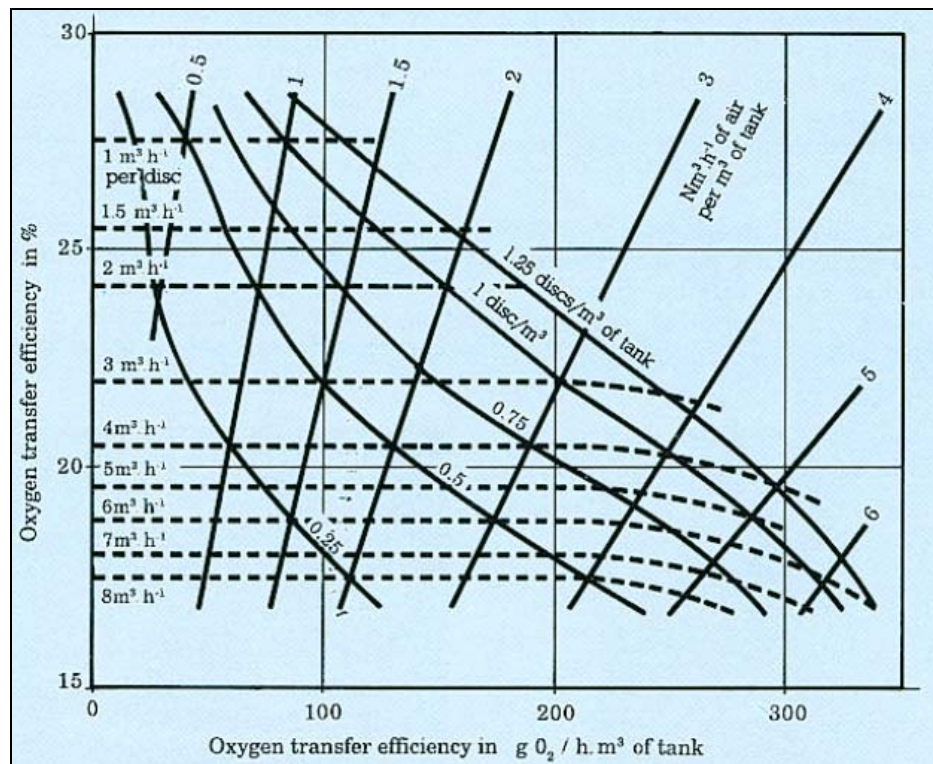


Figura 3.4.1.2.3

3.4.1.3 Sistema de Decantación

Después de un tiempo de contacto suficiente, el licor mixto se envía a un clarificador, denominado también decantador, destinado a separar el agua depurada de los fangos. Estos últimos se recirculan al depósito de aeración, para mantener en el mismo una concentración suficiente de bacterias depuradoras. El excedente (fangos secundarios en exceso) se extrae del sistema y se evacua hacia el tratamiento de fangos

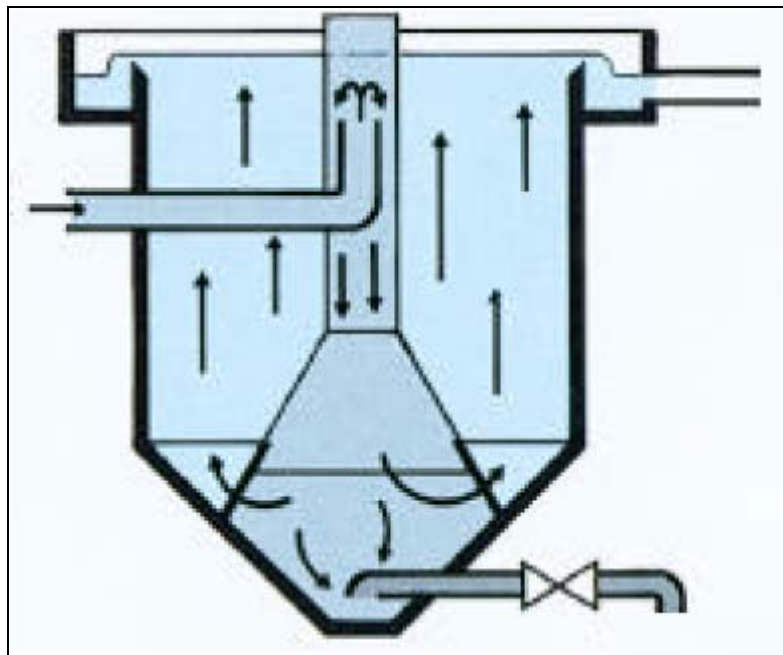


Figura 3.4.1.3.1

3.4.2 Carga másica en un sistema de lodos activados

Los diferentes sistemas de lodos activados pueden caracterizarse por su **Carga Másica** (C_m), figura 3.4.2.1, que da una aproximación de la relación entre la masa diaria de contaminación que debe eliminarse y la masa de bacterias depuradoras. Se distinguen los siguientes sistemas:

- Carga másica Fuerte: $C_m > 0,5$ (kg DBO_5 por día y por Kg de fangos)
- Carga másica mediana: $C_m < 0,5$
- Carga másica pequeña: $C_m < 0,2$
- Carga másica muy pequeña o aereación prolongada: $C_m < 0,07$

Se utiliza la expresión aereación prolongada con preferencia a la de oxidación total, ya que esta última implicaría una transformación completa de toda la materia orgánica en compuestos gaseosos o minerales solubles y por consiguiente, la ausencia total de fangos en exceso, lo que no se obtiene nunca.

La noción de **Carga Volumétrica** (C_v), menos característica del procedimiento, se utiliza sin embargo, con frecuencia. Según el grado de depuración previa y la concentración en lodos del licor mixto, se admiten comúnmente los siguientes valores:

- Fuerte carga volumétrica: $C_v > 1,5$ (kg DBO_5 por día y por m^3 reactor)
- Mediana carga volumétrica: $C_v < 1,5$
- Pequeña carga volumétrica: $C_v < 0,6$
- Aereación prolongada: $C_v < 0,35$

Es importante señalar que la eficacia de toda depuración depende tanto del trabajo biológico en el depósito de aereación, como de la calidad de la clarificación con la que se obtienen la separación del lodo biológico y el agua tratada.

El valor de la carga volumétrica admitida en una planta de tratamiento por lodos activados, es función de la naturaleza y de la disposición de las instalaciones con las que se asegure la repartición del agua a tratar, del aire necesario y del lodo que se recircula.

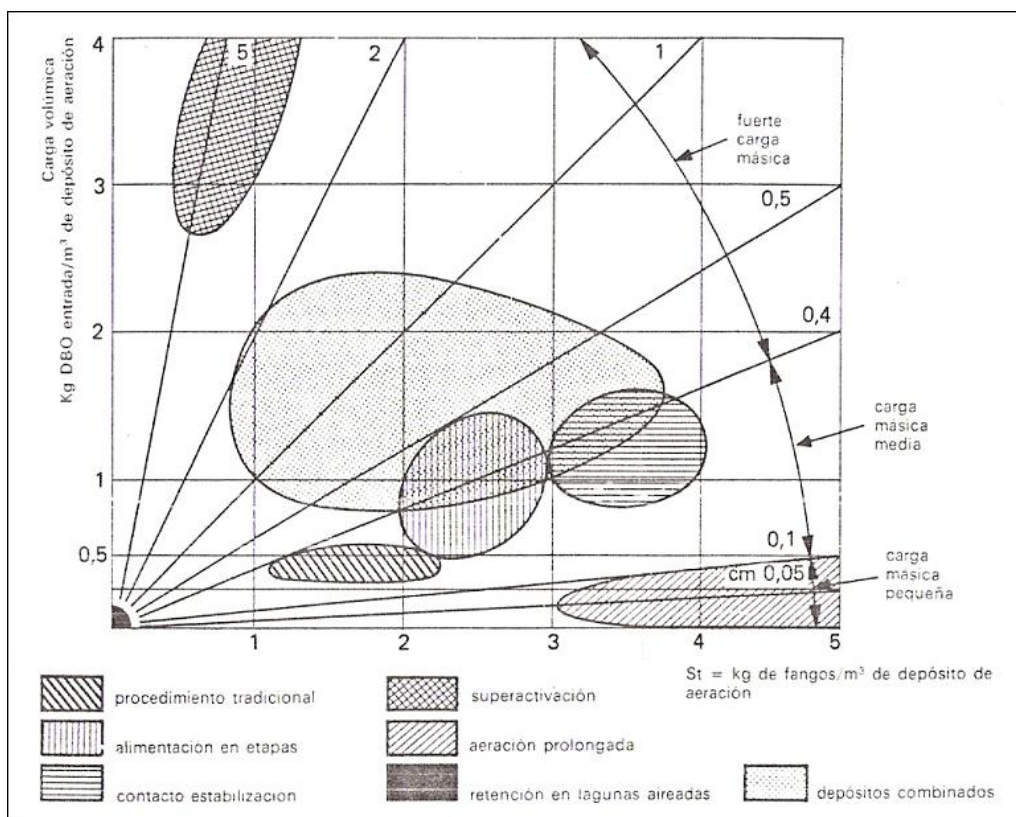


Figura 3.4.2.1 Relación de carga másica y contaminación orgánica

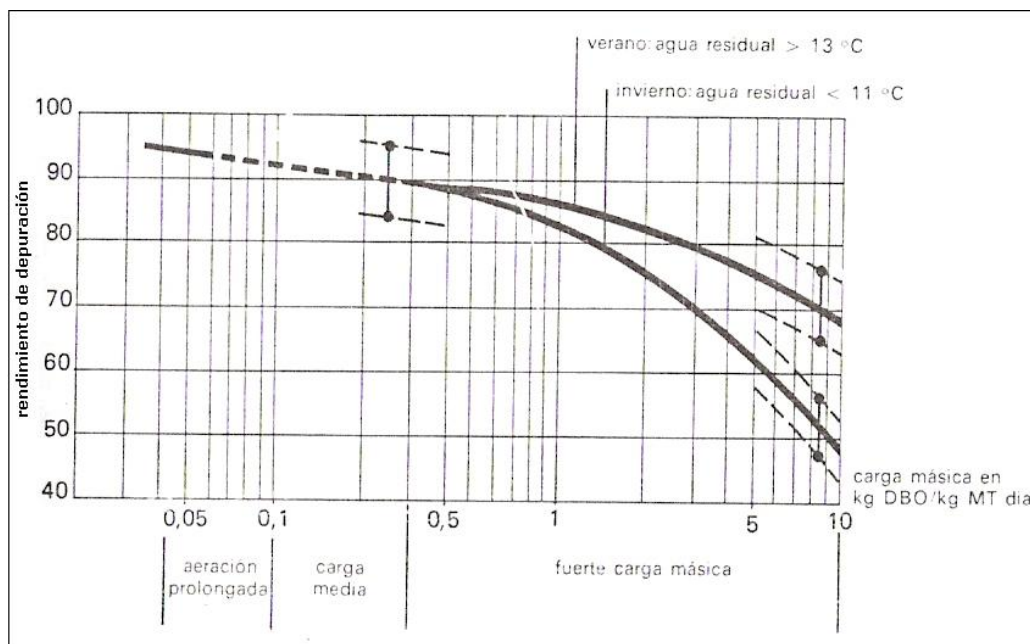


Figura 3.4.2.2 Relación de eficiencia y carga másica

3.4.3 Principales sistemas de tratamiento por lodos activados

Tenemos los siguientes sistemas:

a. Sistemas con depósitos separados

En estos sistemas la aireación y la clarificación se efectúan en dos depósitos diferentes, siendo necesario un bombeo de los lodos que se recirculan entre el clarificado y el depósito de aireación.

El sistema tradicional, denominado flujo pistón, comprende depósitos de aireación alargados, a la entrada los cuales llegan simultáneamente el agua a tratar y los lodos activados de la recirculación.

La mezcla integral (complete mixing) constituye una variante que permite obtener la misma proporción de agua a tratar, de lodos activados y de oxígeno, es decir, la misma carga másica, en cualquier punto del depósito de aireación. Este sistema soporta mejor los efectos de choque, pero es menos favorable a la nitrificación. Resulta difícil de aplicar a grandes depósitos de aireación separados, y especialmente a los de forma alargada, si bien puede realizarse fácilmente en aparatos compactos como algunos diseños de Degrémont: Minibloc, Unidad MA, y seguidamente del Oxyrapid y Aero-accelator.



Figura 3.4.3.1

b. Oxyrapid

Son equipos compactos en los cuales las fases de aireación y de clarificación se realizan dentro de un mismo recinto. Admiten grados de recirculación muy elevados. Puede suprimirse todo dispositivo mecánico móvil sumergido. Por otra parte, se reduce al mínimo la longitud del circuito de retorno de lodos.

Reúne la ventaja biológica de la mezcla integral y la ventaja hidráulica de los decantadores de flujo vertical de funcionamiento en lecho de lodos, juntamente con la posibilidad de regular el caudal de recirculación, manual o automáticamente, hasta un 300%.

El Oxyrapid se puede diseñar en forma circular o rectangular. En esta última disposición, es la que mejor se adapta a instalaciones grandes, la zona de aeración central está bordada a ambos lados (o por un solo lado en ciertos casos) por las zonas de clarificación. Su construcción se adapta perfectamente a la utilización de elementos prefabricados.

Este equipo de gran calidad técnica, puede alimentarse con agua no decantada, siempre que la misma se haya sometido a un desbaste fino (figura 3.4.3.2).

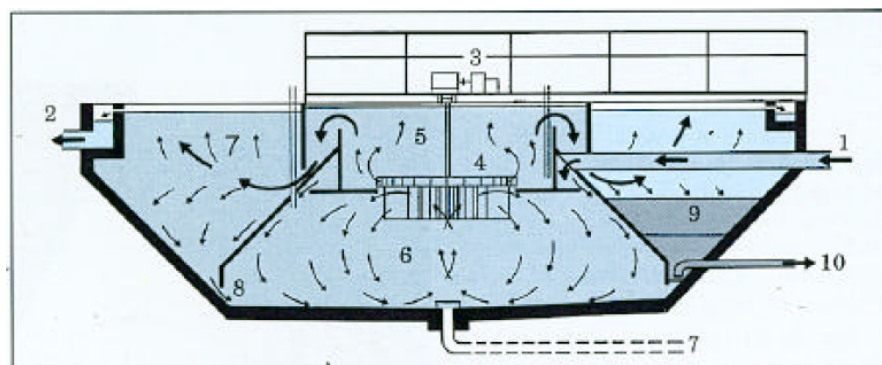


Figura 3.4.3.2

c. Aero – acelerator

Es un equipo combinado de forma generalmente circular, con zona central de aireación y zona anular exterior de clarificación, la recirculación de los fangos, efectuada por gravedad (el punto bajo del

equipo esa situado en la zona de aireación) es acelerada por el caudal de recirculación regulable. La oxigenación y la agitación de la zona de aireación se realizan por medio de un aereador, figura 3.4.

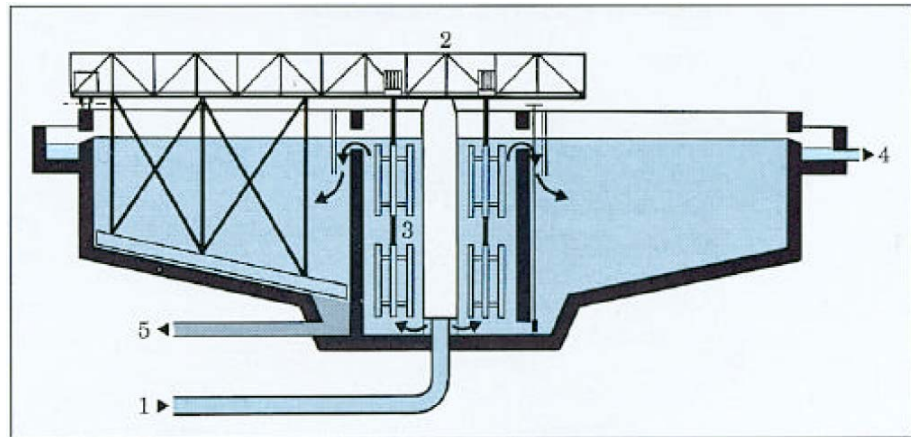


Figura 3.4.3.3

d. Objeto del clarificador

En los sistemas de depósitos separados, se utilizan, para separar el agua tratada de los lodos. Interesa casi siempre que el tiempo de permanencia de los lodos en estos clarificadores sea el menor posible, para evitar su anaerobiosis.

El tiempo de permanencia de los lodos depende, de una densidad muy próxima a la del agua. Su sedimentabilidad, que se controla por el índice de Mohlman, depende de un cierto número de factores, y la presencia en el agua a tratar de vertidos industriales, tiene sobre ella gran influencia. Durante el tratamiento, puede verse afectada por las variaciones del medio: temperatura, carga, dosis de oxígeno disuelto, paradas accidentales de la aireación, etc.

CAPITULO 4

FUNDAMENTO DE LA TECNOLOGIA SELECCIONADA

4.1 Tecnología escogida

Por las características que muestra el efluente se iniciara por un proceso biológico, es decir, un tratamiento de con lodos activados.

Cuando se dispone de datos estadísticos suficientes sobre la aptitud de un agua para un tratamiento biológico, es necesario efectuar estudios de laboratorio o una planta piloto semi-industrial. Estos estudios se recomiendan especialmente en el caso de aguas residuales industriales.

Efectivamente, la composición del agua puede influir sobre las posibilidades de tratamiento biológico, sobre la naturaleza de las cepas bacterianas que pueden adaptarse sobre su metabolismo.

Es necesario, por ello, conocer la temperatura de los vertidos, ya que un tratamiento biológico puede ser inhibido tanto por altas o bajas temperaturas. El pH y la presencia de nitrógeno y fósforo asimilables influyen en las posibilidades de existencia y desarrollo de bacterias depuradoras. Por ultimo, es preciso conocer si existen o no cuerpos tóxicos en el vertido. Algunos cuerpos son tóxicos absolutos, otros lo son solo de forma relativa, y hay bacterias que pueden adaptarse a su presencia.

Para determinar los parámetros de las relaciones biocinéticas, indispensables en el cálculo de la instalación, pueden aclimatarse las familias específicas de bacterias en equipos pilotos de funcionamiento continuo o batch.

Se pondrá en operación un equipo piloto para determinar las variables de control que servirán en el diseño final del sistema de tratamiento.

El diseño del equipo piloto esta bajo la influencia de tecnología francesa, el sistema cuenta con una etapa de ecualización, para homogenizar el efluente, dos reactores biológicos, donde se realiza la aeración y el cultivo de las bacterias, dos tanques decantadores y un sistema de recirculación. Todo esta controlado bajo un tablero eléctrico semiautomático.

4.2 Fundamento teórico del proceso

El equipo piloto para este tipo de estudios se muestra en la vista 4.2.1, la zona de aereación y clarificación están separados. Los lodos activados, después de la aeración, se envía a la parte inferior del mismo por medio de un sifón, la recirculación se realiza por dos bombas peristálticas de flujo controlado.

El equipo piloto funciona en mezcla completa, con lo que se simplifican las relaciones matemáticas que pueden establecerse a partir de los parámetros de funcionamiento observados.

Para aclimatar un fango activado de un vertido industrial, se parte generalmente de un fango tomado en una estación depuradora urbana y se le alimenta en la planta piloto con una mezcla de aguas urbanas y del agua a ensayar. Durante unos diez días, se eleva progresivamente la proporción de agua industrial en etapas de uno o dos días. Si se llega al 100% del agua industrial, la conclusión es que esta se puede tratar, en caso contrario, puede determinarse la proporción de dilución, para adecuar su contenido de nutrientes. Es evidente que este ensayo debe realizarse en un medio equilibrado natural o artificialmente en carbono, nitrógeno y fósforo asimilables.

Una vez aclimatado el lodo, se le puede alimentar con cantidades variables de contaminación, con el fin de determinar cierto número de parámetros, entre ellos la velocidad de crecimiento, de donde puede deducirse el rendimiento de depuración que se alcanza con el agua objeto de estudio, en función a la carga másica al lodo considerado.



Vista 4.2.1

La influencia de los vertidos residuales industriales vienen determinados en diversos textos administrativos. La aplicación de las leyes es competencia de los organismos oficiales correspondientes.

4.2.1 Influencia de los vertidos industriales

Puede estimarse la importancia y los efectos de la presencia de vertidos industriales en comparación con los urbanos, la comparación puede realizarse sobre la base de los siguientes criterios:

- **Presencia de Nitrógeno:** en las aguas residuales urbanas, el contenido en nitrógeno total (NTK) es del orden del 15 al 20% de la DBO5. un contenido normal puede ser signo de la presencia de aguas residuales industriales.
- **Efecto de pH:** el pH de las aguas residuales urbanas se encuentra, generalmente, próximo al valor neutro, entre 7 y 7.7 aproximadamente. Un pH distinto indica una contaminación industrial. La depuración biológica puede realizarse entre valores de pH de 6.5 a 8.5
- **Potencial de Oxidación reducción o potencial Redox (Eh), poder oxido – reductor (rH):** las aguas residuales urbanas tienen generalmente un potencial de oxidación – reducción del orden de

+100mV, que corresponde, para un pH aproximado de 7, a un rH de 17 a 21 aproximadamente.

- **Toxicidad e inhibición:** la presencia de metales pesados Cu^{2+} , Cr^{6+} , Cd^{2+} , etc, aun en pequeñas cantidades (0,1 ppm), puede anular la acción de las bacterias.
- **Equilibrio de Nutrientes:** en los efluentes industriales se encuentra generalmente un déficit de nitrógeno y fósforo. En algunos casos, es necesario la aportación de nutrientes para restablecer las relaciones. $\text{DBO}_5/\text{N} = 20$, es una relación que no siempre se cumple en los efluentes industriales. La relación $\text{DBO}_5/\text{P} = 100$. Un desequilibrio puede ser causa de mal funcionamiento de la depuración biológica, hinchazón de los fangos (bulking), bajo rendimiento de depuración.
- **Salinidad:** una salinidad elevada puede dar lugar a un bajo rendimiento, los choques son mucho más perjudiciales que las variaciones lentas.
- **Temperatura:** las variaciones de temperatura afectan igualmente a los procesos de depuración.

4.2.2 Regulación de los procesos biológicos

Mediante modelos matemáticos, en los que se utilizan, en régimen transitorio, los datos (porcentaje de crecimiento, coeficientes respiratorios, etc.) obtenidos en régimen continuo de una planta piloto, puede asegurarse teóricamente una regulación automática de los procesos biológicos. Pero no basta regular solamente la fase de oxidación. Es necesario, además, controlar la marcha del clarificador, cuyo papel es esencial.

4.2.2.1 Objetivos de la regulación

Antes de definir cualquier dispositivo de regulación, parece necesario dejar bien determinados los objetivos y los límites de acción posibles.

El fin que se debe alcanzar, desde el punto de vista del funcionamiento de la planta, será teóricamente, mantener constante el valor óptimo de la carga másica. Con esto se conseguirá:

- Conservar un rendimiento de depuración elevado, en los periodos de aumento de la contaminación.
- Reducir los gastos de energía cuando disminuya la contaminación, evitando que se mantenga inútilmente en el sistema un exceso de fangos activados, con relación a la cantidad estrictamente necesaria para el rendimiento deseado de depuración.
- Por ultimo, y especialmente, asegurar un desarrollo regular y armonioso de la flora biológica, garantía de su equilibrio vital y por lo mismo, de la constancia de la calidad de la depuración.

Desde el punto de vista de la explotación, con un dispositivo de automatismo pueden realizarse total o parcialmente, las medidas y regulaciones de los parámetros necesarios para la marcha de la depuración, es decir:

- Contenido del oxígeno disuelto en el licor mixto (aereación)
- Caudal de lodos en exceso
- Caudal de lodos recirculados
- Distribución de agua a tratar en la totalidad de los depósitos de tratamiento
- Conocimiento de la contaminación
- Evaluación de la calidad de agua depurada

En la mayoría de las instalaciones de depuración de aguas residuales, la regulación a un valor constante de la carga másica resulta irrealizable de una forma estricta. Las razones, de orden biológico e hidráulico, son las siguientes:

- Debido a las variaciones del caudal
- Variación de la concentración de la contaminación

Desde el punto de vista hidráulico, una extracción fuerte de flodos en exceso produce una desconcentración tal de flodo activado que su cohesión puede ser insuficiente, dando lugar a que sedimente con dificultad. En cuanto a las variaciones del caudal de recirculación, su efecto sobre el peso de lodo disponible es limitado. La experiencia muestra que el arrastre de lodos del clarificador hacia el depósito de

aereación, por variación del grado de recirculación, difícilmente sobrepasa la tercera parte del peso del lodo contenido en dicho depósito. La regulación, por tanto, debe referirse a las aportaciones de oxígeno y a la reducción de las variaciones de la carga másica. Esto solo puede realizarse relacionado, por una parte, las necesidades de oxígeno y por otra parte la masa de lodos.

La utilización única de medidas de las necesidades de oxígeno o de sus variaciones sería demasiado imprecisa y presentaría el peligro de divergencias o discordancias graves de la cadena de regulación.

4.2.2.2 Principio de la regulación

La masa de lodos activados puede conocerse con diversos grados de precisión, y se elegirá, según los casos, la solución más adecuada al problema planteado y a la importancia de la instalación.

El porcentaje en volumen no es totalmente representativo de la masa ya que el índice de Mohlman del lodo varía con la carga másica. Sin embargo, gracias a la lentitud con que varía este índice, puede utilizarse, en primera aproximación, dicho porcentaje, como criterio de regulación.

Si se da una regulación más precisa, debe efectuarse la medida del porcentaje de lodos y la de las necesidades de oxígeno.

Todo aumento de la relación de oxígeno con respecto al porcentaje de lodos, corresponde inmediatamente a un aumento de la carga másica, para llevar ésta a un valor aceptable, deberá aumentarse el volumen de lodos lo más rápido posible y si de esta forma disminuyen considerablemente las variaciones diarias de la carga másica, la duración de la masa de microorganismos o volumen de lodos aumentará notablemente.

Debe tenerse en cuenta que, si se reemplaza la medida del porcentaje de lodos por la de su masa, no será necesario efectuar operaciones de control que relacionen las características en volumen y en masa del lodo. Se trata, por tanto, de un primer perfeccionamiento.

La medida de la demanda de oxígeno del reactor propiamente dicho, no es representativa, por sí sola, de la contaminación, debido a las variaciones del grado de crecimiento y de actividad respiratoria inevitable

de la flora bacteriana en los depósitos. Esta demanda de oxígeno del reactor solo puede ser indicadora de una tendencia. Esto es suficiente para el control de una gran instalación. Una medida más exacta de la contaminación se obtiene mediante un aparato medidor de la DQO, o mejor con un espirómetro industrial alimentado por una mezcla de agua a tratar y de lodos activados, mantenidos, en un reactor separado, en una fase de desarrollo muy lenta, con un factor de carga pequeño.

Regulación de las aportaciones de oxígeno

Las señales emitidas por los analizadores de oxígeno, actúan sobre los generadores de aire a presión o los aereadores de superficie. Según la precisión que se desee, existen varias posibilidades:

- El contenido en oxígeno, en los depósitos, se mantiene dentro de unos valores límites, uno mínimo y otro máximo;
- La producción de oxígeno sólo se modifica si el contenido en oxígeno disuelto se sitúa fuera de los límites durante un tiempo mínimo prefijado.
- La variación de la cantidad de oxígeno introducida se hace por saltos sucesivos, reduciendo al mínimo posible la variación entre dos cambios consecutivos. Con ello se suprimen los riesgos de fluctuaciones y se utiliza el efecto regulador del reactor biológico.

En caso de sopladores, la variación de caudal de aire puede efectuarse de diferentes maneras:

- Arranca o parada de una unidad de aportación;
- Arranque o parada en cascada de distintas unidades a una o varias velocidades;
- Introducción o eliminación de pérdidas de carga sucesivas en la impulsión del soplador centrífugo;
- Variación de velocidad continua de los sopladores;
- Variación continua de los álabes de dirección de alimentación de los soplantes.

La oxigenación mediante aire a presión a gran profundidad (más de 3 m) mantiene generalmente un rendimiento energético elevado, dentro de

una amplia gama de caudales de aire. Es distinto el caso de inyección a poca profundidad. Las dificultades en este caso son parecidas a las encontradas con aereadores de superficie, cuyas aportaciones específicas varían, dentro de grandes límites, según las inmersiones y las velocidades utilizadas.

Por otra parte, si bien en los depósitos de mezcla integral puede realizarse una regulación muy precisa del contenido de oxígeno disuelto, debido a la homogeneidad que se obtiene en toda la masa líquida, no sucede así en los depósitos de aereación concebidos según las técnicas de <<step-aeration>> o de <<alimentación por etapas>>.

Es necesario disponer, en este caso, varios detectores en los distintos compartimientos del depósito, colocados en serie, y actuar sobre las variaciones de producción de oxígeno a partir del conjunto de indicaciones de estos detectores. La economía de energía conseguida por la regulación es incierta si las diferencias en oxígeno disuelto varían mucho entre los distintos compartimientos. Puede introducirse una mejora igualando automáticamente los niveles de oxigenación, por mando a distancia progresivo de los distribuidores de admisión del agua a tratar a lo largo de los depósitos.

Regulación de la masa de lodos

Se traduce por una acción sobre la extracción de los lodos en exceso y sobre el caudal de recirculación de los lodos. La acción sobre los lodos en exceso es la más importante por la amplitud de regulación que permite.

a. Extracción de los lodos en exceso

De acuerdo con la naturaleza de las aguas, la importancia de la instalación, el grado de depuración deseado y las variaciones diarias de la contaminación, puede adoptarse una de las siguientes soluciones:

- Extracción a caudal constante.
- Extracción a caudal variable programado.

Estas soluciones, muy sencillas, pueden combinarse, según se indica a continuación, con una medida del volumen o de la masa de los fangos:

- Extracción a caudal constante, con limitación mínima de la cantidad de lodos;
- Extracción a caudal variable, programado en el tiempo, con limitación superior e inferior de la cantidad de lodos.

La extracción puede depender directamente de la cantidad de lodos presente:

- Extracción de una cantidad de lodos constante en grandes instalaciones. Esta solución presenta el inconveniente de una extracción de lodos en las horas puntas de contaminación.
- Extracción de una cantidad de lodos variable. Se regula automáticamente la cantidad de lodos del sistema, con valores variables según las horas del día.

Con ninguna de las soluciones anteriores puede efectuarse un control real e inmediato de la carga másica. Esto sólo es posible haciendo intervenir las necesidades del oxígeno de la flora bacteriana, según las soluciones siguientes:

- Extracción de una cantidad de lodos que es función del suministro de oxígeno. Se regula la cantidad de lodos del depósito (expresada en porcentaje o masa), dentro de una relación dada lo más constante posible, con las necesidades de oxígeno representadas por la producción de los generadores de oxígeno.
- Extracción manteniendo constante la actividad respiratoria intrínseca; en este caso, también se mantiene siempre en el sistema una cantidad mínima de lodos;
- Extracción en función de la contaminación que llega. La masa de lodos se regula en función de la medida de contaminación.

b. Grado de recirculación

Las variaciones del caudal de recirculación deben ser tales que permitan:

- Reducir el volumen de lodos en los clarificadores, en las horas punta;
- Aumentarlo en las horas de menor carga.

Sin embargo:

- Es preciso respetar un tiempo de permanencia mínima de los lodos en los clarificadores;
- Es necesario no exagerar el caudal de recirculación a las horas de mayor caudal, ya que, por razones hidráulicas, puede incrementar el volumen de lodos en la decantación y empeorar la calidad del agua depurada.

Existen las siguientes posibles soluciones:

- Caudal de recirculación programado en el tiempo;
- Grado de recirculación constante poco variable, con limitación del caudal máximo de recirculación;
- Caudal de recirculación variable en función del caudal entrante.

Regulación de la masa de contaminación admitida

Partiendo de la contaminación en la entrada, pueden accionarse las bombas o los distribuidores que regulan el caudal de llegada. Puede interesar el tratamiento de:

- Una cantidad constante de contaminación, aumentando o reduciendo el caudal de alimentación en función de la concentración del agua bruta;
- Una masa de contaminación variable, según el poder autodepurador del receptor (caracterizado por su caudal instantáneo). Automáticamente, la masa de contaminación a eliminar se calcula y fija sobre el <<regulador de contaminación>>.
- Una masa de contaminación variable según las horas del día.

Paralelamente a la regulación de la contaminación que llega, puede preverse una regulación de la contaminación a la salida o, al menos, un control automático de la calidad de la depuración.

De este control, puede depender, por ejemplo un recirculación, hacia la entrada de la instalación, del agua depurada; una regulación del caudal que llega, con un depósito de almacenamiento aguas arriba; o, eventualmente, una modificación de la carga másica.

4.3 Parámetros del proceso

Los siguientes parámetros son fundamentales para todo proceso de fangos activados.

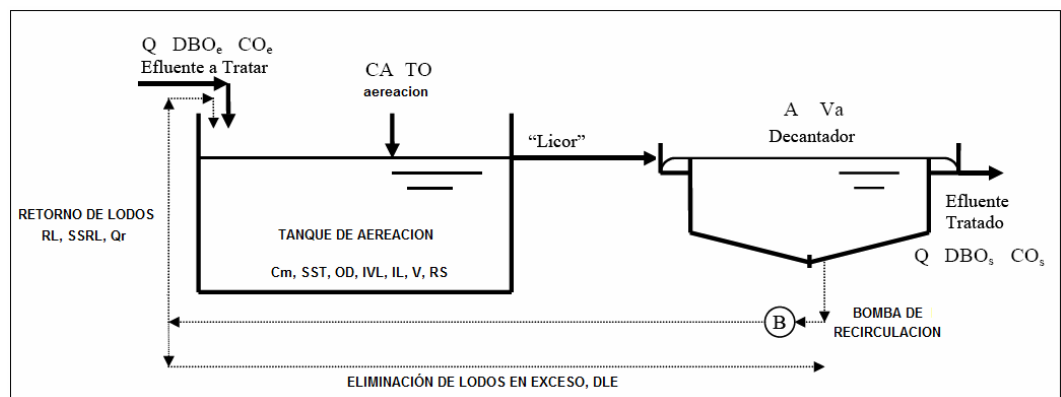


Figura Nº 4.3.1

- Q: son los caudales de entrada, recirculación y agua tratada
- DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno (e: entrada, s: salida)
- CO: Carga Orgánica (e: entrada, s: salida)
- CA: capacidad de aereación
- TO: taza de oxigenación
- SST: sólidos totales en suspensión
- Cm: carga másica
- RS: residuos sedimentables en el tanque de aereación
- OD: oxígeno Disuelto en el tanque de aereación

4.3.1 Demanda Química de oxígeno

El método normalizado para las aguas residuales utiliza dicromato potásico en medio sulfúrico, oxidante muy enérgico, con el que se

obtienen la demanda Química de Oxígeno (DQO). La precisión de la medida es del orden del 5%. Su duración se fija en dos horas.

El valor de la DQO comprende todo lo que puede tener una demanda de oxígeno, especialmente las sales minerales oxidables (sulfuros, sales de metales de valencia inferior) y la mayor parte de los compuestos orgánicos, biodegradables o no. Los hidrocarburos minerales son resistentes a esta oxidación, lo que puede dar, a veces, resultados erróneos.

4.3.2 Demanda Bioquímica de oxígeno

Es la cantidad de oxígeno expresado en mg/l y consumida en las condiciones del ensayo (incubación a 20° C y en la oscuridad) durante un tiempo dado, para asegurar la oxidación, por vía biológica, de las materias orgánicas biodegradables presentes en el agua.

Para ser completa, la oxigenación biológica exige un tiempo de 21 a 28 días, se obtiene entonces la DBO última, DBO_{21} o DBO_{28} .

La figura 4.3.2.1 Muestra la forma de las curvas de consumo de oxígeno en función del tiempo.

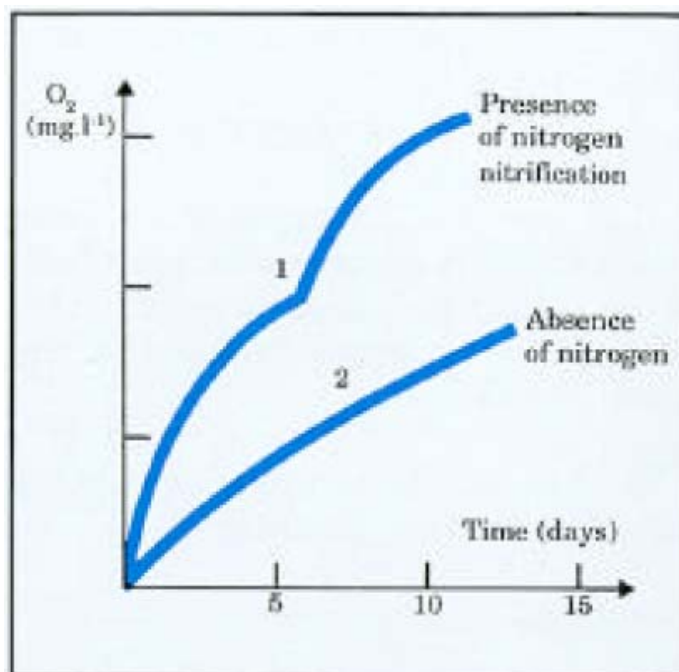


Figura 4.3.2.1 Consumo de oxígeno en función del tiempo

La relación entre la DBO₅ y la DQO, si todas las materias orgánicas de un agua fueran biodegradables, se tendría que: $DQO/DBO_5 = 1,46$.

En la práctica esa relación varía extraordinariamente, y no puede preverse para un agua cualquiera.

A título meramente indicativo se pueden dar los siguientes parámetros:

Estado	DBO₅ (mg/l)
Agua Pura	0 - 20 mg/l
Agua Levemente Contaminada	20 - 100 mg/l
Agua Medianamente Contaminada	100 - 500 mg/l
Agua Muy Contaminada	500 - 3000 mg/l
Agua Extremadamente Contaminada	3000 - 15000 mg/l

4.3.3 Carga másica

Se denomina Carga Másica (Cm) a la relación entre la masa de alimentación (DBO₅ o masa de material volátiles) que entra diariamente en el reactor y la masa de fangos St contenida en ese reactor

4.3.4 Temperatura

En los sistemas de tratamiento biológico de lodos activados la eficiencia de remoción de los contaminantes es afectada directamente por los cambios de la temperatura en el reactor, debido a las condiciones ambientales o de operación, por lo que se deben modificar los parámetros de operación tales como caudales de reciclo de lodos activados y/o caudales de purga de lodos, de modo que se puedan ajustar las condiciones de operación para contrarrestar el efecto de la temperatura en el proceso

4.4 Variables de control

El proceso de lodos activados requiere de la combinación adecuada de factores como aereación, recirculación de lodos, flujo de alimentación, decantación, pH, temperatura, sólidos totales en el reactor, etc.

Para el caso de la planta piloto se definió las siguientes variables:

- Caudal de alimentación

- Carga másica
- Porcentaje de lodos
- Caudal de recirculación
- Volumen del reactor
- Caudal de aereación

Para facilidades de cálculos y operación se fijaron algunas variables:

4.4.1 Volumen del reactor

De acuerdo a la información entregada por la empresa Sacitec, se realizaron cálculos para estimar el volumen del reactor biológico. Por temas de costos se fijo el volumen y no tener diferentes reactores.

Una vez fijado el volumen del reactor se pueden realizar variaciones de otras variables como el porcentaje de lodos, el caudal de recirculación, el caudal de alimentación.

4.4.2 Caudal de aereación

Se fijo constante la cantidad de oxígeno de alimentación, manteniendo siempre en el reactor biológico un valor de 2ppm promedio de oxígeno disuelto.

4.4.3 Caudal de alimentación

El caudal de alimentación se mantuvo constante en periodos cortos, en función a la carga orgánica de alimentación y tratando de mantener la carga másica. El caudal se fue variando aproximadamente cada 7 días, durante todo el proceso de operación.

4.4.4 Carga másica

Con las variaciones del caudal y los sólidos totales disueltos tratamos de mantener constante la carga másica por periodos cortos, el objetivo de mantener constante esta variable por periodos cortos fue encontrar el valor más óptimo de operación y poder bajar la DBO_5 menor a 15ppm. Como la carga másica está en función del caudal de alimentación y la contaminación que existe en el efluente, se estable rangos de tratamiento para la depuración de los mismos.

4.4.5 Porcentaje de lodos

Se trato de mantener constante en un promedio del 40% para la carga másica óptima. Solo se realizaron variaciones en la última configuración para determinar el porcentaje mínimo de lodos.

4.4.6 Caudal de recirculación

La recirculación se fue variando en función al porcentaje de lodos y el caudal de alimentación en cada reactor. Se vario desde el 50% hasta el 200%.

4.5 Diseño del equipo piloto

Para el diseño del equipo piloto se considero los siguientes parámetros, con sus ecuaciones respectivas:

4.5.1 Carga másica

$$Cm = \frac{CO \times Q}{Vr \times SST}$$

Cm: carga másica (Kg DBO₅/día KgMLSS)

CO: carga orgánica (Kg/m³)

Q: caudal del efluente (m³/día)

Vr: Volumen del reactor

SST: Concentración de sólidos en suspensión en el Reactor (Kg MLSS/m³)

4.5.2 Carga volumétrica

$$Cv = Cm \times SST$$

Cv: carga volumétrica (Kg DBO₅/día)

Cm: carga másica (Kg DBO₅/día KgMLSS)

SST: Concentración de sólidos en suspensión en el Reactor (Kg MLSS/m³)

4.5.3 Necesidad de oxígeno

$$O.N._{teórico} = d \times B + 0,7 \times C \times M$$

$$O.N._{cálculo} = O.N._{teórico} \times \left(\frac{Qp}{Qm} \right)$$

d: Demanda de oxígeno en la fase de agitación para el desprendimiento del agua (esta en el rango de 0,4 – 0,7) (KgO₂/KgDBO₅)

B: cantidad de DBO₅ que entra diariamente al reactor biológico (kgDBO₅/día)

C: Demanda de oxígeno referido a los microorganismos de los lodos (esta en un rango 0,08 – 0,14) (KgO₂/KgDBO₅)

M: Cantidad de sólidos en el reactor biológico (Kg MLSS)

Qp: caudal punta entrante al reactor biológico

Qm: caudal medio entrante al reactor biológico

4.5.4 Potencia necesaria de oxigenación

$$PN = \left(\frac{O.N._{cálculo}}{2 \left(\frac{KgO_2}{Kw \times h} \right) \times 0,6} \right)$$

4.5.5 Edad de fangos

$$T = \left(\frac{X}{\left(\frac{\Delta X}{\Delta T} \right)} \right)$$

X: Concentración de S.S. (Kg MLSS/m³)

(ΔX/ΔT): Cantidad de microorganismos que se generan por unidad de tiempo o exceso de fangos a añadir a fin de mantener constante en el Reactor Biológico la concentración X (Kg MLSS/ m³ día)

4.5.6 Índice de Molhmann (I)

Se trata del volumen en ml ocupado por 1 gramo de Materia Sólida en Suspensión, después de decantar durante 30' en una probeta de 1 litro (m^3/kg).

4.5.7 Recirculación

Es la cantidad o caudal que se hace pasar por el Reactor Biológico respecto del caudal tratado:

$$\frac{R}{Q} = \frac{X \times I}{1.000 - X \times I}$$

X: Concentración de Sólidos en Suspensión en el Reactor Biológico (Kg MLSS/ m³)

I: Índice del Molhmann (m^3/kg)

R: Caudal que se hace circular por el Reactor Biológico ($m^3/día$)

Q: Caudal tratado ($m^3/día$)

Una vez definidas los parámetros y las variables de control se realizó el diseño del tanque ecualizado, la cámara de repartición, los reactores biológicos, los decantadores y el sistema de recirculación.

En el capítulo 5 se describen las especificaciones técnicas de los equipos.

El principio de tratamiento propuesto es el de la aeración prolongada. Se trata de un procedimiento de tratamiento directo de las aguas residuales mediante lodos activados con cargas muy pequeñas.

El sistema de tratamiento cuenta con los siguientes equipos:

- a. Tanque Ecualizador (TE-01)
- b. Mezclador homogenizador (MH-01)
- c. Bomba peristáltica de alimentación (BP-01)
- d. Tanque de repartición (TQ-05)
- e. Tanques Aireación (TQ-01 A/B)
- f. Tanques de Decantación (TQ-02 A/B)
- g. Bombas Peristálticas de Recirculación de lodos (BP-02 A/B)
- h. Tanque de almacenamiento de Acido Fosfórico (TQ-03)

- i. Tanque de almacenamiento de Urea (TQ-04)
- j. Bomba Dosificadora de Acido Fosfórico (BD-01)
- k. Bomba Dosificadora de Urea (BD-02)
- l. Soplador de aire para zona aireada (SP-01)

Este sistema consiste en poner el efluente industrial, en presencia de oxígeno, durante un tiempo suficientemente largo, grandes cantidades de lodos activados con pequeñas cantidades de contaminación, de manera que se logre una depuración lo más completa posible del agua a tratar y se favorezca la auto-oxidación de las materias vivas engendradas a partir de la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) hasta conseguir un fango residual que no presente ningún olor.

Como consecuencia, la materia orgánica aportada por el efluente es utilizada integralmente por solubilización y absorción de las materias en suspensión y de los coloides.

CAPITULO 5

DESCRIPCION DEL EQUIPO

5.1 Descripción técnica de los equipos

5.1.1 Capacidad de tratamiento

- Caudal medio : 23 lph
- Caudal punta : 30 lph
- Carga Contaminante : 27 Kg
- Volumen de aireación : 100 litros (dos tanques A/B)
- Superficie de decantación : 0,126 m²
- Volumen de decantación : 88 litros (dos tanques A/B)

5.1.2 Equipos del sistema de tratamiento

- Tanque Ecuilizador (TE-01)
- Mezclador homogenizador (MH-01)
- Bomba peristáltica de alimentación (BP-01)
- Tanque de repartición (TQ-05)
- Tanques Aireación (TQ-01 A/B)
- Tanques de Decantación (TQ-02 A/B)
- Bombas Peristálticas de Recirculación de lodos (BP-02 A/B)
- Tanque de almacenamiento de Acido Fosfórico (TQ-03)
- Tanque de almacenamiento de Urea (TQ-04)
- Bomba Dosificadora de Acido Fosfórico (BD-01)
- Bomba Dosificadora de Urea (BD-02)
- Soplador de aire para zona aireada (SP-01)

5.1.3 Cámara de Bombeo

Una Electrobomba, suministrada por la empresa donde se realizaran los estudios para la transferencia del efluente industrial desde el buzón hasta el tanque de equalización. La instalación cuenta con sus respectivos accesorios.

Marca	: Hidrostral o Similar
Cantidad	: 01 unidades
Caudal	: 5 m ³ /h
Altura manométrica total	: 2,5 m
Potencia pro. del motor	: 2,2 Kw

5.1.4 Sistema de alimentación

Una bomba peristáltica, para alimentar al reactor biológico (tanques de aeración) transferencia del efluente industrial desde el buzón hasta el tanque de equalización. La instalación cuenta con sus respectivos accesorios.

Marca	: Stenner
Cantidad	: 01 unidades
Caudal	: 26 lph
Presión de descarga	: 1,72 bar

5.1.5 Reactor Biológico

Dos tanques A/B para el Tratamiento Biológico. Estos tanques están fabricados en PVC cuentan con una mirilla de acrílico en parte posterior a los decantadores tienen las siguientes características:

Cantidad	: 2 unidades
Longitud	: 0,4 m
Ancho	: 0,4 m
Altura	: 1,0 m
Recubrimiento interno	: Pintura epóxica anticorrosiva Ameron 400
Recubrimiento Externo	: Pintura anticorrosiva esmalte

5.1.6 Decantación

Dos tanques sedimentadores A/B. Estos tanques están fabricados en acrílico tiene las siguientes características:

Cantidad	: 02 unidades
Diámetro	: 0,4 m
Altura	: 1,2 m

5.1.7 Sistema de Aireación

Un blower para la aireación. El blower viene montado sobre una base metálica con sus respectivos accesorios de instalación. Este equipo tiene las siguientes características:

Marca	: Sutorbil
Cantidad	: 01 unidad
Caudal de aire	: 240 m ³ h ⁻¹
Potencia pro.	: 2,6 Hp
Presión	: 2,5 bar

5.1.8 Sistema de Dosificación de Nutrientes

Esta bomba servirá para suministrar los nutrientes. Asegura asimismo la presencia de Nutrientes y Fósforo (2ppm aproximadamente) en el almacenamiento de agua si fuera necesario.

Cantidad	: 02 unidades
Bomba dosificadora	: Blue White
Caudal	: 4,5 GPM
Tanque de Preparación	: PVC

5.1.9 Difusores de microburbujas

Un Juego de Difusores de Microburbujas para la inyección de aire del Blower. Viene con sus respectivos accesorios de conexión.

5.1.10 Recirculación de lodos

Un sistema de retorno de lodos está constituido por dos bombas peristálticas. La conexión de recirculación está controlada por 4 electroválvulas

Marca : Stenner
 Cantidad : 02 unidades
 Caudal : 26 lph
 Presión de descarga : 1,72 bar

Juego de conexiones y válvulas de PVC, Fierro galvanizado y acero inoxidable para toda la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. Incluye tubería, codos, tees, uniones y otros materiales y accesorios propios de la Planta.

5.2 Descripción mecánica

AREA	DESCRIPCION DEL MATERIAL	U.M.	CANT.
ALIMENTACION DE EFLUENTES	Tuberia de succion de Ø2" fe	2	m
	Tuberia de descarga Ø2" fe	4	m
ECUALIZACION	Tanque de Plastico para solucion de Ø 0. 60m x 1m	1	Pza
	Tuberia de succion Ø1/4"	2	m
	Tuberia de descarga Ø1/4"	3.5	m
	Filtrovalvula de descargas	2	Pza
	Parante Metalico para agitador en tubo cuadrado 3"x1.20mt	1.2	m
	Parante para bomba peristaltica en angulo de 3/16	1	m
REACTOR BIOLÓGICO	Reactor de PVC 800X800X100 mts con visores de acrilico	2	Pza
	Base Metalica de Reactor de PVC en angulo de 2x3/16	6	m
	Caja de Regulacion de 20x30x40cm c/divisiones internas	1	Pza
	Tuberia Flexible Reactor - Decantador	1	m
SISTEMA DE AIREACION	Tuberia de Ø1"	3	m
	codos Ø1" fe	5	Pza
	Valvulas Ø1" fe	3	Pza
	Difusores de Microburbujas	2	Pza
DOSIFICACION DE NUTRIENTES	Tuberia de succion Ø1/4"	1	m
	Tuberia de descarga Ø1/4"	1.5	m
	Tanques de plastico Ø 0.4 mx0.7m	2	Pza
DECANTACION	Tanques Acrilico de 43cm x 1.20mts	2	Pza
	Soportes angulo 1/4"x2x0.5m	6	Pza
	Tuberia de PVC Ø2.5"	1.5	m
	Codos PVC Ø2.5"	2	Pza
	Uniones T	GB	GB
RECIRCULACION DE LODOS	Manifold de Ø1" fe - succion	1.3	m
	Tuberia de Succion Ø1/4x0.5m	4	Pza
	Tuberia de Descarga Ø1/4"	4	Pza
	Manifold de Descarga Ø1"	1.5	m
	Codos Ø 1" fe	4	Pza
	Valvulas manuales Ø1" fe	2	Pza
TABLERO ELECTRICO	Parante para tablero electrico en angulo de 2 1/2 x 3/16 de 0.6m x 1.70m	1.7	m
	Tuberia de Ø1" parte electrica c/cables	4	m
	Tuberia de Ø3/4" parte electrica c/cables	2	m
PLATAFORMA	Plancha estriada acero estructural 1.85m x 3.20m	1	Pza

5.3 Descripción eléctrica

AREA	DESCRIPCION DEL EQUIPO	U.M.	CANT.
ALIMENTACION DE EFLUENTES	Motor bomba de 2HP	1	Pza
	Cables Electricos	GB	GB
ECUALIZACION	Motor Bomba Peristaltica	1	Pza
	Agitador Electrico marca General Electric de 1/2 Hp con su respectivo eje de INOX 3/4 y con elise	1	Pza
SISTEMA DE AIREACION	Motor del Blower 2.6 HP	1	Pza
	Cables Electricos	GB	GB
DOSIFICACION DE NUTRIENTES	Motores de bombas BLUE WHITE (45 Watt)	2	Pza
RECIRCULACION DE LODOS	Motores de Bombas Peristalticas	2	Pza
	Motores de electrovalvulas	4	Pza
TABLERO ELECTRICO	Tablero Electrico de Metal de 20x60x80 cm	1	Pza
	Tuberia de Ø1" parte electrica c/cables	4	m
	Tuberia de Ø3/4" parte electrica c/cables	2	m

5.4 Sistemas de control

Los sistemas de control ejecutado en la planta piloto fueron:

5.4.1 Sistema de control eléctrico

Control del efluente industrial

La electrobomba alimentadora de efluentes Industriales al tanque ecualizador estuvo controlado por un sensor de nivel ubicados en el interior de dicho tanque por periodos aproximados de 4seg (para un caudal de 180-200 L/s). Con un tiempo de descanso aproximado de 10 min. (Según cálculos medidos)

Los controles fueron dados a través de los siguientes comandos operacionales

Comandos:

En el tablero, lleva un conmutador de 3 posiciones, "Manual/ 0 /Automático" y **2 botoneras "Arranque/Parada", siendo:**

Manual y ON/OFF: arrancar/parar el motor en modo manual.

Automático: Fue controlado por el sensor de nivel (EB-01), colocado en el tanque ecualizador, de acuerdo a los niveles establecidos en la puesta en marcha.

Control de aire

El sistema de aereación hacia los reactores Biológicos estuvo controlado por un temporizador el cual insuflaba aire por un periodo de 45 min. Con parada de 15 min.

Comandos:

En el tablero, lleva un conmutador de 3 posiciones, "Manual/ 0 /Automático" y 2 botoneras "Arranque/Parada", siendo:

Manual y ON/OFF: arrancar/parar el motor en modo manual.

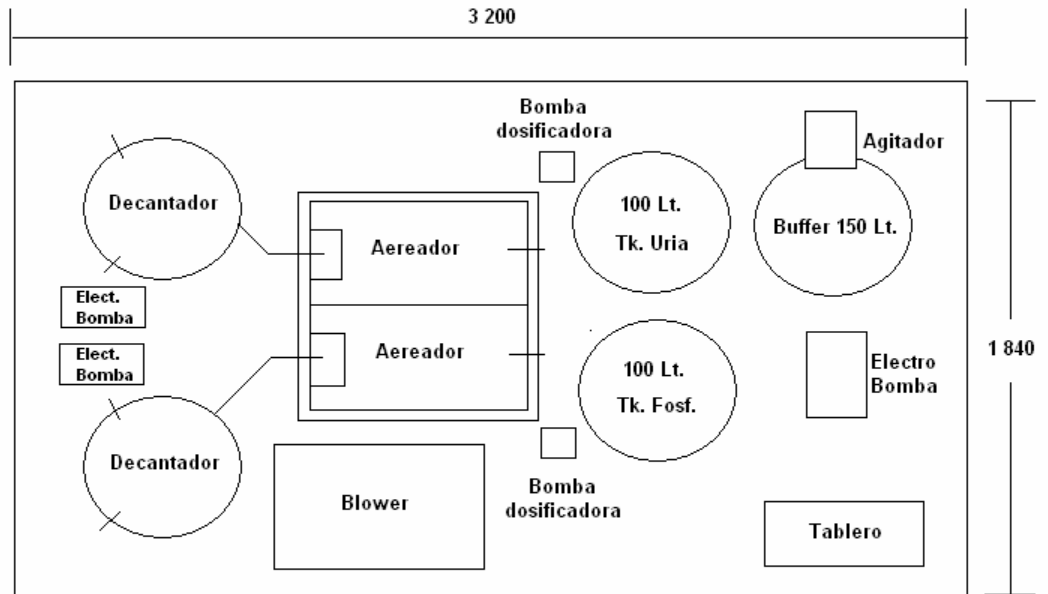
Automático: El control será realizara por un interruptor horario de acuerdo al tiempo programado en la puesta en marcha.

5.4.2 Sistema de control mecánico**Control del caudal de ingreso a los reactores**

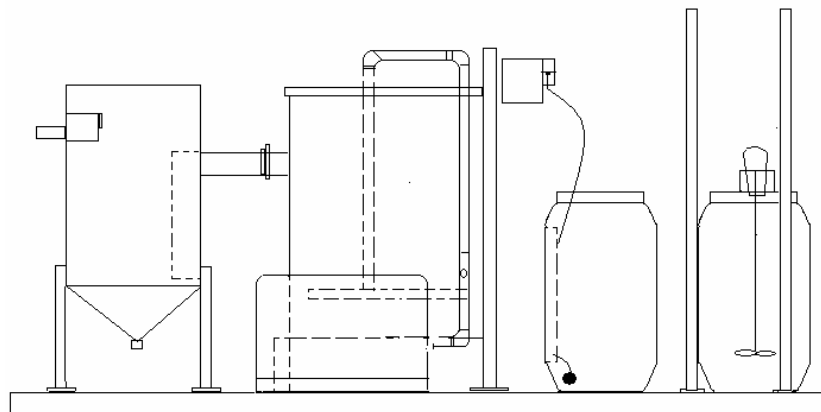
El caudal de ingreso a los reactores estaba controlado por altura de compuerta ubicadas en el interior del vertedero Como se puede observar en los reportes diarios (caudales: Q3 y Q4).

5.5 Esquema de diseño

DISPOSICION DE PLANTA



PLANTA PILOTO VIRÚ



CAPITULO 6

OPERACIÓN DE LA PLANTA PILOTO

6.1 Operación de la planta piloto

Las pruebas de funcionalidad de toda la instalación de la planta piloto se realizaron siguiendo las etapas sugeridas a continuación, pueden ser modificadas según las condiciones de servicios a ser ejecutados y las necesidades de la Empresa. Cabe resaltar que dichas pruebas fueron vigiladas por una supervisión mecánica, eléctrica y de instrumentación, y orientadas por un supervisor de proceso de la unidad.

6.1.1 Pruebas hidráulicas

Las pruebas hidráulicas consisten en la introducción de agua en el tramo de la red y los tanques de almacenamiento. La comprobación posterior de la caída de la presión que tiene lugar en un tiempo determinado. La elección de un fluido u otro dependerá de la localización de las tuberías y/o tanques de sus características. Realizados a los siguientes equipos:

- Tanque ecualizador
- Tanques de aereación
- Tanques de decantación
- Tanques de Acido Fosfórico
- Tanque de Urea

6.1.2 Pruebas mecánicas

Durante las pruebas mecánicas se probaron:

Tensión: La tensión es una fuerza que tira; por ejemplo, la fuerza que actúa sobre un cable que sostiene un peso. Bajo tensión, un material suele estirarse, y recupera su longitud original si la fuerza no supera el límite elástico del material. Bajo tensiones mayores, el material no vuelve completamente a su situación original, y cuando la fuerza es aún mayor, se produce la ruptura del material.

Compresión: La compresión es una presión que tiende a causar una reducción de volumen. Cuando se somete un material a una fuerza de

flexión, cizalladura o torsión, actúan simultáneamente fuerzas de tensión y de compresión. Por ejemplo, cuando se flexiona una varilla, uno de sus lados se estira y el otro se comprime.

Dureza Brinell: Definimos a la dureza como la resistencia de los materiales a ser penetrados, a absorber energía o a ser cortados.

6.1.3 Puesta en marcha

Todo el sistema se interconecta a un tablero de control semi automático, se podrá poner en funcionamiento todos los quipos de forma manual o automático. Obedece a los niveles operativos preestablecidos.

Se realizaron algunas verificaciones con el fin de evitar contratiempos en el momento de la puesta en marcha.

Procedimientos de Parada y Arranque Programados

Antes de iniciar cualquier arranque programado se verificó todos los registros, para determinar los trabajos de inspección y reparación que deben ser ejecutados. Se preparó un programa de parada y se incluyó la programación de almacenamiento de materia prima para un arranque posterior.

Se trató de Mantener una conexión estrecha con todas las unidades de operación involucradas, para minimizar o eliminar los perjuicios de la operación. Al parar, prestar atención para impedir que se dañen los equipos por expansión, contracción, choque térmico, presión inadecuada o vacía, etc.

Se aseguro que ninguna bomba opere vacía y hacer lo necesario por la continuidad de los servicios y gases de purga durante todo el tiempo que sea necesario.

Parada Programada

- Desconectar las bombas de alimentación (Electrobomba) (EB-01) de alimentación del Tanque de Ecuilización (TE-01) ;
- Desconectar la bomba peristáltica (BP-01) de alimentación al reactor biológico (TQ-01 A/B);

- Dejar las bombas peristálticas de recirculación interna conectadas (BP-02 A/B);
- Desconectar la bomba dosificadora de Acido Fosfórico (BD-01)
- Desconectar las bombas dosificadoras de Urea (BD-02)

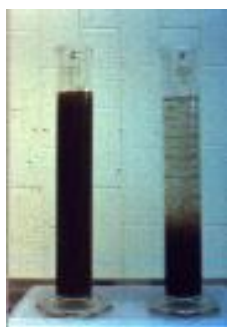
6.1.4 Formación de lodos

En las dos primeras semanas nuestro trabajo consistió en la Formación De Lodos en el Reactor Biológico o Tanque de Aireación de tal manera que podamos lograr una sedimentación del 40% de lodos en el tanque de aireación como mínimo.

Durante este periodo (26/11/07 al 03/12/07) de formación de lodos la BP-01 alimento con un flujo de 30 l/h, con el objetivo de ingresar la mayor carga orgánica posible. (Figura N° 6.1)

Luego desde 04/12/07 al 15/12/07 se realizo pilotaje regulando BP-01 a un caudal de 15 l/h. Aproximadamente con la finalidad de variar la carga másica (CM1). Se tuvo que realizar una variación en el cronograma por no alcanzar a la formación de lodos deseado (aproximadamente el 40%).
Vista N° 6.2

Vista N° 6.1.4.1



Vista N° 6.1.4.2



6.1.5 Configuraciones

Del 03 dic al 12 dic del 2007, se regulo el caudal a 15 lph con una repartición del 75% al Reactor B, y el 25% al reactor A, al termino del periodo se logro bajar la DBO de 330 ppm a 38 ppm, luego del tratamiento.

- Del 13 dic al 31 dic del 2007, se regulo el caudal a 25 lph con una repartición del 75% al reactor B, y el 25% al reactor A, al término del periodo se logro bajar la DBO a 14ppm, por debajo del LMP establecidas en el Perú.
- Del 14 al 19 de enero; se trabajó con un caudal de 25-28 L/h. graduado. Con una relación de flujos 75-80% del caudal de la BP 01 que ingresa al TQ-01B (Q-03) y el 20-25% ingresa al TQ-01 (Q-04).
- Del 21 al 26 de enero; se trabajo con un caudal de 25-28 L/h. graduado. Con una relación de flujos 75-80% del caudal de la BP 01 que ingresa al TQ-01B (Q-03) y el 20-25% ingresa al TQ-01 (Q-04). Misma configuración de la semana pasada.
- Del 28 de enero al 02 de febrero – Sistema Batch; se trabajo con un caudal de 10-11 L/h. graduado. La cual el Tanque de Aireación A es Reactor Biológico. y el Tanque de Aireación B. es Tanque de Sedimentación.

6.2 Comportamiento del efluente

DEL 26-11-2007 AL 15-12-2007.

Desde el 26-11-2007 al 15-12-2007, se pudo apreciar que el efluente tenía una variación con sus propiedades organolépticas respecto a su color y cantidad de sólidos. Esto varía de acuerdo a la producción de SAV SA, como se puede apreciar en cuadro.



HORA	PRODUCCION	CARACTERISTICA DEL AGUA
8.40 – 9.30 a.m.	Alcachofa	agua negra
9.30am – 12.00 a.m.	Alcachofa	Agua clara
12.00 – 04.00 p.m.	Pimiento	Agua negra rojiza con gran cantidad de sólidos (pepas).

Cuadro Nº 6.2.2

DEL 17-11-2007 AL 30-12-2007.

Desde el 17-12-2007 al 30-12-2007. Los efluentes residuales en cuanto a sus propiedades organolépticas solo vario en cuanto al olor, en horario de 10:00 a 01:00pm se percibía olor a acido, según supervisores de producción usan ácido cítrico para la etapa de blanqueado de alcachofa.

HORA	PRODUCCION	CARACTERISTICAS DEL AGUA
7:00 - 10:00 am	Alcachofa	Agua negra
10:00 - 01:00 pm	Alcachofa	Agua clara olor a acido
01:00 - 11:00pm	Pimiento	Agua negra rojiza con gran cantidad de solidos (pepas)

Cuadro Nº 6.2.2

DEL 02-01-2008 AL 12-01-2008

En el transcurso de este periodo, se pudo apreciar que el efluente tenía una variación con sus propiedades organolépticas respecto a su color, olor y cantidad de sólidos. Esto varía de acuerdo a la producción de SAV SA, como se puede apreciar en el siguiente cuadro registrado en este periodo.

HORA	PRODUCCION	CARACTERISTICAS DEL AGUA
08:00 - 11:00 pm	Pimiento, Esparrago, Jalapeño	Agua negra rojisa con gran cantidada de solidos
11:00 - 12:00 pm	Pimiento, Esparrago, Jalapeño	Agua turbia limpia con poco solidos
12:00 - 08:00 pm	Pimiento, Esparrago, Jalapeño	Agua marron oscura y gran cantidad de solidos

Cuadro Nº 6.2.3

DEL 14-01-2008 AL 19-01-2008

Desde el 14-01-2008 al 19-01-2008. Los efluentes residuales tuvieron un comportamiento como se indica a continuación.

HORA	PRODUCCION	CARACTERISTICAS DEL AGUA
08:00 - 11:00 pm	Pimiento, Esparrago, Jalapeño	Agua negra rojisa con gran cantidad de solidos
11:00 - 12:00 pm	Pimiento, Esparrago, Jalapeño	Agua turbia limpia con poco solidos
12:00 - 08:00 pm	Pimiento, Esparrago, Jalapeño	Agua marron oscura y gran cantidad de solidos

Cuadro N° 6.2.4

DEL 21-01-2008 AL 27-01-2008

Desde el 21-01-2008 al 27-01-2008. Los efluentes residuales tuvieron un comportamiento como se indica a continuación.

HORA	PRODUCCION	CARACTERISTICAS DEL AGUA
08:00 - 11:00 pm	Pimiento, Esparrago, Jalapeño	Agua negra rojisa con gran cantidad de solidos
11:00 - 12:00 pm	Pimiento, Esparrago, Jalapeño	Agua turbia limpia con poco solidos
12:00 - 08:00 pm	Pimiento, Esparrago, Jalapeño	Agua marron oscura y gran cantidad de solidos

Cuadro N° 6.2.5

6.3 Monitoreo del efluente**6.3.1 Método del monitoreo**

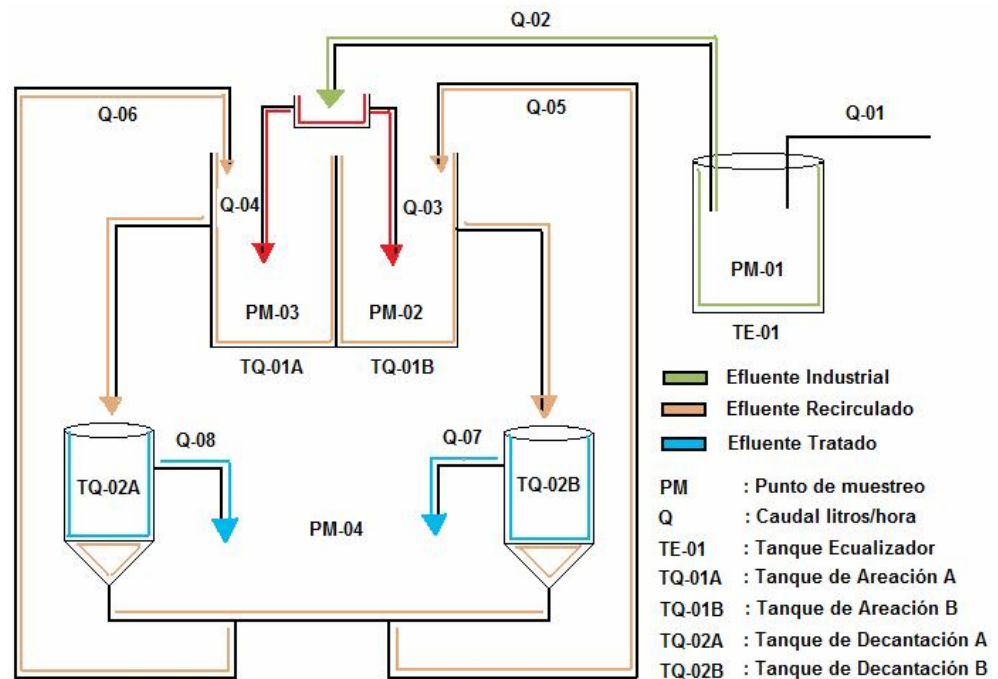
Para la evaluación de la eficiencia del sistema se determinó: Color y olor del agua antes y después del tratamiento, pH, OD, %Lodos, SST, caudales, materia en suspensión, materia en solución, materia total, Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO).

En los tanques de aireación el tiempo de aireación era de 45min de aireación y 15min de descanso.

6.3.2 Puntos de muestreo

Se tomó muestras en los siguientes puntos:

- Tanque equalizador (TE – 01)
- Reactor biológico A (TQ-01A)
- Reactor biológico B (TQ-01B)
- A la salida del sistema de tratamiento (PM-04)



Vista 6.3.3.1

6.3.3 Variables monitoreadas

Las variables a controlar son:

- ✓ %Lodos.
- ✓ pH.
- ✓ Oxígeno Disuelto.
- ✓ Sólidos Totales Suspendidos.
- ✓ Caudales.

6.4 Análisis de las variables de operación

Los análisis considerados son para cumplir con los requisitos de impacto ambiental. Como son: **pH, OD, DBO, DQO, SST, % Lodos y caudales.**

Se analizarán en un laboratorio especializado los siguientes elementos: DBO, SST, N, P y OD.

Los valores de pH durante el proceso, mostraron no haber tenido gran variación y por lo tanto no afectó la eficiencia del reactor. Con respecto al crecimiento de biomasa, en la figura se observa que el proceso no muestra un aumento considerable. Esto favorece el proceso continuo ya que se evita el problema de la purga de lodos.

Análisis de DBO, la desaparición del olor se marcó considerablemente tanto en el proceso en el continuo. Esto nos muestra que el proceso es eficiente ya que tanto en el olor como en el color son características que nos dan una primera impresión respecto a la calidad el agua.

Por otro lado, para darnos una idea mas general sobre el tratamiento del agua se realizó la evaluación de la muestra determinando DBO. Este valor se utilizó como parámetro, que representa de una manera más real lo sucedido en un proceso biológico, como lo es el tratamiento con lodos activados. La medida de DBO resulta ser un método aproximado para la determinación de materia orgánica biodegradable en el agua y este valor corresponde a una estimación de las materias oxidables presentes en el agua, ya sean de origen orgánico o mineral. La calidad del agua que entró al reactor continuo contenía una cantidad mayor de residuos orgánicos. Estas cifras nos ayudan a determinar la eficiencia del proceso continuo que ofrece mayores ventajas ya que el tiempo de retención hidráulica es menor y por lo tanto favorece la eliminación consecutiva de los contaminantes que se generan en las aguas residuales.

6.5 Rango de valores de las variables en estudio

6.5.1 Variación de ph

Variación de pH en los diferente puntos de muestreo, el rango de variación de pH esta entre 6 y 9.

6.5.2 Variación de oxigeno disuelto

Variación de Oxigeno Disuelto en el Reactor, el rango de variación debe estar entre 1,5 ppm y 2,5 ppm.

6.5.3 Variación de porcentaje de lodos

Variación del porcentaje de lodos, lo recomendable para el sistema es tener alrededor de 40% de lodos.

6.5.4 Variación de DBO

Variación del DBO en el efluente de la planta piloto debe estar entre 15 ppm y 50ppm.

Estos valores y/o rangos fueron tomados según la ley peruana y el IFC con la finalidad de controlar los efluentes de la Empresa Agroindustrial Sociedad Agrícola Virù y estar dentro de los límites permisibles, en caso de que los valores controlados en el efluente de la planta piloto no cumplan con dichos rangos estaríamos dando caso omiso a la ley general de aguas que se presenta a continuación.

6.6 Efecto de las variables manipulables

6.6.1 Caudal

El caudal es muy importante ya que a través de ella se controla el flujo de alimentación tanto la caja reguladora como a los respectivos reactores, estos juegan un papel preponderante en el proceso ya que a través de ella nos permitió variar la carga orgánica y por ende la carga másica encontrando así los valores óptimos.

6.6.2 Aireación

El ambiente aerobio en el reactor se consigue mediante el uso de aereadores (blower) que también sirven para mantener el líquido en estado de mezcla completa. Al cabo de un periodo (45min) determinado de tiempo, la mezcla de las nuevas células con las antiguas se conduce hasta un tanque de sedimentación para ser separados por sedimentación del agua residual tratada.

6.6.3 Recirculación

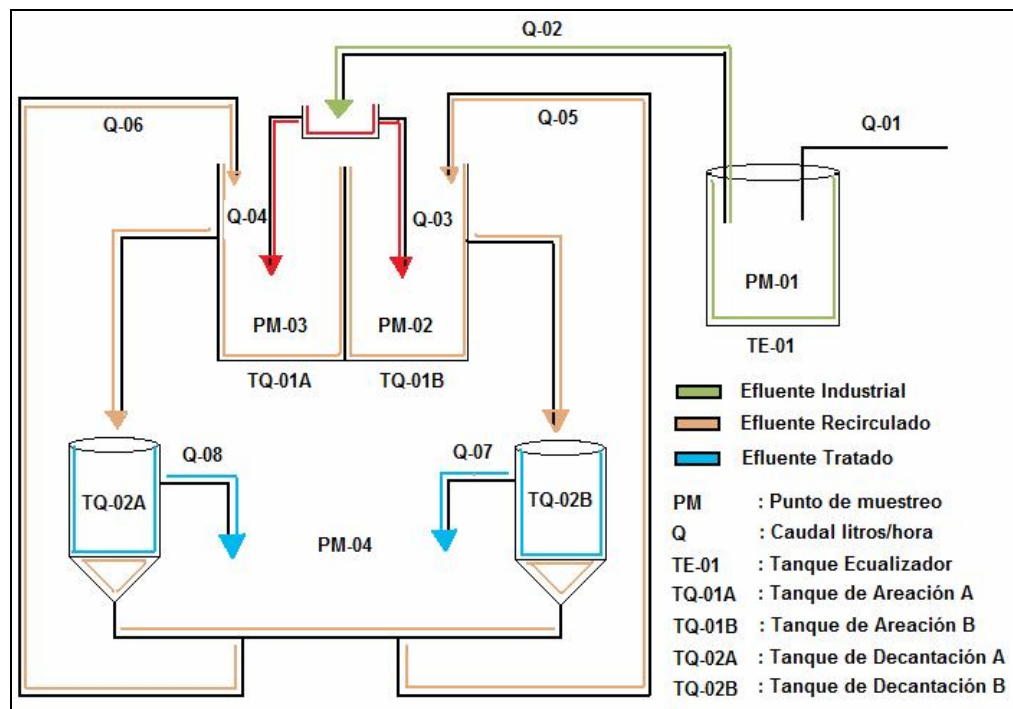
Una planta de lodos activados es un sistema de mezcla completa. Este método está provisto de un sistema de recirculación y eliminación de lodos. Los lodos sedimentados en los tanques de decantación son recirculados para mantener en el reactor la concentración de células deseadas.

CAPITULO 7

RESULTADOS

7.1 Datos reales del efluente y monitoreo en el equipo piloto

Los monitoreos y controles se realizaron según el siguiente esquema:



Vista N° 7.1.1

Se registraron datos todos los días, cada 2 horas, teniendo resúmenes semanales para el análisis.

Las variables controladas fueron:

- ✓ %Lodos.
- ✓ pH.
- ✓ Oxígeno Disuelto.
- ✓ Caudales.

A continuación se presenta los resultados del equipo piloto.

7.2 Resultados del equipo piloto

7.2.1 Caudal

La variación del caudal se fue regulando, tratando de encontrar la carga másica adecuada para el efluente. Los resultados semanales que se obtuvieron fueron los siguientes:

Fecha	Q2 (lph)	Q3 (lph)	Q4 (lph)
09-dic	19,43	14,65	4,65
16-dic	24,17	16,85	7,61
26-dic	25,43	19,24	6,99
12-ene	30,59	24,67	5,98
18-ene	27,37	20,96	6,49
28-ene	27,28	20,89	6,33

7.2.2 Carga orgánica y másica

Las cargas orgánicas y las cargas másicas se fueron variando en función del caudal y la eliminación de la DBO₅, se encontró el punto óptimo para un tiempo de operación de 3 meses.

SEMANA	Reactor A		Reactor B	
	CO (KgDBO/día)	Cm (KgDBO/d.Kg SST)	CO (KgDBO/día)	Cm (KgDBO/d.Kg gSST)
09-dic	0,04	0,17	0,12	0,53
16-dic	0,06	0,28	0,13	0,61
23-dic	0,06	0,25	0,15	0,70
30-dic	0,04	0,17	0,20	0,92
06-ene	0,04	0,17	0,19	0,86
12-ene	0,05	0,22	0,20	0,90
19-ene	0,05	0,24	0,17	0,76
26-ene	0,05	0,23	0,17	0,76

7.2.3 Variación de pH

La variación de pH se trato de mantener constante dentro de los límites establecidos por las leyes nacionales y las internacionales. A la salida del equalizador se nota un efluente con un pH bajo, pero en el reactor se corrige, manteniéndose casi constante.

Fecha	PM - 01	PM - 02	PM - 03	PM - 04
09-dic	3,16	4,49	4,48	4,25
16-dic	5,87	7,13	7,26	7,40
26-dic	5,91	7,46	7,63	7,72
12-ene	5,63	7,65	7,69	7,66
18-ene	6,38	7,71	7,68	7,71
28-ene	7,33	7,79	7,68	7,74

7.2.4 Porcentaje de lodos

Durante toda la etapa de operación, se trato de mantener un porcentaje de lodos constante alrededor del 40%, se realizaron dos purgas, con la finalidad de ver su variación en función de la recirculación y la eliminación de la DBO₅.

Fecha	PM - 02 (%)	PM - 03 (%)
09-dic	16,54	21,15
16-dic	45,93	41,20
26-dic	14,53	11,42
12-ene	35,17	34,17
18-ene	21,00	25,83
28-ene	13,04	18,89

7.2.5 Variación de la DBO₅, SST, P, N

Se realizo muestreos periódicos de efluente tratado para verificar la variación de la DBO₅, SST, P y N. las muestras fueron enviadas a los laboratorios de SGS para su respectivo análisis

Fecha	DBO (ppm)	SST (ppm)	P (ppm)	N (ppm)
09-dic	330	1700	2	10
16-dic	38	12	1,04	0,4
30-dic	14	18	0,78	0,8
12-ene	8	15	3,23	0,3
18-ene	42	21	2,4	0,1
28-ene	25	34	2,3	0,2

7.3 Análisis de resultados

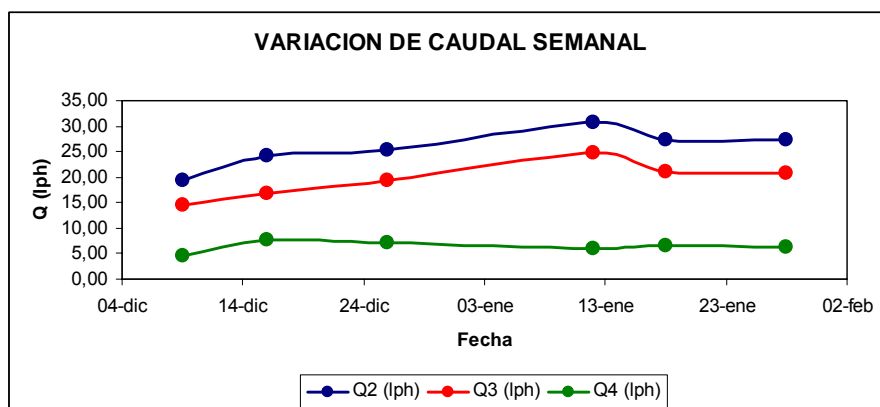
7.3.1 Variación de caudales

La variación del caudal dentro de los reactores estuvo en el rango:

Reactor A: entre 5% al 25%

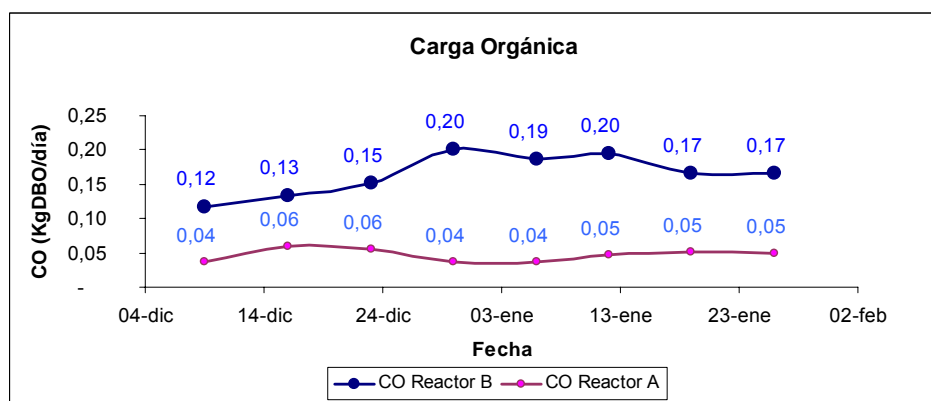
Reactor B: entre 75% al 95%

Se realizaron estas variaciones con el objetivo de encontrar la carga orgánica óptima de alimentación y la carga másica para el diseño final de la planta de tratamiento de efluentes.



7.3.2 Carga orgánica

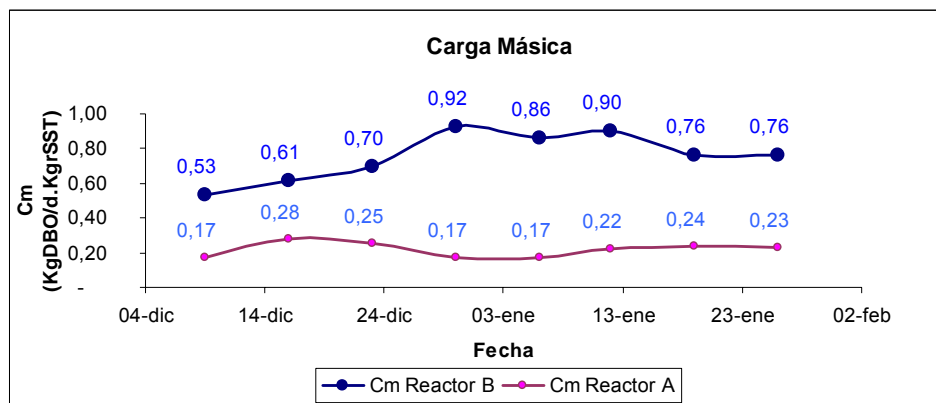
La carga orgánica esta ligada directamente al caudal de alimentación, la carga orgánica es la cantidad de materia en Kilos que ingresa al reactor como alimento para las bacterias. En el gráfico se observa que en el **reactor A** con cargas muy bajas se mantiene constante en 0,05 (kgDBO/día), fue el valor óptimo donde se redujo la DBO₅ a 8ppm.



7.3.3 Carga másica

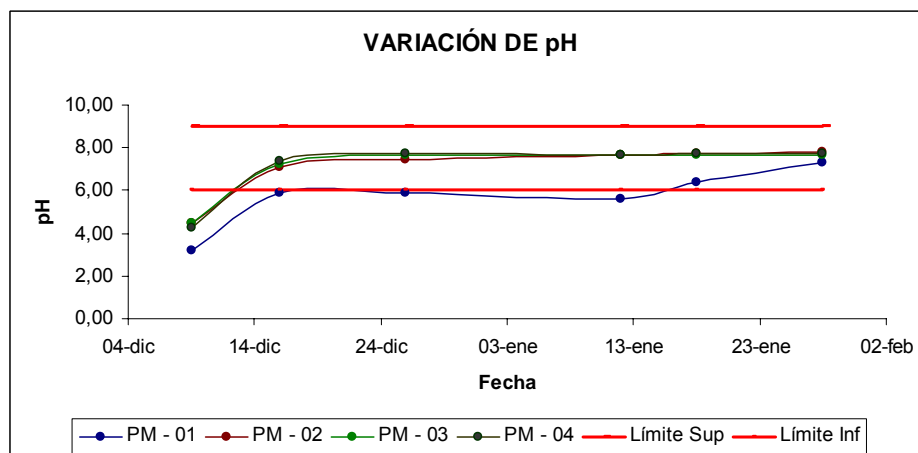
Se vario las cargas másicas en las diferentes semanas hasta encontrar el valor optimo donde se reduzca la DBO₅ menor a 15ppm tal como exige las leyes nacionales (agua clase III).

El valor óptimo de la carga másica que se trato de mantener constantes es 0,22 (KgDBO/d.KgSST), este valor nos permitirá calcular la dimensión del tanque de aereación.



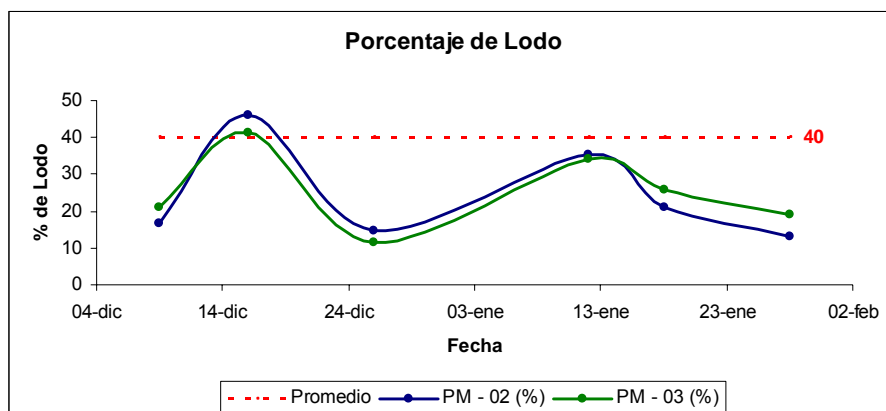
7.3.4 Variación de pH

Los valores de pH se trataron de mantener constantes dentro del rango establecidos por las leyes. No fue necesario adicionar ningún reactivo para su corrección.



7.3.5 Variación del porcentaje de lodos

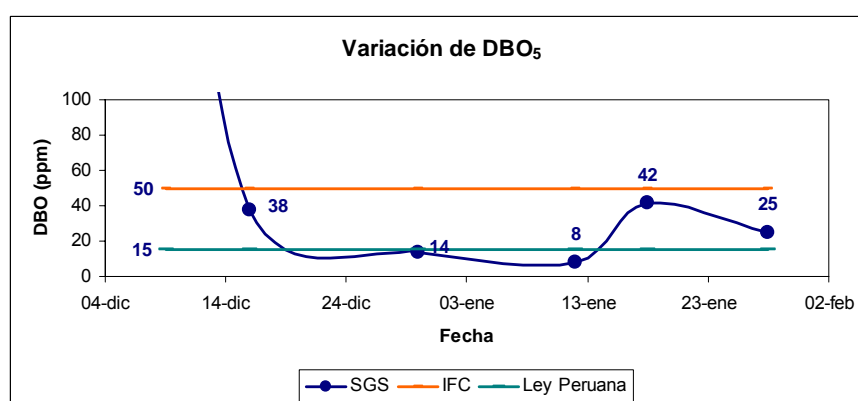
Se comprobó que el porcentaje de lodos debe estar alrededor del 40% dentro de cada reactor para poder garantizar la existencia de las bacterias y la eliminación de la materia orgánica. El valor óptimo es por debajo del 40% (un valor aproximado de 35%).



7.3.6 Demanda bioquímica del oxígeno (DBO₅)

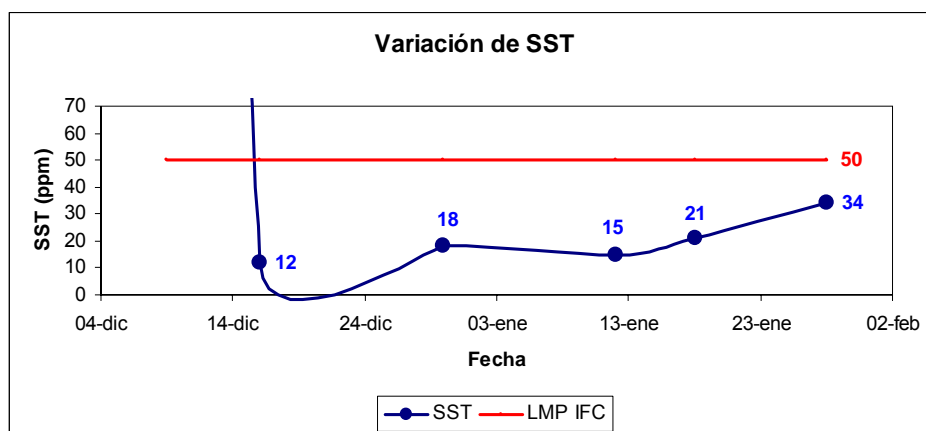
En la figura se observa el descenso progresivo de la DBO₅ conforme pasas las semanas hasta llegar al punto más bajo (8 ppm) y luego empieza a aumentar.

El descenso de la DBO₅ se debe a la variación de la carga másica, es decir, se fue reduciendo progresivamente hasta lograr la depuración de la materia orgánica según las leyes establecidas. Luego de lograr el punto óptimo se varió otros parámetros como la recirculación de lodos y el porcentaje de los mismos dentro del reactor, siendo no favorable el descenso de estos.



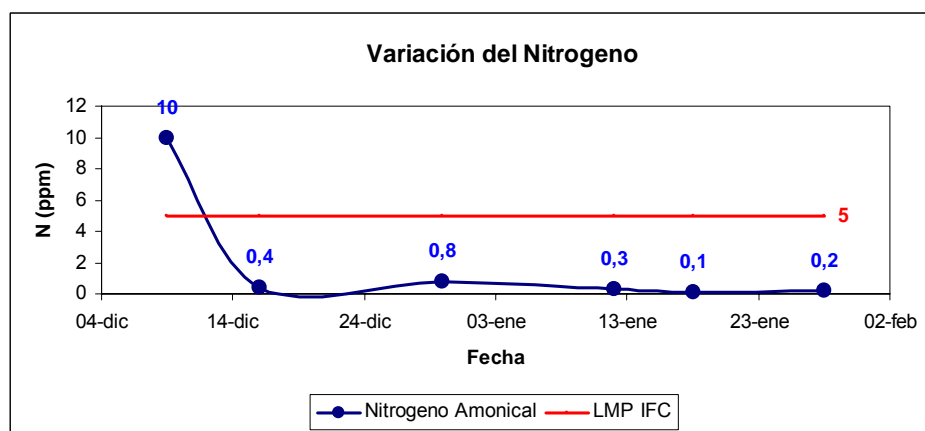
7.3.7 Sólidos totales en suspensión

La reducción de los SST del efluente fue de inmediato, luego del sistema de tratamiento, debido al equipo de decantación instalado después del reactor biológico. Se observa en el gráfico que siempre se mantuvo por debajo de los límites establecidos por las leyes.



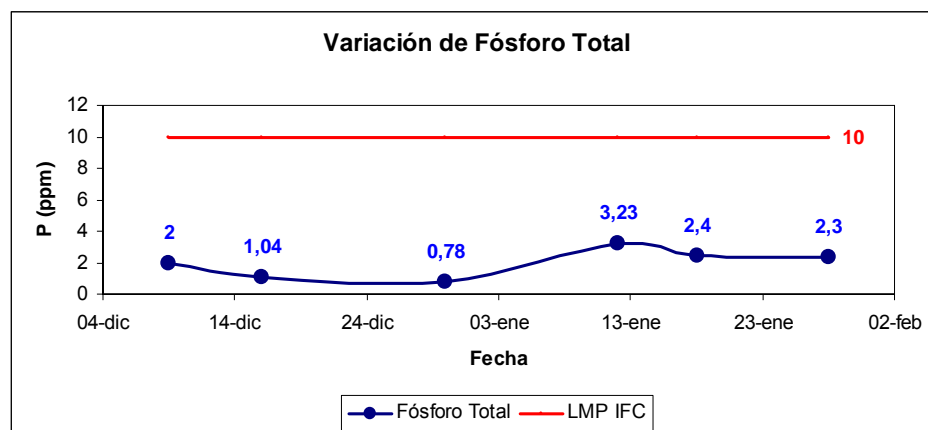
7.3.8 Variación de nitrógeno

Al igual que los contaminantes anteriores, la reducción del Nitrógeno fue de inmediato, manteniéndose por debajo de lo establecido por las leyes.



7.3.9 Variación de fósforo

El fósforo siempre estuvo por debajo del límite máximo permisible, no ocasiono mayor problema.



7.4 Selección del punto de diseño y operación

De acuerdo a los resultados obtenidos en la operación de la planta piloto, el sistema de tratamiento que se puede establecer para tratar los efluentes industriales de la empresa Agroindustrial, es por lodos activados a baja carga.

Las variables de diseño establecidas serian:

Carga Máscica : 0,22 (KgDBO/d.KgSST)

Porcentaje de Lodos : 35%

Caudal de recirculación : al 150%

En el desarrollo de la ingeniería de básica de detallara los condiciones de operación y los equipos que se deben implementar.

7.5 Caracterización del efluente

Características hidráulicas:

Caudal diario : 3 400 m³/día

Caudal horario : 25 à 160 m³/h

Período de generación de vertidos : 24h/24 y 7 días/7

VALORES LIMITES PERMITIDOS SEGÚN LA CLASIFICACION DE LOS CURSOS DE AGUA, DE LAS ZONAS COSTERAS DEL PERU			
Ley general de aguas D.L N° 17752 (24/07/69)			
PARAMETROS	(CLASE III)	IFC	Efluente Agroindustria
BACTEREOLÓGICOS			
Coliformes totales (NMP/100ml)	5 000		
Coliformes fecales (NMP/100ml)	1 000		
FÍSICO - QUÍMICOS			
pH	6-9	6-9	7,4
DBO (mg/l)	15	50	330
OD (ml/l)	3	-	-
SST (ml/L)		< 50	
Sustancias Potencialmente peligrosas (mg/m3)			
Selenio	50	100	
Mercurio	10	10	
P.C.B	1+	-	
Esteres Estalatos	0,3	-	
Cadmio	50	100	0,009
Cromo	1 000	500	-
Niquel	1+	500	-
Cobre	500	500	0,141
Plomo	100	100	0,023
Zinc	25 000	2000	0,211
Cianuros	1+	1000	0,021
Fenoles	1+	500	
Sulfuros	1+	1000	-
Arsénico	200	100	-
Nitratos	100	-	-
Sustancias potencialmente perjudiciales (mg/l)			
Mat. Extractable en hexano	0,5		-
Sust. Activas azul de metileno	1,0		-
Extracto de carbón activo por alcohol	5		-
Extracto de carbón activo por cloroformo	1,0		-
CLASES			
I.- Aguas de abastecimiento doméstico son simple desinfección			
II.- Aguas de abastecimiento doméstico con tratamiento			
III.- Aguas para riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales			
IV.- Aguas de zonas recreativas de contacto primario (baños y similares)			
V.- Aguas de pesca de mariscos bivalvos			
VI.- Agua de zonas de prevención de fauna acuática y pesca recreativa o comercial			

Características fisicoquímicas

DQO	: 294 à 750	mg/l
DBO ₅	: 120 à 430	mg/l
MES	: 36 à 100	mg/l
NTK	: 6 à 20	mg/l
P	: 1,2 à 4,5	mg/l
Grasas	: 7 à 15	mg/l
pH	: 4 – 7,8	
Temperatura	: 25 à 29	°C
Salinidad	: 1,6 à 1,7	g/l
Cloruros	: 622 à 659	mg/l

7.6 Hipótesis y confirmación de algunos parámetros

- DQO / DBO₅ < 1,7
- La duración de los valores mínimos debe ser corta, 1 a 2 días consecutivos como máximo. Más allá, la instalación podría sufrir resultados anómalos vinculados a una desnutrición demasiado importante.
- Las variaciones de concentración se efectúan en el mismo sentido y proporcionalmente.
- NGL = NTK
- Ausencia de tóxicos para el tratamiento biológico
- La temperatura en el reactor biológico se mantendrá inferior a 35°C.
- Los otros parámetros no comunicados se suponen inferiores a las normas de vertido.
- La concentración en cloruros es constante. No hay variaciones brutales.

7.7 Bases de diseño

Se estudio oportunidades de prevención y minimización en la generación de contaminantes en los residuos líquidos y sus volúmenes.

Por eso, se eligió los datos siguientes como bases de diseño:

Característica	Concentración	Flujo
Volumen diario		1730 m ³ /día
Caudal horario		25 a 160 m ³ /h
Caudal medido 4 horas		320 m ³ /4h
DQO	1 220 mg/l	2 284 kg/día
DBO ₅	660 mg/l	1 140 kg/día
MES	300 mg/l	519 kg/día
NGL	30 mg/l	52 kg/día
P	7 mg/l	12,1 kg/día
Grasas	20 mg/l	34,6 kg/día
Salinidad	3,2 g/l	5 536 kg/día
Cloruros	1 300 mg/l	2 249 kg/día
pH		7 – 8
Temperatura		25 a 29°C

Se considero que los efluentes tienen una cualidad constante durante el día y que el caudal de rechazo es muy regular.

7.8 Características del efluente de salida requeridos

La descarga se efectúa al medio natural, dos normas son eventualmente aplicables:

Normas IFC

DBO ₅	: 50 mg/l
SST	: 50 mg/l
NGL	: 10 mg/l
P	: 5 mg/l
pH	: 6 à 9

Ley peruana para un curso de agua de clase III:

DBO ₅	: 15 mg/l
pH	: 6 à 9
Oxígeno disuelto	: 3 mg/l

7.9 Diseño final del sistema de tratamiento

- Bombeo del efluente con desbaste grueso para protección de las bombas.
- Tamizado a 750 µm

- Balsa tampón
- Tratamiento biológico lodos activados a baja carga, con adición opcional de nitrógeno y fósforo para equilibrar las necesidades de nutrientes. Las bases de diseño no muestran una falta de nitrógeno o fósforo, pero eso puede ocurrir.
- Cámara de desgasificación con posible coagulación.
- Clarificación de los efluentes tratados. En salida de esta etapa se considera que el contenido en MES estará entre 5 y 35 mg/l.
- Filtración sobre arena de las aguas tratada. El objetivo del sistema es bajar la $DBO_5 < 15$ ppm, se establece 3 filtros a arena, velocidad de filtración 7 m/h. En lavado, se utiliza la producción de 2 filtros para lavar el tercero. Las aguas de lavado se devuelven a la entrada del sistema de tratamiento.
- Control de las aguas tratadas.
- Espesador de lodos biológicos
- Automatismos.

7.10 Consumo de reactivos químicos y energía

Consumos de reactivos:

Urea:

Para $DBO_5 = 660$ mg/l y $N = 30$ mg/l
 falta en N : 6 kg/día
 Son 13 kg/día de urea en polvo

Acido fosfórico:

Para $DBO_5 = 660$ mg/l y $P = 4$ mg/l
 falta en P : 4,5 kg/día
 Son 2,4 l/día de ácido al 75 %

Polímero en emulsión al 50 % de materia activa (MA)

Dosis teórica : 8 mg MA/kg MS
 Son +/- 7 kg/día de producto comercial en emulsión

Consumo eléctrico estimado:

Potencia eléctrica instalada: 235 kW
 Energía eléctrica consumida : +/- 2900 kWh / día

Producción de fangos:

Teniendo en cuenta de las variaciones de concentración en entrada, la producción de lodos esperada varía de 270 a 600 kg MS al día.

CAPITULO 8 COSTOS

8.1 Costos de equipos y servicios

EMOVSA:	8020	FECHA:	feb-07
CLIENTE:	EMPRESA AGROINDUSTRIAL	PREPARO:	PABLO SANCHEZ
PROYECTO:	Sistema de efluentes Q = 22 LPH	PROYECTO:	pruebas en un equipo piloto para diseñar un sistema de tratamiento de efluentes industriales real
COSTO:	\$ 26.519,00		

		TOTAL
1.	<u>COSTOS:</u>	
1.1	<u>COSTOS DIRECTOS:</u>	
1.1.1.	<u>Obra Civil:</u>	
	Partida 1:	
1.1.2.	<u>Equipos Electromecánicos:</u>	
	Partida 2: Calderería.	4.780,00
	Partida 3: Tuberías.	320,00
	Partida 4: Válvulas/Compuertas.	480,00
	Partida 5: Bulones/Juntas/Soportes.	160,00
	Partida 6: Equipos Electromecánicos.	6.580,00
	Partida 7: Motores.	120,00
	Partida 8: Automaticidad y Fuerza Motriz.	1.680,00
	Partida 9: Instrumentación.	240,00
	Partida 10: Material de Relleno y Varios.	420,00
	Partida 11: Imprevistos. 5%	739,00
	<u>Subtotal Equipos:</u>	15.519,00
1.1.3.	<u>Embalaje y Transporte.</u>	
	Partida 12:	3.400,00
	<u>TOTAL COSTO DIRECTO:</u>	18.919,00
1.2	<u>GASTOS:</u>	
1.2.1.	<u>Gastos de Montaje y PEM:</u>	
	Partida 14:	1.400,00
1.2.2.	<u>Gastos de Operación</u>	
	Partida 15:	4.800,00
1.2.3.	<u>Gastos de Coordinación, Ingeniería y Copia de Planos.</u>	
	Partida 16:	600,00
1.2.4.	<u>Gastos de Administración, Financieros, Seguros.</u>	
	<u>TOTAL GASTOS:</u>	6.800,00
1.3	<u>RECUPEROS Y SERVICIOS:</u>	
1.3.1.	<u>Aprovisionamiento:</u>	
	Partida 18:	
1.3.2.	<u>Ingeniería (Oficina Técnica):</u>	
		UN. \$/U CANT
	Partida 19:	día 50 10
		500,00
1.3.3.	<u>Montaje (supervisión):</u>	
	Partida 20:	día 50 3
		150,00
1.3.4.	<u>Puesta en Marcha (supervisión):</u>	
	Partida 21:	día 50 3
		150,00
	<u>TOTAL SERVICIOS:</u>	800,00
	<u>TOTAL COSTO:</u>	26.519,00

PARTIDA:2	CALDERERIA			4.780,00
	SISTEMA DE BOMBEO	1	120	120,00
	SISTEMA DE ECUALIZACION	1	260	260,00
	SISTEMA DE AEREACION	2	1200	2.400,00
	SISTEMA DE DECANTACION	2	800	1.600,00
	SISTEMA DE RECIRCULACION	2	200	400,00
PARTIDA : 3	TUBERIAS			320,00
	FACHADA DE INTERCONEXION	1	320	320,00
PARTIDA 4	VALVULAS			480,00
	ELECTROVALVULAS	4	120	480,00
PARTIDA 5	JBS			160,00
	SOPORTERIA	1	90	90,00
	PARANTE	1	70	70,00
PARTIDA 6	EQUIPOS			6.580,00
	BOMBA CENTRIFUGA	1	300	300,00
	BOMBA PERISTALTICA	3	1230	3.690,00
	BLOWER (SOPLADOR)	1	1800	1.800,00
	BOMBA DOSIFICADORA	2	350	700,00
	AGITADOR	1	90	90,00
PARTIDA 7	MOTORES			120,00
	MOTOR	1	120	120,00
PARTIDA 8	FZA. MOTRIZ Y COM.			1.680,00
	TABLERO ELECTRICO	1	1400	1.400,00
	CABLES DUCTOS ETC	1	280	280,00
PARTIDA 9	INSTRUMENTOS			240,00
	MANOMETROS	1	90	90,00
	COMPARADOR COLORIMETRICO	1	150	150,00
PARTIDA 10	VARIOS			420,00
	HIPOCLORITO DE CALCIO	1	300	300,00
	SULFATO DE ALUMINA	1	120	120,00
TOTAL DE EQUIPOS				14.780,00

8.2 Costo de operación de la planta piloto

Los costos de operación fueron calculados con personal de la zona, por lo que no se considero el alojamiento, alimentación y transporte.

MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA

Personal	Cantidad	Días	C. Unit	C. Total
Supervisor	1	20	50,00	1.000,00
Tecnico Electricista	1	5	40,00	200,00
Tecnico Mecanico	1	5	40,00	200,00

Costo Total **1.400,00 US\$**

OPERACIÓN Y PRUEBAS

Personal	Cantidad	Días	C. Unit	C. Total
Supervisor	1	24	50,00	1.200,00
Operador 1	1	90	20,00	1.800,00
Operador 2	1	90	20,00	1.800,00

Costo Total **4.800,00 US\$**

8.3 Costo real del sistema de tratamiento

Se realizo un estimado de precios divididos en:

Obras Civiles	US\$ 600 000.00
Equipamiento	US\$ 900 000.00
Montaje Electromecánico	US\$ 250 000.00
Puesta en marcha	US\$ 50 000.00

CAPITULO 9

CONCLUSIONES

9.1 Conclusiones

Luego de realizar las pruebas necesarias en el equipo piloto se llegaron a las siguientes conclusiones:

- El sistema de tratamiento cumple con las exigencias establecidas por el IFC y las leyes peruanas.
- El efluente industrial generado por la empresa Agroindustrial es biodegradable y se puede tratar con un sistema de lodos activados.
- La eficiencia del sistema de tratamiento puede alcanzar hasta un 97% de depuración de la materia orgánica.
- El equipo ocupara un área inferior a los establecidos por otros sistemas de tratamiento como son las lagunas de oxidación.
- Se puede calcular datos reales de consumo de energía de los equipos instalados en el diseño final.
- Se obtuvo la data necesaria para realizar los cálculos de dimensionamiento de los equipos del diseño final, así como, los datos de operación óptimos.

9.2 Observaciones

Las observaciones serán analizadas y se tomaran las medidas correctivas para no tener inconvenientes en el diseño final:

- El bajo contenido de nutrientes (Fósforo y Nitrógeno) a la entrada al reactor biológico no es el adecuado. La relación entre la DBO:N:P = 100:5:1, los nutrientes son muy bajos. Pero en el reactor biológico no hubo la necesidad de adicionar nutrientes.
- La variación del efluente de la agroindustria puede ser tan pronunciado en un solo día, eso depende del proceso de producción, no se cuenta con una línea de proceso definido, es decir, la programación de producción depende del producto que llega.
- No se realizo estudios de los lodos, por las características del efluente, este lodo se puede usar como abono para las plantas.

CAPÍTULO 10**BIBLIOGRAFIA**

- **Degrémont** Water Treatment Handbook: Industrial effluents. Sixth edition. Año 1991. Lavoisier Publishing. France
- **Metcalf & Eddy** Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento vertido y reutilización. Tercera edición. Año 1998. Mc Graw Hill. España
- **American Water Works Association Research Foundation** Water treatment: Membrana processes. Primera edición. Año 1996. Mc Graw Hill. EEUU

CAPITULO 11

ANEXOS

11.1 Registro de datos diarios

PM-01	03-Dic	04-Dic	05-Dic	06-Dic	07-Dic	Prom
pH	3,63	2,13	2,04	2,28	5,74	3,16
SST(ppm)	1648	-	-	-	-	1648

PM-02	03-Dic	04-Dic	05-Dic	06-Dic	07-Dic	Prom
pH	4,51	3,29	3,59	3,68	7,38	4,49
SST(ppm)	1722	-	-	-	-	1722
OD(ppm)	-	-	-	-	-	-
% L	10	11,38	13,75	20,00	27,20	16,54

PM-03	03-Dic	04-Dic	05-Dic	06-Dic	07-Dic	Prom
pH	4,45	3,40	3,66	3,63	7,25	4,48
SST(ppm)	1698	-	-	-	-	1698
OD(ppm)	-	-	-	-	-	-
% L	16	17,50	18,63	20,00	33,50	21,15

PM-04	03-Dic	04-Dic	05-Dic	06-Dic	07-Dic	Prom
pH	4,10	3,20	3,33	3,43	7,22	4,25
SST(ppm)	1655	-	-	-	-	1665

	03-Dic	04-Dic	05-Dic	06-Dic	07-Dic	Prom
Q-01	44,11	97,88	135,83	155,01	190,38	124,64
Q-02	30,06	18,44	16,06	16,11	16,52	19,43
Q-03	23,90	16,70	15,90	11,13	5,61	14,65
Q-04	4,72	2,85	1,25	4,07	10,37	4,65
Q-05	31,97	44,82	36,12	30,60	30,19	34,74
Q-06	50,90	34,68	31,73	29,68	30,41	35,48
Q-07	15,06	20,46	31,37	30,96	38,95	27,36
Q-08	56,46	15,00	15,74	36,61	32,78	31,32

PM-01	10-Dic	11-Dic	12-Dic	13-Dic	14-Dic	15-Dic	Prom
pH	6,33	5,98	5,40	5,64	6,01	5,89	5,87
SST(ppm)	-	-	-	-	-	-	-

PM-02	10-Dic	11-Dic	12-Dic	13-Dic	14-Dic	15-Dic	Prom
pH	7,36	7,06	7,41	6,96	6,99	6,99	7,13
SST(ppm)	-	-	-	-	-	-	-
OD(ppm)	-	-	1,74	1,46	1,57	1,56	1,58
% L	22,00	22,00	74,33	51,00	52,50	53,75	45,93

PM-03	10-Dic	11-Dic	12-Dic	13-Dic	14-Dic	15-Dic	Prom
pH	7,63	7,26	7,26	7,24	7,12	7,04	7,26
SST(ppm)	-	-	-	-	-	-	-
OD(ppm)	-	-	1,62	1,58	1,64	1,55	1,60
% L	23	50,75	27,33	43,25	48,13	55,00	41,20

PM-04	10-Dic	11-Dic	12-Dic	13-Dic	14-Dic	15-Dic	Prom
pH	7,64	7,42	7,62	7,32	7,31	7,13	7,40
SST(ppm)	-	-	-	-	-	-	-

	10-Dic	11-Dic	12-Dic	13-Dic	14-Dic	15-Dic	Prom
Q-01	181,01	130,67	158,56	156,82	152,27	187,75	161,18
Q-02	16,32	26,51	23,96	27,00	25,65	25,59	24,17
Q-03	6,07	23,14	13,34	19,71	19,85	18,97	16,85
Q-04	10,79	3,27	11,04	7,09	6,30	7,16	7,61
Q-05	31,57	35,18	33,80	32,23	32,91	30,93	32,77
Q-06	29,51	33,84	29,56	32,76	32,08	29,13	31,35
Q-07	39,18	30,26	13,74	42,40	43,37	35,92	34,14
Q-08	34,49	21,08	37,15	27,50	38,29	31,00	31,58

PM-01	17-Dic	18-Dic	19-Dic	20-Dic	21-Dic	22-Dic	Prom
pH	6,25	6,47	6,31	5,61	5,75	6,21	6,10
SST(ppm)	-	-	-	-	-	-	-

PM-02	17-Dic	18-Dic	19-Dic	20-Dic	21-Dic	22-Dic	Prom
pH	7,17	7,30	7,28	7,23	7,25	7,26	7,25
SST(ppm)	-	-	-	-	-	-	-
OD(ppm)	1,54	1,46	1,71	1,51	1,54	1,71	1,58
% L	41,57	25,75	18,43	13,38	14,88	14,50	21,42

PM-03	17-Dic	18-Dic	19-Dic	20-Dic	21-Dic	22-Dic	Prom
pH	7,28	7,33	7,46	7,48	7,43	7,63	7,43
SST(ppm)	-	-	-	-	-	-	-
OD(ppm)	1,64	1,43	1,67	1,57	1,48	1,72	1,58
% L	40	28,63	21,86	15,88	11,00	10,00	21,25

PM-04	17-Dic	18-Dic	19-Dic	20-Dic	21-Dic	22-Dic	Prom
pH	7,34	7,40	7,59	7,61	7,57	7,71	7,54
SST(ppm)	-	-	-	-	-	-	-

	17-Dic	18-Dic	19-Dic	20-Dic	21-Dic	22-Dic	Prom
Q-01	210,28	239,48	257,84	218,28	181,90	273,60	230,23
Q-02	25,10	25,47	25,76	25,26	25,40	25,61	25,43
Q-03	20,25	18,56	18,56	19,57	19,77	18,72	19,24
Q-04	6,39	6,87	7,51	7,69	6,26	7,20	6,99
Q-05	31,69	32,35	31,69	36,20	30,40	26,10	31,40
Q-06	32,75	32,44	32,75	32,78	27,84	35,70	32,37
Q-07	31,81	25,00	25,96	36,93	45,61	47,90	35,34
Q-08	24,75	26,18	28,74	34,98	27,90	28,60	28,52

PM-01	24-Dic	26-Dic	27-Dic	28-Dic	29-Dic	Prom
pH	-	6,07	5,92	5,93	5,73	5,91
SST(ppm)	-	-	-	-	-	-

PM-02	24-Dic	26-Dic	27-Dic	28-Dic	29-Dic	Prom
pH	-	7,31	7,46	7,53	7,54	7,46
SST(ppm)	-	-	-	-	-	-
OD(ppm)	1,66	1,59	1,60	1,52	1,60	1,59
% L	16	14	13	15	15	15

PM-03	24-Dic	26-Dic	27-Dic	28-Dic	29-Dic	Prom
pH	-	7,50	7,73	7,59	7,69	7,63
SST(ppm)	-	-	-	-	-	-
OD(ppm)	1,69	1,54	1,57	1,44	1,65	1,58
% L	10	11	12	12	13	11

PM-04	24-Dic	26-Dic	27-Dic	28-Dic	29-Dic	Prom
pH	-	7,61	7,77	7,72	7,79	7,72
SST(ppm)	-	-	-	-	-	-

	24-Dic	26-Dic	27-Dic	28-Dic	29-Dic	Prom
Q-01	190,80	148,62	242,34	223,31	220,57	205,13
Q-02	30,20	30,86	28,78	30,15	29,89	29,97
Q-03	25,10	25,84	24,83	25,84	25,27	25,38
Q-04	4,75	5,38	4,46	4,16	5,05	4,76
Q-05	36,95	31,30	22,96	30,46	30,29	30,39
Q-06	37,10	32,58	28,79	30,05	29,70	31,64
Q-07	70,20	67,52	39,25	40,12	43,90	52,20
Q-08	25,23	36,76	22,23	38,85	36,56	31,93

	02-Ene	03-Ene	04-Ene	05-Ene	Prom
pH	6,03	5,11	4,78	4,86	5,20
SST(ppm)					

PM-02	02-Ene	03-Ene	04-Ene	05-Ene	Prom
pH	7,72	7,92	7,72	7,95	7,83
SST(ppm)	-	-	-	-	-
OD(ppm)	1,50	1,56	1,52	1,62	1,55
% L	24	38	47	60	42

PM-03	02-Ene	03-Ene	04-Ene	05-Ene	Prom
pH	7,90	8,02	7,79	8,08	7,95
SST(ppm)	-	-	-	-	-
OD(ppm)	1,53	1,56	1,51	1,64	1,56
% L	12	16	27	50	26

PM-04	02-Ene	03-Ene	04-Ene	05-Ene	Prom
pH	7,83	7,91	7,75	7,90	7,85
SST(ppm)	-	-	-	-	-

	02-Ene	03-Ene	04-Ene	05-Ene	Prom
Q-01	207,90	254,71	241,18	293,64	249,36
Q-02	29,90	29,47	29,19	28,51	29,27
Q-03	21,88	24,11	24,39	23,98	23,59
Q-04	4,39	5,81	4,29	4,30	4,70
Q-05	29,74	25,77	25,75	29,17	27,61
Q-06	29,63	23,80	25,53	28,54	26,38
Q-07	32,47	41,84	30,70	23,38	32,10
Q-08	28,83	32,91	23,81	26,23	27,95

PM-01	07-Ene	08-Ene	09-Ene	10-Ene	11-Ene	12-Ene	Prom
pH	5,49	5,29	4,86	4,85	6,27	7	5,63
SST(ppm)							

PM-02	07-Ene	08-Ene	09-Ene	10-Ene	11-Ene	12-Ene	Prom
pH	7,73	7,69	7,61	7,58	7,51	7,77	7,65
OD(ppm)	1,50	1,48	1,54	1,68	1,58	1,61	1,57
% L	35	32	24	45	41	34	35

PM-03	07-Ene	08-Ene	09-Ene	10-Ene	11-Ene	12-Ene	Prom
pH	7,71	7,63	7,72	7,58	7,61	7,88	7,69
OD(ppm)	1,57	1,56	1,60	1,68	1,67	1,69	1,63
% L	36	32	31	31	40	35	34

PM-04	07-Ene	08-Ene	09-Ene	10-Ene	11-Ene	12-Ene	Prom
pH	7,76	7,69	7,64	7,64	7,46	7,77	7,66
SST(ppm)							

	07-Ene	08-Ene	09-Ene	10-Ene	11-Ene	12-Ene	Prom
Q-01	276,70	223,37	196,06	194,00	206,20	181,12	212,91
Q-02	29,48	29,69	33,19	33,77	30,40	27,02	30,59
Q-03	24,67	25,58	27,72	26,04	23,23	20,79	24,67
Q-04	4,10	4,08	5,38	8,96	7,40	5,95	5,98
Q-05	29,07	29,73	26,95	30,43	29,58	28,11	28,98
Q-06	28,93	28,52	27,98	30,31	28,70	29,56	29,00
Q-07	43,95	30,38	34,67	35,93	35,87	39,56	36,73
Q-08	35,22	23,06	23,32	19,04	17,44	33,84	25,32

PM-01	14-Ene	15-Ene	16-Ene	17-Ene	18-Ene	19-Ene	Prom
pH	6,28	6,42	6,44	6,19	6,30	6,67	6,38
SST(ppm)							

PM-02	14-Ene	15-Ene	16-Ene	17-Ene	18-Ene	19-Ene	Prom
pH	7,80	7,65	7,63	7,72	7,70	7,73	7,71
SST(ppm)							-
OD(ppm)	1,69	1,61	1,61	1,67	1,65	1,65	1,65
% L	28	28	19	17	17	17	21

PM-03	14-Ene	15-Ene	16-Ene	17-Ene	18-Ene	19-Ene	Prom
pH	7,90	7,83	7,67	7,56	7,52	7,59	7,68
SST(ppm)							-
OD(ppm)	1,72	1,71	1,65	1,69	7,70	1,68	2,69
% L	24	28	29	28	24	22	26

PM-04	14-Ene	15-Ene	16-Ene	17-Ene	18-Ene	19-Ene	Prom
pH	7,79	7,69	7,66	7,70	7,66	7,73	7,71
SST(ppm)							-

	14-Ene	15-Ene	16-Ene	17-Ene	18-Ene	19-Ene	Prom
Q-01	256,17	214,14	217,86	260,78	242,22	188,87	230,01
Q-02	27,08	27,72	27,85	27,62	27,04	26,91	27,37
Q-03	22,00	21,80	21,17	19,92	20,33	20,55	20,96
Q-04	6,07	5,70	6,60	7,25	6,50	6,80	6,49
Q-05	29,80	30,82	31,91	32,71	29,98	31,56	31,13
Q-06	30,09	30,90	31,84	31,75	30,77	32,67	31,34
Q-07	33,25	37,23	25,09	27,85	29,10	20,72	28,87
Q-08	29,44	35,72	16,92	18,64	21,88	16,88	23,25
	54,24	50,50	47,41	53,32	50,98	43,12	49,93

PM-01	21-Ene	22-Ene	23-Ene	24-Ene	25-Ene	26-Ene	Prom
pH	7,49	7,57	7,42	7,31	7,01	7,20	7,33
SST(ppm)	743	657	657	700	671	-	686

PM-02	21-Ene	22-Ene	23-Ene	24-Ene	25-Ene	26-Ene	Prom
pH	7,74	7,89	7,79	7,88	7,74	7,72	7,79
SST(ppm)	714	771	700	686	671	-	709
OD(ppm)	1,65	1,68	1,63	1,66	1,62	1,61	1,64
% L	15	14	14	11	12	15	13

PM-03	21-Ene	22-Ene	23-Ene	24-Ene	25-Ene	26-Ene	Prom
pH	7,56	7,74	7,75	7,64	7,72	7,67	7,68
SST(ppm)	771	771	743	714	686	-	737
OD(ppm)	1,69	1,67	1,70	1,67	1,70	1,69	1,69
% L	19	19	19	20	19	17	19

PM-04	21-Ene	22-Ene	23-Ene	24-Ene	25-Ene	26-Ene	Prom
pH	7,64	7,90	7,74	7,76	7,79	7,64	7,74
SST(ppm)	757	757	700	710	657	-	714

	21-Ene	22-Ene	23-Ene	24-Ene	25-Ene	26-Ene	Prom
Q-01	228,04	179,32	237,14	233,78	189,31	176,64	207,37
Q-02	27,43	26,87	27,72	27,53	27,27	26,86	27,28
Q-03	20,80	21,09	22,24	20,64	19,86	20,70	20,89
Q-04	6,86	6,25	5,78	5,90	6,77	6,42	6,33
Q-05	32,99	32,11	31,27	32,57	32,51	32,87	32,39
Q-06	32,37	31,52	30,55	31,36	32,15	32,17	31,68
Q-07	22,17	19,20	36,02	30,28	35,79	23,09	27,76
Q-08	15,80	19,03	18,15	19,83	17,78	21,58	18,70

11.2 Fotos

MONTAJE DE LA BOMBA DE ALIMENTACION



MONTAJE DE TODOS LOS EQUIPOS



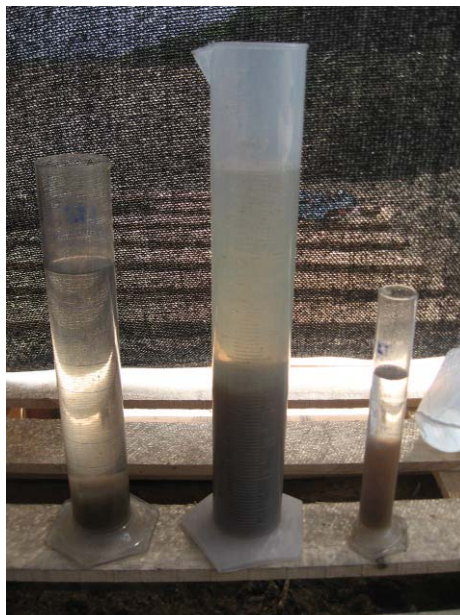
EQUIPO MONTADO PARA LA OPERACIÓN



DECANTADOR



EFLUENTE TRATADO



CAJA DE REPARTICIÓN DE CAUDALES



SISTEMA DE RECIRCULACION DE LODOS



CONTROL DE RECIRCULACION

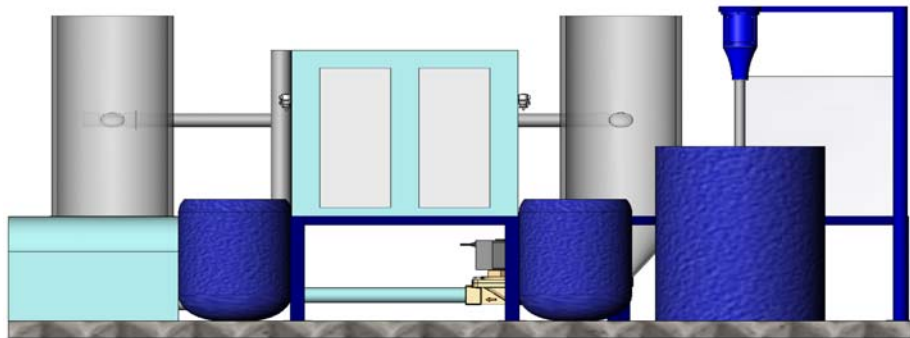


TABLERO DE CONTROL

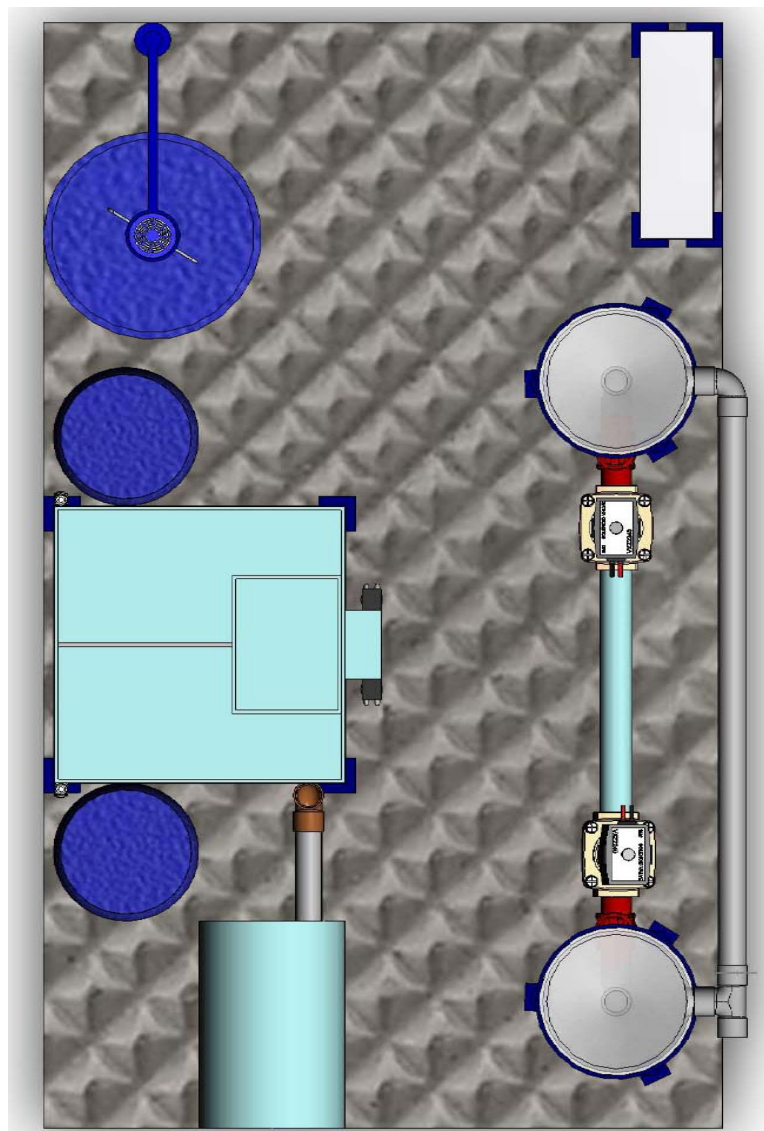


11.3 Planta piloto

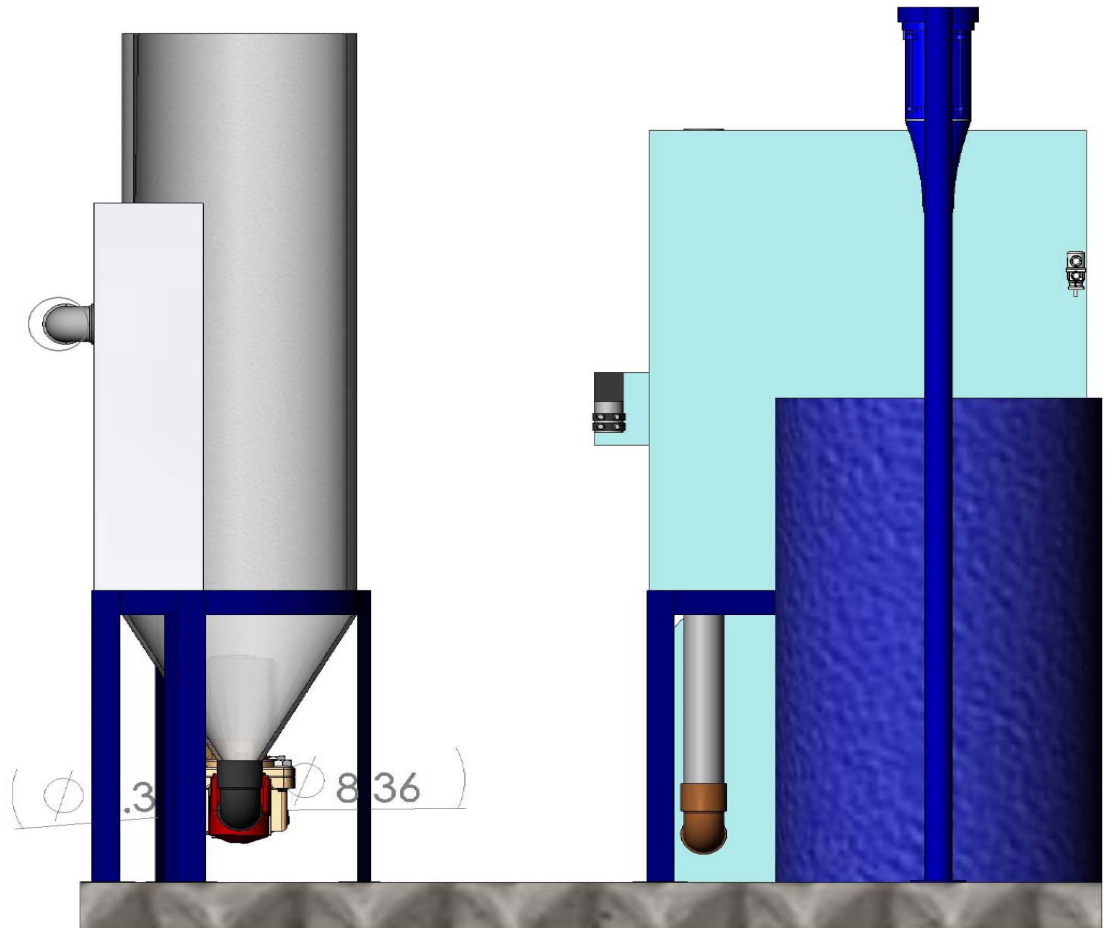
Vista N°1 de diseño



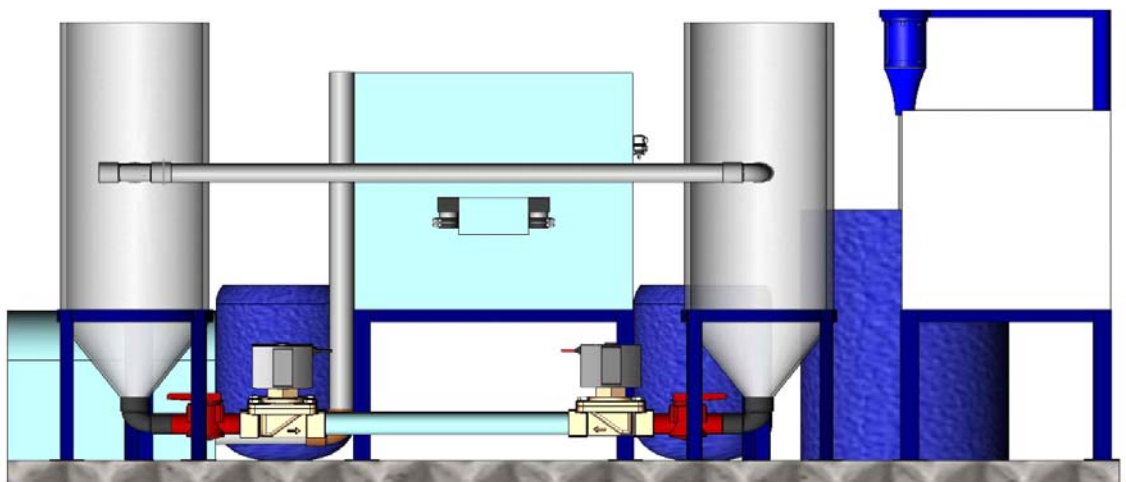
Vista N°2 de diseño



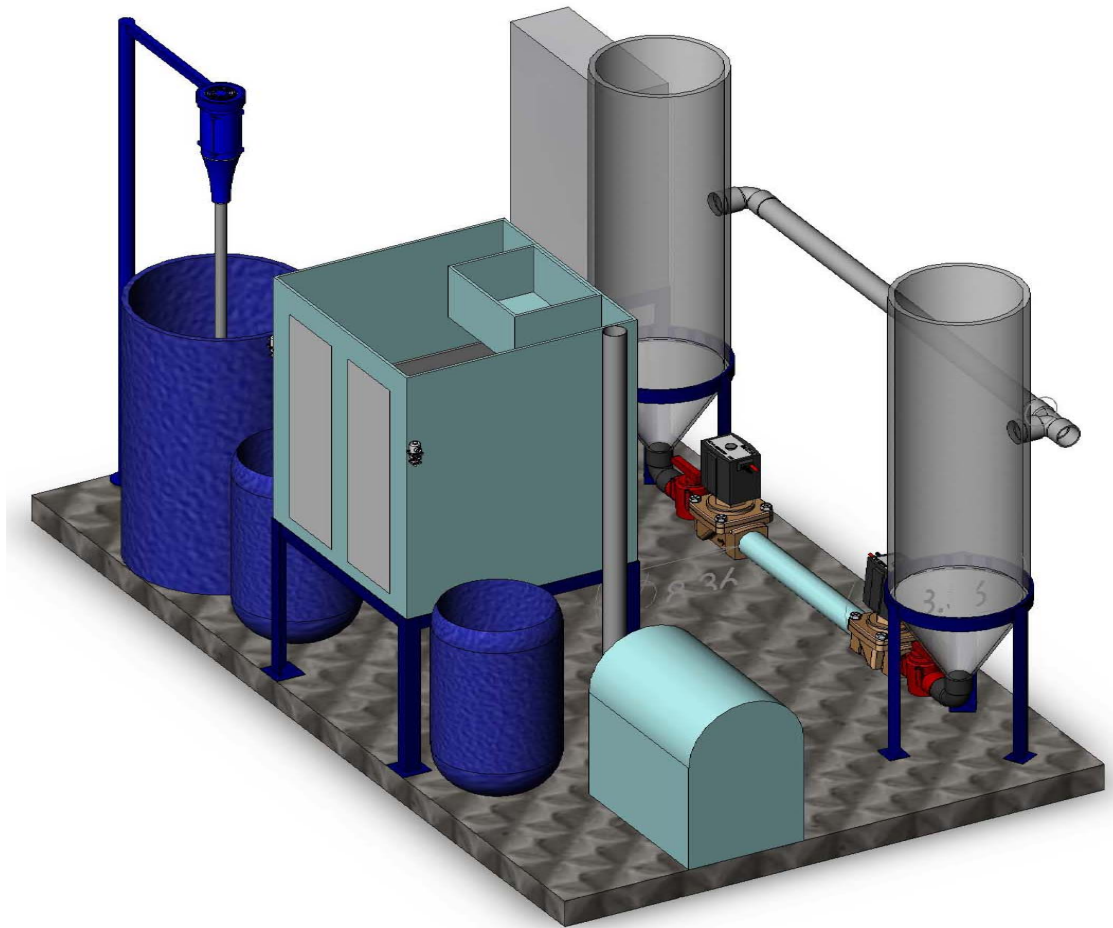
Vista N°3 de diseño



Vista N°4 de diseño



Vista N°5 de diseño



11.4 Resultados SGS

Resultados Diciembre

Ensayo	Unidades	Simbolo	L.D.	DTE
Fósforo Total	mg/L	P-Total	0,03	1,04
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	N-NH ₃	0,1	0,4
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	DBO ₅	2	38
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	DQO	1	93
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	TSS	1	12

Fuente: Laboratorios SGS, N° de Ensayo MA 704235

Resultados 12 de Enero 2008

Ensayo	Unidades	Simbolo	L.D.	DTE
Fósforo Total	mg/L	P-Total	0,03	0,3
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	N-NH ₃	0,1	3,23
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	DBO ₅	2	8
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	DQO	1	76
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	TSS	1	15

Fuente: Laboratorios SGS, N° de Ensayo MA800178

Resultados 18 de Enero 2008

Ensayo	Unidades	Simbolo	L.D.	DTE
Fósforo Total	mg/L	P-Total	0,03	2,4
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	N-NH ₃	0,1	< 0,1
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	DBO ₅	2	42
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	DQO	1	88
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	TSS	1	21

Fuente: Laboratorios SGS, N° de Ensayo MA800240

Resultados 28 de Enero 2008

Ensayo	Unidades	Simbolo	L.D.	DTE
Fósforo Total	mg/L	P-Total	0,03	2,13
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	N-NH ₃	0,1	0,2
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	DBO ₅	2	25
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	DQO	1	52
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	TSS	1	34

Fuente: Laboratorios SGS, N° de Ensayo MA800353

Resultados 04 Febrero 2008 del Pozo del Efluente

Ensayo	Unidades	Simbolo	L.D.	DTE
Fósforo Total	mg/L	P-Total	0,03	0,52
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	N-NH ₃	0,1	0,55
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	DBO ₅	2	99
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	DQO	1	181
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	TSS	1	78

Fuente: Laboratorios SGS, N° de Ensayo MA800466

Resultados 04 Febrero 2008 del Tanque Ecuilizador

Ensayo	Unidades	Simbolo	L.D.	DTE
Fósforo Total	mg/L	P-Total	0,03	2,56
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	N-NH ₃	0,1	0,1
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	DBO ₅	2	195
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	DQO	1	415
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	TSS	1	240

Fuente: Laboratorios SGS, N° de Ensayo MA800468

Resultados 04 Febrero 2008 del Tanque Sedimentador

Ensayo	Unidades	Simbolo	L.D.	DTE
Fósforo Total	mg/L	P-Total	0,03	1,57
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	N-NH ₃	0,1	0,3
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	DBO ₅	2	8
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	DQO	1	27
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	TSS	1	7

Fuente: Laboratorios SGS, N° de Ensayo MA800467