

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA



**EVALUACIÓN Y MEJORAS EN LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DE
UNA EMPRESA DE INSUMOS QUÍMICOS PARA LA
INDUSTRIA MINERA**

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO METALURGISTA**

PRESENTADO POR:
CARLOS ENRIQUE FERROA QUISPE

ASESOR:
ING. MARÍA FLOR SUAREZ SÁNCHEZ

LIMA – PERÚ

2013

DEDICATORIA

Con mucho Amor y Cariño a nuestro Padre y Creador JEHOVÁ DIOS Nuestro por regalarme un día más de vida y poder compartirla con mis seres más queridos.

A mis padres Eliseo y Rosa por su gran esfuerzo y dedicación a lo largo de toda sus vidas con el fin de sacar adelante a mis amados hermanos.

A mi amada Esposa Magnolia, “Mi gran ayuda idónea”, el regalo más precioso de mi amado DIOS.

A mis hijos que son la más grande Bendición que he recibido y motivo más que suficiente para seguir adelante.

RESUMEN

El presente informe abarca la evaluación y mejoras realizadas en un sistema de tratamiento de las aguas residuales industriales de una empresa productora de insumos químicos para industria minera y se divide en cuatro capítulos.

En el primer capítulo se describe los objetivos específicos y la justificación del presente informe; en el segundo capítulo se detalla la revisión teórica más importante y resaltante; en el tercer capítulo se detallan los resultados de las diferentes pruebas a nivel laboratorio ejecutado con la finalidad de determinar que agentes coagulantes y floculantes resultan ser más efectivos en el tratamiento de las aguas residuales industriales; en el cuarto capítulo se detallan los resultados de los ensayos a nivel industrial, los cambios y mejoras realizadas a la planta de tratamiento de aguas residuales industriales, en los resultados se incluye la calidad final del efluente que es descargado directamente a las alcantarillas, para ello se muestra la composición final de los elementos o contenidos monitoreados y luego se comparan con los estándares de calidad regulados bajo las normas legales vigentes.

Finalmente se hacen mención las conclusiones más importantes de este informe incluyendo la posibilidad de reutilizar el efluente final como agua para los inodoros.

ABSTRACT

This report covers the evaluation and improvements to a system of treatment of industrial wastewater performed by a manufacturer of chemical products for the mining industry and is divided into four chapters.

The first chapter describes the specific objectives and justification of this report, the second chapter sums up the most important theoretical review and prominent; the third chapter details the results of the different tests performed at the laboratory in order to determine that coagulation and flocculation agents are more effective in the treatment of industrial wastewater; the fourth chapter details the results of testing at industrial level, the changes and improvements to the treatment plant, regarding industrial wastewater. The results include the quality of the final effluent which is discharged directly to the sewers, for that it is shown the final composition or content elements monitored and then compared with current quality standards regulated under the laws in force.

Finally, it is mentioned of the most important conclusions of this report including the ability to reuse the final effluent as water for the toilets.

INDICE

	Pág.
INTRODUCCION	24
CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES	
1.1 Objetivo general	26
1.2 Justificación	26
CAPITULO II: REVISION TEORICA	
2.1 Aguas residuales	29
2.2 Fuentes de aguas residuales	30
2.3 Características de las aguas residuales	30
2.3.1 Características físicas	32
2.4 Contaminantes de importancia en las aguas residuales	40
2.4.1 Métodos analíticos	40
2.5 Tipos de aguas residuales industriales	42
2.6 Métodos de tratamiento de aguas residuales	42
2.6.1 Pretratamientos y tratamientos primarios	43
2.6.1.1 Cribado	43
2.6.1.2 Sedimentación	44
2.6.1.3 Expresiones de velocidad de sedimentación	52
2.7 Método de coagulación y floculación	57
2.7.1 Proceso de Coagulación-Floculación	57

2.7.2	La Coagulación Química	58
2.7.3	La Floculación	64
2.7.4	Factores que influyen en el proceso de coagulación	65
2.7.5	Características de los coagulantes	67
2.7.6	Principales productos coagulantes	68
2.7.7	Coadyuvantes	74
	2.7.7.1 Coadyuvantes inorgánicos	75
	2.7.7.2 Coadyuvantes orgánicos	76
2.8	Legislación ambiental referente a el vertido de efluentes residuales industriales	76
2.8.1	Consideraciones generales	76
2.8.2	Valores máximos admisibles	77

CAPITULO III: EVALUACIONES DE AGENTES FLOCULANTES Y COAGULANTES A NIVEL LABORATORIO

3.1	Ensayo de pruebas “Test de Jarras”	80
3.2	Evaluación de productos alternativos - Nivel Laboratorio	80
3.3	Resultados de los ensayos a Nivel Laboratorio	81
	3.3.1 Evaluaciones preliminares: efecto del AF-205 y el $Al_2(SO_4)_3$	81
	3.3.2 Evaluaciones de los floculantes AF-205, AF-400; AF-900 y el CF-305	86
	3.3.3 Evaluaciones de los reactivos MT-8834, MT-6506, $FeCl_3$ y el CF-305	96

3.3.4	Evaluaciones de los reactivos PAC100, M-1011, FeCl ₃ y el CF-305	103
-------	---	-----

CAPITULO IV: MEJORAS Y/O CAMBIOS EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

4.1	Evaluaciones en la planta de aguas residuales - Nivel Industrial	109
4.1.1	Curvas de turbidez vs tiempo de las muestras de aguas industriales	118
4.1.2	Consumos y dosificaciones de FeCl ₃ y CF-305 en las evaluaciones	121
4.2	Situación de la planta en estudio	121
4.2.1	Características del efluente tratado en los años 2007 y 2008	121
4.2.2	Características del sistema de tratamiento a considerar	123
4.3	Descripción de la planta de tratamiento	124
4.3.1	Tanque de homogenización	124
4.3.2	Tanque de mezcla rápida	125
4.3.3	Tanque de floculación	126
4.3.4	Sedimentador de placas paralelas	127
4.4	Cambios y recomendaciones realizados en la planta de tratamiento	127
4.4.1	Diagramas de flujo de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales	130
4.5	Comparación de los valores de los parámetros analizados respecto a la normatividad vigente entre los años 2008 y 2009	135

CONCLUSIONES	138
BIBLIOGRAFIA	141
ANEXOS	

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1 Presencia y distribución de las partículas disueltas, coloidales y suspendidas en el agua de acuerdo a su tamaño	34
Figura 2.2 Interrelación entre los sólidos presentes en el agua residual	36
Figura 2.3 Uso del Cono Imhoff para la determinación de los sólidos sedimentables	36
Figura 2.4 Rejas autolimpiantes empleadas en el tratamiento del agua residual	45
Figura 2.5 Tamiz de tambor rotatorio	45
Figura 2.6 Proceso de sedimentación por zonas en probetas	49
Figura 2.7 Curva de sedimentación por zonas en una probeta	50
Figura 2.8 Fuerzas actuantes en una partícula	52
Figura 2.9 Correlación entre el coeficiente de fricción para partículas esféricas y el número de Reynolds	56
Figura 2.10 Esquema de las fuerzas de interacción que actúan sobre una partícula en suspensión	61
Figura 2.11 Mecanismos de coagulación de partículas coloidales	62
Figura 2.12 Polielectrolitos no iónicos	73
Figura 2.13 Fuerzas actuantes en una partícula	74
Figura 2.14 Formación del flóculo	75
Figura 3.1 Con FeCl_3 al 1% a 1000 ppm (izq.) y $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ al 1% a 1000 ppm (der.)	83

Figura 3.2	En ambas jarras con AF-205 al 0.1% a 4 ppm	83
Figura 3.3	En ambas jarras con FeCl ₃ al 10% con 1500 ppm	84
Figura 3.4	Con AF-205 al 0.1 % con 4 ppm (izq.) y sin AF-205 (der.)	84
Figura 3.5	Con FeCl ₃ al 1% con 100 ppm (izq.) y 150 ppm (der.)	86
Figura 3.6	En ambas jarras con AF-205 (0.1%) con 5 ppm	86
Figura 3.7	Muestras iniciales del agua sin tratamiento previo	88
Figura 3.8	Con AF-900 (izq.) y con AF-205 (der.)	88
Figura 3.9	Muestras de las aguas residuales sin tratamiento previo	89
Figura 3.10	Con AF-205 (izq.) y con CF-305 (der.)	89
Figura 3.11	Muestras de aguas residuales antes de la evaluación	90
Figura 3.12	Con AF-900 (izq.) y con AF-205(der.)	90
Figura 3.13	Curvas de velocidad de sedimentación con los agentes floculantes evaluados	90
Figura 3.14	Línea de tendencia de la curva de velocidad de sedimentación del CF-305	91
Figura 3.15	Muestras de efluentes antes del tratamiento previo	92
Figura 3.16	Con CF-205 (izq.) y con AF-205 (der.)	92
Figura 3.17	Curvas de velocidad de sedimentación con los agentes floculantes evaluados	93
Figura 3.18	Curva de la velocidad de sedimentación del CF-305 y su línea de tendencia	93
Figura 3.19	Muestras de los efluentes residuales antes de la evaluación	94
Figura 3.20	Con AF-205 (izq.) y con CF-305 (der.)	94

Figura 3.21	Curvas de velocidad de sedimentación con los agentes flocculantes evaluados	95
Figura 3.22	Línea de tendencia de la curva de velocidad de sedimentación del AF-404	95
Figura 3.23	Resultado con MT-8834 y MT-6506 (prueba N° 01)	97
Figura 3.24	Resultado con FeCl ₃ y CF-305 (prueba N° 02)	97
Figura 3.25	Resultado con MT-8834 y MT-6506 (prueba N° 02)	97
Figura 3.26	Resultado con FeCl ₃ y CF-305 (prueba N° 03)	98
Figura 3.27	Resultado con MT-8834 y MT-6506 (prueba N° 03)	98
Figura 3.28	Curvas de velocidad de sedimentación con los agentes flocculantes evaluados	99
Figura 3.29	Tendencia lineal de la curva de velocidad de sedimentación del CF-305	99
Figura 3.30	Resultado con FeCl ₃ (300 ppm) y CF-305 (15 ppm)	101
Figura 3.31	Resultado con FeCl ₃ (260 ppm) y CF-305 (30 ppm)	101
Figura 3.32	Curvas de velocidad de sedimentación con el agente flocculante CF-305 a diferentes dosificaciones	101
Figura 3.33	Líneas de tendencia de la curvas de velocidad de sedimentación correspondiente al CF-305 a diferentes dosificaciones	102
Figura 3.34	A la izquierda se observa la muestra inicial sin reactivos, en el centro y a la derecha las muestras finales luego de evaluar los distintos reactivos	102

Figura 3.35	A la izquierda se observa la muestra inicial sin reactivos, las muestras finales luego de evaluar el FeCl_3 en el centro y CF-305 a la derecha	103
Figura 3.36	Resultado con PAC 100 (1200 ppm) y CF-305 (10 ppm)	105
Figura 3.37	Resultado con PAC 100 (1200 ppm) y M-1011(10 ppm)	105
Figura 3.38	Resultado con FeCl_3 (250 ppm) y CF-305 (10 ppm)	105
Figura 3.39	Resultado con FeCl_3 (250 ppm) y M-1011 (10 ppm)	105
Figura 3.40	Curvas de velocidades de sedimentación con los floculantes evaluados	106
Figura 3.41	Resultado con PAC 100 (680 ppm) y CF-305 (10 ppm)	107
Figura 3.42	Resultado con PAC 100 (680 ppm) y M-1011(10 ppm)	107
Figura 3.43	Resultado con FeCl_3 (100 ppm) y CF-305 (10 ppm)	108
Figura 3.44	Resultado con FeCl_3 (100 ppm) y M-1011 (10 ppm)	108
Figura 3.45	Curvas de velocidades de sedimentación con nuevas dosificaciones de los floculantes evaluados	108
Figura 4.1	Efluente luego del tratamiento	110
Figura 4.2	Antes (izquierda) después (derecha)	110
Figura 4.3	Efluente después del tratamiento	111
Figura 4.4	Inicio (izquierda) Final (derecha)	111
Figura 4.5	Efluente al finalizar el tratamiento	112
Figura 4.6	Vista del efluente luego del tratamiento	114
Figura 4.7	Efluente al término del tratamiento	116
Figura 4.8	Al inicio (izquierda) Finalizado (derecha)	116

Figura 4.9	Curva de turbidez vs tiempo de la evaluación N° 01	118
Figura 4.10	Curva de turbidez vs tiempo de la evaluación N° 02	118
Figura 4.11	Curva de turbidez vs tiempo de la evaluación N° 03	118
Figura 4.12	Curva de turbidez vs tiempo de la evaluación N° 04	119
Figura 4.13	Curva de turbidez vs tiempo de la evaluación N° 05	119
Figura 4.14	Curva de turbidez vs tiempo de la evaluación N° 06	119
Figura 4.15	Curva de turbidez vs tiempo de la evaluación N° 07	120
Figura 4.16	Vista del motor de la bomba de agitación en el tanque de homogenización	125
Figura 4.17	Vista del tanque de homogenización	125
Figura 4.18	Vista interna del tanque de mezcla rápida	126
Figura 4.19	Vista del tanque de floculación	126
Figura 4.20	Sedimentador de placas paralelas	127
Figura 4.21	Sistema Inicial de la planta	128
Figura 4.22	Sistema actual de la planta: disposición de las válvulas A y B	128
Figura 4.23	Sistema actual de la planta: disposición de las válvulas C y D	128
Figura 4.24	Modificaciones en el tanque de mezcla rápida	129
Figura 4.25	Cadena de arrastre de flóculos flotantes	130
Figura 4.26	Especificaciones de los principales equipos de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales (Sistema Original)	131
Figura 4.27	Diagrama de flujo de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales (Sistema Original)	132

Figura 4.28	Especificaciones de los principales equipos de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales (Sistema Modificado)	133
Figura 4.29	Diagrama de flujo de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales (Sistema Modificado)	134
Figura 4.30	Lodo colectado después del proceso de sedimentación	135
Figura 4.31	DBO vs tiempo	136
Figura 4.32	DQO vs tiempo	136

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1 Propiedades físicas y constituyentes químicos de las aguas residuales	31
Tabla 2.2 Constituyentes biológicos de las aguas residuales	32
Tabla 2.3 Contaminantes de importancia en las aguas residuales	41
Tabla 2.4 Tipos de sedimentación que intervienen en el tratamiento del agua residual	51
Tabla 2.5 Valores de b y n	57
Tabla 2.6 Valores que condicionan al ser sobrepasados por el usuario un pago establecido	78
Tabla 2.7 Valores Máximos Admisibles (1) que al ser sobrepasados condicionan al usuario la suspensión del servicio	79
Tabla 3.1 Información de los diferentes efluentes residuales industriales	81
Tabla 3.2 Resultados de tratamiento en planta del efluente con Acronal S400 SA (1)	82
Tabla 3.3 Resultados de evaluación en laboratorio del efluente con Acronal S400 SA (1)	82
Tabla 3.4 Dosificación de reactivos para el tratamiento del efluente con Acronal S400 SA (1)	82
Tabla 3.5 Resultados de tratamiento en planta del efluente con Acronal S400 SA (2)	83

Tabla 3.6	Resultados de evaluación en laboratorio del efluente con Acronal S400 SA (2)	84
Tabla 3.7	Dosificación de reactivos para el tratamiento del efluente Acronal S400 SA (2)	84
Tabla 3.8	Resultados de tratamiento en planta del efluente con Acronal S400 SA, Afranil MG y Ligante ET	85
Tabla 3.9	Resultados de evaluación en laboratorio del efluente con Acronal S400 SA, Afranil MG y Ligante ET	85
Tabla 3.10	Dosificación de reactivos para el tratamiento del efluente con Acronal S400 SA, Afranil MG y Ligante ET	85
Tabla 3.11	Información de los distintos efluentes residuales industriales	86
Tabla 3.12	Resultados de tratamiento en planta del efluente con Acronal 18D, Ligante Helizarin ET, Vinofan BA 610 SA, Sokalan PA 30	87
Tabla 3.13	Resultados de evaluación en laboratorio del efluente con Acronal 18D, Ligante Helizarin ET, Vinofan BA 610 SA, Sokalan PA 30	87
Tabla 3.14	Dosificación de reactivos para el tratamiento del efluente con Acronal 18D, Ligante Helizarin ET, Vinofan BA 610 SA, Sokalan PA 30	87
Tabla 3.15	Resultados de tratamiento en planta del efluente con Vinofan BA610, Acronal 18D	88

Tabla 3.16	Resultados de evaluación en laboratorio del efluente con Vinofan BA610, Acronal 18D	88
Tabla 3.17	Dosificación de reactivos para el tratamiento del efluente con Vinofan BA610, Acronal 18D	89
Tabla 3.18	Dosificaciones del coagulante FeCl ₃ y los diversos floculantes	90
Tabla 3.19	Resultados de tratamiento en planta del efluente con Vinofan BA739, Kieralon LH Jet B Conc	91
Tabla 3.20	Resultados de evaluación en laboratorio del efluente con Vinofan BA739, Kieralon LH Jet B Conc	91
Tabla 3.21	Dosificación de reactivos para el tratamiento del efluente con Vinofan BA739, Kieralon LH Jet B Conc	92
Tabla 3.22	Dosificaciones del coagulante FeCl ₃ y floculantes CF-305 y AF-205	92
Tabla 3.23	Resultados de tratamiento del efluente con Vinofan BA739 y Estireno	93
Tabla 3.24	Resultados de evaluación en laboratorio del efluente con Vinofan BA739 y Estireno	94
Tabla 3.25	Dosificación de reactivos para el tratamiento del efluente con Vinofan BA739 y Estireno	94
Tabla 3.26	Dosificaciones de los floculantes AF-205, AF-404, AF-900 y CF-305	95
Tabla 3.27	Información de las aguas residuales industriales de las evaluaciones siguientes	96

Tabla 3.28	Resultados de tratamiento del efluente con Acronal 18D (1)	96
Tabla 3.29	Dosificación de reactivos para el tratamiento del efluente con Acronal 18D (1)	96
Tabla 3.30	Resultados de tratamiento del efluente con Acronal 18D (2)	96
Tabla 3.31	Dosificación de reactivos para el tratamiento del efluente con Acronal 18D (2)	97
Tabla 3.32	Resultados de tratamiento del efluente con Acronal 18D (3)	97
Tabla 3.33	Dosificación de reactivos para el tratamiento del efluente con Acronal 18D (3)	97
Tabla 3.34	Dosificaciones de coagulantes MT-8834, FeCl ₃ y floculantes MT-6506 y CF-305	98
Tabla 3.35	Resultados de tratamiento del efluente con Acronal 296 y Basoplast 4118 (1)	99
Tabla 3.36	Dosificación de reactivos para el tratamiento del efluente con Acronal 296 y Basoplast 4118 (1)	100
Tabla 3.37	Resultados de tratamiento del efluente con Acronal 296 y Basoplast 4118 (2)	100
Tabla 3.38	Dosificación de reactivos para el tratamiento del efluente con Acronal 296 y Basoplast 4118 (2)	100
Tabla 3.39	Dosificaciones del FeCl ₃ y CF-305	101
Tabla 3.40	Información de las aguas residuales industriales para las evaluaciones en curso	103
Tabla 3.41	Resultados de tratamiento del efluente con Vinofan BA739	104

Tabla 3.42	Resultados de evaluación en laboratorio del efluente con Vinofan BA739	104
Tabla 3.43	Dosificación de reactivos para el tratamiento del efluente con Vinofan BA739	105
Tabla 3.44	Dosificaciones de los reactivos PAC 100, FeCl ₃ , CF-305 y M-1011	106
Tabla 3.45	Resultados de tratamiento del efluente con Styrofan BA803	106
Tabla 3.46	Resultados de evaluación en laboratorio del efluente con Styrofan BA803	107
Tabla 3.47	Dosificación de reactivos para el tratamiento del efluente con Styrofan BA803	107
Tabla 3.48	Nuevas dosificaciones de los reactivos PAC 100, FeCl ₃ , CF-305 y M-1011	108
Tabla 4.1	Información de las aguas residuales industriales antes de las pruebas	109
Tabla 4.2	Resultados de la evaluación del efluente con Basoplast 4118, Acetato de vinilo, Acido acrílico	110
Tabla 4.3	Resultados de la evaluación del efluente con Vinofan BA 610 (2)	111
Tabla 4.4	Resultados de la evaluación del efluente con Vinofan BA 610 (3)	112
Tabla 4.5	Resultados de la evaluación del efluente con Vinofan BA 610 -lavado del filtro Sweco	113

Tabla 4.6	Resultados de la evaluación del efluente con Vinofan BA 610 (5)	114
Tabla 4.7	Resultados de la evaluación del efluente con Acronal 296, Basoplast 4118	115
Tabla 4.8	Resultados de la evaluación del efluente con Acronal 296	116
Tabla 4.9	Datos de turbidez vs tiempo de las diversas muestras de aguas residuales industriales	117
Tabla 4.10	Dosificaciones y consumos de los agentes: Coagulante FeCl_3 y del floculante CF-305	122
Tabla 4.11	Resultados de los parámetros del efluente tratado	137

NOMENCLATURA

UNIDAD	SIMBOLO
Metro	m
Centímetro	cm
Milímetro	mm
Micras	μm
Tonelada métrica	T
Kilogramo	kg
Gramo	g
Día	d
Hora	h
Minuto	min
Segundo	s
Metro cúbico	m^3
Litro	l
Porcentaje	%
Caudal o flujo	m^3/h
Caudal o flujo	ml/min
Unidades Nefelométricas	NTU
Temperatura	$^{\circ}\text{C}$
Densidad	kg/m^3
Conductividad eléctrica	$\mu\text{mho}/\text{cm}$

UNIDAD	SIMBOLO
Concentración	g/l
Partes por millón	ppm
Sólidos sedimentables	mg/l/h
Demanda bioquímica de oxígeno	DBO
Demanda química de oxígeno	DQO

INTRODUCCION

La Empresa Productora de Insumos Químicos; genera efluentes de composición diversa; los cuales provienen del lavado de los reactores y tanques de almacenamiento de productos químicos; la empresa productora cuenta con una Planta de Tratamiento de efluentes residuales y que en sus dos primeros años de operación estuvo a cargo de personal de una empresa especializada en medio ambiente.

Durante ese tiempo se produjeron problemas diversos y entre los cuales se puede mencionar: La capacidad insuficiente de tratamiento, deficiencias en la operación de la planta de tratamiento de efluentes y reportes no confiables por parte del personal de la empresa especializada; todo esto trajo como consecuencias un deficiente tratamiento de los efluentes residuales y algunas veces las aguas prácticamente no eran tratadas; pues en la mayoría de casos los parámetros finales evaluados en las aguas sobrepasaban a los valores estándares mínimos necesarios para ser vertidos a las alcantarillas.

Ante esta situación se optó primeramente por ejecutar un plan de acción inmediata de para determinar las condiciones de tratamiento de las aguas residuales y luego realizar una reevaluación general del proceso que incluían la evaluación de los productos utilizados así como las nuevas alternativas disponibles de coagulantes y floculantes; los ensayos se ejecutaron a nivel laboratorio y posteriormente su aplicación en la planta de tratamiento.

Como parte del plan de acción se incluyó realizar diversas modificaciones en la planta de tratamiento de aguas; desde la recepción del agua residual (ampliación de la poza de almacenamiento para evitar derrames que eran evacuados directamente a la líneas de alcantarillado, se llevó un mejor control de los caudales producidos tanto en la Planta de Procesos como del alimentado a la planta de tratamiento de aguas residuales), la instalación de nuevos dosificadores de reactivos con un sistema de bombeo automático.

Como resultado se logró mejorar y aprovechar eficientemente la planta de tratamiento de aguas residuales industriales obteniendo aguas más limpias y aptas para ser descargadas en las alcantarillas; logrando disminuir los posibles impactos negativos que pudiera generar la actividad industrial sobre los cuerpos receptores de aguas residuales domésticas e industriales.

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 Objetivo general

Esta evaluación tiene como objetivo principal llevar a la práctica un valor básico de la empresa: “Prevenir la contaminación ambiental y sus impactos adversos”; para ello se evaluará y se tratará de mejorar el sistema de tratamiento de aguas industriales de la planta de insumos químicos, y cumplir como mínimo las normas legales vigentes respecto a los Límites Máximos Permisibles (LMP) de calidad de aguas a evacuar basados en el “Reglamento de Desagües Industriales” Decreto Ley N° 28-60 SAPL; esto incluye plantear alternativas de reutilización de las aguas tratadas, de esta forma se espera obtener un ahorro del agua de uso doméstico (tema ecológico y costos), ahorro de energía, etc.

1.2 Justificación

En diciembre del 2009 y a solicitud de la Gerencia General se realizó un balance de aguas en las instalaciones de la empresa; la finalidad principal de esta

solicitud fue estimar el consumo real de agua y determinar las pérdidas de este importante elemento; pues desde el año 2008 y de acuerdo a los reportes emitidos por la empresa proveedora de agua potable se venía pagando hasta un 30% en exceso por dicho servicio (entre el 2007 y el 2009 el incremento del precio del agua fue menor al 2%).

Al realizar la inspección y seguimiento a todo el sistema de abastecimiento de agua potable a la empresa se determinó que había un problema en la cisterna de almacenamiento de agua que era compartida con una empresa vecina, se halló una válvula de control tipo boya en mal estado (no controlaba el nivel máximo de agua ocasionando pérdidas de agua por rebalse al desagüe). Se comunicó este problema al personal de mantenimiento y de inmediato se procedió con la solución del mismo, pero la causa principal fue el incremento de la producción (hasta un 50% respecto al año 2008) por mayores ventas de productos químicos que motivaría una mayor frecuencia de lavado de los reactores. También se ejecutó el monitoreo de la planta actual (en ese entonces) de tratamiento de aguas residuales industriales; planta que fue diseñada en enero del 2007 por una empresa especializada en tratamientos de agua residuales industriales la cual fue puesta en funcionamiento en junio del 2007 quienes estuvieron a cargo de la misma hasta septiembre del año 2008.

Durante el monitoreo de la planta se hallaron muchas deficiencias en el tratamiento; como consecuencia la calidad del agua tratada era muy mala;

presentando una coloración rojiza (coloración blanquecina original del efluente) con una alta turbidez.

Principalmente estos problemas se debieron al alto flujo de tratamiento: En el año 2008, el flujo tratado varió entre 3 a 5 m³/h, flujo que definitivamente no permitía un adecuado tratamiento de los efluentes, razón por la cual se descargaba al sistema de alcantarillados agua que no cumplían con la reglamentación vigente en ese entonces. La coloración rojiza se debía a un exceso de cloruro férrico que ocasionaba adhesiones en los equipos de la unidad de tratamiento, siendo complicada su limpieza posterior.

La planta de tratamiento de efluentes carecía de un sistema de control adecuado para la salida del agua tratada (no había flujómetros, manómetros, válvulas, etc.). Tampoco se contaba con una poza de recepción de mayores eventos de los efluentes de la planta de producción no había también un tanque de recepción y compensación. Todas estas observaciones nos condujeron a plantear y realizar **"un estudio de evaluación y mejoramiento del sistema de tratamiento de las aguas residuales industriales y posibles alternativas de aprovechamiento"**.

CAPITULO II

REVISION TEORICA

2.1 Aguas residuales

Las aguas residuales pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por los usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias.

Toda comunidad genera residuos tanto sólidos como líquidos. La fracción líquida de los mismos (aguas residuales) es esencialmente el agua de que se desprende la comunidad una vez ha sido contaminada durante los diferentes usos para los cuales ha sido empleada.

Desde el punto de vista de los fluentes de generación, podemos definir el agua residual como la combinación de los residuos líquidos, aguas portadoras de residuos, procedentes tanto de residencias como de instituciones públicas y establecimientos industriales y comerciales, a los que pueden agregarse, eventualmente, aguas subterráneas, superficiales y pluviales.

2.2 Fuentes de aguas residuales

Las fuentes o componentes fundamentales de aguas residuales de una comunidad dependen del tipo de sistema de recolección que se emplee y pueden incluir los siguientes componentes:

- **Aguas domésticas o urbanas:** Son aquellas utilizadas con fines higiénicos (baños, cocinas, lavanderías, etc.).
- **Aguas residuales industriales:** Son efluentes generados en los procesos industriales.
- **Infiltración y caudal adicionales:** Las aguas de infiltración
- **Pluviales:** Agua producida por las lluvias,
- **Escorrentías de usos agrícolas:** Aguas que arrastran fertilizantes (fosfatos) y pesticidas componentes que constituyen una de las causas principales de eutrofización (proceso natural de envejecimiento) de lagos y pantanos.

2.3 Características de las aguas residuales

Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y biológica. Las tablas 2.1 y 2.2 muestran las principales propiedades físicas de agua residual así como sus principales constituyentes químicos y biológicos, y su procedencia.

Tabla 2.1 Propiedades físicas y constituyentes químicos de las aguas residuales

Características	Procedencia
<p>Propiedades físicas:</p> <p>Color</p> <p>Olor</p> <p>Sólidos</p> <p>Temperatura</p>	<p>Aguas residuales domésticas e industriales, degradación natural de materia orgánica.</p> <p>Agua residual en descomposición, residuos industriales.</p> <p>Agua de suministro, aguas residuales domésticas e industriales, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas.</p> <p>Aguas residuales domésticas e industriales.</p>
<p>Constituyentes químicos</p> <p>Orgánicos:</p> <p>Carbohidratos</p> <p>Grasas animales, aceites y grasa</p> <p>Pesticidas</p> <p>Fenoles</p> <p>Proteínas</p> <p>Contaminantes prioritarios</p> <p>Agentes tenso activos</p> <p>Compuestos orgánicos volátiles</p> <p>Otros</p>	<p>Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.</p> <p>Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.</p> <p>Residuos agrícolas.</p> <p>Vertidos Industriales.</p> <p>Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.</p> <p>Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.</p> <p>Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.</p> <p>Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.</p> <p>Degradación natural de materia orgánica.</p>
<p>Inorgánicos:</p> <p>Alcalinidad</p> <p>Cloruros</p> <p>Metales pesados</p> <p>Nitrógeno</p> <p>pH</p> <p>Fósforo</p> <p>Azufre</p>	<p>Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea.</p> <p>Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea.</p> <p>Vertidos industriales.</p> <p>Residuos agrícolas y aguas residuales domésticas.</p> <p>Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.</p> <p>Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales, aguas de escorrentía.</p> <p>Aguas de suministro, aguas residuales domésticas, comerciales e industriales.</p>
<p>Gases:</p> <p>Sulfuro de hidrógeno</p> <p>Metano</p> <p>Oxígeno</p>	<p>Descomposición de residuos domésticos.</p> <p>Descomposición de residuos domésticos.</p> <p>Agua de suministro; infiltración de agua superficial.</p>

Tabla 2.2 Constituyentes biológicos de las aguas residuales

Características	Procedencia
Constituyentes biológicos:	
Animales	Cursos de agua y plantas de tratamiento.
Plantas	Cursos de agua y plantas de tratamiento.
Protistas:	
Eubacterias	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento.
Arqueobacterias	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento.
Virus	Aguas residuales domésticas.

2.3.1 Características físicas

Las características físicas más importantes del agua residual son el contenido total de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta. Otras características físicas importantes son la turbidez, el color, el olor y la temperatura.

A) Turbidez: La turbidez es originada por las partículas en suspensión o coloides (arcillas, limo, tierra finamente dividida, etc.). La figura 2.1 muestra la distribución de las partículas en el agua de acuerdo con su tamaño. La turbidez es causada por las partículas que forman los sistemas coloidales; es decir, aquellas que por su tamaño, se encuentran suspendidas y reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado. La medición de la turbidez se realiza mediante un turbidímetro o nefelómetro. Las unidades utilizadas son, por lo general, unidades nefelométricas de

turbidez (NTU). En la práctica, la remoción de la turbidez no es un proceso difícil de llevar a cabo en una planta de clarificación de agua; sin embargo, es uno de los que más influye en los costos de producción, porque, por lo general, requiere usar coagulantes, acondicionadores de pH, ayudantes de coagulación, etc. El diseño de los sistemas de remoción de turbiedad debe considerar no solo el tipo de partículas existentes (origen, estructura, composición y forma) sino también su tamaño y comportamiento.

B) Sólidos: Se denomina así a los residuos que se obtienen como materia remanente luego de evaporar y secar una muestra de agua a una temperatura dada. Según el tipo de asociación con el agua, los sólidos pueden encontrarse suspendidos o disueltos. La figura 2.1 muestra la distribución de partículas en el agua según su tamaño. Las partículas pueden estar:

- Disueltas (hasta en una milésima de micrómetro), que físicamente en este caso no influirán en la turbidez, pero sí podrían definir su color u olor.
- Formando sistemas coloidales (a 1000 milésimas de micrómetro), que son las causantes de la turbiedad neta del agua.
- En forma de partículas suspendidas (por encima de 1000 milésimas de micrómetro), las cuales caen rápidamente cuando el agua se somete a reposo.

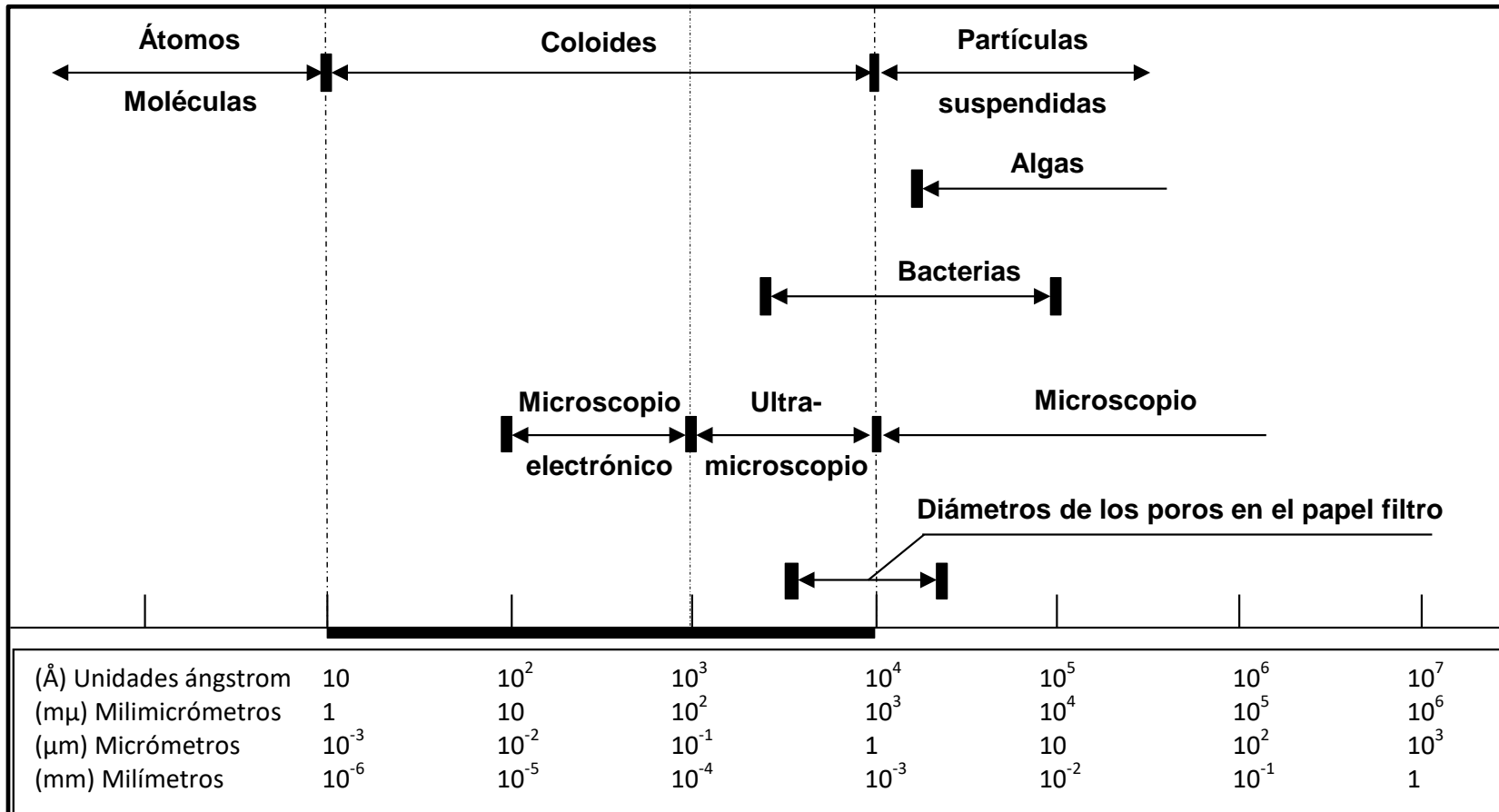


Figura 2.1 Presencia y distribución de las partículas disueltas, coloidales y suspendidas en el agua de acuerdo a su tamaño

- Es necesario aclarar que las pruebas analíticas para determinar las formas de los residuos no determinan sustancias químicas específicas y solo clasifican sustancias que tienen propiedades físicas similares y comportamiento semejante frente a las diferentes condiciones ambientales.
- Es necesario establecer la interrelación (Figura 2.2) entre los sólidos presentes en las aguas residuales definiendo los más importantes:

➤ **Sólidos totales**

Analíticamente, se define el contenido de sólidos totales como la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación entre 103–105 °C.

Sólidos totales = sólidos suspendidos + sólidos disueltos

Sólidos totales = sólidos fijos + sólidos volátiles.

➤ **Sólidos sedimentables**

Se definen como aquellos que sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono de Imhoff) en el transcurso de un periodo de 60 minutos (Figura 2.3), los sólidos sedimentables son expresados en unidades de mg/l/h.

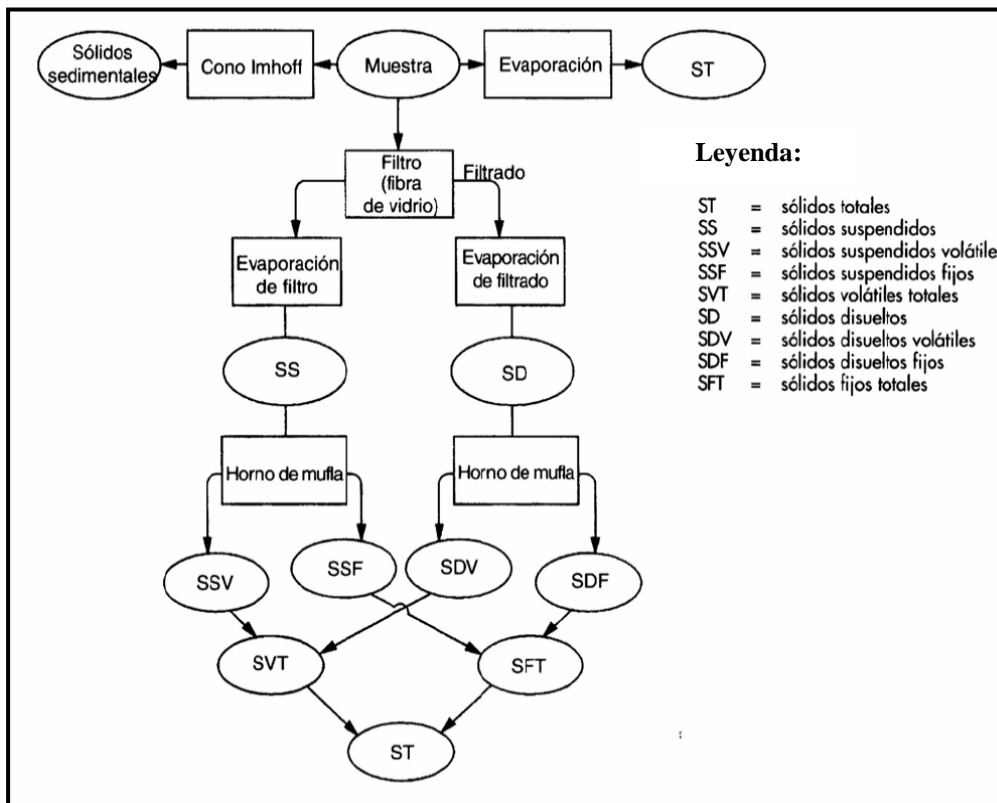


Figura 2.2 Interrelación entre los sólidos presentes en el agua residual

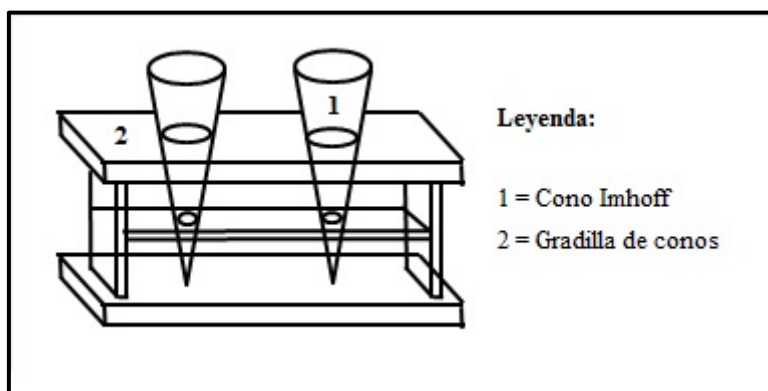


Figura 2.3 Uso del Cono Imhoff para la determinación de los sólidos sedimentables

➤ **Sólidos disueltos o residuos disueltos**

Mejor conocidos como sólidos filtrables, son los que se obtienen después de la evaporación de una muestra previamente filtrada. Comprenden sólidos en solución verdadera y sólidos en estado coloidal, no retenidos en la filtración, ambos con partículas inferiores a un micrómetro (1 μm).

➤ **Sólidos en suspensión**

Corresponden a los sólidos presentes en un agua residual, exceptuados los solubles y los sólidos en fino estado coloidal. Se considera que los sólidos en suspensión son los que tienen partículas superiores a un micrómetro y que son retenidos mediante una filtración en el análisis de laboratorio.

➤ **Sólidos volátiles y fijos**

Los sólidos volátiles son aquellos que se pierden por calcinación a 550 °C, mientras que el material remanente se define como sólidos fijos. La mayor parte de los sólidos volátiles corresponden a material orgánico y los sólidos fijos corresponden, más bien, a material inorgánico.

C) Color: Esta característica del agua puede estar ligada a la turbiedad o presentarse independientemente de ella. Aún no es posible establecer las estructuras químicas fundamentales de las especies responsables del color.

Esta característica del agua se atribuye comúnmente a la presencia de taninos, lignina, ácidos húmicos, ácidos grasos, etc. Se considera que el color natural del agua, excluyendo el que resulta de descargas industriales, puede originarse por las siguientes causas:

- La extracción acuosa de sustancias de origen vegetal;
- La descomposición de la materia;
- La materia orgánica del suelo;
- La presencia de hierro, manganeso y otros compuestos metálicos; y
- Una combinación de los procesos descritos.

En la formación del color en el agua intervienen, entre otros factores, el pH, la temperatura, el tiempo de contacto, la materia disponible y la solubilidad de los compuestos coloreados.

Se denomina color aparente a aquel que presenta el agua cruda o natural y color verdadero al que queda luego de que el agua ha sido filtrada. Existen muchos métodos de remoción del color, los principales son la coagulación por compuestos químicos como el alumbre y el sulfato férrico a pH bajos y las unidades de contacto o filtración ascendente.

D) Olor y sabor: El olor y el sabor están estrechamente relacionados; por eso es común decir que “A lo que huele, sabe el agua”. Estas características constituyen el motivo principal de rechazo por parte del

consumidor. En términos prácticos, la falta de olor puede ser un indicio indirecto de la ausencia de contaminantes, tales como los compuestos fenólicos. Por otra parte, la presencia de olor a sulfuro de hidrógeno puede indicar una acción séptica de compuestos orgánicos en el agua así como la presencia de olores a químicos son característicos en las aguas residuales industriales.

E) Temperatura: Es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, pues por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración. Múltiples factores, principalmente ambientales, pueden hacer que la temperatura del agua varíe continuamente.

F) Densidad: Se define la densidad de un agua residual como su masa por unidad de volumen, expresada en kg/m^3 . Es una característica importante del agua residual dado que de ella depende la potencial formación de corrientes de densidad en lodos de sedimentación. La densidad de aguas residuales domésticas que no contengan grandes cantidades de residuos industriales es prácticamente la misma que la del agua a la misma temperatura. En ocasiones, se emplea como alternativa a la densidad del peso específico del agua residual, obtenido como cociente entre la densidad del agua residual y la densidad del agua.

G) Conductividad: La conductividad eléctrica (CE) del agua es la medida de la capacidad de una solución para conducir la corriente eléctrica. Como la corriente eléctrica es transportada por iones en solución, el aumento en la concentración de iones provoca un aumento en la conductividad. La conductividad eléctrica se expresa en micromhos por centímetro ($\mu\text{mho/cm}$) o milisiemens por metro (mS/m).

2.4 Contaminantes de importancia en las aguas residuales

En la Tabla 2.3 (página 41) se describen los contaminantes de interés en el tratamiento de agua residual. Las normas que regulan los tratamientos secundarios están basadas en las tasas de eliminación de la materia orgánica, sólidos en suspensión y patógenos presentes en el agua residual. Gran parte de estas normas implantadas recientemente, más exigentes incluyen, incluyen el control de la eliminación de nutrientes y de contaminantes prioritarios, cuando se pretende reutilizar el agua residual, las exigencias normativas incluyen también la eliminación de compuestos orgánicos refractarios, metales pesados y, en algunos casos sólidos inorgánicos disueltos.

2.4.1 Métodos analíticos

Para la caracterización del agua residual se emplean métodos de análisis cuantitativos, para la determinación precisa de la composición química del agua residual; como análisis cualitativos para el conocimiento las

características físicas y biológicas. Los métodos cuantitativos pueden ser gravimétricos, volumétricos o fisicoquímicos. Estos últimos se utilizan para determinar parámetros no relacionados con las propiedades másicas o volumétricas del agua.

Tabla 2.3 Contaminantes de importancia en las aguas residuales

Contaminantes	Razón de importancia
Sólidos en suspensión	Los sólidos en suspensión pueden dar lugar al desarrollo de depósitos fango y de condiciones anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratar al entorno acuático.
Materia orgánica biodegradable	Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos, grasas animales, la materia orgánica se mide, en la mayoría de ocasiones en función de la DBO (demanda bioquímica de oxígeno) y de la DQO (demanda química de oxígeno). Si se descargan al entorno sin tratar su estabilización biológica puede llevar al agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas.
Metales pesados	Los metales pesados son frecuentemente añadidos al agua residual en el curso de ciertas actividades comerciales e industriales y puede ser necesario eliminarlos si se pretende reutilizar el agua residual.
Sólidos inorgánicos disueltos	Los constituyentes inorgánicos como el calcio, sodio y los sulfatos se añaden al agua de suministro como consecuencia del uso del agua y es posible que se deban eliminar si se va a reutilizar el agua residual.
Contaminantes prioritarios	Son compuestos orgánicos o inorgánicos determinados en base a la carcinogenicidad, mutagenicidad, teratogenicidad o toxicidad conocida o sospechada. Muchos de estos compuestos se hallan en el agua residual.
Materia orgánica refractaria	Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento. Ejemplos: agentes tensoactivos, fenoles y pesticidas.
Patógenos	Pueden transmitir enfermedades contagiosas por medio de los organismos patógenos presentes en el agua residual.
Nutrientes	Tanto el nitrógeno, el fósforo y el carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando se vierten al entorno acuático, pueden favorecer el crecimiento de una vida acuática no deseada. Cuando se vierten al terreno en cantidades excesivas, también pueden provocar la contaminación de agua subterránea.

También están incluidos los métodos instrumentales como la turbidimetría, colorimetría, potenciometría, polarografía, espectrometría de absorción, fluorimetría, espectroscopia y radiación nuclear.

2.5 Tipos de aguas residuales industriales

Los vertidos industriales pueden clasificarse en base a diferentes criterios, como pueden ser la composición en elementos contaminantes, las características de dichos elementos, los procesos en los que se originan, etc. En nuestro caso consideraremos una clasificación basada en la secuencia de tiempo en la que se generan, tendremos entonces:

- A) **Continuos:** Proviene de procesos en los que existe una entrada y una salida continua de agua (procesos de transporte, lavado, refrigeración).

- B) **Discontinuos:** Proceden de operaciones intermedias. Son los más contaminados (baños de decapado, lejías negras, emulsiones). Al aumentar el tamaño de la industria, algunos vertidos discontinuos pueden convertirse en continuos.

2.6 Métodos de tratamiento de aguas residuales

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

- Características del agua residual: DBO, materia en suspensión, pH, productos tóxicos, calidad del efluente de salida requerido.
- Costo y disponibilidad de terrenos: por ejemplo ciertos tratamientos biológicos (lagunas y estanques de estabilización) son económicamente viables únicamente en el caso de que se disponga de terrenos de bajo costo.
- Considerar una futura ampliación por previsión de límites de calidad más estrictos, que necesiten el diseño de tratamientos más sofisticados en el futuro.
- Costo local del agua; por ejemplo ciertos tratamientos sofisticados como la ósmosis inversa podrán solo justificarse en determinadas regiones donde el costo del agua es elevado, y estarían fuera de lugar en regiones de bajo costo del agua.

2.6.1 Pretratamientos y tratamientos primarios

Los pretratamientos de aguas residuales implican la reducción de sólidos en suspensión o el acondicionamiento de las aguas residuales para su descarga bien en los receptores o para pasar un tratamiento secundario a través de una neutralización y homogenización. Los tipos fundamentales de tratamientos primarios son: el cribado o desbrozo, la sedimentación, la flotación y la neutralización y homogenización.

2.6.1.1 Cribado

El cribado también llamado desbrozo, se emplea para la reducción de sólidos en suspensión de tamaños distintos.

La distancia o las aberturas de las rejillas dependen del objeto de las mismas y su limpieza se hace bien mecánicamente o manualmente. Los productos recogidos se destruyen bien por incineración o se tratan por procesos de digestión anaerobia, o se dirigen directamente al vertedero. Las materias sólidas recogidas se suelen clasificar en finos y gruesos.

Las rejillas de finos tienen aberturas menores a 5 mm. Generalmente están fabricadas de malla metálica de acero, o en base a placas o chapas de acero perforado y se usan muchas veces en lugar de tanques de sedimentación. Sin embargo aunque puedan llegarse a eliminar entre un 5 a 25% de sólidos en suspensión de un 40 a 60 % se eliminan por sedimentación. Por esta razón y debido al atascamiento el uso de tamices finos o con abertura pequeña no es muy normal.

Las rejillas o cribas de gruesos tienen aberturas que pueden oscilar entre 7 a 70 mm se usan como elementos de protección para evitar que sólidos de grandes dimensiones dañen las bombas y otros equipos mecánicos.

2.6.1.2 Sedimentación

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

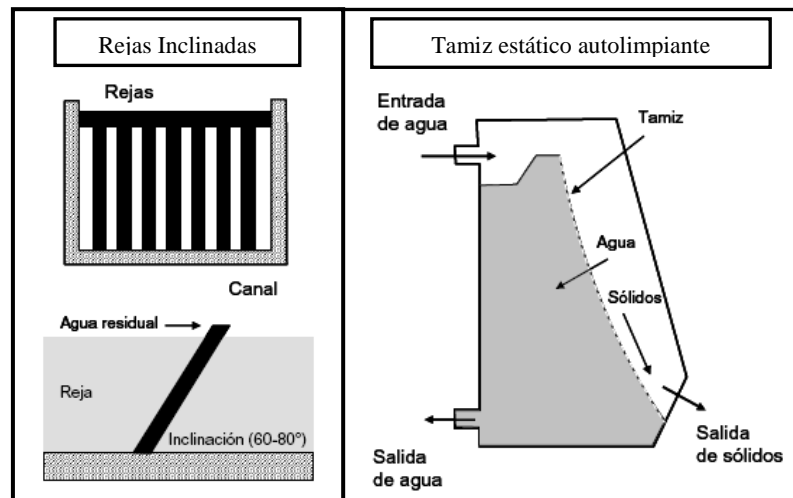


Figura 2.4 Rejas autolimpiantes empleadas en el tratamiento del agua residual

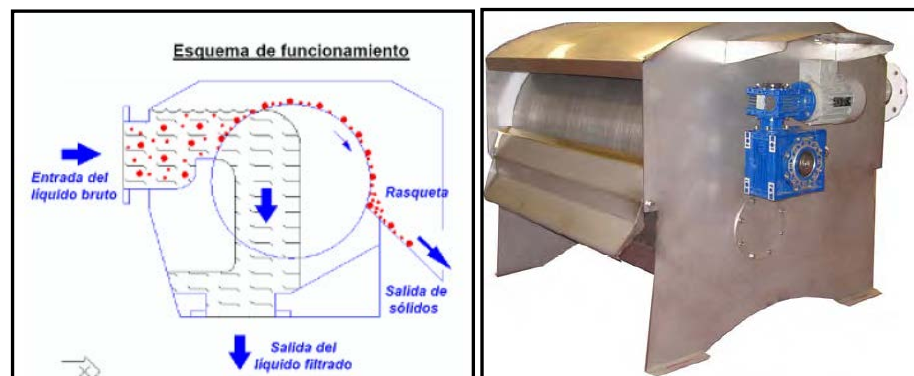


Figura 2.5 Tamiz de tambor rotatorio

Se entiende por sedimentación la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el agua; estas partículas deberán tener un peso específico mayor que el fluido. La remoción de partículas en suspensión en el agua puede conseguirse por sedimentación o filtración. De allí que ambos procesos se consideren como complementarios.

La sedimentación remueve las partículas más densas, mientras que la filtración remueve aquellas partículas que tienen una densidad muy cercana a la del agua o que han sido resuspendidas y, por lo tanto, no pudieron ser removidas en el proceso anterior.

La sedimentación es, en esencia, un fenómeno netamente físico y constituye uno de los procesos utilizados en el tratamiento del agua para conseguir su clarificación. Está relacionada exclusivamente con las propiedades de caída de las partículas en el agua. Cuando se produce sedimentación de una suspensión de partículas, el resultado final será siempre un fluido clarificado y una suspensión más concentrada.

A menudo se utilizan para designar la sedimentación los términos de clarificación y espesamiento. Se habla de clarificación cuando hay un especial interés en el fluido clarificado, y de espesamiento cuando el interés está puesto en la suspensión concentrada.

Las partículas en suspensión sedimentan en diferente forma, dependiendo de las características de las partículas, así como de su concentración. Es así que podemos referirnos a la sedimentación de partículas discretas, sedimentación de partículas floculentas y sedimentación por zonas.

A) Sedimentación de partículas discretas: Se llama partículas discretas a aquellas partículas que no cambian de características (forma, tamaño, densidad) durante la caída. Se denomina sedimentación o sedimentación simple al proceso de depósito de partículas discretas. Este tipo de partículas y esta forma de sedimentación se presentan en los desarenadores, en los sedimentadores y en los presedimentadores como paso previo a la coagulación en las plantas de filtración rápida y también en sedimentadores como paso previo a la filtración lenta.

B) Sedimentación de partículas floculentas: Partículas floculentas son aquellas producidas por la aglomeración de partículas coloides desestabilizadas a consecuencia de la aplicación de agentes químicos. A diferencia de las partículas discretas, las características de este tipo de partículas; forma, tamaño, densidad; sí cambian durante la caída.

Se denomina sedimentación floculenta o decantación al proceso de depósito de partículas floculentas. Este tipo de sedimentación se presenta en la clarificación de aguas, como proceso intermedio entre la coagulación-floculación y la filtración rápida.

C) Sedimentación por zonas: Cuando existe una baja concentración de partículas en el agua, éstas se depositan sin interferir. Se denomina a este fenómeno caída libre. En cambio, cuando hay altas concentraciones de partículas, se producen colisiones que las

mantienen en una posición fija y ocurre un depósito masivo en lugar de individual.

A este proceso de sedimentación se le denomina depósito o caída interferida o sedimentación zonal. Cuando las partículas ya en contacto forman una masa compacta que inhibe una mayor consolidación, se produce una compresión o zona de compresión. Este tipo de sedimentación se presenta en los concentradores de lodos de las unidades de decantación con manto de lodos.

En la figura 2.6 se representa el proceso de sedimentación por zonas en una probeta. Este proceso consta de las siguientes etapas: en un principio el sólido, que se encuentra con una concentración inicial x_0 (figura 2.6 a), comienza a sedimentar (figura 2.6 b), estableciéndose una interface 1 entre la superficie de la capa de sólidos que sedimentan y el líquido clarificado que queda en la parte superior (zona A).

La zona por debajo del líquido clarificado se denomina zona interfacial (zona B). La concentración de sólidos en esta zona es uniforme, sedimentando toda ella como una misma capa de materia a velocidad constante V_s . Esta velocidad de sedimentación puede calcularse a partir de la pendiente de la representación de la altura de la interfase 1 frente al tiempo, tal y como se muestra en la figura 2.7.

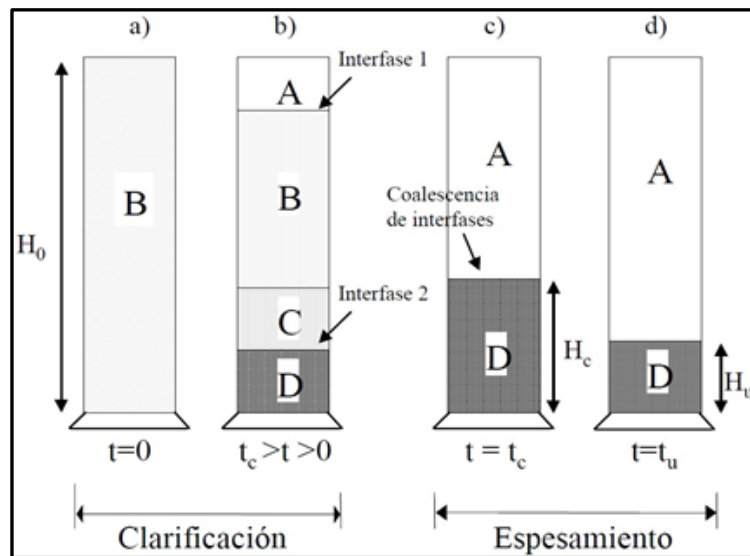


Figura 2.6 Proceso de sedimentación por zonas en probetas

Simultáneamente a la formación de la interfase 1 y de la zona interfacial, se produce una acumulación y compactación de los sólidos en suspensión en el fondo de la probeta, dando lugar a la denominada zona de compactación (zona D). En esta zona la concentración de sólidos en suspensión es también uniforme y la interfase que bordea esta zona, interfase 2, avanza en sentido ascendente en el cilindro con una velocidad constante V .

Entre la zona interfacial y la zona de compactación se encuentra la zona de transición (zona C). En esta zona la velocidad de sedimentación de los sólidos disminuye debido al incremento de la viscosidad y de la densidad de la suspensión, cambiando la concentración de sólido gradualmente entre la correspondiente a la zona interfacial y la de la zona de compactación.

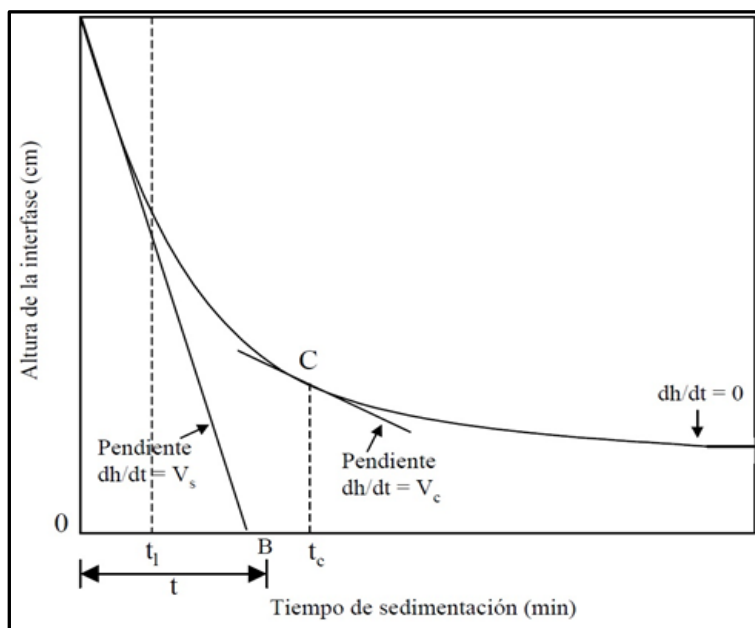


Figura 2.7 Curva de sedimentación por zonas en una probeta

Las zonas de compactación e interfacial pueden llegar a encontrarse, produciéndose la coalescencia de las dos interfaces anteriormente citadas, en el denominado momento crítico t_c , desapareciendo la zona de transición (figura 2.6 c). En este momento el sólido sedimentado tiene una concentración uniforme X_c o concentración crítica, comenzando la compactación y alcanzándose, posteriormente, la concentración final X_u (figura 2.6 d). La velocidad de sedimentación en el momento t_c corresponde a un valor V_c dado por la pendiente de la tangente a la curva de sedimentación en el punto C, tal y como se indica en la figura 2.7 donde $V_c < V_s$.

Tabla 2.4 Tipos de sedimentación que intervienen en el tratamiento del agua residual

Tipo de fenómeno de sedimentación	Descripción	Aplicación/Situaciones en que se presenta
De partículas discretas (Tipo 1)	Se refiere a la sedimentación de partículas en una suspensión con baja concentración de sólidos. Las partículas sedimentan como entidades individuales y no existe interacción sustancial con las partículas vecinas.	Eliminación de las arenas del agua residual.
Floculenta (Tipo 2)	Se refiere a una suspensión bastante diluida de partículas que se agregan, o floculan, durante el proceso de sedimentación. Al unirse, las partículas aumentan de masa y sedimentan a mayor velocidad.	Eliminación de una fracción de los sólidos en suspensión del agua residual bruta en los tanques de sedimentación primaria, y en la zona superior de los decantadores secundarios. También elimina los floculos químicos de los tanques de sedimentación.
Retardada, también llamada zonal (Tipo 3)	Se refiere a suspensiones de concentración intermedia, en las que las fuerzas entre partículas son suficientes para entorpecer la sedimentación de las partículas vecinas. Las partículas tienden a permanecer en posiciones relativas fijas, y la masa de partículas sedimenta como una unidad. Se desarrolla una interfase sólido-líquido en la parte superior de la masa que sedimenta.	Se presenta en los tanques de sedimentación secundaria empleados en las instalaciones de tratamiento biológico.
Compresión (Tipo 4)	Se refiere a la sedimentación en la que las partículas están concentradas de tal manera que se forma una estructura, y la sedimentación sólo puede tener lugar como consecuencia de la compresión de esta estructura. La compresión se produce por el peso de las partículas, que se van añadiendo constantemente a la estructura por sedimentación desde el líquido sobrenadante.	Generalmente, se produce en las capas inferiores de una masa de fango de gran espesor, tal como ocurre en el fondo de los decantadores secundarios profundos y en las instalaciones de espesamiento de fangos.

2.6.1.3 Expresiones de velocidad de sedimentación

Partículas discretas con caída libre

El fenómeno de sedimentación de partículas discretas por caída libre, también denominado en soluciones diluidas, puede describirse por medio de la mecánica clásica. En este caso, la sedimentación es solamente una función de las propiedades del fluido y las características de las partículas según se demuestra a continuación. Imaginemos el caso de una partícula que se deja caer en el agua. Esta partícula estará sometida a dos fuerzas (figura 2.8) fuerza de flotación (F_F), que es igual al peso del volumen del líquido desplazado por la partícula (Principio de Arquímedes), y fuerza gravitacional (F_G).

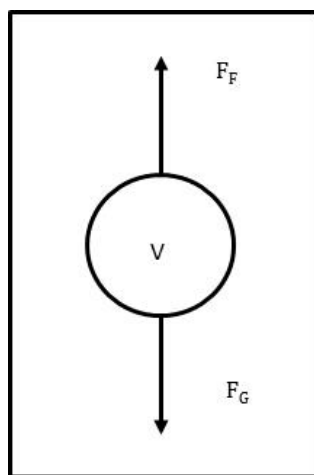


Figura 2.8 Fuerzas actuantes en una partícula

$$\text{Si } F_F = \rho * g * V \quad (2.1)$$

$$\text{y } F_G = \rho_s * g * V \quad (2.2)$$

Dónde:

ρ = densidad del líquido

ρ_s = densidad del sólido

V = volumen de la partícula

De la acción de ambas fuerzas tenemos la fuerza resultante, que será igual a la diferencia de estos dos valores y estará dada por:

$$F_i = g * V * (\rho_s - \rho) \quad (2.3)$$

Dónde:

F_i = fuerza resultante o fuerza de impulsión

Arrastrada por esta fuerza (F_i), la partícula desciende con velocidad creciente, pero a medida que baja, la fricción que el líquido genera en ella crea una fuerza de roce definida por la Ley de Newton, cuyo valor es:

$$F_R = C_D * A * \rho * \frac{V_s^2}{2} \quad (2.4)$$

Dónde:

F_R = fuerza de rozamiento

$V_s^2/2$ = energía cinética

A = área transversal al escurrimiento

V_s = velocidad de sedimentación

C_D = coeficiente de arrastre o fricción

$$g * V * (\rho_s - \rho) = C_D * A * \rho * \frac{V_s^2}{2} \quad (2.5)$$

Despejando el valor de V_s se obtiene:

$$V_s = \sqrt{\frac{2g}{C_D} * \frac{(\rho_s - \rho)}{\rho} * \frac{V}{A}} \quad (2.6)$$

Para el caso particular de partículas esféricas:

$$A = \frac{d^2 \pi}{4} \quad \text{y} \quad V = \frac{d^3 \pi}{6}$$

Siendo d = diámetro de la partícula

$$\frac{V}{A} = \frac{\pi/6 d^3}{\pi/4 d^2} = \frac{2d}{3}$$

$$V_s = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{g}{C_D} * \frac{(\rho_s - \rho)}{\rho} * d} \quad (2.7)$$

Dónde:

V_s = velocidad de sedimentación

d = diámetro de la partícula

g = aceleración de la gravedad

ρ_s = densidad de la partícula

ρ = densidad del fluido

El coeficiente de arrastre de Newton es una función del Número de Reynolds y de la forma de las partículas:

$$C_D = a * Re^{-n} \quad (2.8)$$

$$Re = V_s * d * \frac{\rho}{U} \quad (2.9)$$

Dónde:

a = Constante específica

Re = número de Reynolds

U = viscosidad cinemática (Stokes)

Si $d < 0,085$ mm, $Re < 1$, entonces prevalece flujo laminar, siendo:

$$C_D = \frac{24}{Re} \quad y \quad S_s = \frac{\rho_s}{\rho}$$

Al reemplazar en la ecuación (2.7), se origina la ecuación de Stokes:

$$V_s = \frac{g}{18} (S_s - 1) \frac{d^2}{U} \quad (2.10)$$

Cuando $d > 1,0$ mm, $Re > 1.000$, presenta flujo turbulento, para lo cual $C_D = 0,4$

$$V_s = \sqrt{3,3 * g(S_s - 1)d} \quad (2.11)$$

Conocida como la ecuación de Newton.

Para partículas no esféricas puede emplearse la Figura 2.9, sin más que considerar que cada curva corresponde a un valor específico definido como esfericidad (la esfericidad es el cociente entre el área superficial de una esfera que tenga el mismo volumen que la partícula y el área superficial de dicha partícula).

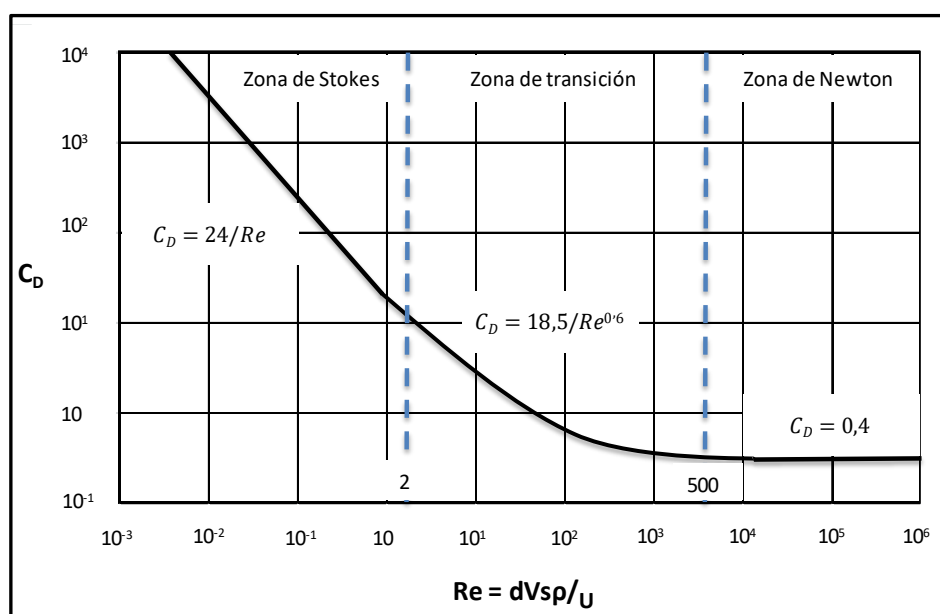


Figura 2.9 Correlación entre el coeficiente de fricción para partículas esféricas y el número de Reynolds

En general, para el coeficiente C_D se puede obtener una aproximación por la fórmula:

$$C_D = \frac{b}{Re^n} \quad (2.12)$$

En el cual los coeficientes b y n para las distintas regiones de la figura 2.9 son indicados en la Tabla 2.5. La relación aproximada entre C_D y

Reviene dada por la ecuación (2.12). Muchos problemas de sedimentación en los tratamientos de aguas residuales se presentan en la zona de Stokes.

Tabla 2.5 Valores de b y n

Zona	b	n	$C_D = b/Re^n$
Ley de Stokes $Re < 2$	24	1,0	$C_D=24/Re$
Transición $2 < Re < 500$	18,5	0,6	$C_D=18,5/Re^{0,6}$
Newton $Re > 500$	0,4	0,0	$C_D=0,4$

2.7 Método de Coagulación y Floculación

2.7.1 Proceso de Coagulación-Floculación

La Coagulación-Floculación es el proceso por el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas con peso específico superior al del agua llamadas flocs y por lo tanto pueden ser separadas del agua mediante procesos físicos de sedimentación.

El proceso de Coagulación-Floculación permite aumentar la velocidad de sedimentación en las partículas, fenómeno que puede ser ejemplificado con la expresión dada por la ley de Stokes la cual se aprecia en la ecuación 2.13

$$V_s = \frac{g}{18} (S_s - 1) \frac{d^2}{U} \quad (2.13)$$

Cuando el floc sedimenta, arrastra consigo a partículas de menor tamaño, las cuales sedimentan junto con el floc, favoreciendo así la remoción de partículas suspendidas. En el proceso de Coagulación-Floculación se distinguen dos aspectos fundamentales:

- a) Desestabilización de partículas suspendidas, o sea remoción de las fuerzas que las mantienen separadas, llamada coagulación.
- b) El transporte de ellas dentro del líquido para que hagan contacto, generalmente estableciendo puentes entre sí y formando una malla tridimensional de coágulos porosos; este proceso es llamado floculación.

2.7.2 La Coagulación Química

La coagulación consiste en la desestabilización de las partículas suspendidas mediante la adición de un producto químico, lo que provoca la neutralización de la carga de los coloides presentes en el agua y por lo tanto, la disminución de las fuerzas que mantienen separadas las partículas. Este fenómeno ocurre debido a una serie de reacciones físicas y químicas entre los coagulantes, la superficie de la partícula, la alcalinidad del agua y el agua misma. Este proceso dura solamente fracciones de segundo.

Tres mecanismos pueden actuar en el fenómeno de coagulación:

- Adsorción-desestabilización, basado en las fuerzas electrostáticas de atracción y repulsión.
- Puente químico, que establece una relación de dependencia entre las fuerzas químicas y la superficie de los coloides.
- Sobresaturación de la concentración de coagulante en el agua, basado en el barrido producido por los productos generados al agregar el coagulante.

En una suspensión coloidal, no se puede conseguir, de forma efectiva, la separación de las partículas directamente por técnicas de separación sólido-líquido (decantación, flotación), como consecuencia del pequeño tamaño de las mismas, que se traduce en una muy pequeña velocidad de sedimentación. Tampoco se produce la agregación de las partículas, debido a la existencia de cargas eléctricas en la superficie de las partículas coloidales. Estas cargas son normalmente negativas, y están asociadas a la existencia de grupos carboxilo o hidroxilo en la superficie de las partículas orgánicas, y al intercambio de aluminio y silicio por cationes monovalentes (tales como el K^+ , el Na^+ o los H^+) en el caso de los minerales.

Esta carga superficial origina la atracción de iones de signo contrario presentes en el seno de la disolución, que se concentran alrededor de las partículas, dando lugar a la formación de una capa difusa de iones, que provoca que las fuerzas de repulsión entre las partículas predominen sobre

las fuerzas de atracción másica que existen entre las mismas. Por este motivo, una suspensión coloidal es un sistema estable (Figura 2.10), es decir, sin tendencia a cambios que posibiliten la agregación de las partículas.

La coagulación puede ser definida, en principio, como la desestabilización de las partículas para conseguir que las fuerzas de atracción tipo Van der Waals que existen entre dos partículas predominen sobre las de repulsión electrostática, de manera que las partículas se unan y den lugar a la formación de sólidos de mayor tamaño. Como consecuencia del mayor tamaño, la velocidad de sedimentación de las partículas se incrementa, posibilitando el uso de la decantación como tecnología de tratamiento.

La coagulación es un proceso químico complejo que implica la combinación de numerosos procesos sencillos. Comienza con la adición a una dispersión coloidal de un reactivo químico (normalmente una sal de catión polivalente) que activa simultáneamente varios mecanismos de desestabilización coloidal, siendo los más importantes (Figura 2.11) la compresión de la doble capa eléctrica (como consecuencia del aumento en la fuerza iónica del medio que provoca este nuevo reactivo) y la neutralización de la carga superficial de las partículas coloidales (que está asociada a la adsorción de iones sobre la superficie de las partículas coloidales).

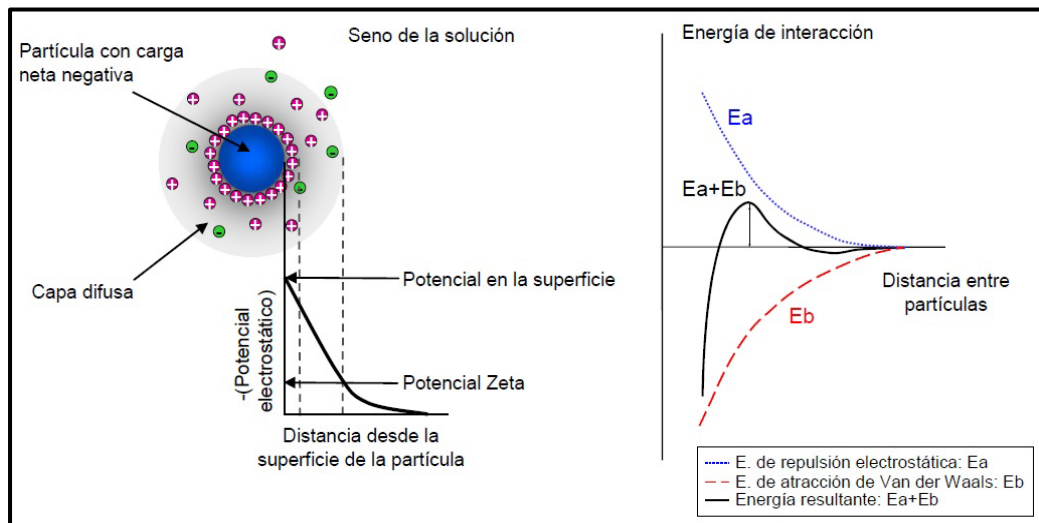


Figura 2.10 Esquema de las fuerzas de interacción que actúan sobre una partícula en suspensión

Además de estos procesos, la adición de sales de aluminio o hierro puede dar lugar también a la formación de precipitados a partir de sus hidróxidos, que atrapan en su interior a las partículas coloidales. La inmersión de los coloides dentro de un precipitado es un mecanismo muy efectivo de eliminación de la materia coloidal conocido como coagulación o floculación de barrido.

Asimismo, la adsorción de grupos activos de un mismo agente coagulante sobre diferentes partículas coloidales permite la formación de enlaces tipo puente entre partículas. Este mecanismo puede ser conseguido por polímeros formados de forma natural tras la hidrólisis de sales de aluminio o hierro, pero su eficacia aumenta notablemente si se añaden polímeros orgánicos especiales (iónicos o no) con una cadena de gran tamaño.

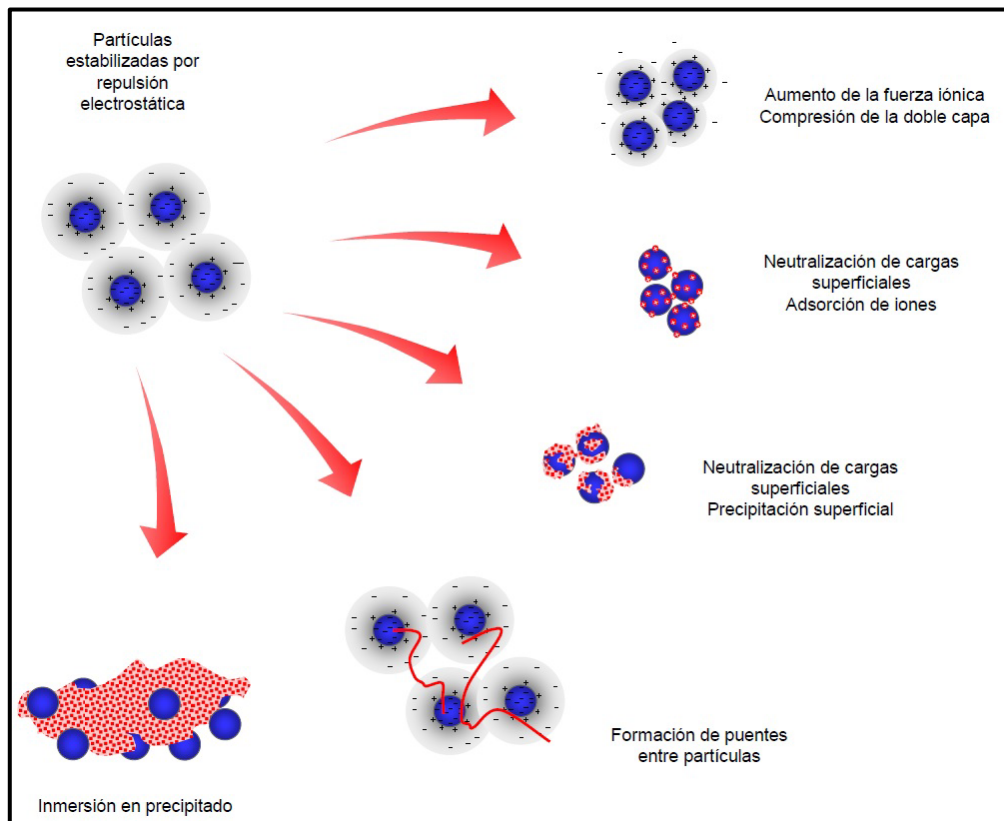


Figura 2.11 Mecanismos de coagulación de partículas coloidales

Como consecuencia del proceso de coagulación por aumento de la fuerza iónica o por neutralización, las fuerzas de repulsión electrostáticas se hacen menores que las correspondientes fuerzas de atracción de Van der Waals, y cuando las partículas coloidales chocan se unen para formar partículas de mayor tamaño. Al proceso físico mediante el que se favorece que estas partículas choquen se le denomina floculación. Normalmente, en el tratamiento de un agua el proceso de floculación se consigue agitando suavemente el agua residual para favorecer el movimiento interno de las partículas coloidales. En este sentido, la coagulación o floculación de barrido, y la resultante de la formación de enlaces inter-partículas, son

mecanismos que no están claramente englobados en el concepto de coagulación y/o floculación, sino en ambos simultáneamente, y como tal aparecen mezclados en la bibliografía (a veces, incluso, de forma incorrecta).

El mayor tamaño de los sólidos generados tras el proceso conjunto de coagulación y floculación hace que sean susceptibles de ser separados mediante técnicas convencionales de separación sólido-líquido. De esta forma, el mayor peso hace que su velocidad de sedimentación sea la adecuada para ser eliminados en decantadores convencionales, y su tamaño los hace adecuados para que las microburbujas de aire generadas en un proceso de flotación por aire disuelto (FAD) se adhieran a su superficie y se posibilite su eliminación.

Por tanto, los procesos de coagulación-floculación permiten tratar, combinadamente con la sedimentación o la flotación, efluentes con materia coloidal. Ejemplos de aguas residuales contaminadas con materia coloidal, y que pueden ser sometidas a este tratamiento, son las aguas residuales urbanas y los efluentes residuales procedentes de industrias del sector textil y agroalimentario.

En todos los casos, sales de Fe(III) y de Al(III), tales como los cloruros o los sulfatos, suelen ser los reactivos más utilizados, dada la elevada carga de estos cationes, que favorecen los procesos de desestabilización coloidal

(y de desestabilización de las micro gotas de las emulsiones) mediante la disminución de las fuerzas electrostáticas de repulsión entre partículas. A nivel industrial las operaciones de coagulación-floculación se llevan a cabo en depósitos agitados en los que se adicionan reactivos mediante bombas dosificadoras.

2.7.3 La Floculación

La floculación es el mecanismo mediante el cual las partículas ya desestabilizadas chocan unas con otras formando coágulos mayores denominados flocs; en este proceso los flocs aumentan su peso específico hasta superar el del líquido que los contiene, lo cual permite la sedimentación del aglomerado.

El proceso de floculación se puede clasificar según como se producen las colisiones entre partículas, si las colisiones son producidas por el movimiento de las moléculas del líquido (movimiento browniano) se denomina floculación pericinética y si las colisiones se producen por la turbulencia del líquido originada por fuerzas externas se denomina floculación ortocinética.

La mayor parte del tiempo se efectúa una floculación del tipo ortocinética, y en este caso la eficiencia de la floculación dependerá del parámetro

llamado gradiente de velocidad que determinará las condiciones de diseño y operación de las unidades.

2.7.4 Factores que influyen en el proceso de coagulación

Muchos factores influyen en la coagulación del agua dentro de las cuales se pueden mencionar:

- Tipo de coagulante.
- Cantidad de coagulante que requiere para llevar el agua al óptimo de coagulación. Aunque existe cierta relación entre la turbiedad del agua bruta y la dosis del coagulante apropiado, la cantidad exacta solo puede ser determinada mediante ensayos de Jar-test, electroforesis, etc. Aun así la cantidad puede variar por otros factores como el tiempo de mezcla o la temperatura del agua.
- Característica del agua, pH. Se puede hacer notar, por ejemplo que las materias suspendidas muy finas son más difíciles de coagular que las partículas más grandes, necesitan mayor cantidad de coagulante, y la capacidad de intercambio de cationes de las partículas de la turbiedad tiene una relación importante con el éxito de la coagulación. Existe para cada coagulante una zona de pH. Donde se produce una buena floculación en plazo corto y con una dosis dada de coagulante. La

coagulación debe efectuarse dentro de esa zona óptima siempre que sea posible. Cuando se deja de operar en la zona óptima para cualquier agua, se da el desperdicio de productos químicos y un descenso en el rendimiento del proceso.

- Tiempo de mezcla y coagulación. Al conjunto se le suele denominar “período de coagulación” y se define como el tiempo transcurrido entre la adición del coagulante al agua y el final de la agitación del agua a una velocidad que impida la decantación de las materias floculadas, antes de la entrada al decantador estimándose entre 10 a 30 minutos.
- Efecto de la temperatura del agua. La influencia principal de la temperatura en la coagulación es su efecto sobre el tiempo requerido para una buena formación de flóculos. Generalmente cuando más fría esté el agua más largo será el tiempo requerido para producir buenos flóculos con la cantidad determinada de coagulante.
- Fuerza de agitación. Se ha comprobado que una velocidad de 30 a 40 cm/s., en los tanques de coagulación, produce una fuerza de agitación adecuada.
- Presencia de núcleos. Las partículas sólidas en suspensión actúan como núcleos para la formación inicial de flóculos. Es un hecho bien

conocido que el agua que contiene poca turbiedad coloidal es, frecuentemente de floculación más difícil.

2.7.5 Características de los coagulantes

De acuerdo con las misiones que deben cumplir los coagulantes deberán tener las siguientes características:

- Carga opuesta al coloide con objeto de que, al agregar a la solución coloidal cargas opuestas, las fuerzas electrostáticas puedan ser neutralizadas, punto isoeléctrico o potencial Z nulo. A veces el reactivo coagulante no consigue reducir el potencial Z hasta valores próximos a cero, por lo cual es preciso introducir otros compuestos denominados Coadyuvantes (cal, carbonato sódico, sosa cáustica, ácidos minerales).
- Han de ser los más fuertes en carga (valencia), para que la rotura de la estabilidad coloidal sea lo más rápida posible, y han de ser productos no muy costosos en el mercado.
- Han de ser muy pesados, para que los flóculos formados puedan separarse lo más rápidamente posible, por precipitación.
- Los coloides presentes en los líquidos residuales domésticos y vertidos industriales son principalmente hidrófilos, o sea, caracterizados por

una gran afinidad por el agua y mucho más resistentes a la coagulación que los coloides hidrófobos.

- Cuando las sustancias coagulantes son agregadas al líquido residual, dentro del pH de coagulación óptima, se produce una hidrólisis con la formación de hidróxidos coloidales insolubles que adsorben las partículas coloidales propiciando la precipitación.

2.7.6 Principales productos coagulantes

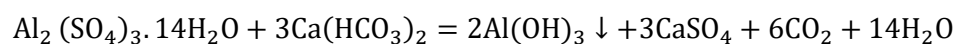
Podemos distinguir dos grandes grupos: Inorgánicos y orgánicos, dentro de estos últimos tenemos aquellos de origen natural (considerados algunas veces no como agentes coagulantes propiamente dichos, sino como auxiliares de la coagulación o coadyuvantes), y los sintéticos.

A.- Coagulantes inorgánicos

Sulfato de alúmina (Sulfato de aluminio hidratado)

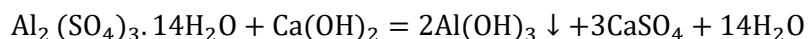
Da lugar a las reacciones siguientes de acuerdo al agente coadyuvante agregado al agua:

Alcalinidad natural:



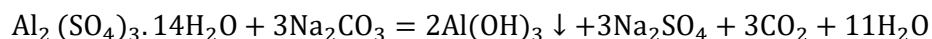
Se requiere dosis de 20 a 200 g/m³ según la turbiedad del agua. Rango de pH para la coagulación óptima: 5 a 7.5 (óptimo 6 a 6.5).

Con lechada de cal:



Dosis de cal equivalente a un tercio de la dosis del sulfato de alúmina.

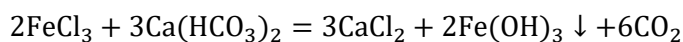
Con carbonato de sodio:



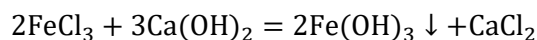
Dosis de carbonato de sodio entre 50 a 100% de la dosis del sulfato de alúmina. Se observa que el elemento fundamental para la formación de flóculos es la formación de hidróxidos, cuya insolubilidad depende del pH.

Cloruro férrico

Alcalinidad natural:



Se requiere dosis de 5 a 160 g/m³ de reactivo comercial FeCl₃·6H₂O según la turbidez del agua. Rango de pH para la coagulación óptima: entre 4 a 6 y mayor que 8.

Con lechada de cal:**Con aluminato sódico:**

Dosis de aluminato sódico aproximadamente igual cantidad del reactivo comercial, con riqueza del 50% de Al_2O_3 de aluminato sódico que de cloruro férrico.

Coagulantes alternativos (PAC's)

Son coagulantes inorgánicos prepolimerizados, los cuales se comportan diferentes a los coagulantes convencionales en el procesos de clarificación debido a sus características de especiación química (proceso de identificación y cuantificación de las formas químicas de un mismo elemento), Los PAC's tienen diferentes fases sólidas en las reacciones hidrolíticas respecto a los coagulantes convencionales: los flóculos de PAC's tienden a ser grupos de pequeñas esferas y/o estructuras tipo cadena con tamaño menor a 25 μm , mientras que los flóculos de sulfato de aluminio son usualmente estructuras esponjosas y porosas con tamaño de 25 a 100 μm . Esta diferencia estructural hace que los PAC's produzcan una menor turbiedad en suspensión que el sulfato de aluminio. Los PAC's contienen una gama de especies hidrolíticas de Al(III) preformadas de

calidad superior y poseen una estructura que es bastante estable ante hidrólisis posteriores, que contribuye a su mayor eficiencia de coagulación; se consideran más eficientes que el sulfato de aluminio dadas las ventajas de menor producción de lodos y la menor dependencia de la temperatura y el pH. Sin embargo, su eficiencia también se ve afectada por algunos parámetros como la composición del agua cruda y las condiciones de operación específicas.

Los PAC's son producidos adicionando una base al cloruro de aluminio hasta lograr la fórmula empírica $\text{Al}(\text{OH})_n\text{Cl}_{3-n}$, donde n toma valores que van de 1 a 2.5. Los diferentes PAC's se tipifican por su contenido de aluminio (porcentaje de Al_2O_3), contenido de sulfatos (porcentaje de SO_4) y contenido de hidróxido (porcentaje de basicidad). La basicidad se refiere al número de iones hidróxido promedio por átomos de aluminio en las moléculas del PAC ($[\text{OH}]/[\text{Al}]$), y es un índice del grado de polimerización.

La reacción de hidrólisis de un PAC se da por etapas. Dependiendo de las condiciones del proceso, se forman los siguientes productos intermedios: dímeros $[\text{Al}_2(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_8]^{+4}$; complejos polihidroxilo $[\text{Al}_8(\text{OH})_{20}]^{+4}$, $[\text{Al}_8(\text{OH})_{22}]^{+2}$, $[\text{Al}_8(\text{OH})_{24}]$, $[\text{Al}_{13}\text{O}_4(\text{OH})_{24}(\text{H}_2\text{O})_{12}]^{+7}$, $[\text{Al}_{14}(\text{OH})_{38}]^{+4}$, $[\text{Al}_{30}\text{Cl}_4(\text{OH})_{81}(\text{H}_2\text{O})_{38}]^{+5}$; compuestos complejos $[\text{Al}_8(\text{OH})_{20}(\text{H}_2\text{O})_{10}]\text{Cl}_4$ y partículas y agregados en la forma original del PAC. La eficiencia de la coagulación está en función de cuál o cuáles de los anteriores productos

intermedios de la hidrólisis reaccionan con las impurezas del agua. Existen otros tipos de coagulantes los cuales solo se mencionarán:

- Sulfato ferroso clorado
- Sulfato ferroso
- Sulfato férrico
- Cloruro de aluminio
- Sulfato cúprico
- Cal (CaO)
- Hidróxido de Calcio Ca(OH)_2
- Arcilla, arena, bentonita

B.- Coagulantes orgánicos (polielectrolitos)

Dentro de los coagulantes naturales pueden distinguirse los polielectrolitos naturales y los sintéticos.

- **De origen natural:** Derivados del almidón, celulosa, alginatos. En ocasiones son considerados auxiliares de la coagulación o coadyuvantes, ya que su misión es más bien ayudar a la floculación que a la coagulación.
- **Sintéticos:** Son macromoléculas de cadena larga (obtenidas por asociación de monómeros simples), que poseen cargas eléctricas o grupos ionizables. Según el carácter iónico estos grupos se distinguen:

Polielectrolitos no iónicos, casi exclusivamente poliacrilamidas de masa molecular comprendida entre 1 y 30 millones.

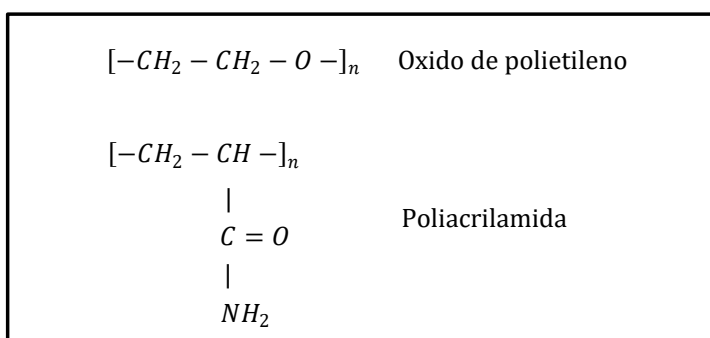


Figura 2.12 Polielectrolitos no iónicos

Polielectrolitos aniónicos, caracterizados por la coexistencia de grupos que permiten la adsorción, y grupos ionizados negativamente, cuyo papel consiste en provocar la extensión del polímero. Entre estos se pueden mencionar:

- Ácido poliacrílico.
- Poliacrilamida hidrolizada.
- Poliestireno sulfonado.

Polielectrolitos catiónicos, que tienen en sus cadenas una carga eléctrica positiva debido a la presencia del grupo amino ejemplo: el polidialildimetilamonio.

El coagulante ideal será, por tanto, el que en primer lugar facilite una carga para la desestabilización de los coloides y después forme el coágulo o

flóculo primario sobre el cual pudieran adsorberse fácilmente las partículas. Tener en consideración que para:

- Aguas muy claras: Se precisa un flóculo voluminoso y de rápida velocidad de formación (prevalece el mecanismo de adsorción).
- Aguas residuales: Se precisa de una elevada densidad de carga para la desestabilización.

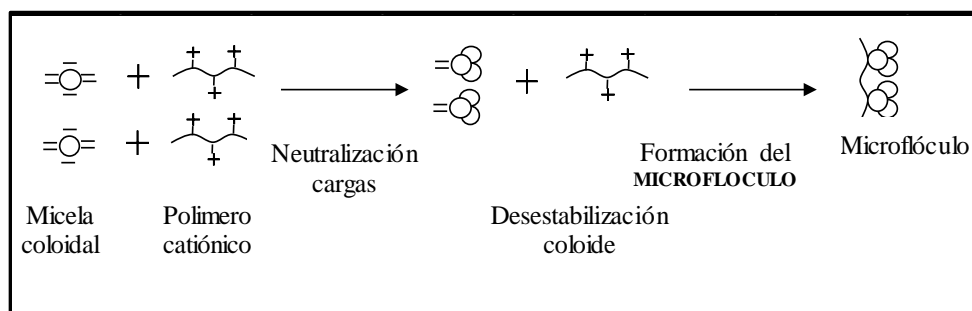


Figura 2.13 Fuerzas actuantes en una partícula

2.7.7 Coadyuvantes

Se llaman así a los agentes auxiliares de la coagulación. La coagulación tiene básicamente dos etapas: una de desestabilización de la estructura coloidal y otra de aglomeración de los coloides desestabilizados, formando aglomerados susceptibles de precipitar por gravedad.

Los coadyuvantes son agentes que facilitan el primer proceso, (bien actuando sobre el potencial Z de los coloides ayudando a anularlo, o bien

transformando los hidrófilos en hidrófobos, modificando el pH del agua), o bien sirven de material soporte en la realización del segundo proceso. A continuación se citan los más importantes, clasificándolos de acuerdo a su misión:

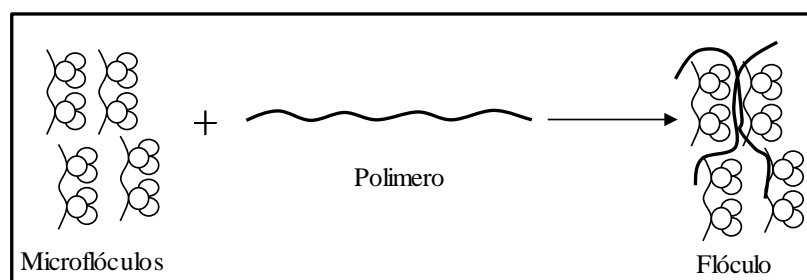


Figura 2.14 Formación del flóculo

2.7.7.1 Coadyuvantes inorgánicos

Para modificar el pH del agua y facilitar la actuación del coagulante que use en un rango óptimo de pH tenemos a la: Cal viva, cal apagada, carbonato de sodio, soda caústica. Constituyen una ayuda directa a la coagulación transformando los coloides hidrófilicos unidos fuertemente al agua, en hidrófobos, con lo que la dosis necesaria de coagulante para la clarificación es menor, tenemos al cloro. Para neutralizar las cargas eléctricas de los elementos coloidales, tenemos al sulfato de magnesio (actuando el Mg^{++}) que sirve de material soporte y medio adsorbente pesado que facilite la aglomeración de flóculos, tenemos a: las arcillas, sílice activa, carbón activado.

2.7.7.2 Coadyuvantes orgánicos

Algunos se fabrican a partir de productos naturales:

- Alginatos de extracto de algas
- Almidones de extracto de granos vegetales

Otros son sintéticos. Los polielectrolitos aniónicos y no iónicos vistos antes, pueden ser considerados como coadyuvantes orgánicos sintéticos.

2.8 Legislación ambiental referente a el vertido de efluentes residuales industriales

2.8.1 Consideraciones generales

Mediante el Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA (Anexo N° 2) se aprobaron los VMA (Valores Máximos Admisibles) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de recolección del servicio de alcantarillado sanitario, a fin de evitar el deterioro de las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias, equipos y asegurar su adecuado funcionamiento, garantizando la sostenibilidad de los sistemas de recolección y tratamiento de las aguas residuales del servicio de alcantarillado. Asimismo, establece que los usuarios no domésticos cuyas

descargas sobrepasen los valores contenidos como se muestra en la Tabla 2.6 deberán realizar un pago, siendo definido éste como pago adicional.

Sobre la naturaleza jurídica del pago adicional por exceso de concentración respecto de los VMA para los usuarios no domésticos, se debe señalar que dicho pago adicional no es considerado como tarifa ni como contrapresión por un servicio colateral, en tanto no constituye parte de los servicios que por Ley deben brindar las EPS (entidades prestadoras de servicio de saneamiento) y, por ende, no se interiorizan los costos operativos dentro de la determinación tarifaria, precisándose que la SUNASS (Superintendencia Nacional de Servicio de Saneamiento) norma la presente metodología por mandato del D.S. N° 021-2009-VIVIENDA. Asimismo, se considera que estos pagos no se efectúan por la contraprestación de un servicio, ni con fines recaudatorios, sino que se han diseñado de tal manera que junto al objetivo de afrontar las contingencias económicas por parte de las EPS, estos pagos cumplen con otro objetivo fundamental: Incentivar la reducción de dichas descargas, vale decir, que el usuario no doméstico trate sus desagües antes de descargarlos a la red de alcantarillado doméstico.

2.8.2 Valores máximos admisibles

Según el Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, define los valores máximos admisibles como aquel valor de la concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos y/o químicos, que caracterizan a un

efluente no doméstico que va a ser descargado a la red de alcantarillado sanitario, que al ser excedido causa daño inmediato o progresivo a las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias y equipos de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, y tiene influencia negativas en los procesos de tratamiento de las aguas residuales.

Los usuarios cuyas descargas sobrepasen los valores contenidos en la tabla 2.6, deberán pagar la tarifa establecida por el ente competente, la cual es complementaria al reglamento de la presente norma (Anexo N° 2), pudiéndose llegar en los casos que se establezca en el reglamento, incluso a la suspensión del servicio de alcantarillado sanitario.

Tabla 2.6 Valores que condicionan al ser sobrepasados por el usuario un pago establecido

PARÁMETRO	UNIDAD	EXPRESIÓN	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/l	DBO ₅	500
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/l	DQO	1000
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	SST	500
Aceites y Grasas	mg/l	A y G	100

Los parámetros contenidos en la tabla 2.7 no pueden ser sobrepasados, En caso se sobrepase dichos parámetros, el usuario será sujeto de suspensión del servicio.

Tabla 2.7 Valores Máximos Admisibles ⁽¹⁾ que al ser sobrepasados condicionan al usuario la suspensión del servicio

PARÁMETRO	UNIDAD	EXPRESIÓN	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Aluminio	mg/l	Al	10
Arsénico	mg/l	As	0.5
Boro	mg/l	B	4
Cadmio	mg/l	Cd	0.2
Cianuro	mg/l	CN ⁻	1
Cobre	mg/l	Cu	3
Cromo hexavalente	mg/l	Cr ⁺⁶	0.5
Cromo total	mg/l	Cr	10
Manganeso	mg/l	Mn	4
Mercurio	mg/l	Hg	0.02
Niquel	mg/l	Ni	4
Plomo	mg/l	Pb	0.5
Sulfatos	mg/l	SO ₄ ⁻²	500
Sulfuros	mg/l	S ⁻²	5
Zinc	mg/l	Zn	10
Nitrógeno Amoniacal ⁽²⁾	mg/l	NH ⁺⁴	80
pH ⁽²⁾	mg/l	pH	6 a 9
Sólidos Sedimentables ⁽²⁾	mg/l	S.S.	8.5
Temperatura ⁽²⁾	°C	T	<35

⁽¹⁾ La aplicación de estos parámetros a cada actividad económica por procesos productivos, será precisada en el reglamento de la presente norma tomando como referencia el código CIU. Aquellas actividades que no estén incluidas en este código, deberán cumplir con los parámetros indicados en la presente tabla.

⁽²⁾ Estos parámetros, serán tomadas de muestras puntuales. El valor de los demás parámetros, serán determinados a partir del análisis de una muestra compuesta.

CAPITULO III

EVALUACIONES DE AGENTES FLOCULANTES Y COAGULANTES A

NIVEL LABORATORIO

3.1 Ensayo de pruebas “Test de Jarras”

Es la metodología principal que se utilizó para establecer la dosis óptima tanto de coagulante como de floculante, para ello y en todos los casos se empleó 1 litro de efluente en cada jarra. En el Anexo N° 3 se muestra el procedimiento de ensayos de pruebas “Test de Jarras”.

3.2 Evaluación de productos alternativos - Nivel Laboratorio

Agentes Coagulantes: En esta evaluación se emplearon cuatro agentes coagulantes los cuales mostramos a continuación:

A) Coagulantes Orgánicos:

- MT 8834

B) Coagulantes Inorgánicos:

- Cloruro Férrico, Sulfato de Aluminio y Policloruro de Aluminio (PAC).

El cloruro férrico, mostró ser el más adecuado y se emplea hasta la fecha.

Agentes Floculantes: Seguidamente se presentan los floculantes evaluados:

A) Floculantes Aniónicos:

- AF 205, AF 404, AF 900 y el Magnafloc 1011 (M-1011).

B) Floculantes Catiónicos:

- CF 305 y MT 6506

El floculante que mejor performance presento en todos los casos es el CF 305.

3.3 Resultados de los ensayos a nivel laboratorio

3.3.1 Evaluaciones preliminares: efecto del AF-205 y el $Al_2(SO_4)_3$

Tabla 3.1 Información de los diferentes efluentes residuales industriales

Producto(s)	Area de Producción	Equipo	Procedencia	Lavado del Reactor		Toma de Muestra	
				Fecha	Hora	Fecha	Hora
Acronal S400 SA	Papel	R-70	Primer lavado de cada reactor, descargado en la poza de neutralización.	26-May	15:20	26-May	15:27
Acronal S400 SA	Papel	R-70	Primer lavado de cada reactor, descargado en la poza de neutralización.	26-May	15:20	26-May	15:30
Acronal 296, Afranil MG, Ligante ET	Papel y Textil	R-50, R-30, R-70	Primer lavado de cada reactor, descargado en la poza de neutralización.	28-May	19:00	29-May	11:00

Observaciones:

- Las aguas residuales industriales con los reactivos que tienen problemas de tratamiento son: Vinofan BA 739 SA, Acronal 296 D SA, Acronal S 400 SA, Afranil MG y la mezcla de Vinofan BA 739 SA con Acronal 296 D.

- Las muestras de aguas residuales con Acronal SA para las pruebas provienen de la poza de neutralización (regulación del pH). El día 26 de mayo el agua residual presentó un pH de 11.15 y se reguló este pH con ácido acético glacial hasta llegar a un pH de 6.97 (Evaluación N° 01) y a un pH de 7.35 (Evaluación N° 02). Para realizar las pruebas respectivas las aguas residuales que ingresan al tratamiento deben tener un pH entre 5 a 8.5.

Evaluación N° 01: Efluente con Acronal S400 SA -1- (metodología “Test de Jarras”)

Tratamiento en planta

Tabla 3.2 Resultados de tratamiento en planta del efluente con Acronal S400 SA (1)

Etapa	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	% Sólidos
Inicio	6.97	21.5	3875.0	1.56
Final	8.23	21.9	845.7	0.55

Pruebas de tratamiento en laboratorio

Tabla 3.3 Resultados de evaluación en laboratorio del efluente con Acronal S400 SA (1)

Etapa	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	% Sólidos
Inicio	6.97	21.5	3875.0	1.56
Final 1	5.03	22.1	N. D.	N. D.
Final 2	6.21	22.8	N. D.	N. D.

Tabla 3.4 Dosificación de reactivos para el tratamiento del efluente con Acronal S400 SA (1)

Proceso	Producto	Dosificación	RPM	Tiempo	Reposo
Coagulación 1	FeCl ₃ al 1%	1000 ppm	340	1 min.	
Floculación 1	AF-205 al 0.1%	4 ppm	30-70	15 seg.	5 min.
Coagulación 2	Al ₂ (SO ₄) ₃ al 1%	1000 ppm	340	1 min.	
Floculación 2	AF-205 al 0.1%	4 ppm	30-70	15 seg.	5 min.

Observaciones:

- **Coagulación:** Formación de coágulos pequeños a 1000 ppm para el caso del FeCl_3 y $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.
- **Floculación:** Al agregar 4 ppm de AF-205 a la jarra que contiene FeCl_3 , flocula pero requiere de mayor concentración para aclarar la solución y a la jarra que contiene $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ no llega a flocular; anteriormente se realizó con bajas concentraciones y tampoco resultó por lo tanto se descartó hacer las pruebas con $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.



Figura 3.1 Con FeCl_3 al 1% a 1000 ppm (izq.) y $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ al 1% a 1000 ppm (der.)



Figura 3.2 En ambas jarras con AF-205 al 0.1% a 4 ppm

Evaluación N° 02: Efluente con Acronal S400 SA -2- (metodología “Test de Jarras”)

Tratamiento en planta

Tabla 3.5 Resultados de tratamiento en planta del efluente con Acronal S400 SA (2)

Etapa	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	% Sólidos
Inicio	7.35	21.8	3875.0	1.56
Final	8.23	21.9	845.7	0.98

Pruebas de tratamiento en laboratorio

Tabla 3.6 Resultados de evaluación en laboratorio del efluente con Acronal S400 SA (2)

Etapa	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	% Sólidos
Inicio	7.35	21.8	3875.0	1.56
Final	3.57	23.2	14.3	0.10

Tabla 3.7 Dosificación de reactivos para el tratamiento del efluente Acronal S400 SA (2)

Proceso	Producto	Dosificación	RPM	Tiempo	Reposo
Coagulación	FeCl ₃ al 10%	1500 ppm	300	1 min.	
Floculación	AF-205 al 0.1%	4 ppm	34-57	15 seg.	5 min.

Observaciones:

- **Coagulación:** Se observa la formación de coágulos a 1500 ppm de FeCl₃.
- **Floculación:** Se observa la formación de flóculos con 4 ppm de AF-205, presentando una claridad en la solución quien inicialmente era lechosa.



Figura 3.3 En ambas jarras con FeCl₃ al 10% con 1500 ppm



Figura 3.4 Con AF-205 al 0.1 % con 4 ppm (izq.) y sin AF-205 (der.)

Evaluación N° 03: Efluente con Acronal 296, Afranil MG y Ligante ET
(metodología “Test de Jarras”)

Tratamiento en planta

Tabla 3.8 Resultados de tratamiento en planta del efluente con Acronal S400

SA, Afranil MG y Ligante ET

Etapa	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	% Sólidos
Inicio	8.45	25.0	924.3	0.90
Final	7.50	21.9	313.8	0.35

Pruebas de tratamiento en laboratorio

Tabla 3.9 Resultados de evaluación en laboratorio del efluente con Acronal S400

SA, Afranil MG y Ligante ET

Etapa	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	% Sólidos
Inicio	8.45	25.0	924.3	0.90
Final	4.66	22.2	22.1	0.12

Tabla 3.10 Dosificación de reactivos para el tratamiento del efluente con Acronal S400

SA, Afranil MG y Ligante ET

Proceso	Producto	Dosificación	RPM	Tiempo	Reposo
Coagulación	FeCl ₃ al 10%	150 ppm	300	1 min.	
Floculación	AF-205 al 0.1%	5 ppm	30-36	15 seg.	5 min.

Observaciones:

- **Coagulación:** Se observa mayor formación de coágulos a 150 ppm de FeCl₃.
- **Floculación:** Se observa buena formación de flóculos a 5 ppm de AF-205, presentando mejor claridad de la solución y rápida sedimentación de sólidos.

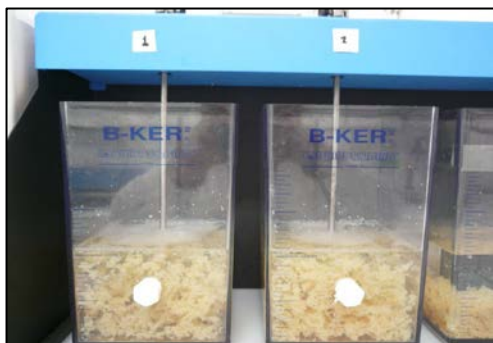


Figura 3.5 Con FeCl_3 al 10% con 100 ppm (izq.) y 150 ppm (der.)



Figura 3.6 En ambas jarras con AF-205 al 0.1% con 5 ppm (izq.) y 150 ppm (der.)

3.3.2 Evaluaciones de los floculantes AF-205, AF-400; AF-900 y el CF-305

Tabla 3.11 Información de los distintos efluentes residuales industriales

Producto(s)	Area de Producción	Equipo	Procedencia	Lavado del Reactor		Toma de Muestra	
				Fecha	Hora	Fecha	Hora
Acronal 18D, Ligante Helizarin ET-ECO, Vinofan BA 610 SA, Sokalan PA 30	Textil, Pinturas	R-40, R-50, R-70, R-80	Primer lavado del reactor R-50 (Acronal 18D). Descargado en la poza de neutralización (resto de productos).	12-mar	08:45	12-mar	09:05
Vinofan BA610, Acronal 18D	Pinturas	R-50, R-80	Primer lavado del reactor R-80 (Vinofan BA610), descargado en la poza de neutralización. (Acronal 18D).	06-abr	07:00	06-abr	07:03
Vinofan BA739, Kieralon LHJet B Conc	Pinturas	R-50	Primer lavado del reactor. Descargado en la poza de neutralización.	17-abr	08:45	02-sep	08:50
Vinofan BA739, Estireno	Pinturas	R-50	Primer lavado del reactor. Descargado en la poza de neutralización.	30-abr	11:00	11-sep	11:05

Evaluación N° 01: Efluente con Acronal 18D, Ligante Helizarin ET, Vinofan BA 610 SA, Sokalan PA 30 (metodología “Test de Jarras”)

Tratamiento en planta

Tabla 3.12 Resultados de tratamiento en planta del efluente con Acronal 18D,

Ligante Helizarin ET, Vinofan BA 610 SA, Sokalan PA 30

Etapa	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	% Sólidos
Inicio	7.83	24.7	> 1000	1.44
Final	5.78	24.4	> 1000	0.83

Pruebas de tratamiento en laboratorio

Tabla 3.13 Resultados de evaluación en laboratorio del efluente con Acronal 18D,

Ligante Helizarin ET, Vinofan BA 610 SA, Sokalan PA 30

Etapa	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	% Sólidos
Inicio	7.83	24.7	> 1000	1.44
Final 1	3.82	22.9	7.17	0.09
Final 2	3.75	22.8	27.02	0.15

Tabla 3.14 Dosificación de reactivos para el tratamiento del efluente con Acronal 18D,

Ligante Helizarin ET, Vinofan BA 610 SA, Sokalan PA 30

Proceso	Producto	Dosificación	RPM	Tiempo	Reposo
Coagulación 1	FeCl ₃ al 10%	1100 ppm	300	1 min.	
Floculación 1	AF-900 al 0.1%	40 ppm	70	30 seg.	5 min.
Coagulación 2	FeCl ₃ al 10%	1100 ppm	300	1 min.	
Floculación 2	AF-205 al 0.1%	40 ppm	70	30 seg.	5 min.

Observaciones:

- Se utilizó 1100 ppm de FeCl₃ y 40 ppm de los floculantes AF-205 y AF-900 en ambas pruebas.
- Con el AF-205 se formaron flóculos más grandes y la sedimentación fue mucho más rápida, lo que no ocurrió con el AF-900 pues los flóculos fueron pequeños y de lenta sedimentación (Figuras 3.7 y 3.8).



Figura 3.7 Muestras iniciales del agua sin tratamiento previo



Figura 3.8 Con AF-900 (izq.) y con AF-205 (der.)

Evaluación N° 02: Efluente con Vinofan BA610, Acronal 18D (metodología “Test de Jarras”)

Tratamiento en planta

Tabla 3.15 Resultados de tratamiento en planta del efluente con Vinofan BA610, Acronal 18D

Etapa	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	% Sólidos
Inicio	8.07	23.2	13.7	0.44
Final	5.23	24.1	13.2	0.41

Pruebas de tratamiento en laboratorio

Tabla 3.16 Resultados de evaluación en laboratorio del efluente con Vinofan BA610, Acronal 18D

Etapa	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	% Sólidos
Inicio	8.07	23.2	13.7	0.44
Final 1	4.32	24.2	13.02	0.38
Final 2	4.29	24.0	7.99	0.21
Final 3	3.99	23.8	7.51	0.12
Final 4	4.30	24.0	10.97	0.31

Tabla 3.17 Dosificación de reactivos para el tratamiento del efluente con Vinofan BA610, Acronal 18D

Proceso	Producto	Dosificación	RPM	Tiempo	Reposo
Coagulación 1	FeCl ₃ al 10%	800 ppm	300	1 min.	
Floculación 1	CF-305 al 0.1%	7,5 ppm	50	30 seg.	5 min.
Coagulación 2	FeCl ₃ al 10%	800 ppm	300	1 min.	
Floculación 2	AF-205 al 0.1%	7,5 ppm	50	30 seg.	5 min.
Coagulación 3	FeCl ₃ al 10%	900 ppm	300	1 min.	
Floculación 3	AF-900 al 0.1%	7,5 ppm	50	30 seg.	5 min.
Coagulación 4	FeCl ₃ al 10%	800 ppm	300	1 min.	
Floculación 4	AF-404 al 0.1%	7,5 ppm	50	30 seg.	5 min.

Observaciones:

- En esta evaluación se utilizó la dosis de 900 ppm de FeCl₃ al 10%, esto permitió que los flóculos formados tengan una mejor sedimentación al utilizar la misma concentración del floculante AF 900, a pesar de ello al realizar las pruebas de sedimentación en probetas se observa menor velocidad de sedimentación al compararlas con las otras pruebas que para una misma concentración de FeCl₃ al 10% a 800 ppm. Al emplear el floculante CF- 305 se obtiene mayor velocidad de sedimentación lo mismo ocurrió al emplear el AF-205.



Figura 3.9 Muestras de las aguas residuales sin tratamiento previo



Figura 3.10 Con AF-205 (izq.) y con CF-305 (der.)



Figura 3.11 Muestras de aguas residuales antes de la evaluación

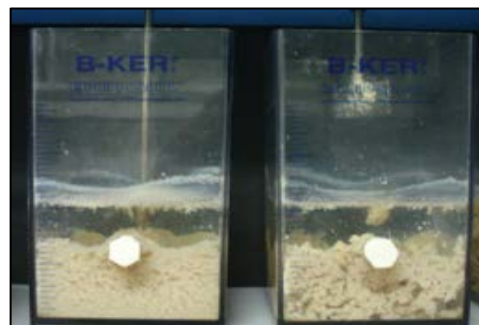


Figura 3.12 Con AF-900 (izq.) y con AF-205(der.)

Evaluación N° 03 Efluente con Vinofan BA610, Acronal 18D (metodología “Ensayo en Probeta”)

Tabla 3.18 Dosificaciones del coagulante $FeCl_3$ y los diversos floculantes

Floculante	Dosis	Coagulante	Dosis
AF-205 al 0.1%	7.5 ppm	$FeCl_3$ al 10%	800 ppm
AF-404 al 0.1%	7.5 ppm	$FeCl_3$ al 10%	800 ppm
AF-900 al 0.1%	7.5 ppm	$FeCl_3$ al 10%	900 ppm
CF-305 al 0.1 %	7.5 ppm	$FeCl_3$ al 10%	800 ppm

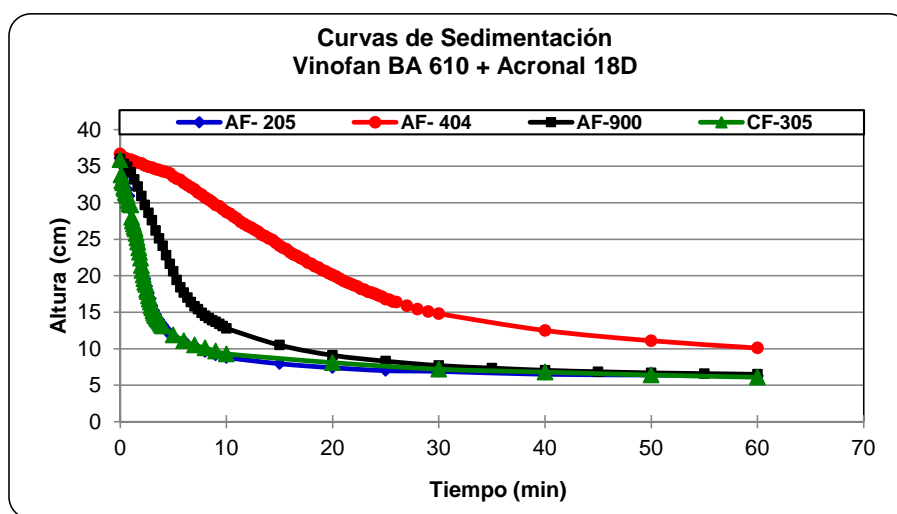


Figura 3.13 Curvas de velocidad de sedimentación con los agentes floculantes evaluados

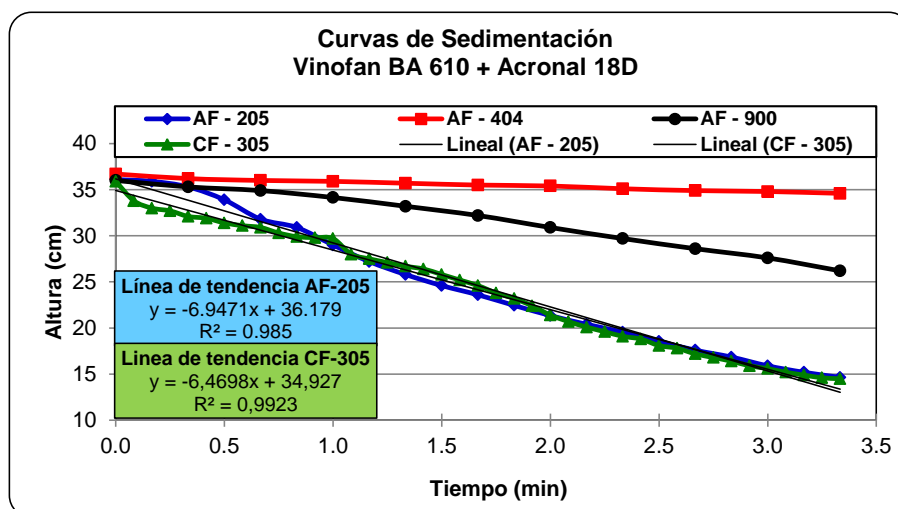


Figura 3.14 Línea de tendencia de la curva de velocidad de sedimentación del CF-305

Evaluación N° 04: Efluente con Vinofan BA739, Kieralon LH Jet B Conc
 (metodología “Test de Jarras”)

Tratamiento en planta

Tabla 3.19 Resultados de tratamiento en planta del efluente con Vinofan BA739,

Kieralon LH Jet B Conc

Etapa	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	% Sólidos
Inicio	7.08	23.6	> 4000	1.32
Final	4.72	24.1	3852.0	0.83

Pruebas de tratamiento en laboratorio

Tabla 3.20 Resultados de evaluación en laboratorio del efluente con Vinofan

BA739, Kieralon LH Jet B Conc

Etapa	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	% Sólidos
Inicio	7.08	23.6	> 4000	1.32
Final 1	3.05	24.6	18.70	0.19
Final 2	2.94	24.3	16.50	0.17

Tabla 3.21 Dosificación de reactivos para el tratamiento del efluente con Vinofan BA739, Kieralon LH Jet B Conc

Proceso	Producto	Dosificación	RPM	Tiempo	Reposo
Coagulación 1	FeCl ₃ al 10%	4400 ppm	300	1 min.	
Floculación 1	CF-305 al 0.1%	17,5 ppm	70	30 seg.	5 min.
Coagulación 2	FeCl ₃ al 10%	4400 ppm	300	1 min.	
Floculación 2	AF-205 al 0.1%	17,5 ppm	70	30 seg.	5 min.

Observaciones:

- En las pruebas de sedimentación realizadas en probetas, la gráfica muestra mayor velocidad de sedimentación al agregar el coagulante FeCl₃ (40%) y CF-305 (0.1%).(ver figura N° 3.16)



Figura 3.15 Muestras de efluentes antes del tratamiento previo



Figura 3.16 Con AF-205 (izq.) y con CF-305 (der.)

Evaluación N° 05 Efluente con Vinofan BA610, Acronal 18D (metodología “Ensayo en Probeta”)

Tabla 3.22 Dosificaciones del coagulante FeCl₃ y floculantes CF-305 y AF-205

Floculante	Dosis	Coagulante	Dosis
CF-305 al 0.1%	17.5 ppm	FeCl ₃ al 40%	4400 ppm
AF-205 al 0.1 %	17.5 ppm	FeCl ₃ al 40%	4400 ppm
AF-205 al 0.1 %	20 ppm	FeCl ₃ al 40%	4400 ppm

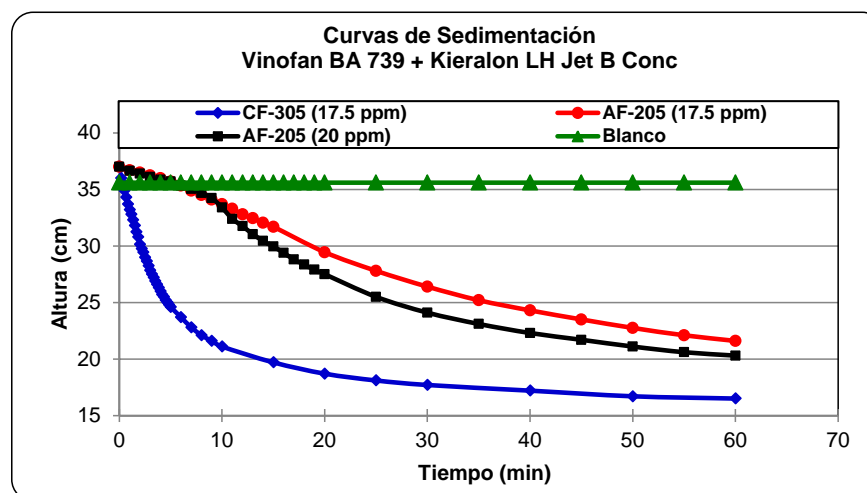


Figura 3.17 Curvas de velocidad de sedimentación con los agentes floclantes evaluados

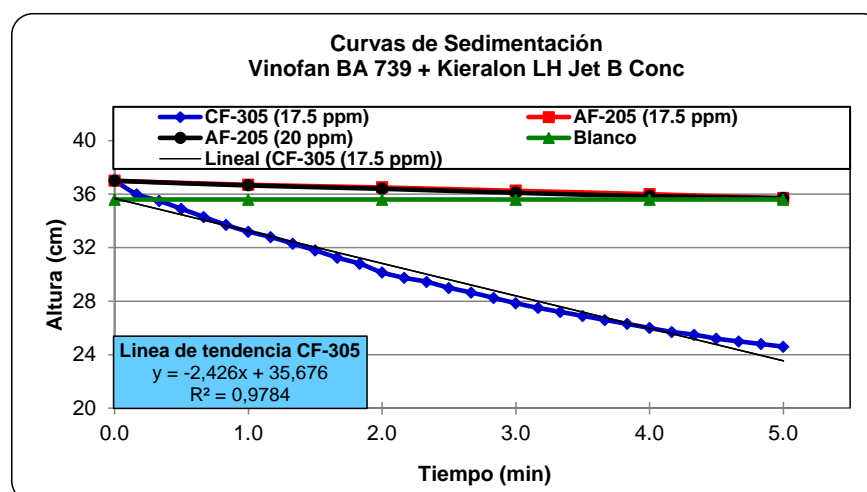


Figura 3.18 Curva de la velocidad de sedimentación del CF-305 y su línea de tendencia

Evaluación N° 06: Efluente con Vinofan BA739 y Estireno (metodología “Test de Jarras”)

Tratamiento en planta

Tabla 3.23 Resultados de tratamiento del efluente con Vinofan BA739 y Estireno

Etapa	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	% Sólidos
Inicio	7.03	22.9	> 4000	1.63
Final	4.51	23.2	3525	0.82

Pruebas de tratamiento en laboratorio

Tabla 3.24 Resultados de evaluación en laboratorio del efluente con Vinofan BA739 y Estireno

Etapa	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	% Sólidos
Inicio	7.03	22.9	> 4000	1.63
Final 1	3.38	23.4	47.80	0.22
Final 2	3.36	23.4	73.90	0.38

Tabla 3.25 Dosificación de reactivos para el tratamiento del efluente con Vinofan BA739 y Estireno

Proceso	Producto	Dosificación	RPM	Tiempo	Reposo
Coagulación 1	FeCl ₃ al 40%	12000 ppm	300	1 min.	
Floculación 1	CF-305 al 0.1%	25 ppm	100	30 seg.	1 hora
Coagulación 2	FeCl ₃ al 40%	12000 ppm	300	1 min.	
Floculación 2	AF-205 al 0.1%	25 ppm	100	30 seg.	1 hora

Observaciones:

- Para una misma concentración de coagulante y floculante, utilizando el floculante AF-205 la velocidad de sedimentación es más rápida, los parámetros de pH, T° y turbidez se muestran para un tiempo de 1 hora.



Figura 3.19 Muestras de los efluentes residuales antes de la evaluación



Figura 3.20 Con AF-205 (izq.) y con CF-305 (der.)

Evaluación N° 07 Efluente con Vinofan BA739 y Estireno (metodología “Ensayo en Probeta”)

Tabla 3.26 Dosificaciones de los floculantes AF-205, AF-404, AF-900 y CF-305

Floculante	Dosis	Coagulante	Dosis
AF-205 al 0.1%	25 ppm	FeCl ₃ al 40%	12000 ppm
AF-404 al 0.1%	25 ppm	FeCl ₃ al 40%	12000 ppm
AF-900 al 0.1%	25 ppm	FeCl ₃ al 40%	12000 ppm
CF-305 al 0.1 %	25 ppm	FeCl ₃ al 40%	12000 ppm

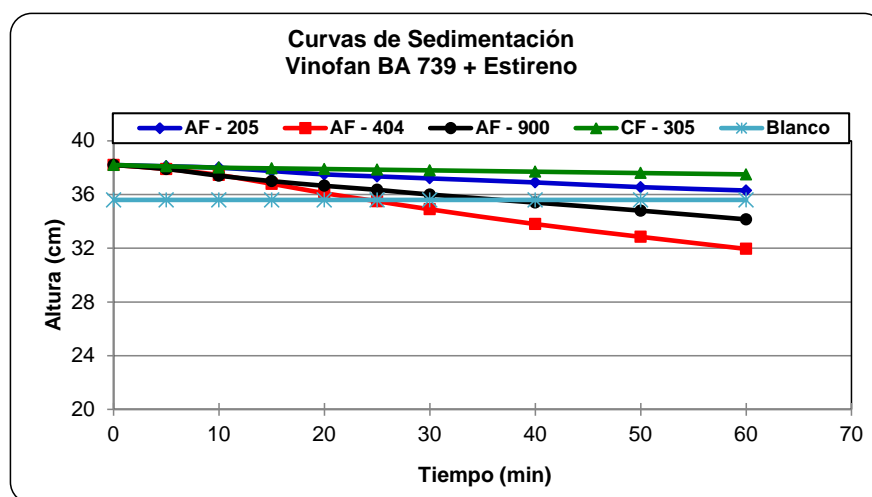


Figura 3.21 Curvas de velocidad de sedimentación con los agentes floculantes evaluados

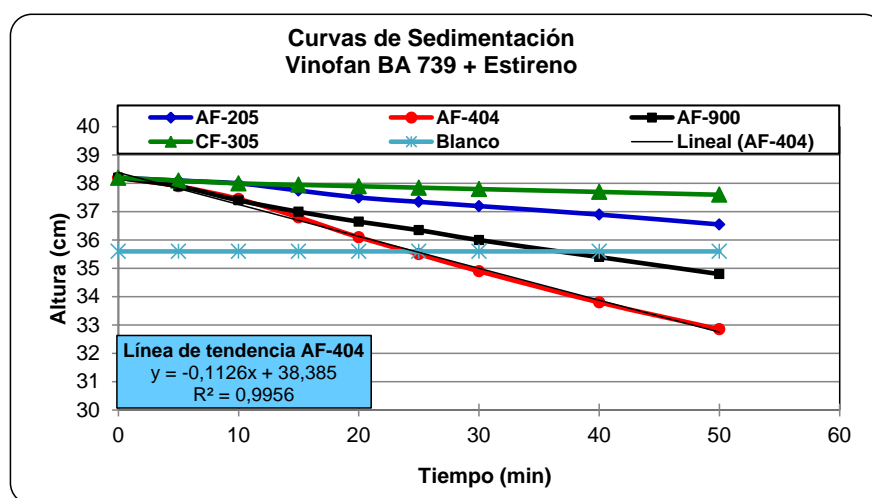


Figura 3.22 Línea de tendencia de la curva de velocidad de sedimentación del AF-404

3.3.3 Evaluaciones de los reactivos: MT-8834, MT-6506, FeCl₃ y el CF-305

Tabla 3.27 Información de las aguas residuales industriales de las evaluaciones siguientes

Producto(s)	Área de Producción	Equipo	Procedencia	Lavado del Reactor		Toma de Muestra	
				Fecha	Hora	Fecha	Hora
Acronal 18D	Pintura	R-50	Primer lavado del reactor, descargado en la poza de neutralización.	31-Ago	15:45	31-Ago	15:52
Acronal 296, Basoplast 4118	Papel	R-50, R-10	Primer lavado de cada reactor, descargado en la poza de neutralización.	03-Sep	13:30	03-Sep	13:35
Acronal 296, Basoplast 4118	Papel	R-70, R-10	Proviene del lavado del filtro Sweco. Proviene del lavado de líneas.	02-Sep	11:15	02-Sep	11:20

Evaluación N° 01: Efluente con Acronal 18D (metodología “Test de Jarras”)

Prueba de tratamiento en laboratorio N° 01

Tabla 3.28 Resultados de tratamiento del efluente con Acronal 18D (1)

Etapa	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	% Sólidos
Inicio	3.04	21.0	1756.0	0.93
Final	4.00	21.3	38.5	0.21

Tabla 3.29 Dosificación de reactivos para el tratamiento del efluente con Acronal 18D (1)

Proceso	Producto	Dosificación	RPM	Tiempo	Reposo
Coagulación	MT-8834	10000 ppm	100	2 min.	
Floculación	MT-6506 al 0.1%	8 ppm	50	10 min.	10 min.

Prueba de tratamiento en laboratorio N° 02

Tabla 3.30 Resultados de tratamiento del efluente con Acronal 18D (2)

Etapa	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	% Sólidos
Inicio	7.32	20.7	1756.0	0.93
Final 1	3.02	20.5	20.7	0.19
Final 2	4.10	20.5	49.1	0.22

Tabla 3.31 Dosificación de reactivos para el tratamiento del efluente con Acronal 18D (2)

Proceso	Producto	Dosificación	RPM	Tiempo	Reposo
Coagulación 1	FeCl ₃ al 10%	600 ppm	300	1 min.	
Floculación 1	CF-305 al 0.1%	8 ppm	50	30 seg.	10 min.
Coagulación 2	MT-8834	10000 ppm	100	2 min.	
Floculación 2	MT-6506 al 0.1%	5 ppm	50	10 min.	10 min.

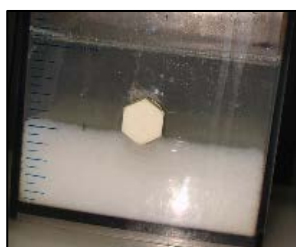


Figura 3.23 Resultado con MT-8834 y MT-6506 (prueba N° 01)



Figura 3.24 Resultado con FeCl₃ y CF-305 (prueba N° 02)

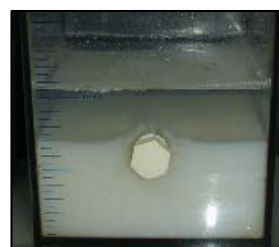


Figura 3.25 Resultado con MT-8834 y MT-6506 (prueba N° 02)

Prueba de tratamiento en laboratorio N° 03

Tabla 3.32 Resultados de tratamiento del efluente con Acronal 18D (3)

Etapa	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	% Sólidos
Inicio	10.36	20.2	1756.0	0.93
Final 1	4.14	20.2	112.7	0.19
Final 2	3.83	20.2	91.6	0.16

Tabla 3.33 Dosificación de reactivos para el tratamiento del efluente con Acronal 18D (3)

Proceso	Producto	Dosificación	RPM	Tiempo	Reposo
Coagulación 1	FeCl ₃ al 10%	600 ppm	300	1 min.	
Floculación 1	CF-305 al 0.1%	8 ppm	50	30 seg.	10 min.
Coagulación 2	MT-8834	10000 ppm	100	2 min.	
Floculación 2	MT-6506 al 0.1%	8 ppm	50	10 min.	10 min.

Observaciones:

- Tal como se muestra en los resultados y solo para este tipo de efluente tratado, resultó la coagulación y floculación a tres valores de pH iniciales diferentes, utilizando los reactivos químicos de M-8834 (coagulante que tuvo alto consumo) y MT-6506 (floculante).
- Al trabajar con cloruro férrico y CF-305 se obtiene buena clarificación, flóculos grandes y sedimentación rápida cuando el efluente a tratar tiene un pH entre 7 a 8.



Figura 3.26 Resultado con FeCl_3 y CF-305 (prueba N° 03)



Figura 3.27 Resultado con MT-8834 y MT-6506 (prueba N° 03)

Evaluación N° 02 Efluente con Acronal 18D (metodología “Ensayo en Probeta”)

Tabla 3.34 Dosificaciones de coagulantes MT-8834, FeCl_3 y floculantes MT-6506 y CF-305

Floculante	Dosis	Coagulante	Dosis
MT-6506 0.1%	5 ppm	MT 8834	10000 ppm
CF305 al 0.1%	8 ppm	FeCl_3 al 10%	600 ppm

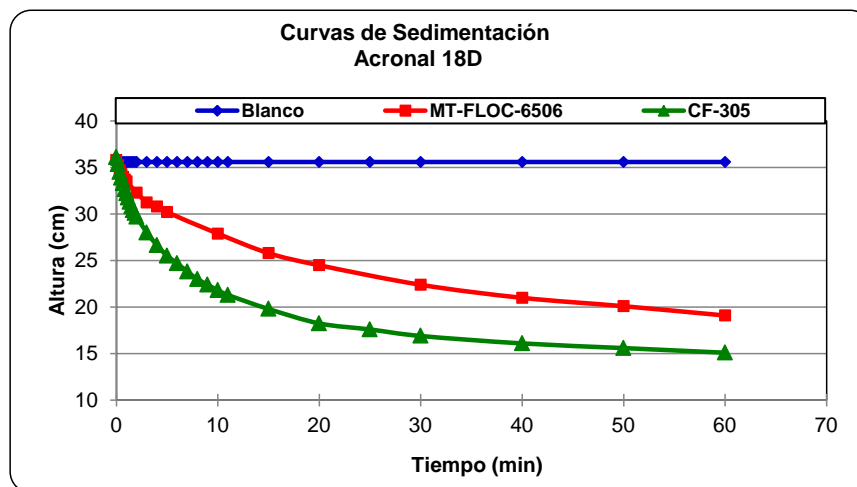


Figura 3.28 Curvas de velocidad de sedimentación con los agentes floculantes evaluados

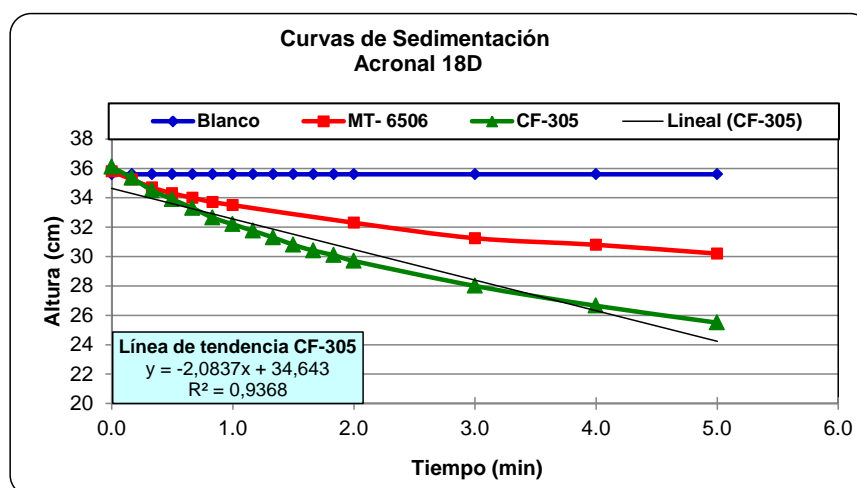


Figura 3.29 Tendencia lineal de la curva de velocidad de sedimentación del CF-305

Evaluación N° 03: Efluente con Acronal 296 y Basoplast 4118 (metodología “Test de Jarras”)

Prueba de tratamiento en laboratorio N° 01

Tabla 3.35 Resultados de tratamiento del efluente con Acronal 296 y Basoplast 4118 (1)

Etapa	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	% Sólidos
Inicio	7.49	20.4	> 4000	1.58
Final	3.02	20.3	31.1	0.19

Tabla 3.36 Dosificación de reactivos para el tratamiento del efluente con Acronal 296 y Basoplast 4118 (1)

Proceso	Producto	Dosificación	RPM	Tiempo	Reposo
Coagulación	FeCl ₃ al 10%	300 ppm	300	1 min.	
Floculación	CF-305 al 0.1%	15 ppm	50	30 seg.	10 min.

Prueba de tratamiento en laboratorio N° 02

Tabla 3.37 Resultados de tratamiento del efluente con Acronal 296 y Basoplast 4118 (2)

Etapa	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	% Sólidos
Inicio	7.48	19.5	3925.0	1.56
Final	3.18	20.0	27.5	0.23

Tabla 3.38 Dosificación de reactivos para el tratamiento del efluente con Acronal 296 y Basoplast 4118 (2)

Proceso	Producto	Dosificación	RPM	Tiempo	Reposo
Coagulación	FeCl ₃ al 10%	260 ppm	300	1 min.	
Floculación	CF-305 al 0.1%	30 ppm	50	30 seg.	10 min.

Observaciones:

- Para estas pruebas se emplearon cloruro férrico y CF-305 con las dosificaciones mostradas; las muestras de agua contienen el mismo producto químico a diferentes % de sólidos.
- La coagulación desde el punto de vista cualitativo fue muy similar con las dosis de cloruro férrico empleadas (se utilizó la cantidad mínima requerida para una buena coagulación).
- Al utilizar el floculante CF-305 el requerimiento fue el doble en el segundo caso para obtener el resultado final en las aguas tratadas.



Figura 3.30 Resultado con FeCl_3
(300 ppm) y CF-305 (15 ppm)

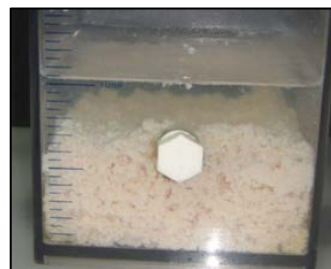


Figura 3.31 Resultado con FeCl_3
(260 ppm) y CF-305 (30 ppm)

Evaluación N° 04 Efluente con Acronal 296 y Basoplast 4118 (metodología
“Ensayo en Probeta”)

Tabla 3.39 Dosificaciones del FeCl_3 y CF-305

Floculante	Dosis	Coagulante	Dosis
CF-305 al 0.1%	15 ppm	FeCl_3 al 10%	300 ppm
CF-305 al 0.1%	30 ppm	FeCl_3 al 10%	260 ppm

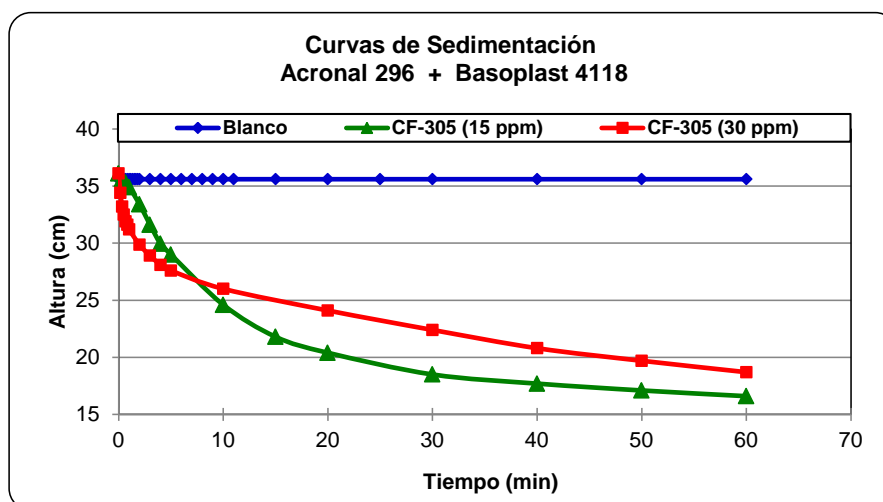


Figura 3.32 Curvas de velocidad de sedimentación con el agente floculante CF-305
a diferentes dosificaciones

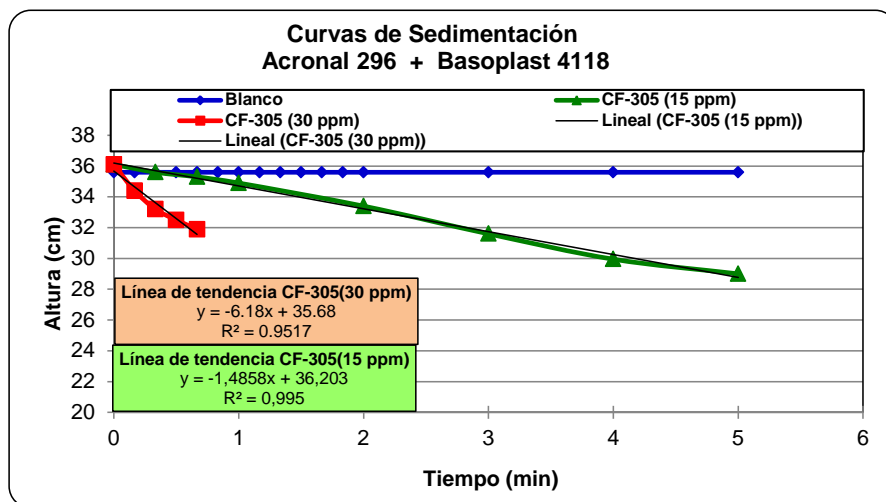


Figura 3.33 Líneas de tendencia de la curvas de velocidad de sedimentación correspondiente al CF-305 a diferentes dosificaciones

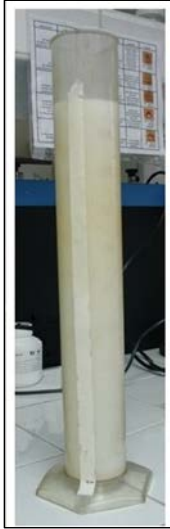


Blanco	MT 8834 10000 ppm MT-6506 al 0.1% 5 ppm	FeCl ₃ al 10% 600 ppm CF-305 al 0.1% 8 ppm
		
pH 7.32	4.00	3.02
Turbidez (NTU) 1756	38.5	20.7

Figura 3.34 A la izquierda se observa la muestra inicial sin reactivos, en el centro y a la derecha las muestras finales luego de evaluar los distintos reactivos




Blanco	FeCl ₃ al 10% CF-305 al 0.1%	300 ppm 15 ppm	FeCl ₃ al 10% CF-305 al 0.1%	260 ppm 30 ppm
				
pH	7.49	3.02	3.18	
Turbidez (NTU)	3998	31.1	27.5	

Figura 3.35 A la izquierda se observa la muestra inicial sin reactivos, las muestras finales luego de evaluar el FeCl₃ en el centro y CF-305 a la derecha

3.3.4 Evaluaciones de los reactivos: PAC100, M-1011, FeCl₃ y el CF-305

Tabla 3.40 Información de las aguas residuales industriales para las evaluaciones en curso

Producto(s)	Area de Producción	Equipo	Procedencia	Lavado del Reactor		Toma de Muestra	
				Fecha	Hora	Fecha	Hora
Vinofan BA739	Pinturas	R-50	Primer lavado del reactor descargado y colectado en la poza de neutralización.	09-dic	04:30	09-dic	08:00
Styrofan BA803	Papel	R-50	Primer lavado del reactor descargado y colectado en la poza de neutralización.	14-dic	10:30	14-dic	11:30

Observaciones:

- Las pruebas que se realizaron utilizando el coagulante Policloruro de aluminio (PAC 100) y el floculante M-1011, y solo en algunas pruebas al utilizar el M-1011 se logró la clarificación del efluente.

- Tener en cuenta que en el efluente que se trata predomina la carga aniónica y para el caso del M-1011 es un floculante aniónico comparado con el floculante CF-305 que es un floculante catiónico y el CF-305 ofreció buenos resultados en todas las evaluaciones realizadas a nivel laboratorio y planta obtener buena clarificación y rápida velocidad de sedimentación.
- Respecto al coagulante Policloruro de aluminio hasta el momento se obtiene mejores resultados que el cloruro férrico, quedando pendiente realizar más pruebas en el laboratorio con el efluente proveniente del lavado de los reactores de los productos Vinofan y Acronal 296.

Evaluación N° 01: Efluente con Vinofan BA739 (metodología “Test de Jarras”)

Tratamiento en planta

Tabla 3.41 Resultados de tratamiento del efluente con Vinofan BA739

Etapa	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	% Sólidos
Inicio	8.8	24.0	1750.0	N.D.
Final	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

Pruebas de tratamiento en laboratorio

Tabla 3.42 Resultados de evaluación en laboratorio del efluente con Vinofan BA739

Etapa	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	% Sólidos
Inicio	8.8	24.0	1750.0	N.D.
Final 1	6.91	24.4	4.26	N.D.
Final 2	6.82	24.5	6.30	N.D.
Final 3	4.70	23.9	6.13	N.D.
Final 4	4.90	24.2	8.14	N.D.

Tabla 3.43 Dosificación de reactivos para el tratamiento del efluente con Vinofan BA739

Proceso	Producto	Dosificación	RPM	Tiempo	Reposo
Coagulación 1	Polifloc PAC 100	1200 ppm	300	1 min.	
Floculación 1	CF-305 al 0.1%	10 ppm	50	30 seg.	5 min.
Coagulación 2	Polifloc PAC 100	1200 ppm	300	1 min.	
Floculación 2	M-1011 al 0.1%	10 ppm	50	30 seg.	5 min.
Coagulación 3	FeCl ₃ al 10%	250 ppm	300	1 min.	
Floculación 3	CF-305 al 0.1%	10 ppm	50	30 seg.	5 min.
Coagulación 4	FeCl ₃ al 10%	250 ppm	300	1 min.	
Floculación 4	M-1011 al 0.1%	10 ppm	50	30 seg.	5 min.

Observaciones:

- Para todos los casos, con Magnafloc 1011 se obtuvo una rápida floculación y clarificación.

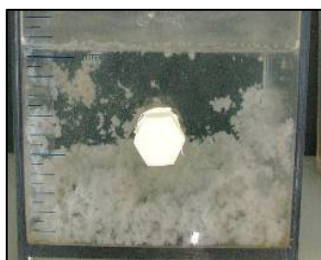


Figura 3.36 Resultado con PAC 100 (1200 ppm) y CF-305(10 ppm)



Figura 3.37 Resultado con PAC 100 (1200 ppm) y M-1011(10 ppm)



Figura 3.38 Resultado con FeCl₃ (250 ppm) y CF-305 (10 ppm)



Figura 3.39 Resultado con FeCl₃ (250 ppm) y M-1011 (10 ppm)

Evaluación N° 02 Efluente con Vinofan BA739 (metodología “Ensayo en Probeta”)

Tabla 3.44 Dosificaciones de los reactivos PAC 100, FeCl₃, CF-305 y M-1011

Floculante	Dosis	Coagulante	Dosis
CF-305 al 0.1%	10 ppm	Polifloc PAC 100	1200 ppm
Magnafloc 1011 al 0.1%	10 ppm	Polifloc PAC 100	1200 ppm
CF-305 al 0.1 %	10 ppm	FeCl ₃ al 10%	250 ppm
Magnafloc 1011 al 0.1%	10 ppm	FeCl ₃ al 10%	250 ppm

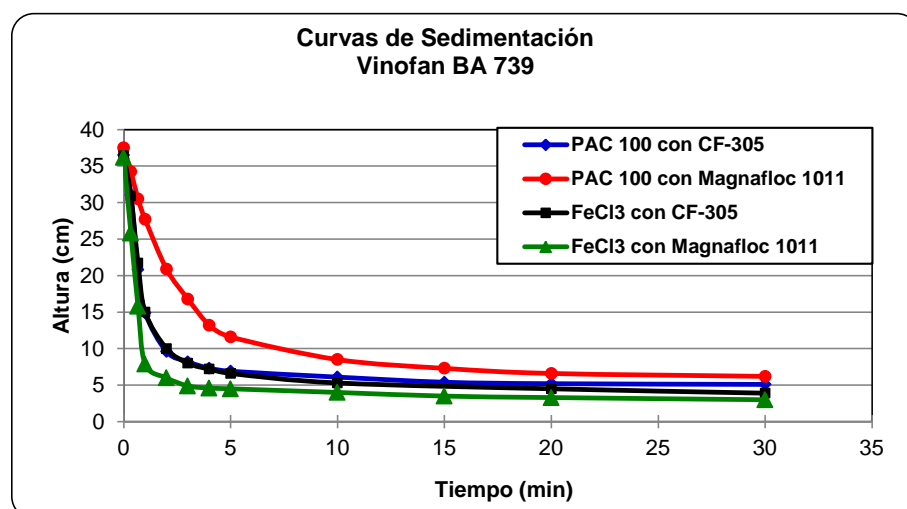


Figura 3.40 Curvas de velocidades de sedimentación con los floculantes evaluados

Evaluación N° 03: Efluente con Styrofan BA803 (metodología “Test de Jarras”)

Tratamiento en planta

Tabla 3.45 Resultados de tratamiento del efluente con Styrofan BA803

Etapa	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	% Sólidos
Inicio	7.46	27.3	1867.0	0.21
Final	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

Pruebas de tratamiento en laboratorio

Tabla 3.46 Resultados de evaluación en laboratorio del efluente con Styrofan BA803

Etapa	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	% Sólidos
Inicio	7.46	27.3	1867.0	0.21
Final 1	6.44	26.4	64.8	N.D.
Final 2	6.49	26.3	12.5	N.D.
Final 3	4.79	25.9	25.9	N.D.
Final 4	4.72	24.1	48.3	N.D.

Tabla 3.47 Dosificación de reactivos para el tratamiento del efluente con Styrofan BA803

Proceso	Producto	Dosificación	RPM	Tiempo	Reposo
Coagulación 1	Polifloc PAC 100	680 ppm	300	1 min.	
Floculación 1	CF-305 al 0.1%	10 ppm	50	30 seg.	5 min.
Coagulación 2	Polifloc PAC 100	680 ppm	300	1 min.	
Floculación 2	M-1011 al 0.1%	10 ppm	50	30 seg.	5 min.
Coagulación 3	FeCl ₃ al 10%	100 ppm	300	1 min.	
Floculación 3	CF-305 al 0.1%	10 ppm	50	30 seg.	5 min.
Coagulación 4	FeCl ₃ al 10%	100 ppm	300	1 min.	
Floculación 4	M-1011 al 0.1%	10 ppm	50	30 seg.	5 min.

Observaciones:

- El Styrofan BA803 en su elaboración contiene una menor cantidad de Estireno, igualmente el Acronal 296 contiene Estireno.



Figura 3.41 Resultado con PAC 100 (680 ppm) y CF-305 (10 ppm)

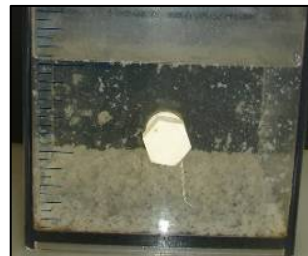


Figura 3.42 Resultado con PAC 100 (680 ppm) y M-1011 (10 ppm)

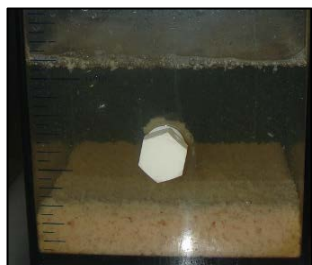


Figura 3.43 Resultado con FeCl_3
(100 ppm) y CF-305 (10 ppm)



Figura 3.44 Resultado con FeCl_3
(100 ppm) y M-1011 (10 ppm)

Evaluación N° 04 Efluente con Styrofan BA803 (metodología “Ensayo en Probeta”)

Tabla 3.48 Nuevas dosificaciones de los reactivos PAC 100, FeCl_3 , CF-305 y M-1011

Floculante	Dosis	Coagulante	Dosis
CF-305 al 0.1%	10 ppm	Polifloc PAC 100	680 ppm
Magnafloc 1011 al 0.1%	10 ppm	Polifloc PAC 100	680 ppm
CF-305 al 0.1 %	10 ppm	FeCl_3 al 10%	100 ppm
Magnafloc 1011 al 0.1%	10 ppm	FeCl_3 al 10%	100 ppm

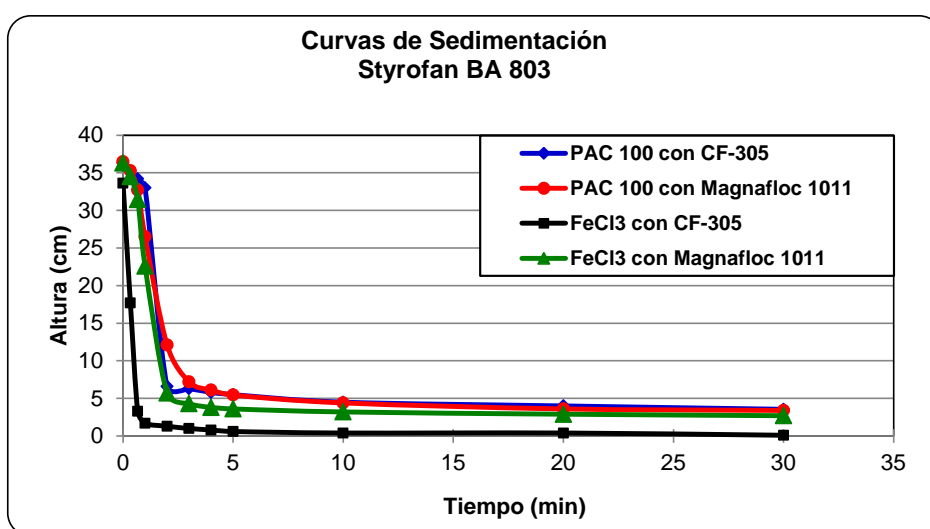


Figura 3.45 Curvas de velocidades de sedimentación con nuevas dosificaciones de los floculantes evaluados

CAPITULO IV

MEJORAS Y/O CAMBIOS EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE

AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

4.1 Evaluaciones en la planta de aguas residuales - Nivel Industrial

Tabla 4.1 Información de las aguas residuales industriales antes de las pruebas

Producto(s)	Procedencia	Reactor	Area de Producción	Lavado del Reactor		Tratamiento	
				Fecha	Hora	Fecha	Hora
Basoplast 4118, Acetato de vinilo, Acido acrilico	Primer lavado del: R-10 (Basoplast 4118), R-60 (Acetato de vinilo) y R-60 Acido acrilico).	R-10, R-60, R-60	Papel	03-oct	17:00	05-oct	08:30
Vinofan BA610	Primer lavado del R-50	R-50	Pinturas	05-oct	20:56	06-oct	09:00
Vinofan BA610	Primer lavado del R-70	R-70	Pinturas	07-oct	08:15	07-oct	08:15
Vinofan BA610 del filtro Sweco	Primer lavado del R-70	R-70	Pinturas	07-oct	10:57	07-oct	10:57
Vinofan BA610	Primer lavado del R-70	R-70	Pinturas	07-oct	14:45	07-oct	14:45
Acronal 296, Basoplast 4118	Primer lavado del: R-50 (Acronal 296), R-55 (Basoplast 4118).	R-50, R-55	Papel	09-oct	07:30	09-oct	07:30
Acronal 296	Primer lavado del: R-50 (Acronal 296).	R-50	Papel	10-oct	10:15	12-oct	14:55
	Primer lavado del: R-50 (Acronal 296).	R-50	Papel	12-oct	08:00		
	Primer lavado del: R-50 (Acronal 296).	R-50	Papel	12-oct	14:55		

Evaluación N° 01 Efluente con Basoplast 4118, Acetato de vinilo, Acido acrílico (Evaluación en la planta de tratamiento)

Tabla 4.2 Resultados de la evaluación del efluente con Basoplast 4118, Acetato de vinilo, Acido acrílico

Etapa	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	% Sólidos
Inicio	6.90	23.7	1807.0	0.393
Final	6.20	23.1	37.2	0.053

Observaciones:

- Se inició primero la dosificación con cloruro férrico por 1.5 horas con el fin de acondicionar el efluente que ingresa al sistema, luego se cambió la dosificación de cloruro férrico e inmediatamente se inició la dosificación del floculante CF-305, al pasar las 4.5 horas se observó la clarificación total en el sedimentador de placas paralelas.
- El caudal después del tratamiento en promedio fue de 1.9 m³/h.
- El 5 de octubre se preparó 4 toneladas de floculante CF-305 al 0.1%. La bomba se reguló (54/50%) con el fin de obtener un flujo de 340 ml/min.



Figura 4.1 Efluente luego del tratamiento



Figura 4.2 Antes (izquierda) después (derecha)

Evaluación N° 02 Efluente con Vinofan BA 610 (Evaluación en la planta de tratamiento)

Tabla 4.3 Resultados de la evaluación del efluente con Vinofan BA 610 (2)

Etapa	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	% Sólidos
Inicio	7.20	22.9	2140	0.452
Final	7.95	27.5	29.2	0.026

Observaciones:

- A pesar de presentar flujos variables de ingreso de efluente por falta de limpieza de la bomba, (se observa el aumento y disminución de la turbidez), sin embargo a las 5.5 horas se nota clarificación total en el sedimentador de placas paralelas.
- Al estar en funcionamiento el tanque de mezcla rápida se observa abundante espuma en la superficie del tanque de floculación, por ello se dejó de trabajar con el tanque de mezcla rápida, la formación de lodo al dejar de trabajar la mezcla rápida se acumula en las bridas que se encuentran antes del sedimentador, requiriendo el funcionamiento de la cadena de arrastre.
- El caudal después del tratamiento en promedio es 2.7 m³/h.

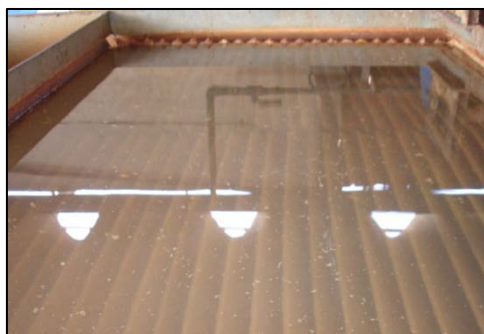


Figura 4.3 Efluente después del tratamiento



Figura 4.4 Inicio (izquierda) Final (derecha)

Evaluación N° 03 Efluente con Vinofan BA 610 (Evaluación en la planta de tratamiento)

Tabla 4.4 Resultados de la evaluación del efluente con Vinofan BA 610 (3)

Etapa	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	% Sólidos
Inicio	8.12	29.1	508.0	0.24
Final	7.49	26.4	88.1	0.03

Observaciones:

- Pasado las 3 horas de tratamiento se elevó ligeramente la turbidez porque hubo ingreso de otro efluente proveniente del lavado del filtro Sweco.
- Para el tercer día de prueba, como se mantuvo la misma regulación de la bomba y dosificación de reactivo, se verificó que ya no eran 340 ml/min sino 430 ml/min indicando que disminuyó la viscosidad del floculante preparado el día 5 de octubre.



Figura: 4.5 Efluente al finalizar el tratamiento

Evaluación N° 04 Efluente con Vinofan BA 610 -lavado del filtro Sweco-
(Evaluación en la planta de tratamiento)

Tabla 4.5 Resultados de la evaluación del efluente con Vinofan BA 610 -lavado del
filtro Sweco

Etapa	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	% Sólidos
Inicio	7.58	25.7	> 4000	0.54
Final	2.96	28.9	127.0	0.23

Observaciones:

- Al ingresar otro efluente después, ocasionó elevación de la turbidez tal como se observa a las 3.5 horas. (ver figura 4.6).
- Al encender el tanque de mezcla rápida se genera abundante espuma en el tanque de floculación.
- La bomba de dosificación de cloruro férrico tiene un flujo máximo de 34 ml/min, este al no presentar más flujo se mantuvo la dosificación con el flujo mencionado.
- El agua tratada presentó un pH bajo faltando controlar la dosis de soda antes de descargar al desagüe.
- Al medir el flujo de floculante debería de marcar 380 ml/min pero después de tres días de preparado al 0.1% bajo la viscosidad, elevándose el flujo a esa misma graduación a 500 ml/min, para el cálculo se consideró 380 ml/min.



Figura 4.6 Vista del efluente luego del tratamiento

Evaluación N° 05 Efluente con Vinofan BA 610 (Evaluación en la planta de tratamiento)

Tabla 4.6 Resultados de la evaluación del efluente con Vinofan BA 610 (5)

Etapa	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	% Sólidos
Inicio	5.29	22.1	> 4000	0.58
Final	2.73	25.7	465.0	0.26

Observaciones:

- El día 7 de octubre hubo durante el día ingreso de efluente 3 veces, tener en cuenta que a pesar que este ingresa con turbidez > 4000 NTU el tratamiento se puede controlar cuando se trabaja continuamente.
- Durante las 2 horas de operación se adicionó 12 kg de cloruro férrico en la poza de neutralización ya que la bomba dosificadora presenta un máximo de 34 ml/min y el efluente que ingresó es de color blanco requiriendo alta dosificación de cloruro férrico.

- Se cambió la regulación de la bomba obteniendo un flujo de 490 ml/min y variando la misma luego a 510 ml/min los cuales fueron considerados en el cálculo, como pasaron 3 días hubo variación en la viscosidad elevándose el flujo a 590 y 640 ml/min respectivamente.

Evaluación N° 06 Efluente con Acronal 296, Basoplast 4118 (Evaluación en la planta de tratamiento)

Tabla 4.7 Resultados de la evaluación del efluente con Acronal 296, Basoplast 4118

Etapas	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	% Sólidos
Inicio	9.41	22.2	> 4000	0.34
Final	6.33	24.0	138.0	0.126

Observaciones:

- Según el gráfico de turbidez se observa aumentos y disminuciones periódicos debido al flujo variable al bombear efluente requiriendo mantenimiento de la bomba y limpieza de los filtros.
- Para el cuarto día de prueba, se verificó que la regulación de la bomba de dosificación de reactivo ya no era 340 ml/min sino 460 ml/min indicando que la viscosidad del floculante preparado el día 5 de octubre disminuyó más.

Evaluación N° 07 Efluente con Acronal 296 (Evaluación en la planta de tratamiento)

Tabla 4.8 Resultados de la evaluación del efluente con Acronal 296

Etapa	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	% Sólidos
Inicio	8.74	21.2	162.0	0.072
Final	7.52	23.1	20.8	0.028

Observaciones:

- Pasado los 7 días de haber preparado el floculante (entre el día 5 de octubre y el día 12 de octubre), el día 12 de octubre se midió el flujo y este se elevó de 510 ml/min a 810 ml/min, para el cálculo se consideró 510 ml/min..



Figura 4.7 Efluente al término del tratamiento



Figura 4.8 Al inicio (izquierda) Finalizado (derecha)

Tabla 4.9 Datos de turbidez vs tiempo de las diversas muestras de aguas residuales industriales

Basoplast 4118, Acetato de vinilo, Acido acrilico		Vinofan BA 610		Vinofan BA 610		Vinofan BA 610, lavado del filtro Sweco		Vinofan BA 610		Acronal 296, Basoplast 4118		Acronal 296	
Tiempo (h)	Turbidez (NTU)	Tiempo (h)	Turbidez (NTU)	Tiempo (h)	Turbidez (NTU)	Tiempo (h)	Turbidez (NTU)	Tiempo (h)	Turbidez (NTU)	Tiempo (h)	Turbidez (NTU)	Tiempo (h)	Turbidez (NTU)
0.0	1807.0	0.0	2140.0	0.0	508.0	0.0	4000.0	0.0	4000.0	0.0	1319.0	0.0	162.0
1.0	430.0	1.5	104.0	1.0	142.0	1.0	271.0	1.0	286.0	1.5	188.0	0.5	84.9
1.5	280.0	2.0	120.0	1.5	137.0	1.5	233.0	1.5	310.0	2.0	178.0	1.0	65.0
2.0	239.0	3.0	173.0	2.0	99.8	2.0	201.0	2.0	490.0	2.5	253.0	1.5	57.7
2.5	126.0	4.0	211.0	2.5	55.5	2.5	175.0	2.5	465.0	3.0	162.0	2.0	34.8
3.0	84.2	4.5	250.0	3.0	88.1	3.0	144.0			3.5	154.0	2.5	30.3
3.5	57.9	5.0	233.0			3.5	127.0			4.0	190.0	3.0	23.8
4.0	44.0	5.5	79.4							4.5	159.0	4.0	18.8
4.5	37.2	6.0	55.3							5.0	135.0	5.0	20.8
		6.5	54.5							5.5	128.0		
		7.0	51.4							6.0	188.0		
		7.5	29.2							6.5	165.0		
										7.0	149.0		
										7.5	138.0		

4.1.1 Curvas de turbidez vs tiempo de las muestras de aguas industriales

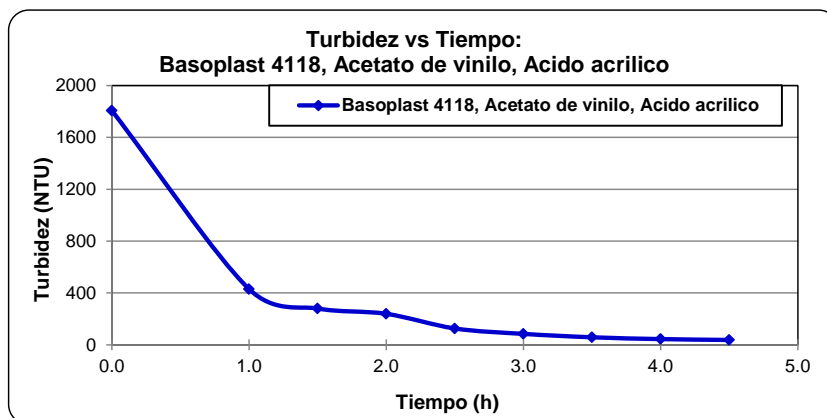


Figura 4.9 Curva de turbidez vs tiempo de la evaluación N° 01

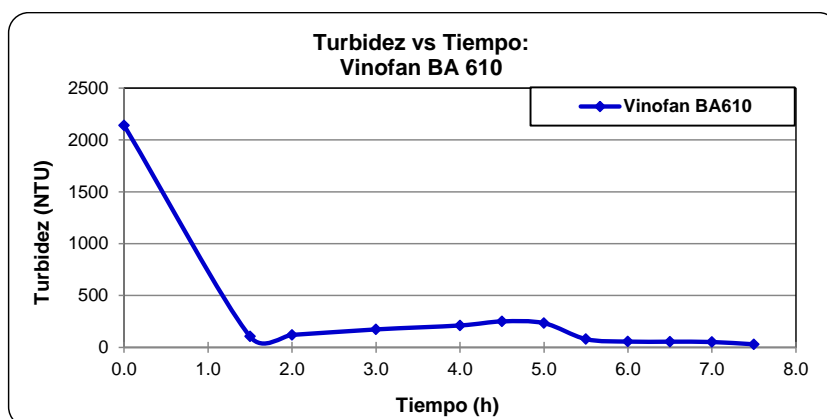


Figura 4.10 Curva de turbidez vs tiempo de la evaluación N° 02

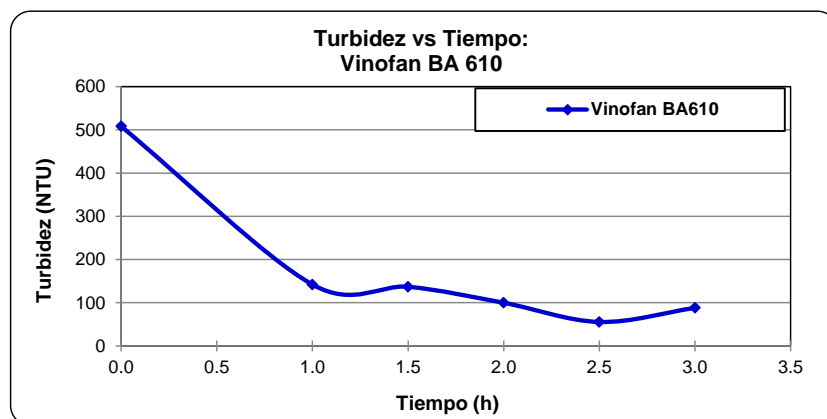


Figura 4.11 Curva de turbidez vs tiempo de la evaluación N° 03

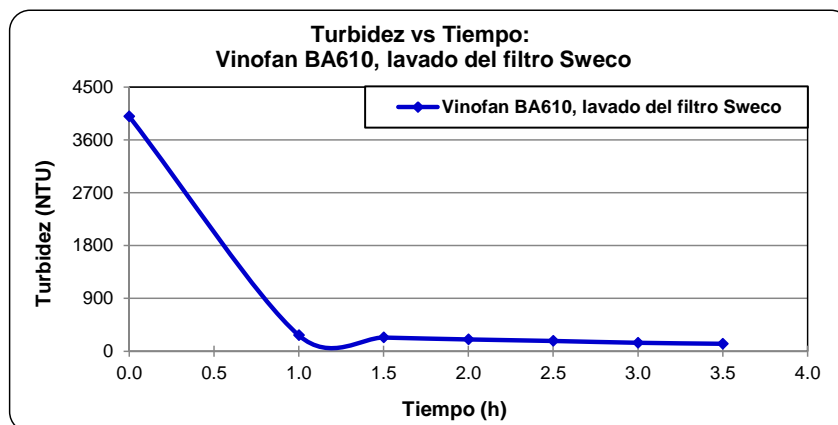


Figura 4.12 Curva de turbidez vs tiempo de la evaluación N° 04

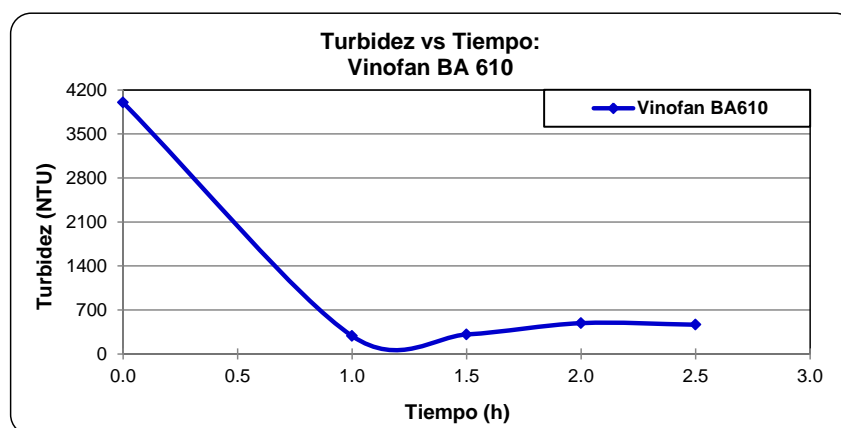


Figura 4.13 Curva de turbidez vs tiempo de la evaluación N° 05

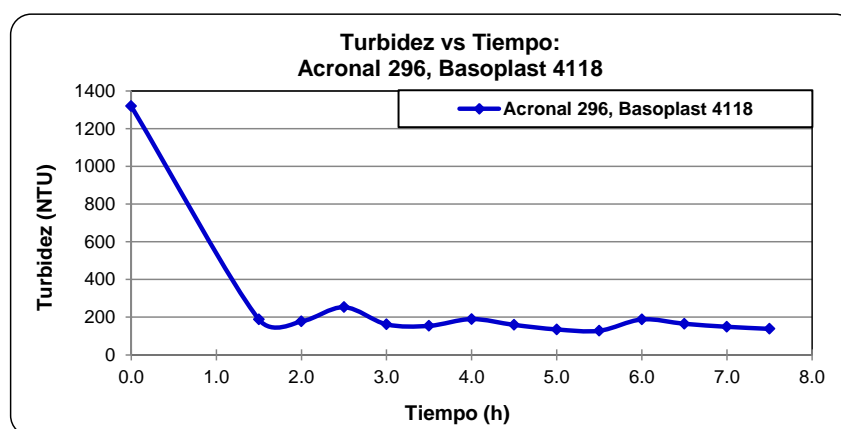


Figura 4.14 Curva de turbidez vs tiempo de la evaluación N° 06

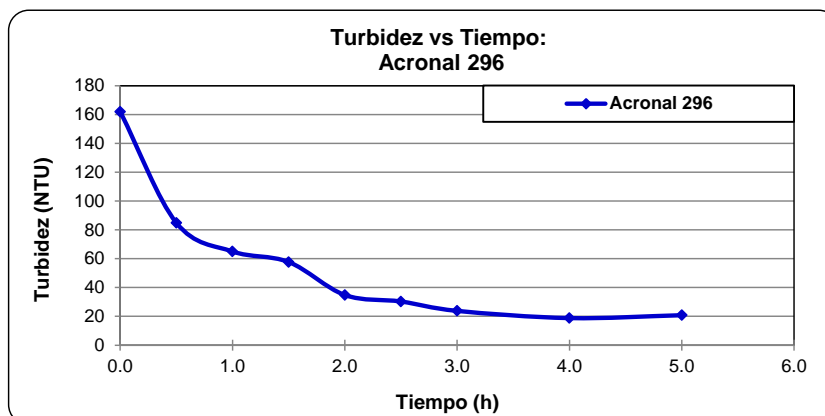


Figura 4.15 Curva de turbidez vs tiempo de la evaluación N° 07

Observaciones:

- Los tiempos de evaluación fueron diferentes en cada evaluación debido a la cantidad de efluente residual disponible.
- El resultado esperado en todos los casos es la reducción de la turbidez en el agua tratada (evaluaciones N° 01, 04, 06 y 07).
- En el caso de la evaluación N° 02 se redujo a 1.8 m³/h el caudal de ingreso de agua a tratar y se observa reducción de la turbidez final.
- En el caso de la evaluación N° 03 el tiempo fue muy corto para establecer la tendencia final.
- En el caso de la evaluación N° 05 se inició con dosis mayores de coagulante y floculante por la elevada turbidez inicial; al no tener resultados positivos a la media hora se incrementa la dosis de floculante para mejorar la turbidez final del agua tratada.
- Para las evaluaciones N° 01 y 06 se fue reduciendo la dosis de coagulante con el fin de optimizar el consumo, los resultados finales de turbidez fueron buenos en ambos casos.

4.1.2 Consumos y dosificaciones del FeCl_3 y CF-305 en las evaluaciones

En la tabla 4.10 se muestran en resumen los datos de flujos de ingreso, consumos en g/h, el peso en kg y la dosis final (concentración en ppm) del agente coagulante cloruro férrico y del agente floculante CF-305.

4.2 Situación de la planta en estudio

La planta de producción genera en promedio 34 m³/día (12,240 m³/año) de efluentes a tratar, dos veces al año se tiene flujos eventuales de 60 m³/día. La planta actual de tratamiento de aguas industriales de la empresa productora de insumos químicos, fue diseñada y construida y puesta en funcionamiento por una empresa especializada entre enero y junio del 2007, empresa que también estuvo a cargo de las operaciones de la planta y del personal hasta el año 2008.

4.2.1 Características del efluente tratado en los años 2007 y 2008

Exceso de cloruro férrico: Debido al exceso de este reactivo coagulante, el efluente tratado evacuado al sistema de alcantarillado presentaba una coloración rojiza. Asimismo este exceso de reactivo ocasionaba adhesiones en los equipos de la unidad de tratamiento, siendo complicada su limpieza.

Tabla 4.10 Dosificaciones y consumos de los agentes: Coagulante FeCl₃ y del floculante CF-305

Productos	COAGULACIÓN (FeCl ₃)					FLOCULACIÓN (CF-305)					
	Flujo (ml/min)	Consumo (g/h)	Tiempo operación (h)	Consumo (kg)	Concentración (ppm)	Flujo (ml/min)	Flujo (l/h)	Consumo (g/h)	Tiempo operación (h)	Consumo (g)	Concentración (ppm)
Basoplast 4118, Acetato de vinilo, Acido acrilico	2	164.4	1.5	0.25	82.2	340	20.4	20.4	4.5	91.8	10.2
	5	411.0	4.5	1.85	205.5						
				Promedio	191.0						
Vinofan BA 610	5	411.0	7.5	3.08	205.5	340	20.4	20.4	7.5	153.0	10.2
Vinofan BA 610	5	411.0	3.0	1.23	205.5	340	20.4	20.4	3.0	61.2	10.2
Vinofan BA610, lavado del filtro Sweco	34	2794.8	3.5	9.78	1397.4	380	22.8	22.8	3.5	79.8	11.4
Vinofan BA 610	34	2794.8	2.0	5.59	1397.4	450	27.0	27.0	0.5	13.5	13.5
						510	30.6	30.6	1.5	45.9	15.3
										Promedio	14.9
Acronal 296, Basoplast 4118	34	2794.8	2.5	6.99	1397.4	340	20.4	20.4	7.5	153.0	10.2
	15	1233.0	1.0	1.23	616.5						
	7.5	616.5	4.0	2.47	308.3						
				Promedio	1056.0						
Acronal 296	0.5	41.1	5.0	0.21	20.6	510	30.6	30.6	5.0	153.0	15.3

Alta turbidez: La turbidez del efluente tratado, en el año 2008, varió entre 270 a 500 NTU. Como referencia el sector minero el efluente evacuado debe tener una turbidez menor o igual a 25 NTU (LMP).

Alto flujo de tratamiento: En el año 2008, el flujo tratado varió entre 3 a 5 m³/h, flujo que definitivamente no permitía un adecuado tratamiento de los efluentes, razón por la cual que prácticamente se descargaba al sistema de alcantarillado “efluente no tratado”, debido a que los parámetros evaluados no cumplían con los valores máximos de la reglamentación vigente.

4.2.2 Características del sistema de tratamiento a considerar

- La planta de tratamiento de efluentes carece de un sistema de control adecuado tanto para el ingreso como la salida del efluente tratado por ejemplo no hay medidores de caudal (flujómetros).
- La planta de tratamiento no cuenta con una poza de recepción de “mayores eventos” de los efluentes de la planta de producción, tampoco se cuenta con un tanque de recepción y compensación. La capacidad de este tanque debería ser de 75 m³ para poder contener los efluentes producidos en exceso y en las dos veces del año que se genera por mantenimiento general de la planta.

- La planta de efluentes, puede tratar 0.7 a 1.25 m³/h, dependiendo del efluente. Es decir, la máxima capacidad de tratamiento obtenida a la fecha es de 30.0 m³/día, Existiendo un diferencial negativo de tratamiento de 4.0 m³/día (los efluentes generados por producción son de aproximadamente 34 m³/día). Pero por cuestiones de diseño la planta debería tener una capacidad de 42.5 m³/día (25% de margen de seguridad); se puede establecer entonces que la planta actual de tratamiento de efluentes no tiene la capacidad suficiente de tratamiento.

4.3 Descripción de la planta de tratamiento

La planta de tratamiento de efluentes industriales de la empresa productora de insumos químicos, está conformado por un sistema de coagulación y floculación y un sedimentador de placas paralelas, a continuación la descripción de cada unidad que conforma el sistema:

4.3.1 Tanque de homogenización

Esta unidad que se encuentra bajo nivel del suelo, dentro de ella se realiza la homogenización los diversos efluentes industriales provenientes de las canaletas y de los acondicionadores, en esta unidad se agrega un álcali o un ácido para regular el pH. El efluente a tratar se realiza a través del bombeo desde el tanque de homogenización.



Figura 4.16 Vista del motor de la bomba de agitación en el tanque de homogenización



Figura 4.17 Vista del tanque de homogenización

4.3.2 Tanque de mezcla rápida

En esta unidad se acondicionara el producto químico (coagulante) con el fin de lograr la desestabilización de las partículas en suspensión se suministrara el coagulante mediante una bomba dosificadora, este tanque cuenta con un agitador de alta velocidad.

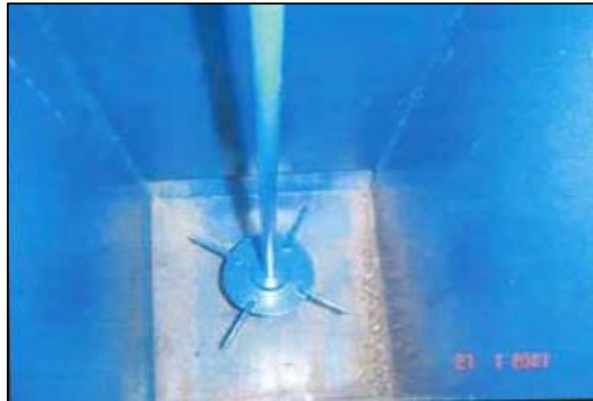


Figura 4.18 Vista interna del tanque de mezcla rápida

4.3.3 Tanque de floculación

El efluente proveniente del tanque de mezcla rápida ingresa al tanque de floculación, donde se realiza la aglomeración de las partículas desestabilizadas, este tanque cuenta con un agitador de velocidad lenta, siendo favorecida la aglomeración de las partículas en suspensión.



Figura 4.19 Vista del tanque de floculación

4.3.4 Sedimentador de placas paralelas

En esta unidad sedimentan los flóculos formados; la tolva que se encuentra ubicada en la parte inferior se concentra el lodo. La velocidad de sedimentación dependerá del flujo del efluente a tratar. El sedimentador tiene una tubería de salida, por donde sale el efluente tratado, el cual va hacia las redes de alcantarillado.



Figura 4.20 Sedimentador de placas paralelas

4.4 Cambios y recomendaciones realizados en la planta de tratamiento

- Se colocaron válvulas reguladoras que permitieron controlar el flujo de ingreso hacia la planta de tratamiento.

Válvula A: Siempre estará abierta y permitirá el ingreso de efluente al sistema de tratamiento.

Válvula B: Permitirá el retorno del efluente a la poza de homogenización, el cual ayudara a mantener el flujo de tratamiento.

Válvula C: Salida del efluente tratado.

Válvula D: Se abrirá al no lograrse el tratamiento del efluente, retornando a la poza de 27 m³ (poza de almacenamiento), luego volvería a ingresar nuevamente al tanque de homogenización para ingresar nuevamente al sistema de tratamiento.

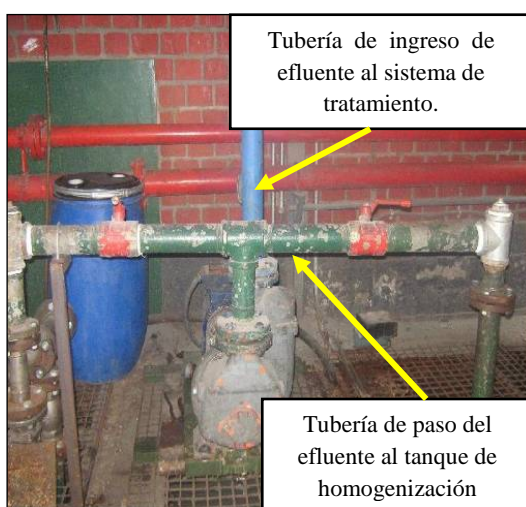


Figura 4.21 Sistema Inicial de la planta

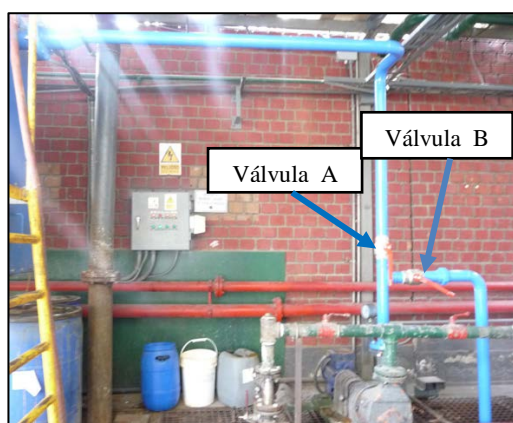


Figura 4.22 Sistema actual de la planta:
disposición de las válvulas A y B

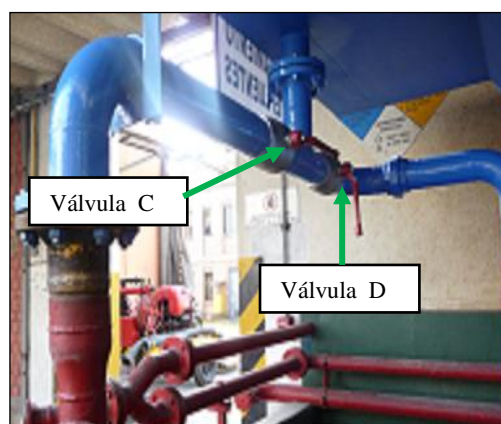


Figura 4.23 Sistema actual de la planta:
disposición de las válvulas C y D

- La coagulación debe de realizarse en el tanque de mezcla rápida (alta velocidad de agitación), con el fin de que la reacción entre el efluente y el coagulante sea lo más eficiente posible, pero hasta el momento dicho tanque se encuentra inoperativo; debido a este inconveniente la coagulación se efectúa en el tanque de floculación (velocidad de agitación lenta) y a pesar de ello se logra la coagulación pero no en su máxima eficiencia.
- Se recomendó colocar un tubo en el tanque de mezcla rápida con el fin de que el coagulante ingrese por la parte superior y comience a dosificar al efluente por la parte inferior cerca al agitador, tal como se muestra en la figura derecha (Esta recomendación no se realiza todavía hasta la fecha).

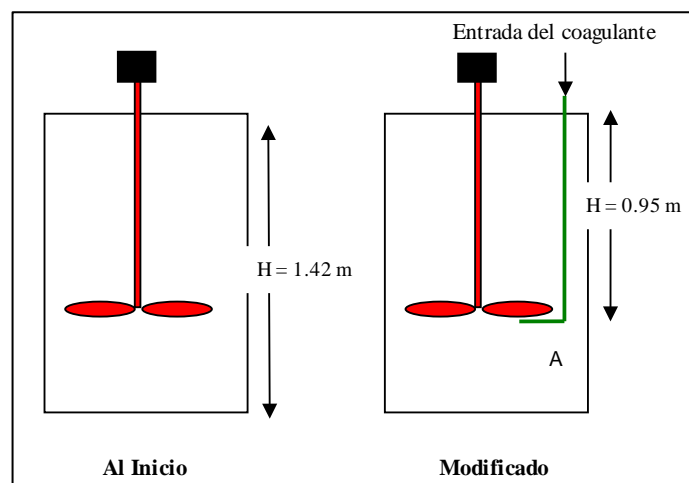


Figura 4.24 Modificaciones en el tanque de mezcla rápida

- Existe una cadena de arrastre que forma parte del sedimentador de placas paralelas tiene como función arrastrar los flóculos formados que flotan en la

superficie, que pudieran formarse por productos como el Vinofan BA 739 y Acronal 18D los cuales en su elaboración contiene Texapom K12 (este insumo genera espuma).



Figura 4.25 Cadena de arrastre de flóculos flotantes

- El lodo generado en el proceso de sedimentación (Figura 4.30), según los reportes de laboratorio, contienen entre 14 y 16% de sólidos, por lo que se sugirió evaluar un filtro prensa, de esta manera se ayudaría a obtener una pulpa más concentrada con alto contenido de sólidos. Al obtener el lodo más compactado se almacenaría fácilmente en los cilindros disminuyendo el volumen ocupado, por lo tanto disminuiría el costo mensual de traslado de estos lodos que realiza una empresa prestadora de servicios.

4.4.1 Diagramas de flujo de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales

A continuación se muestran las leyendas y los diagramas de flujo del sistema original (Figuras 4.26 y 4.27) y del sistema modificado (Figuras 4.28 y 4.29)

LEYENDA:						Concentración		16.6	%
						Dosificación		0.0037	l/s
Coagulante Cloruro Férrico (FeCl ₃)								166	g/l
Flujo de agua de Planta (m ³ /h) 10.8									
ITEM	EQUIPO	DIMENSIONES (m)			Volumen (m ³)	Tiempo de Residencia (min)	DATOS DEL MOTOR		
		Largo	Ancho	Altura			Potencia (HP)	Tensión (V)	RPM
1	Poza de Almacenamiento	4.5	2.8	2.15	27.09	150.50	----	----	----
2	Tanque de Homogenización	2.41	2.03	2.15	10.52	58.44	----	----	----
3	Tanque de Mezcla Rapida	0.5	0.5	2.2	0.55	3.06	0.5	440	400
4	Tanque de Floculación	1.9	1.9	2.2	7.94	44.12	0.5	440	50
5	Sedimentador de Placas Paralelas	3.4	3.8	3.8	49.10	272.76	----	----	----
ITEM	EQUIPO	DIMENSIONES (m)		Volumen (m ³)	Volumen preparado (m ³)	Concentración (g/l)	Ratio (l/h)	Dosificación Tratamiento (g/m ³)	
		Diámetro	Altura						
6	Dosificador Acido Acetico	0.72	1.2	0.86	----	----	----	↓ pH de 5 a 8	
7	Dosificador FeCl ₃	0.72	1.2	0.86	184.68	166.08	13.32	204.8	
8	Dosificador NaOH	0.72	1.2	0.86	----	----	----	↑pH (FeCl ₃ ↓)	

Figura 4.26 Especificaciones de los principales equipos de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales (Sistema Original)

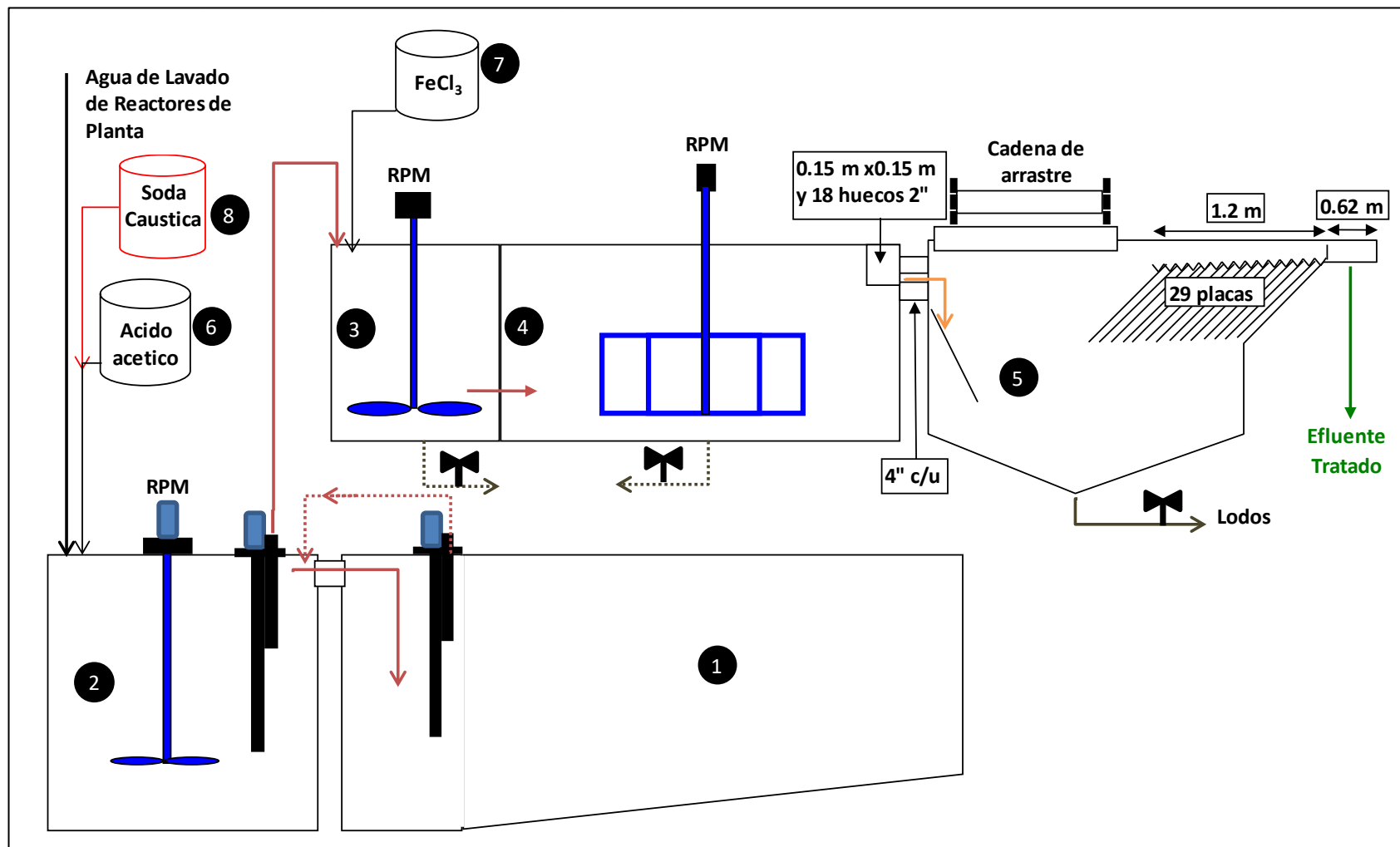


Figura 4.27 Diagrama de flujo de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales (**Sistema Original**)

LEYENDA:						Concentración		16.6	%
						Dosificación		0.0037	l/s
Coagulante Cloruro Férrico (FeCl ₃)								166	g/l
Flujo de agua de Planta (m ³ /h) 10.8									
ITEM	EQUIPO	DIMENSIONES (m)			Volumen (m ³)	Tiempo de Residencia (min)	DATOS DEL MOTOR		
		Largo	Ancho	Altura			Potencia (HP)	Tensión (V)	RPM
1	Poza de Almacenamiento	4.5	2.8	2.15	27.09				
2	Tanque de Homogenización	2.41	2.03	2.18	10.67	59.25			
3	Tanque de Mezcla Rapida	0.5	0.5	2.2	0.55	3.06	0.5	440	400
4	Tanque de Floculación	1.9	1.9	2.2	7.94	44.12	0.5	440	50
5	Sedimentador de Placas Paralelas	3.4	3.8	3.8	49.10	272.76			
ITEM	EQUIPO	DIMENSIONES (m)		Volumen (m ³)	Volumen preparado (m ³)	Concentración (g/l)	Ratio (l/h)	Dosificación Tratamiento (g/m ³)	
		Diámetro	Altura						
6	Dosificador Regulador de pH	0.72	1.2	0.86				↓ pH de 5 a 8	
7	Dosificador FeCl ₃	0.72	1.2	0.86	184.68	166.08	13.32	204.8	
8	Dosificador CF-305	0.72	1.2	0.86					
9	Dosificador de Cal ó Soda	0.72	1.2	0.86				↑pH (FeCl ₃ ↓)	
10	Bomba Dosificadora Peristaltica								

Figura 4.28 Especificaciones de los principales equipos de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales (Sistema Modificado)

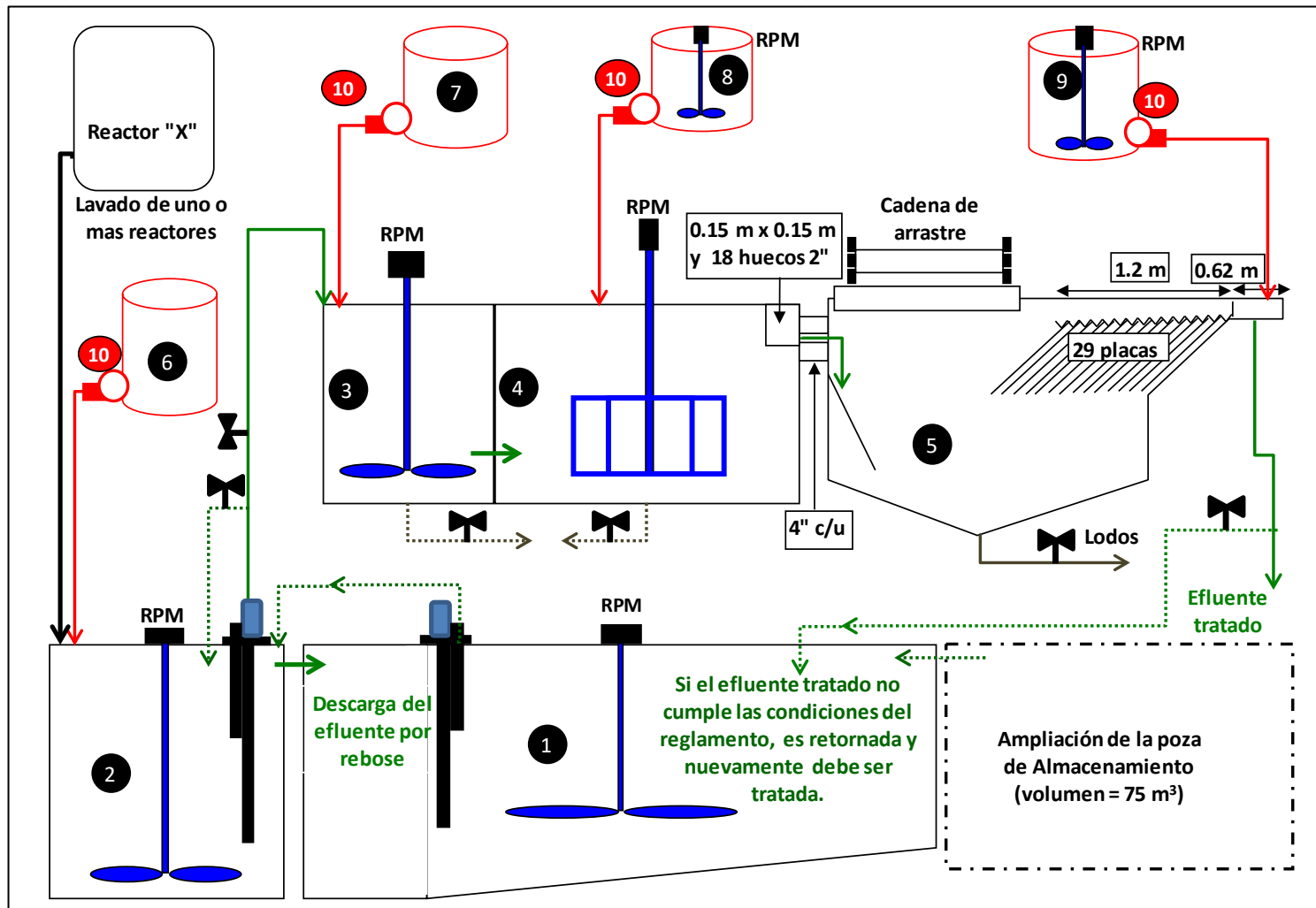


Figura 4.29 Diagrama de flujo de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales (Sistema Modificado)



Figura 4.30 Lodo colectado después del proceso de sedimentación

4.5 Comparación de los valores de los parámetros analizados respecto a la normatividad vigente en el año 2008 y la nueva norma vigente el 2009

- Se debe considerar que anteriormente la reglamentación que se utilizó para comparar los parámetros analizados después del tratamiento antes de evacuar al sistema de alcantarillado fue con los **Límites Máximos Permisibles (LMP)** establecidos en el **Reglamento de Desagües Industriales**, aprobado por el **Decreto Ley 28-60 SAPL** (Anexo N° 1). Actualmente el reglamento vigente es el **Reglamento del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA**, que aprueba los **Valores Máximos Admisibles (VMA)** de las descargas de aguas residuales no doméstica en el sistema de alcantarillado sanitario.
- La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) presenta un valor LMP de 1,000 mg/l, respecto al año 2009 se comparó los meses de agosto a diciembre, durante este periodo se observó una reducción del 84.7% del parámetro mencionado (Tabla 4.11 y Figura 4.31).

- En el “Reglamento de Desagües Industriales” no menciona LMP respecto a la Demanda Química de Oxígeno (DQO) sin embargo puede observarse que a partir de agosto a diciembre del 2009, el DQO disminuyó 91.7% de su valor. Observar Tabla 4.11 y Figura 4.32. Actualmente la nueva reglamentación menciona un VMA respecto al DQO y este debe ser menor de 1000 mg/l.

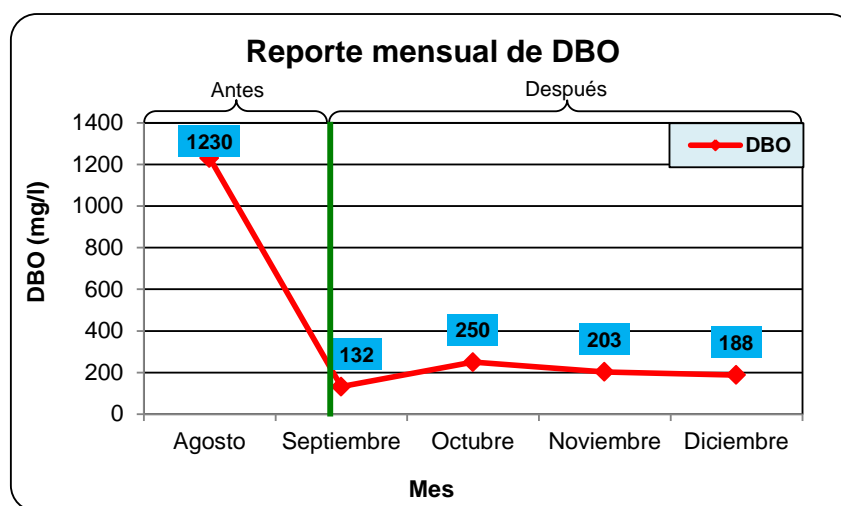


Figura 4.31 DBO vs tiempo

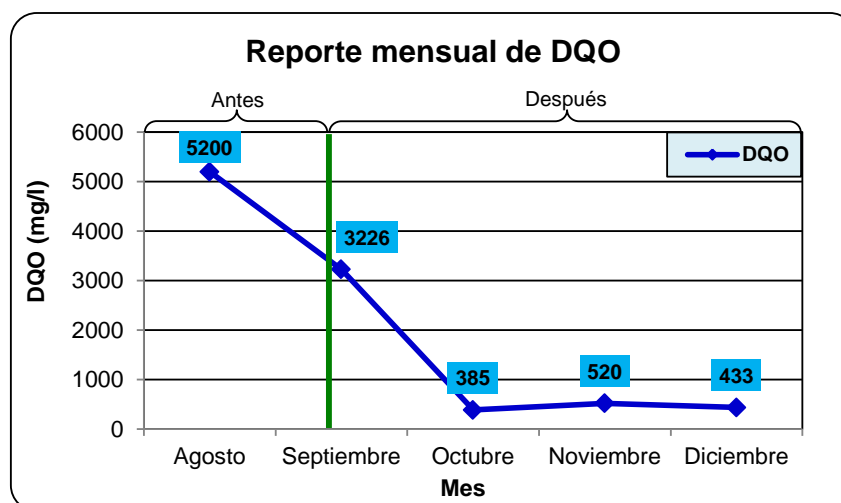


Figura 4.32 DQO vs tiempo

Tabla 4.11 Resultados de los parámetros del efluente tratado

(A partir del 23 de setiembre se iniciaron las evaluaciones en la planta de tratamiento)

Analizado por	Parámetros	Unidad	Agosto		Setiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre		LMP	VMA
			2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009		
Laboratorio interno	pH	--	6.92		7.11		7.2	5.52	6.95	7.21	7.1	6.99		
	Temperatura	°C					26.6	23.01	24.77	24.67	26.4	25.3		
	Turbidez	NTU	390.3		396.4		508	85.06	365.3	83.2	270.8	133.9		
	Caudal	m ³ /h	3.83		5.76		5.47	1.57	4.32	1.01	5.59	1.39		
Laboratorio externo	pH	--	6.67	7.45	6.8	7.51	6.77	6.5	8.85	6		7.5	5 - 8.5	6 - 9
	Temperatura	°C	34.7	31.3	26.1	25	31.6	28.4	27.3	25		26.9	35	< 35
	Sólidos sedimentables	ml/l/h										0.2	8.5	8.5
	Aceites y grasas	mg/l	3.8	N.D.	11.3	N.D.	3.8	5.0	1.9	N.D.		N.D.	100	100
	Oxígeno disuelto	mg/l	1.8		0.8		7.19		7.74			5.6	N.A.	N.A.
	DBO ₅	mg/l	238	1230	1080	232	454	250	49	203	869	188	1000	500
	DQO	mg/l	560	5200	1800	3226	1000	385	139	520	1394	433	N.A.	1000
	Sólidos totales disueltos	mg/l	4296	755	7000	2410	1050	1383	617	3250		3000.8	N.A.	N.A.
	Sólidos suspendidos totales	mg/l											N.A.	500
Nitrógeno orgánico total	mg/l	1.0	0.29	11	9.9	17	4.73	10	49.953	1.0	32.12	N.A.	80 (*)	

- Límite Máximo Permissible (**LMP**) establecido por el **Reglamento de Desagües Industriales aprobado por el Decreto Ley N° 28-60 SAPL.**
- Valor Máximo Admisible (**VMA**) establecido por el **Reglamento del Decreto Supremo N° 021-2009- VIVIENDA, que aprueba los Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas en el Sistema de Alcantarillado Sanitario** (vigente desde el 23 de junio del 2009).
- (*) Como Nitrógeno orgánico amoniacal
- N.A.: No Aplica
- N.D.: No detectado

CONCLUSIONES

1. La capacidad actual de la planta de tratamiento de aguas industriales es cómo máximo (tomando como referencia los resultados de tratamiento en función de la turbidez) 30 m³/día (0.35 l/s), el flujo diario de los efluentes procedentes del lavado de reactores y equipos es de 34 m³/día, por lo tanto hay una diferencia negativa de 4.0 m³/día de agua que no es tratada, por criterios de diseño la planta de tratamiento debería tener una capacidad de 42.5 m³/día (con un 25% factor de seguridad).

$$34 \text{ m}^3/\text{día} * 1,25 = 42,5 \text{ m}^3/\text{día}$$

2. Durante el año se realiza el lavado de todos los reactores dos veces al año, esta labor genera en promedio 60 m³/día, con este detalle se concluyó en realizar la ampliación de la poza de tratamiento en 75 m³ (con un 25% factor de seguridad).

$$60 \text{ m}^3/\text{día} * 1,25 = 75 \text{ m}^3/\text{día}$$

3. De acuerdo a las evaluaciones realizadas, a nivel laboratorio utilizando las metodologías del “Test de Jarras” y “Ensayo en Probetas”, en los diversos efluentes provenientes del lavado de los reactores de los productos procesados, demostraron que los reactivos Cloruro férrico (agente coagulante) y CF 305 (agente floculante) son los productos adecuados para el tratamiento de las aguas residuales industriales.

4. La dosificación de aplicación industrial del cloruro férrico fue muy variable teniendo como valores de concentración mínimos y máximos de 80 y 1500 ppm respectivamente, esto debido a que el efluente tratado proviene de una mezcla de diversos efluentes procedente del lavado de reactores y tanques de almacenamiento. En el caso del CF-305 la concentración varió entre 10 a 20 ppm se trato en todo momento de optimizar el consumo de este producto por ser el costo muy elevado.

5. Utilizando los mismos métodos de ensayos también se evaluó el reactivo coagulante Polifloc PAC 100 y se obtuvo en las aguas tratadas resultados de turbidez semejantes a los obtenidos con el cloruro férrico (en algunos casos menores); el único inconveniente fue al precio y consumo elevado, es por ello que se decidió el uso del cloruro férrico en el tratamiento de los efluentes residuales industriales.

6. Los resultados positivos obtenidos en nuestras evaluaciones tanto a nivel laboratorio como industrial, respaldaron las decisiones tomadas conjuntamente con el Jefe del área de producción industrial, realizando las modificaciones solicitadas (reordenamiento de algunos equipos) así como la aceptación de la compra de bombas peristálticas dosificadoras para aplicar los reactivos: cloruro férrico, CF 305 y soda cáustica.

BIBLIOGRAFIA

1. ARBOLEDA VALENCIA J., Teoría y Práctica de la Purificación del Agua. 3ra Edición 2000, Editorial McGraw Hill - Colombia. Pág. 30 - 31, 33.
2. HERNÁNDEZ MUÑOZ A., Depuración y Desinfección de Aguas Residuales. 5ta Edición 2001, Editorial CICCOP, colección Seínor N° 09-España. Pág. 354 - 365.
3. MALDONADO YACTAYO V. Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – CEPIS Organización Panamericana de la Salud – OPS, Manual I: Teoría, Capítulo 7, Sedimentación. Pág. 3 -7.
4. MARA DUNCAN, D., Sewage Treatment in Hot Climate. Edición 1976, Editorial Labrus - España. Pág. 10.

5. METCALF & EDDY, Ingeniería de Aguas Residuales. 3ra Edición 1995, McGraw-Hill - España. Pág.1, 53 - 56, 58 - 60, 70 - 72, 253.
6. PÉREZ CARRIÓN J., Programa Regional OPS/ EHP/ CEPIS de Mejoramiento de Calidad de Agua para Consumo Humano, Sub módulo 2.6.6. Sedimentación, 1981. Pág. 1 - 4.
7. RAMALHO, RUBENS S., Tratamiento de Aguas Residuales. 2da Edición 1996, Editorial Reverte S.A. - España. Pág. 10, 91 - 96, 128 - 129.
8. SAWYER, C., McCARTY, P., PARKIN, G. Química para Ingeniería Ambiental. 4ta Edición 2001, Editorial McGraw-Hill - Bogotá. Pág. 475 - 477, 613 - 622.
9. TRAPOTE JAUME A., Depuración de Aguas Residuales Urbanas. 1ra Edición 2011, Editorial Universidad de Alicante – España. Pág. 15 - 25.

ANEXOS

Anexo N° 1

Decreto Ley N° 28-60-SAPL “Reglamento de Desagües Industriales”

REGLAMENTO DE DESAGÜES INDUSTRIALES

DECRETO LEY N° 28-60-SAPL

EL PRESIDENTE DE LA REPUBLICA CONSIDERANDO:

Que habiendo comprobado la Superintendencia de Agua Potable de Lima efectos de destrucción en diversos tramos del alcantarillado público de ciudad de Lima y balnearios que se hacían más notorios en los colectores de desagües que sirven a las zonas industriales, se nombró por Resolución Ministerial una Comisión de Ingenieros especialistas de dichas Superintendencia de la Sub- Dirección de Obras Sanitarias del Ministerio de Fomento y Obras Públicas y del Ministerio de Salud Pública, con la finalidad de estudiar el problema y formular una reglamentación al efecto.

Que el estudio realizado por la indicada Comisión señala como causas fundamentales que propenden a la destrucción la acción química, la elevada temperatura y la alta concentración de materia orgánica de los desagües industriales descargados sin ningún control en los colectores públicos desagües industriales, al ingresar al alcantarillado público.

Que la reducción de la vida útil de alcantarillado motiva por el recargo en volumen o en concentración orgánica en las redes, requiere para ser evitada de un programa de inspección permanente y de control y limpieza adecuada, cuyos gastos deben ser cubiertos por las industrias en proporción a las sobrecargas que causen, siendo preciso determinar previo estudio las tasas de retribución equitativas y proceder de inmediato a la ejecución de los análisis de los líquidos evacuados de las fábricas.

DECRETA:

- 1° Apruébase el Estudio de los Desagües Industriales de Lima Metropolitana, formulado por la Comisión de Ingenieros: Don Edmundo V. Aspíllaga Navarro, Don Enrique Bielich V. y Don Alejandro Vincés Aráoz.

- 2° Queda terminantemente prohibido descargar en el alcantarillado público residuos que puedan causar el deterioro de sus estructuras u originar obstrucciones,

trayendo como consecuencia la elevación del costo normal de operación y mantenimiento.

3° Bajo ninguna circunstancia será permitido descargar en las redes públicas de desagüe los siguientes residuos:

- a. Basura o restos de comidas.
- b. Gasolina o solventes industriales.
- c. Barros y arenas.
- d. Alquitranes, materiales bituminosos y viscosos.
- e. Pegamentos y cementos
- f. Plumas huesos, trapos e hilachas.
- g. Trozos de metal, vidrio, madera, cerámica y materiales similares capaces de producir atoros.
- h. Gases peligrosos para la vida y la salud. i. Productos residuales del petróleo
- i. Aquellos que pueden ser tóxicos o convertirse en tales al mezclarse con los ácidos naturales del líquido cloacal, cianuros, fenoles arseniatos, etc.
- j. Aquellos que sean corrosivos o incrustantes o que puedan convertirse en tales al reaccionar con los gases y ácidos naturales de los líquidos Cloacales.
- k. Aquellos que contengan en elevada concentración sulfatos y sulfitos.
- l. Aquellos que sean radioactivos en condiciones y concentraciones superiores a los establecidos por los Reglamentos internacionales.
- m. Aquella que contengan iones de metales pesados.

4° No se aceptará en ningún caso el ingreso directo las redes públicas de desagüe de:

- a. Las aguas de lavado de pisos de talleres y fábricas.
- b. Las aguas sobrantes de la construcción civil. c. Sustancias volátiles.
- c. Minerales precipitables o solubles.
- d. Los residuos de camales, caballerizas, establos y similares.

Al efecto los interesados deberán instalar los dispositivos necesarios para evitar ese ingreso directo, consistente en trampas, retenedor y otros.

- 5° Todo residuo industrial que ingrese a las redes públicas de desagüe deberá cumplir, sin excepción con las siguientes normas:
- a. Temperatura que no sobrepase de los 35° C.
 - b. Los vapores deberán ser condensados para ingresar al desagüe.
 - c. Los líquidos grasos que ingresen al colector, deberán tener una concentración menor de 0.1 gr/litro en peso.
 - d. Las sustancias inflamables que ingresen al desagüe deben tener un punto de ignición superior a los 90° C y concentración inferior a un gr/litro.
 - e. El pH deberá estar comprendido entre 5 y 8.5. Las industrias que evacúen ácidos o minerales o sustancias fuertemente alcalinas, deberán tener tanques de suficiente capacidad donde sean neutralizados.
 - f. La D.B.O. (Demanda Bioquímica de Oxígeno), no sobrepasará las 1000 ppm.
 - g. Los sólidos sedimentables no tendrán concentración mayor a 8.5 ml/ 1/h (mililitros/litro/hora).
- 6° Los industriales deberán tomar las medidas necesarias para cumplir con los requisitos señalados en los Artículos 3°, 4° y 5°, debiendo presentar a la Superintendencia de Agua Potable de Lima, para su aprobación, los diseños a adoptar elaborados para profesional especializado, inscrito en el Registro Oficial de ingenieros del Ministerio de Fomento y Obras Públicas, para lo cual contarán con 120 días de plazo; dentro de los 120 días posteriores a la aprobación del proyecto la obra deberá quedar ejecutada.
- 7° Los industriales que infrinjan los Artículos 3°, 4° y 5° y que al vencimiento de los plazos indicados no hubiere cumplido con ejecutar las obras pagarán multas de S/. 1,000.00 a 10,000.00 quedando facultada la Superintendencia de Agua Potable de Lima, en caso de incumplimiento para suspender el servicio público de abastecimiento de agua potable y gestionar la clausura de industria renuente.
- 8° La Superintendencia del Agua Potable de Lima, procederá a efectuar los análisis de laboratorio y los estudios de descarga de los desagües de las fábricas de Lima,

por cuenta de los industriales, quedando obligados a permitir el ingreso a sus locales al personal autorizado por la Superintendencia del Agua Potable de Lima, para la toma de muestras necesarias.

9° En la jurisdicción del Callao, será la Junta de Obras Públicas, la entidad encargada de la aplicación de las disposiciones del presente Decreto, con excepción del sector de influencia del inspector de la Av. Argentina hasta la Cámara de reunión, punto inicial del Emisor General de Desagües del Callao.

10° En las ciudades y pueblos de la República, la aplicación del presente Decreto estará a cargo de las Oficinas Departamentales de Obras Sanitarias, de las Administraciones de Servicios de agua potable y desagüe o de los Municipios respectivos, según sea entidad que opere el servicio de desagüe establecido en su jurisdicción.

11° Las industria quedan obligadas a instalar una cámara para la inspección, muestreo y verificación de los líquidos que evacuen y a pagar los gastos que los análisis y estudios de sus desagües originen.

12° Terminados los estudios a que se refiere el Artículo 8° y dentro de un plazo no mayor de un año, La Superintendencia del Agua Potable de Lima. Formulará la escala del aporte de los establecimientos industriales para la conservación de los colectores públicos de desagüe.

Dado en la Casa de Gobierno en Lima a los 29 días del mes de Noviembre de mil novecientos sesenta.

MANUEL PRADO

Vice Almirante Guillermo Tirado L., Ministro de Marina, Encargado de la Cartera de Fomento y Obras Públicas.

REGLAMENTO DE DESAGUES INDUSTRIALES

SECCIÓN N° 1

PROLOGO DEL REGLAMENTO

Propósito de la Reglamentación

Los reglamentos sobre desagüe que existen en diferentes países y aún dentro de un mismo país, son muy diversos en su criterio, planteamiento y medios de control, dependiendo de la consideración que ha primado en el seno de la Comisión que lo ha redactado. Hay reglamentaciones que están basadas en una interpretación rígida de normas y en ellos se señala con la mayor amplitud posible y en la forma más concreta, que éste problema plantea, cuáles son límites máximos que puede tener un líquido o residuo industrial para que pueda ser admitido en un colector público.

Generalmente la consideración que guía a estas Comisiones es la de conseguir una calidad de desagüe industrial y doméstico tal, que no sobrecargue indebidamente la operación normal de la planta de tratamiento de desagüe local.

Hay otras pocas reglamentaciones que tiene como supremo objetivo, conseguir que a los colectores sólo ingresen líquidos que por sus condiciones no planteen problemas físicos, químicos o biológicos que aceleren la destrucción de los materiales de que están formadas las redes de colectores domésticos y sobre todo industriales.

En los primeros, las consideraciones que principalmente guían su planteamiento son las que tiendan a conservar o prolongar hasta donde sea económicamente factible la frescura de los líquidos; las que tiendan a preparar a los líquidos para que no causen problemas en el flujo normal. Las que tienden a preparar los líquidos para que no constituyan problemas en el manejo o acorten los periodos de retención en los tanques de sedimentación y en los digestores de la planta de tratamiento. Las que tiendan a

impedir que los líquidos estén sobrecargados de productos tóxicos que alteren las condiciones biológicas normal de los desagües. Las que tiendan a controlar el volumen de descarga, etc.

Para lograr satisfacer la primera exigencia, generalmente limitan la cantidad total de oxígeno que requieren los líquidos para su estabilización y esto lo hacen limitando la Demanda Bioquímica de Oxígeno admisible en los líquidos que pretenden ingresar a la red, obligando a pre tratar los desagües industriales para reducir dicha demanda al límite tolerado o exigiendo en compensación una tarifa progresiva sobre la diferencia en DBO que exista en promedio entre D.B.O. real de los líquidos industriales y la señalada en el reglamento, para hacer la acotación más justa, derivan fórmulas que tratan de generalizar en forma racional este aspecto.

Para lograr no alterar el flujo normal de los desagües reglamentan las normas limitativas en lo que se refiere a sólidos, rápida y medianamente sedimentables, grasas y aceites. Para cumplir con el tercer aspecto, limitan la concentración de productos y elementos venenosos que puedan ingresar al desagüe, así como aquellos que no puedan ingresar, no importa cuan pequeña sea su concentración.

En general, parece que cuanto más limitados son los medios de que dispone la autoridad para realizar investigaciones y determinaciones analíticas, más concreta es la reglamentación a fin de facilitar la tarea, cuanto más medios tiene la autoridad, técnicos económicos, más general es la reglamentación.

En nuestro caso después de haber comparado las reglamentaciones de una serie de países, algunos de ellos de nuestra propia idiosincracia, creemos que la Reglamentación debe carecer de términos vagos e indeterminados tanto como sea posible. Pues el pensamiento es el de entregar a la autoridad un incremento que sea justo y equitativo. Entendemos que nuestra Reglamentación: debe estar guiada por sobre todas las cosas a defender nuestras redes de colectores y nuestros cuerpos de agua receptores, ya que no tenemos actualmente, plantas de tratamiento, sin embargo no debemos dejar de lado la posibilidad de que en un futuro ciertas zonas de la ciudad

por sus condiciones especiales tengan que drenar sus desagües a plantas de tratamiento.

Al revisar las normas de protección de las tuberías e instalaciones y los medios de control que existen, hemos notado que una gran parte de los problemas de corrosión se presentan cuando las tuberías no funcionan adecuadamente conservadas por que en casos se han depositado Iodos, o causado obturaciones, cuando las capacidades de la red secundaria han sido sobrecargadas, las emisiones gaseosas se producen como consecuencia de la súbita liberación de la presión a que están sometidas y esto sucede en nuestro caso cuando las redes secundarias vacían sus descargas en las primarias.

El anteproyecto del reglamento que hemos elaborado se basa en el principio de que para controlar los intereses públicos en materia de desagües, es menester establecer una reglamentación que sea lo suficientemente concreta como para ser interpretada fielmente, que esta reglamentación sea llevada adelante por una Autoridad con capacidad técnica y amplio respaldo legal, que la industria que en gran parte es la causante de los problemas investigados, acepte su responsabilidad sobre la base de que es su derecho lanzar sus residuos industriales, pero con ciertas limitaciones en lo que refiere a la cantidad y calidad de los residuos y que es deber de todo aquel que utiliza un servicio público en forma más amplia, que el promedio de los usuarios, pagar la parte proporcional de ese exceso en forma justa y ordenada a fin de contribuir honestamente a mantener un servicio, que es esencial no sólo para la salud pública en general, sino también para la industria en particular.

La idea básica que ha animado a la Comisión al prepararlo ha sido de conseguir que la autoridad que se encargue de aplicarlo, funciones amparado no sólo por el respaldo legal de un articulado claro y preciso, sino además por acción permanente de un Comité, conformado por técnicos estatales y representantes de la Industria que orientará y resolverá los problemas que surjan al aplicársele, dentro de los límites de la reglamentación.

SECCIÓN N° 2

Definición de Términos

En toda Reglamentación que pretende ser objetiva y práctica, es menester en primer lugar, definirle lo más claramente posible los términos, sobre todo técnico, que en ella se usan. Por lo tanto, en el presente Reglamento se entenderá por:

Artículo 201°.- Autoridad: La organización técnica del Estado a la que al promulgarse el presente Reglamento, se le encomienda su aplicación.

Artículo 202°.- Alcalinidad: La alcalinidad quiere decir el contenido de carbonato, bicarbonatos, hidróxidos y ocasionalmente boratos, silicatos y fosfatos, se expresa en ppm en carbonato de calcio.

Artículo 203°.- Acidez: La acidez representa la cantidad de ácidos minerales y orgánicos y sales ácidas que se hidrolizan para producir hidrogeniones.

Artículo 204°.- Comité: La comisión permanente que conformada por tres delegados representantes de los Ministerios de Fomento (Subdirección de obras Sanitarias), Servicio de Agua Potable de Lima (Sección Técnica de Alcantarillados), Salud Pública (División de Ingeniería Sanitaria) y dos representantes de la Sociedad Nacional de Industrias, se nominará con el fin de resolver dentro de los límites y espíritu del presente Reglamento, los problemas que se plantean entre la Autoridad y la Industria.

Artículo 205°.- Carga Orgánica (C.O): Para los fines de este Reglamento, se entenderá por tal, la cantidad de materia orgánica que en promedio descarga una persona por día, expresado en mg/1 se aceptará que es en nuestro medio 62,500.

Artículo 206°.- Colector Doméstico: Significa la tubería o alcantarilla construida para evacuar los líquidos domésticos.

Artículo 207°.- Colector Industrial: Significa la tubería o alcantarilla construida para evacuar los residuos industriales.

Artículo 208°.- Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO): La cantidad de oxígeno expresado en partes por millón por peso, utilizado en la oxidación bioquímica de la materia orgánica, en condiciones standard de laboratorio, durante 5 días, a 20° C. de acuerdo con los procedimientos indicados en los Métodos Standard Norteamericanos.

Artículo 209°.- Industrial: Por este término se entenderá a cualquier firma, empresa, agencia, compañía, etc. que esta conectada a la red pública de desagüe.

Artículo 210°.- Muestra Compuesta: Se entenderá por tal, aquella que está formada por los diferentes tipos de residuos que lanza la industria.

Artículo 211°.- Muestra Simple: Aquella que se tome de una sola y por lo tanto, solo representa las características en un momento dado.

Artículo 212° , - Población Equivalente (P.E): Se usará este término como parámetro de medida de la concentración de materia orgánica que contiene un volumen determinado de residuos que lanza la industriales.

Artículo 213°.- pH. : Se entenderá por tal, algoritmo de base 10 de la recíproca de la concentración de iones de hidrógenos expresado en moles por litros.

Artículo 214°.- Residuo Industrial: Se entiende por tal, la descarga de cualquier sustancia sea gaseosa, líquida o sólida que sea lanzada al desagüe público o el que esté bajo la administración pública. Por la Industria, el Comercio o en general cualquier establecimiento y que resulte como consecuencia de un proceso de desarrollo o manufactura de cualquier naturaleza.

Artículo 215°.- Red Pública: Por éste término se entenderá al conjunto de tuberías primarias y secundarias, incluyendo las plantas de bombeo, interceptores y emisores que tiene por finalidad, recoger, conducir y lanzar los líquidos o residuos industriales.

Artículo 216°.- Sobre Tasa: Significa el gravamen adicional que pagará cualquier industria en general, cuando sus residuos pasen la concentración normal establecida.

Artículo 217°.- Sólidos Sedimentables: Son aquellos sólidos que pueden ser removidos, de un residuo líquido industrial, en un tiempo determinado, por la sola acción de fuerza de la gravedad.

Artículo 218°.- Sólidos Suspendidos: Son aquellos que sólo pueden ser removidos de un residuo líquido Industrial, por la acción de filtración o centrifugación, en el laboratorio.

Artículo 219°.- Tarifa: Significa el gravamen que paga la industria en general, por derecho de descarga de sus residuos industriales en los colectores públicos o administrados por entidades públicas.

SECCIÓN N° 3

Límites Normales de los Desagües industriales

Para establecer una Reglamentación es menester comenzar por fijar cuáles son los límites normales de ciertas características básicas de los desagües en general y de los industriales en particular. Las investigaciones realizadas por el Comité, le permiten señalar como valores cercanos a nuestra realidad, los siguientes:

Artículo 301°.- Para los fines de esta Reglamentación, se aceptará como DBO normal en los colectores domésticos: 250 ppm.

Artículo 302°.- Para los fines de esta Reglamentación, se aceptará como promedio normal del volumen de desagüe, la cantidad de 250 lt de capacidad / día.

Artículo 303°.- Para los fines de esta Reglamentación, se calculará la P.E. mediante la siguiente fórmula:

$$P.E. = \frac{\text{Volumen de desg. en lt/día} \times \text{DBO en mg/lt}}{62,500}$$

62,500

Artículo 304°.- Para los fines de esta Reglamentación, se aceptará como normal el líquido cloacal que no deposite más de 8.5 rnl/lt/H. (mililitros / litro / hora) de sólidos sedimentables.

SECCIÓN N° 4

Normas para Establecer las Sobrecargas

En todo conglomerado, la comunidad tiene derecho a estar conectada y usar la red pública de desagüe. Es más este derecho es obligatorio. Pero nadie en la comunidad tiene derecho a sobrecargar en volumen o carga orgánica de la red pública de desagüe, pues existe una limitación natural y lógica a ese derecho que éste Reglamento fija y determina.

Artículo 401.- Para establecer el volumen de descarga de los Residuos Industriales por día, se adoptará uno de los dos procedimientos siguientes, según las posibilidades locales y a juicio de la Autoridad.

- a. La verificación real del caudal evacuado mediante procedimientos hidráulicos.
- b. Estimando como desagüe el 90% del agua de consumo, que resulte como promedio aritmético durante un lapso de 7 días en las condiciones de observación y frecuencia que fije la Autoridad.

Artículo 402°.- Para que la Autoridad pueda verificar el gasto y demás características del flujo de los Residuos Industriales, podrá exigir de la industria que como complemento de sus instalaciones de desagüe, construya una cámara de inspección, muestreo y verificación de gasto, la que estará construida en la forma y modo y con las características que fijará la Autoridad.

Artículo 403°.- Ninguna industria puede lanzar a la red pública, sin pagar la tasa, un volumen de residuos industriales que supere la dotación de descarga de una Población Equivalente P.E. de 2,000 personas, considerándose dotación de descarga por personas en 250 lt./'cap./día.

Artículo 404°.- Ninguna industria podrá lanzar el colector industrial en un momento dado, un caudal que supere en 300% el gasto promedio que resulte al aplicarle los procedimientos especificados en el Artículo 401. En caso de que las operaciones industriales así la obligarán, la Autoridad dispondrá que se instalen cámaras reguladoras del gasto de características apropiadas.

Artículo 405.- En determinados casos y a juicio de las Autoridades podrá disponer que la industria descargue sus residuos sólo durante la noche, obligándose a instalar tanques de almacenamiento de los residuos industriales de características apropiadas.

Artículo 406°.- Para la determinación de las características de los Residuos industriales, se seguirá el siguiente procedimiento:

- a. Industria recién instalada: a los 60 días de funcionamiento la Autoridad procede a tomar una muestra compuesta de los residuos con la frecuencia mensual por un lapso de seis meses. Se aceptará como característica los valores que resulten de promediar aritmética mente la DBO, sólidos sedimentables, pH, etc.
- b. En las industrias ya establecidas: Se seguirán las mismas pautas señaladas en el acápite a), con la diferencia de que en estos casos no existirá plazo previo para iniciar la investigación.
- c. Los gastos que demanden los análisis correspondientes serán cobrados por la Autoridad de acuerdo a la tarifa que se fije.

Artículo 407°.- La Autoridad de acuerdo con sus posibilidades, mantendrá un sistema periódico de muestras a fin de mantener actualmente las tarifas de sobretasa.

Artículo 408°.- La industria que por haber modificado su sistema de eliminación de residuos considere que ha disminuido apreciablemente el volumen o la concentración de materia orgánica que descarga o ambas, tendrá derecho a solicitar de la Autoridad que se realice una nueva investigación de sus residuos y en este caso la Autoridad dispondrá los detalles, el número y la frecuencia de los muestreos correspondientes. Los gastos que originen estas investigaciones, correrán por cuenta del industrial.

SECCIÓN N° 5

Límites Máximos de los

Residuos Industriales Admisibles en las Redes

Artículo 501°.- Ninguna industria podrá lanzar al colector industrial en forma directa, residuos cuya temperatura esté por encima de los 35° C, ni sobrantes de vapor. Los vapores deberán ser condensados para ingresar al desagüe.

Artículo 502°.- Ninguna sustancia grasa que ingrese al colector, deberá tener una concentración mayor de 0.1 gr /lt en peso.

Artículo 503°.- Ninguna sustancia inflamable que ingrese al desagüe podrá tener un punto de ignición que esté por debajo de los 90° C, y no podrá estar en concentración mayor de 1 gr/lt.

Artículo 504°.- No se permitirá el ingreso de residuos a los desagües públicos cuyo pH esté por debajo de 5 ó por encima de 8.5. Las industrias que trabajan con ácidos minerales o sustancias fuertemente alcalinas, deberán obligatoriamente tener tanques de suficiente capacidad y en número adecuado, a juicio de la autoridad, donde serán neutralizados, mediante la mezcla de residuos ácidos y alcalinos o diluidos, hasta alcanzar los límites de pH establecido. La autoridad podrá solicitar a la industria que presente un estudio completo de la solución, el que deberá ser ejecutado por un profesional, especializado y se deberán introducir en él todos los dispositivos que la autoridad juzgue necesarios para la mayor eficiencia del sistema, fijándose un plazo para la ejecución de la obra.

Artículo 505°.- Queda prohibido el ingreso a la red pública, de residuos que tengan más de 1,000 ppm, de DBO bajo ninguna circunstancia los residuos industriales que con tratamiento o sin él, alcancen esa concentración de DBO, podrán ingresar a los colectores públicos o que estén bajo la administración pública.

Artículo 506°.- Queda prohibido el ingreso a las redes públicas de líquidos que depositen sedimentos en una concentración de más de 8.5 ml/L.H. (mililitros / litros / hora).

SECCIÓN N°6

Residuos Industriales no Admisibles en las Redes

Artículos 601°.- Queda prohibido el ingreso directo a las redes de desagüe de:

- a. Las aguas de lavado de pisos de talleres y fábricas.
- b. Las aguas sobrantes de la construcción civil.

La autoridad determinará los tipos de trampas y dispositivos que se emplearán en cada caso.

Artículo 602°.- Queda prohibido el ingreso de basuras o restos de comida.

Artículo 603°.- Queda prohibido el ingreso de los siguientes residuos:

- a. Gasolina y solventes industriales.
- b. Barros y arenas.
- c. Alquitranes, materiales bituminosos y viscosos.
- d. Pegamentos y cementos.
- e. Plumas, huesos, trapos é hilazas.
- f. Trozos de metal, vidrio, madera, cerámica y materiales similares capaces de atorar.
- g. Gases malolientes o peligrosos para la vida y la salud.
- h. Productos residuales del Petróleo.

Artículo 604°.- Queda prohibido descargar a las redes de desagüe, ni aceites Volátil, ni minerales o insolubles en forma directa, ellos deben pasar por trampas, retenedoras o dispositivos que los extraigan en la forma más completa que sea factible y en todo caso no podrán superar el límite establecido en el artículo 502.

Artículo 605°.- Queda prohibido el ingreso de residuos que puedan ser tóxicos convertirse en tales o mezclarse con los ácidos naturales del desagüe; cianuros, fenoles, arseniatos, etc.

Artículo 606°.- No se aceptará el ingreso al desagüe, de residuos corrosivos, incrustaciones o que puedan convertirse en tales al reaccionar con los gases y ácido naturales de los líquidos cloacales.

Artículo 607°.- No se aceptará el ingreso al desagüe, de residuos que contenga elevada concentración, sulfuros, sulfitos y sulfatos.

Artículo 608°.- Queda prohibido el lanzamiento de materiales radioactivos en condiciones y concentraciones superiores a los establecidos en los Reglamentos Internacionales en la Materia.

Artículo 609°.- Queda prohibido el ingreso, en forma directa a la red pública de residuos de camales, caballerizas, establos y similares. La autoridad podrá exigir a los propietarios, que dentro de un plazo acordado, proceden a instalar los dispositivos necesarios, siendo requisito previo a su instalación la aprobación de la autoridad.

Artículo 610°.- Queda prohibido el ingreso a la red, pública de iones metales pesados.

SECCIÓN N° 7

Disposiciones Generales

Artículo 701°.- No se permitirá por razones sanitarias, la descarga directa en los cuerpos de agua, de los desagües y residuos industriales. Sólo será permitida la descarga directa de las aguas de refrigeración o los sobrantes condensados del vapor.

Artículo 702°.- Todo desagüe o residuo industrial, para ser admitido en los cuerpos naturales de agua, deberá ser pre tratado en la forma y modo y hasta el grado que se disponga por la autoridad de acuerdo con las normas correspondientes de Salud Pública.

Artículo 703°.- No se permitirá la construcción por la industria, de tanques sépticos, pozos negros, letrinas o cualquier otro sistema de disposición peligrosa o inconveniente en las zonas urbanas, donde existan redes públicas de desagüe y sea posible técnicamente conectarse a ellas.

Artículo 704, - El sistema de colectores de desagüe y las estructuras de tratamiento y disposición final, deberán ser usados de una manera razonable de acuerdo a la capacidad y objeto para los que fueron diseñados.

Artículo 705°,- En general no será permitido el ingreso de residuos al desagüe, cuando traiga como consecuencia el deterioro de sus estructuras, la interferencia de su operación o funcionamiento una exagerada elevación en los costos de atención y mantenimiento.

Artículo 706°,- Queda prohibido interrumpir, usando medios artificiales, el flujo de los desagües que discurren en las cloacas, con el propósito de modificar, aunque fuese temporalmente, su curso natural o su "tirante" normal de régimen estable.

Artículo 707°,- Queda prohibido, de acuerdo a lo dispuesto en el artículo precedente, el uso de líquidos residuales para emplearlos en preparación de materiales (mezclas, morteros, etc.) para trabajos de la industria de la construcción civil, en general.

Artículo 708°,- La Municipalidades no darán "Licencia de Construcción" sin previa presentación de los documentos que comprueben que el interesado ha cumplido con solicitar de la Superintendencia del Agua Potable de Lima la "contrata" de un servicio

de agua potable. En caso que el terreno ya tuviera anteriormente este servicio, el interesado lo acreditará con el recibo de pago de la pensión de agua respectiva.

Artículo 709°.- Durante el período de trabajo de una construcción civil, y para proteger el alcantarillado de recibir residuos industriales pesados que por descuido pasan a las redes públicas, es obligación de los encargados de las obras C.C., tomar las disposiciones que la autoridad le indique.

SECCIÓN N° 8

Plazos y Sobre Tasas

Es un hecho comprobado que una red sobrecargada en volumen o concentración de materias orgánicas o ambas, tiene una vida útil menor que la prevista. Para evitarlo, la Autoridad Técnica de Alcantarillados, tiene que mantener un programa de inspección y limpieza adecuados, y esto presupone un presupuesto. Es lógico que los fondos para ello, tiene que venir en mayor proporción de aquellas industrias que más sobrecargan las redes. y nadie debe ser gravado cuando produce el equivalente a los que cualquier centro cívico o institución descarga a la red. Este Reglamento fija ese límite en la cifra de 2,000 personas determinadas en la forma que está prevista en el Artículo 307.

Artículo 801°.- Las industrias que a la promulgación de la presente reglamentación, estén debidamente establecidas y en funcionamiento, tendrán un plazo improrrogable de seis meses a partir de la fecha en que la autoridad las notifique para normalizar sus residuos industriales ajustándolos a las cifras máximas establecidas.

Artículos 802°.- Las industrias que funcionen después de promulgada la presente Reglamentación, sólo gozarán de un plazo improrrogable de tres meses a partir de la fecha en que se haya terminado los estudios de las características de los Residuos Industriales de acuerdo con lo previsto en el artículo 406, inciso "a".

Artículo 803°.- Cuando la normalización de los residuos requiera, operaciones complejas y dispositivos de control cuya construcción demanda mayor tiempo, la

industria podrá presentar una solicitud especial, explicando detalladamente las razones técnicas que obligan un mayor plazo y la autoridad con el voto aprobatorio del Comité, podrá concederlo.

Artículo 804°.- Las industrias que descarguen al Servicio Público de desagües, Residuos Industriales, cuyo volumen y concentración combinados, representen una población de 2,000 o más personas, medidas como P.E. (Población Equivalente), determinada de acuerdo con el artículo 403° de la presente Reglamentación, pagarán una sobre tasa de S/. 40.00 por cada 2,000 personas o fracción adicionales, gravándose por éste concepto sólo hasta alcanzar una P.E. de 100,000 personas.

Artículo 805°.- La autoridad podrá en el futuro, determinar cual deberá ser el gravamen por sobrecarga, previo estudio justificativo. Este sólo entrará en vigor cuando haya sido favorablemente votado en dos sesiones de comité, celebradas con un intervalo no menor de 15 días entre ambas sesiones y será materia de una Resolución Suprema expedida por el Ramo de Fomento.

SECCION N° 9

Penas y Sanciones

Artículo 901°.- Las industrias que al vencimiento del plazo de notificación no hubieran cumplido con ejecutar las obras, y rebasen los límites máximos fijados para la calidad de los residuos o incumplan en alguna forma, las disposiciones del presente Reglamento, pagarán una multa, cuyo costo puede variar entre un mínimo de S/ 500.00 o máximo de S/. 10,000.00 sin perjuicio de cumplir dentro de un plazo acordado por la autoridad.

Artículo 902°.- Las industrias que al vencimiento del segundo plazo, no hubieran cumplido, gozarán de 30 días de gracia, adicional.

Artículo 903°.- Si vencidos los 30 días adicionales, la autoridad constata de que la industria no ha cumplido, queda facultada la autoridad para suspender indefinidamente el servicio público de abastecimiento de agua potable.

Artículo 904°.- Si como consecuencia del incumplimiento de las notificaciones, se derivara un peligro para la salud pública, se amenazarán los cuerpos naturales de agua y los canales de riego y se atentará contra la integridad física de los colectores públicos, la autoridad podrá decretar, con el voto aprobatorio del comité, la clausura de la industria, la que para convertirse en definitiva deberá revestir la forma de Resolución Ministerial, expedida por el Ministerio de Salud Pública o por el Ministerio de Fomento, según los casos.

Anexo N° 2

Decreto Supremo N° 003-2011- VIVIENDA “Reglamento del Decreto Supremo N°
021-2009- VIVIENDA, que aprueba los Valores Máximos Admisibles de las
descargas de aguas residuales no domésticas en el Sistema de Alcantarillado
Sanitario”



VIVIENDA

Reglamento del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, que aprueba los Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas en el Sistema de Alcantarillado Sanitario

**DECRETO SUPREMO
N° 003-2011-VIVIENDA**

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el artículo 2 de la Ley N° 27792, Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, establece que es competencia del Ministerio, formular, aprobar, ejecutar y supervisar las políticas de alcance nacional aplicables en materia de vivienda, urbanismo, construcción y saneamiento, correspondiéndole por tanto dictar normas de alcance nacional y supervisar su cumplimiento;

Que, mediante Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, se aprobaron los Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario a fin de evitar el deterioro de las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias, equipos y asegurar su adecuado funcionamiento, garantizando la sostenibilidad de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de las aguas residuales;

Que, la Primera Disposición Complementaria Final del citado Decreto Supremo, dispuso que dicha norma entrará en vigencia conjuntamente con la aprobación de su Reglamento, el cual será elaborado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento en un plazo máximo de trescientos sesenta y cinco (365) días calendario; plazo que posteriormente fue ampliado en ciento ochenta (180) días calendario adicionales, por Decreto Supremo N° 014-2010-VIVIENDA;

Que, en ese sentido resulta necesario aprobar el Reglamento del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, a fin de establecer los procedimientos para controlar las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario;

De conformidad con lo dispuesto por el numeral 8) del artículo 118 de la Constitución Política del Perú, por el numeral 3) del artículo 11 de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo, la Ley N° 27792, Ley de

Organización y Funciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, y su Reglamento, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2002-VIVIENDA;

DECRETA:

Artículo 1.- Aprobación

Aprobar el Reglamento del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, el cual consta de seis (06) títulos, treinta y tres (33) artículos, cinco (05) disposiciones complementarias finales, una (01) disposición complementaria transitoria y dos (02) anexos, que forman parte integrante del presente Decreto Supremo.

Artículo 2.- Publicación

Disponer la publicación del presente Decreto Supremo, del Reglamento y sus anexos a que se refiere el artículo 1 de la presente norma, en el Portal Electrónico del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (www.vivienda.gob.pe), el mismo día de su publicación en el Diario Oficial El Peruano.

Artículo 3.- Refrendo

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los veintidós días del mes de mayo del año dos mil once.

ALAN GARCÍA PÉREZ
 Presidente Constitucional de la República

JUAN SARMIENTO SOTO
 Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

REGLAMENTO DEL DECRETO SUPREMO N° 021-2009-VIVIENDA QUE APRUEBA LOS VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES DE LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN EL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO

TÍTULO I

DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 1.- Del objeto

El presente Reglamento tiene por objeto regular los procedimientos para controlar las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, de acuerdo a lo establecido en el Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA.

Artículo 2.- Del ámbito de aplicación

El presente Reglamento es de obligatorio cumplimiento para los usuarios no domésticos que efectúan descargas de aguas residuales no domésticas al sistema de alcantarillado sanitario bajo el ámbito de las Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento o las entidades que hagan sus veces en el ámbito nacional.

Artículo 3.- De la mención a referencias

Cualquier mención en el presente Reglamento a:

- "Ley General" se entenderá que está referida a la "Ley General de Servicios de Saneamiento".
- "T.U.O. del Reglamento" se entenderá que está referida al "Texto Único Ordenado del Reglamento de la Ley General de Servicios de Saneamiento, aprobado por Decreto Supremo N° 023-2005-VIVIENDA".
- "Reglamento" se entenderá que está referida al presente Reglamento.
- "VMA" se entenderá que está referida a "Valores Máximos Admisibles".
- "CIU" se entenderá que está referida a "Clasificación Internacional Industrial Uniforme".
- "MVCS" se entenderá que está referida al "Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento".
- "SUNASS" se entenderá que está referida a la "Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento".
- "INDECOP" se entenderá que está referida al "Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual".

- "EPS" se entenderá que está referida a la "Entidad Prestadora de Servicios".
- "PES" se entenderá que está referida a la "Pequeña Empresa de Saneamiento".

Artículo 4.- De las definiciones

Para efectos del presente Reglamento se entiende por:

1) Aceites y grasas: Son sustancias insolubles en agua y en líquidos menos densas que ella y solubles con disolventes orgánicos tales como nafta, éter, benceno y cloroformo, permaneciendo en la superficie de las aguas residuales dando lugar a la aparición de natas y/o espumas.

2) Agua residual no doméstica: Descarga de líquidos producidos por alguna actividad económica comercial e industrial, distintos a los generados como producto de la preparación de alimentos, del aseo personal y de desechos fisiológicos.

3) Caso fortuito: Situación que consiste en un evento extraordinario, imprevisible e irresistible, resultado de las acciones de terceros que afectan el normal desarrollo del servicio de saneamiento.

4) Clasificación Internacional Industrial Uniforme (CIU): Es la clasificación internacional de referencia de las actividades económicas productivas, para facilitar un conjunto de categorías de actividad que pueda utilizarse para la elaboración de estadísticas por actividades.

5) Contramuestra: Es una muestra adicional que se toma en la misma oportunidad, bajo los mismos criterios que la muestra a ser analizada.

6) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): Es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos (generalmente 5 días y a 20°C).

7) Demanda Química de Oxígeno (DQO): Es la medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidante sales inorgánicas de permanganato o dicromato de potasio.

8) Entidad Prestadora de Servicios: La EPS pública, municipal, privada o mixta, constituida con el exclusivo propósito de brindar servicios de saneamiento en el ámbito urbano.

9) Pequeña Empresa de Saneamiento: Las PES municipal, privada o mixta, constituida con el exclusivo propósito de brindar servicios de saneamiento en el ámbito urbano.

10) Entidad que haga sus veces: La Pequeña Empresa de Saneamiento, el Operador Especializado, la Organización Comunal o la Unidad de Gestión.

11) Fuerza mayor: Situación consistente en un evento extraordinario, imprevisible e irresistible, debido a hechos de la naturaleza.

12) Laboratorio acreditado: Es el laboratorio que ha obtenido el Certificado de Acreditación otorgado por el INDECOP, para realizar análisis y toma de muestras relacionadas a los VMA aprobados por el Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA.

13) Muestra compuesta: Es la combinación de alícuotas de muestras individuales (normalmente en 24 horas) cuyo volumen parcial se determina en proporción al caudal del agua residual al momento de cada muestreo.

14) Muestra de parte: Muestra realizada, por cuenta y riesgo del Usuario No Doméstico, sin previo requerimiento, de forma voluntaria y bajo los procedimientos, criterios y disposiciones establecidos por el organismo competente.

15) Muestra dirimente: Muestra que se toma en la misma oportunidad que la muestra original a ser analizada y que la contramuestra, bajo los mismos criterios, para analizar y/o compararla en el caso que existan eventuales reclamos sobre la validez de los resultados de la muestra, de acuerdo a lo dispuesto en el procedimiento de resolución de quejas establecido por el INDECOP.

16) Muestra inopinada: Muestra que será tomada por un laboratorio acreditado ante el INDECOP, a solicitud de la EPS o la entidad que haga sus veces y en presencia de un representante de ésta, sin previo aviso al Usuario No Doméstico.

17) Muestra puntual: Muestra tomada al azar en una hora determinada. Su uso es obligatorio para el examen de un parámetro que normalmente no puede preservarse.

18) Pago adicional por exceso de concentración:

Es el pago que deberá ser empleado por las EPS o las entidades que hagan sus veces, que será aplicado a los Usuarios No Domésticos cuando superen los VMA establecidos en el Anexo N° 1 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, en base a la metodología aprobada por la SUNASS.

19) Prestador de servicios: La EPS, PES, Operador Especializado, Unidad de Gestión y la Organización Comunal, que tenga a su cargo la prestación de los servicios de saneamiento.

20) Reclamo: Derecho de contradicción que goza todo Usuario No Doméstico, cuando surge una controversia entre éste y la EPS o la entidad que haga sus veces, respecto de la aplicación del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, su Reglamento y/o sus normas conexas.

21) Registro de usuarios no domésticos: Base de datos de las EPS o las entidades que hagan sus veces, donde se identifican y clasifican a los usuarios del servicio de alcantarillado sanitario que descargan aguas residuales no domésticas y los resultados de la caracterización de dichas descargas.

22) Sanciones: Mecanismos que pueden implementar las EPS o las entidades que hagan sus veces, cuando el Usuario No Doméstico incumple alguna disposición indicada en el presente Reglamento.

23) Sólidos Suspendidos Totales (SST): Son partículas orgánicas o inorgánicas que son retenidos por una fibra de vidrio que posteriormente es secada a una determinada temperatura.

24) Usuario No Doméstico: Es la persona natural o jurídica que realiza descarga de aguas residuales no domésticas al sistema de alcantarillado sanitario.

TÍTULO II

OBLIGACIONES Y DERECHOS DE LOS USUARIOS NO DOMÉSTICOS QUE HACEN USO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO

Capítulo I

Obligaciones de los Usuarios No Domésticos

Artículo 5.- De las obligaciones

Los Usuarios No Domésticos que descargan aguas residuales no domésticas al sistema de alcantarillado sanitario, están obligados a:

a) Presentar anualmente la Declaración Jurada de Usuario No Doméstico, a la EPS o la entidad que haga sus veces, en aplicación de la Segunda Disposición Complementaria Final del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA.

b) Implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales, cuando sus descargas excedan o puedan exceder los VMA establecidos en el Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA.

c) Efectuar el pago adicional por exceso de concentración de los parámetros fijados en el Anexo N° 1 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, de acuerdo a la metodología establecida por la SUNASS. Para el caso de prestadores de servicios de saneamiento distintos al de las EPS o PES, se podrá tomar como referencia la metodología aprobada por la SUNASS, para su aplicación en el ámbito de su competencia.

d) Pagar el importe correspondiente a la toma de muestra inopinada, análisis y cualquier otro gasto relacionado a la labor realizada por el laboratorio acreditado ante el INDECOPI, siempre que el valor del parámetro analizado sobrepase los VMA; en caso de no sobrepasar los VMA el importe será asumido por la EPS o la entidad que haga sus veces.

e) Informar a la EPS o la entidad que haga sus veces, cuando la descarga de sus aguas residuales no domésticas presenten alguna modificación derivada de la ampliación o variación de las actividades que realiza el Usuario No Doméstico, dentro de un plazo que no deberá exceder los quince (15) días hábiles a partir de la ampliación o variación de sus actividades.

f) Brindar todas las facilidades, accesos e ingresos necesarios para que, en la oportunidad debida, el personal de la EPS o la entidad que haga sus veces y el laboratorio acreditado ante el INDECOPI, efectúe la toma de muestra inopinada.

g) Implementar el mecanismo o dispositivo especial para la toma de muestra inopinada, cuyo costo será asumido por el Usuario No Doméstico.

h) Asumir los costos asociados al incumplimiento, procesos y otras actividades adicionales que estén relacionadas con la implementación de los VMA, de acuerdo al procedimiento establecido por la SUNASS para el caso de las EPS y PES, y para las demás entidades que hagan sus veces, se tomará como base el procedimiento desarrollado por la SUNASS.

i) Los Usuarios No Domésticos cuyas actividades estén clasificadas según el CIU, deberán declarar, reportar y cumplir con las obligaciones que se establecen en el presente Reglamento, en función de los parámetros que para dichas actividades se establecen en el referido código. Aquellas actividades que no estén incluidas en el CIU, deberán cumplir con los parámetros establecidos en los Anexos N° 1 y 2 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA.

j) Cumplir con las demás disposiciones que se emitan para la regulación de la aplicación de los VMA.

Capítulo II

Derechos de los Usuarios No Domésticos

Artículo 6.- De los derechos

Los Usuarios No Domésticos que descargan aguas residuales no domésticas al sistema de alcantarillado sanitario, tienen derecho a:

a) Recibir información sobre la normatividad, las modificaciones y actualizaciones respecto a los VMA.

b) A solicitar, de conformidad al artículo 6 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, la exoneración del pago adicional por exceso de concentración de los parámetros o suspensión del servicio de alcantarillado sanitario, cuando por caso fortuito o fuerza mayor se haya excedido los VMA, de acuerdo con el procedimiento establecido en el artículo 33 del presente Reglamento.

c) Presenciar la toma de muestra inopinada, a participar de dicho acto y a suscribir el Acta de Toma de Muestra Inopinada, cuyo contenido será como mínimo el establecido en el Anexo II del presente Reglamento.

d) Solicitar directamente a cualquier laboratorio acreditado ante el INDECOPI, la toma de muestra de parte y los análisis de sus descargas.

e) Presentar reclamos, si consideran que ha sido vulnerado alguno de sus derechos, de acuerdo a los procedimientos que para tal fin se establezcan.

TÍTULO III

OBLIGACIONES Y DERECHOS DE LAS EPS O LAS ENTIDADES QUE HACAN SUS VECES

Capítulo I

Obligaciones de las EPS o las entidades que hagan sus veces

Artículo 7.- De las obligaciones

Las EPS o las entidades que hagan sus veces están obligadas a:

a) Solicitar al Usuario No Doméstico la presentación anual de la Declaración Jurada de Usuario No Doméstico conforme al Anexo I del presente Reglamento, según lo establecido en la Segunda Disposición Complementaria Final del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA.

b) Registrar al Usuario No Doméstico una vez revisada y evaluada la Declaración Jurada de Usuarios No Domésticos, conforme al procedimiento establecido en el artículo 17 del presente Reglamento.

c) Emitir pronunciamiento, previa evaluación de la información presentada, y asignar un Código de Usuario No Doméstico.

d) Pagar el importe correspondiente a la toma de muestra inopinada, análisis y cualquier otro gasto relacionado a la labor realizada por el laboratorio acreditado ante el INDECOPI, siempre que el valor del parámetro analizado no sobrepase los VMA; en caso de sobrepasar los VMA el importe será asumido por el Usuario No Doméstico.

e) Solicitar al Usuario No Doméstico el pago adicional por exceso de concentración de los parámetros por

sobrepasar los VMA fijados en el Anexo N° 1 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, de acuerdo a la metodología establecida por la SUNASS. Para el caso de prestadores de servicios de saneamiento distintos a las EPS y PES, se podrá tomar como referencia la metodología aprobada por la SUNASS, para su aplicación en el ámbito de su competencia.

f) Reponer el servicio de alcantarillado sanitario previa verificación del cumplimiento de los parámetros establecidos en el Anexo N° 2 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA.

g) Suspender el cobro del pago adicional por exceso de concentración al Usuario No Doméstico, previa verificación del cumplimiento de los parámetros del Anexo N° 1 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA.

h) Comunicar a los Usuarios No Domésticos sobre la normatividad, las modificaciones y actualizaciones respecto a los VMA.

i) En caso fortuito o fuerza mayor, evaluar si temporalmente procede exonerar al Usuario No Doméstico del pago adicional por exceso de concentración de parámetros o de la suspensión del servicio de descargas al sistema de alcantarillado.

j) Cobrar a los Usuarios No Domésticos el pago adicional por exceso de concentración, de acuerdo a la metodología establecida por la SUNASS, según lo dispone el artículo 4 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA. En el caso de los prestadores de servicios distintos a las EPS y PES, cobrarán a los Usuarios No Domésticos un pago adicional por exceso de concentración correspondiente por los VMA que sean excedidos de acuerdo a lo establecido en el Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, tomando como base la metodología establecida por la SUNASS.

k) Cumplir con las demás disposiciones que se emitan para regular la aplicación de los VMA.

Capítulo II

Derechos de las EPS o las entidades que hagan sus veces

Artículo 8.- De los derechos

Las EPS o las entidades que hagan sus veces tienen derecho a:

a) Solicitar al laboratorio acreditado ante el INDECOPI que efectúe la Toma de Muestra Inopinada a las descargas del Usuario No Doméstico que, según su criterio, amerite la revisión de uno o más VMA contenidos en los Anexos N° 1 y 2 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA.

b) Realizar el estudio para caracterizar el tipo de descarga no doméstica a fin de proponer su evaluación al MVCS, y de ser el caso, modificar y/o actualizar los parámetros contenidos en los Anexos N° 1 y 2 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA.

TÍTULO IV

VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES

Capítulo I

De las Descargas

Artículo 9.- De las descargas permitidas

Se permitirá la descarga directa de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, sin pago o sanción alguna, siempre que no se excedan los VMA establecidos en los Anexos N° 1 y 2 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA.

La EPS o la entidad que haga sus veces, en cumplimiento del artículo 7 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, verificará el cumplimiento de los parámetros establecidos en los Anexos N° 1 y 2 del mencionado Decreto Supremo.

Artículo 10.- De las descargas no permitidas

No está permitido descargar aguas residuales no domésticas al sistema de alcantarillado sanitario, que sobrepasen los VMA establecidos en el Anexo N° 2 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA.

En cumplimiento del artículo 9 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, concordante con el literal i) del artículo 72 del T.U.O. del Reglamento, no está permitido descargar, verter, arrojar o introducir bajo cualquier

modalidad al sistema de alcantarillado sanitario, elementos tales como:

a) Residuos sólidos, líquidos o gaseosos que, en razón a su naturaleza, propiedades y cantidad, causen o puedan causar por sí solos o por interacción con otros, algún tipo de daño inmediato o progresivo a las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias y equipos del sistema de alcantarillado sanitario y de tratamiento de aguas residuales.

b) Material orgánico de cualquier tipo y estado.

c) Mezclas inflamables, radioactivas, explosivas, corrosivas, tóxicas y/o venenosas, que impidan o dificulten el acceso o la labor de los equipos y/o personal encargado de las EPS o las entidades que hagan sus veces, de la operación y mantenimiento de las instalaciones y que puedan provocar daño al sistema de alcantarillado sanitario.

d) Aquellas descargas que puedan causar obstrucciones físicas, interferencias, perturbaciones, sedimentos y/o incrustaciones que dificulten el libre flujo de las aguas residuales no domésticas, a través del sistema de alcantarillado sanitario.

e) Residuos sólidos o viscosos, capaces de obstruir el libre flujo de las aguas residuales en los colectores y obstaculicen los trabajos de operación, mantenimiento y limpieza del sistema de alcantarillado sanitario.

f) Gases procedentes de escapes de motores de cualquier tipo.

g) Disolventes orgánicos y pinturas, cualquiera sea su proporción y cantidad.

h) Carburo cálcico y otras sustancias sólidas potencialmente peligrosas, tales como hidruros, peróxidos, cloratos, percloratos, bromatos y sus derivados.

i) Hidrocarburos y sus derivados.

j) Materias colorantes.

k) Agua salobre.

l) Residuos que generen gases nocivos.

Capítulo II

Del Pago Adicional

Artículo 11.- Del pago adicional por exceso de concentración

La EPS y la PES cobrarán a los Usuarios No Domésticos el pago adicional por exceso de concentración cuando haya verificado excesos de los VMA establecidos en el Anexo N° 1 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, de acuerdo a la metodología establecida por la SUNASS.

Los prestadores de servicios distintos a las EPS y PES, cobrarán a los Usuarios No Domésticos un pago adicional por exceso de concentración correspondiente por los VMA que sean excedidos de acuerdo a lo establecido en el Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, tomando como base la metodología establecida por la SUNASS.

Artículo 12.- De la oportunidad del cobro

Cuando la EPS y la PES hayan verificado que se ha excedido uno o más de los VMA establecidos en el Anexo N° 1 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, aplicará lo dispuesto por la SUNASS. Para ello, emitirá el recibo que será remitido al Usuario No Doméstico junto con el costo de los análisis, la toma de muestra inopinada y cualquier otro costo relacionado a la labor del laboratorio acreditado ante el INDECOPI.

La SUNASS emitirá las normas correspondientes para tal efecto, debiendo precisar los temas referidos a fechas de pago, conceptos facturables, falta de entrega de recibo, entre otros.

Los prestadores de servicios distintos a las EPS y PES, tomarán como referencia lo dispuesto por la SUNASS para este caso.

Capítulo III

Inspección y Control

Artículo 13.- De la inspección y control

La inspección y control que efectuará la EPS o la entidad que haga sus veces, sin ser limitativo, consistirá en:

a) Revisión y verificación de la ubicación, acceso y características técnicas de la caja de registro de la red de alcantarillado sanitario o el dispositivo adecuado donde se tomará la muestra correspondiente.

b) Toma de muestra y análisis por un laboratorio acreditado ante el INDECOPI.

c) Levantamiento del Acta de Toma de Muestra Inopinada, de ser el caso.

d) Aplicación de sanciones.

Artículo 14.- De los laboratorios acreditados

Conforme a lo dispuesto en el artículo 7 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, sólo los laboratorios acreditados ante el INDECOPI efectuarán la toma de muestra y el análisis, a fin de verificar el cumplimiento de los VMA establecidos en los Anexos N° 1 y 2 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA.

Los laboratorios deberán encontrarse acreditados ante el INDECOPI para la toma de muestra, así como para la recolección, custodia y efectuar los análisis de la misma, de acuerdo a lo regulado por el Servicio Nacional de Acreditación del INDECOPI.

Artículo 15.- De la toma de muestra

El laboratorio acreditado ante el INDECOPI, tomará la muestra de la descarga de agua residual no doméstica cumpliendo las normas y protocolos técnicos aprobados por la mencionada entidad.

Capítulo IV

Registro de Usuarios No Domésticos

Artículo 16.- De los requisitos para registrarse

Los documentos que debe presentar el Usuario No Doméstico para su registro ante la EPS o la entidad que haga sus veces, son los siguientes:

a) Declaración Jurada de Usuario No Doméstico, de acuerdo al Anexo I del presente Reglamento.

b) Copia legalizada de la licencia de funcionamiento vigente.

c) Copia legalizada de la vigencia de poder del representante legal.

d) Ficha Registro Único de Contribuyente - Acreditación del Inicio de Actividades.

e) Copia de la Factibilidad de Servicios otorgado por la EPS o autorización de conexión del servicio de agua y saneamiento emitido por un prestador distinto de la EPS.

Artículo 17.- Del procedimiento para registro y/o actualización

17.1 Los Usuarios No Domésticos presentarán a la EPS o a la entidad que haga sus veces, los requisitos establecidos en el artículo 16 del presente Reglamento, en un plazo que no podrá exceder los treinta (30) días hábiles, contados a partir del requerimiento efectuado por la EPS o la entidad que haga sus veces.

17.2 Cuando la EPS o la entidad que haga sus veces, solicite por primera vez al Usuario No Doméstico la presentación de la Declaración Jurada de Usuario No Doméstico establecida en el Anexo I del presente Reglamento, ésta deberá contener todos los parámetros establecidos en los Anexos N° 1 y 2 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA. Para las posteriores presentaciones de la citada Declaración Jurada, el Usuario No Doméstico presentará los parámetros solicitados por la EPS o la entidad que haga sus veces, de acuerdo a la actividad económica que por procesos productivos realice conforme al CIU.

17.3 La EPS o la entidad que haga sus veces, procederá a revisar y/o verificar, la documentación requerida en el artículo 16 del presente Reglamento y el cumplimiento de presentación de todos los parámetros de los VMA, de ser el caso, en un plazo que no podrá exceder los quince (15) días hábiles de recibida la documentación.

17.4 De encontrarse observaciones a la documentación y al cumplimiento de presentación de todos los parámetros de los VMA, la EPS o la entidad que haga sus veces, comunicará al Usuario No Doméstico dicha situación,

a fin de que proceda a subsanarla en un plazo que no excederá de diez (10) días hábiles.

17.5 Una vez subsanadas las observaciones señaladas en el numeral 17.4 del presente artículo, la EPS o la entidad que haga sus veces, procederá a evaluar la documentación y el cumplimiento de presentación de todos los parámetros de los VMA, de ser el caso, presentados por el Usuario No Doméstico, en un plazo que no excederá los diez (10) días hábiles.

17.6 En caso el Usuario No Doméstico incumpla con subsanar las observaciones efectuadas por la EPS o la entidad que haga sus veces, o las subsane fuera del plazo establecido en el presente artículo, se considerará como no presentada la Declaración Jurada de Usuario No Doméstico, constituyendo infracción muy grave, establecida en el literal a) del artículo 28 del presente Reglamento.

Artículo 18.- Del registro y/o actualización de la información del usuario no doméstico

Verificado el cumplimiento de los requisitos a los que se refiere el artículo 16 del presente Reglamento, la EPS o la entidad que haga sus veces, procederá a registrar y/o actualizar la información del Usuario No Doméstico, asignándole el respectivo Código de Registro de Usuario No Doméstico.

Capítulo V

Monitoreo y Evaluación de los Valores Máximos Admisibles

Artículo 19.- Del monitoreo

Conforme a lo establecido en el artículo 7 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, la EPS o la entidad que haga sus veces, es la encargada del control de las descargas de aguas residuales no domésticas al sistema de alcantarillado sanitario.

Artículo 20.- Del procedimiento del monitoreo

20.1 Una vez registrado el Usuario No Doméstico y asignado su Código de Registro, el área competente de la EPS o de la entidad que haga sus veces, procederá en un plazo que no excederá de diez (10) días hábiles, a evaluar los resultados de los análisis presentados en la Declaración Jurada de Usuarios No Domésticos.

20.2 Si los resultados de los análisis presentados en la Declaración Jurada de Usuario No Doméstico no superan los VMA establecidos en los Anexos N° 1 y 2 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, la EPS o la entidad que haga sus veces, procederá a actualizar el registro y la información del Usuario No Doméstico.

20.3 Si los resultados de los análisis presentados en la Declaración Jurada de Usuario No Doméstico, superan los VMA establecidos en el Anexo N° 1 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, se deberá efectuar lo siguiente:

a) La EPS o la entidad que haga sus veces, realizará el cobro del pago adicional por exceso de concentración de parámetros.

b) El Usuario No Doméstico deberá adecuar sus descargas no domésticas para no exceder los VMA, para lo cual presentará los análisis respectivos que serán remitidos a la EPS o la entidad que haga sus veces, para su revisión y evaluación correspondiente.

c) Presentados los nuevos análisis por el usuario no domésticos, la EPS o la entidad que haga sus veces, procederá a revisar y evaluar los mismos en un plazo que no debe exceder los diez (10) días hábiles.

d) De verificarse que el Usuario No Doméstico cumple con los VMA establecidos en el Anexo N° 1 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, la EPS o la entidad que haga sus veces procederá a suspender el cobro del pago adicional por exceso de concentración.

20.4 Si los resultados de los análisis presentados en la Declaración Jurada de Usuario No Doméstico superan los VMA establecidos en el Anexo N° 2 del

Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, se deberá efectuar lo siguiente:

- a) La EPS o la entidad que haga sus veces, procederá a realizar la suspensión del servicio de alcantarillado sanitario.
- b) El Usuario No Doméstico deberá adecuar sus descargas no domésticas para no exceder los VMA, para lo cual presentará los análisis respectivos que serán remitidos a la EPS o la entidad que haga sus veces para su revisión y evaluación correspondiente.
- c) Presentados los análisis, la EPS o la entidad que haga sus veces procederá a revisar y evaluar los mismos en un plazo que no debe exceder los diez (10) días hábiles.
- d) De verificarse que el Usuario No Doméstico cumple con los VMA establecidos en el Anexo N° 2 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, la EPS o la entidad que haga sus veces procederá a realizar la reposición del servicio de alcantarillado sanitario. En caso no cumplan con dichos VMA, se mantendrá la suspensión del referido servicio.

Capítulo VI

Toma de Muestra Inopinada

Artículo 21.- De la toma de muestra inopinada

Con los resultados de los análisis presentados por los Usuarios No Domésticos, la EPS o la entidad que haga sus veces, evaluará dicha información y, de considerarlo conveniente, solicitará al laboratorio acreditado ante el INDECOPi efectúe la toma de muestra inopinada, conforme lo establece el artículo 7 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA.

Artículo 22.- Del acta de toma de muestra inopinada

El Acta de Toma de Muestra Inopinada conforme al Anexo II del presente Reglamento, es un documento oficial en el que constan las características físicas en las que se realiza la toma de muestra inopinada, los datos del Usuario No Doméstico, su actividad económica principal, lugar, fecha y hora en la que se realizó y las personas asistentes, entre los principales datos.

Artículo 23.- Del procedimiento de la toma de muestra inopinada

23.1 El personal del laboratorio acreditado ante el INDECOPi, a solicitud de la EPS o la entidad que haga sus veces, se apersonarán conjuntamente para proceder a tomar la muestra inopinada en la caja de registro de la red de alcantarillado sanitario o dispositivo adecuado de la descarga de las aguas residuales no domésticas.

23.2 La EPS o la entidad que haga sus veces, podrá utilizar cualquier medio fehaciente, distinto al Acta de Toma de Muestra Inopinada, que sirva para corroborar el lugar, fecha, hora y condiciones físicas en que se realizó la toma de muestra inopinada, la misma que formará parte de los informes y procedimientos de supervisión, monitoreo e implementación de la EPS o la entidad que haga sus veces.

23.3 El Usuario No Doméstico podrá presenciar la toma de muestra inopinada y suscribir el Acta de Toma de Muestra Inopinada. La no suscripción de dicha Acta por parte del Usuario No Doméstico no invalidará el acto.

23.4 Efectuada la toma de muestra inopinada, se seguirá con el procedimiento establecido en el artículo 20 del presente Reglamento, en lo que le fuere aplicable.

23.5 La EPS o la entidad que haga sus veces, procederá a cobrar al Usuario No Doméstico los costos generados por los análisis efectuados en la toma de muestra inopinada o por la reposición del servicio de alcantarillado sanitario, cuando se advierta que se superan los parámetros de los VMA establecidos en los Anexos N° 1 y 2 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA.

TÍTULO V

RECLAMOS

Capítulo I

Procedimiento de Reclamos

Artículo 24.- Del procedimiento

Los Usuarios No Domésticos podrán presentar reclamos ante la EPS o la entidad que haga sus veces.

Para el caso de las EPS y PES, la SUNASS será la encargada de establecer los procedimientos, plazos e instancias correspondientes.

Para el caso de prestadores distintos a las EPS y PES, el procedimiento de reclamos deberá estar sujeto a las disposiciones que para tal fin emita el regulador correspondiente a cada ámbito de prestación de los servicios de saneamiento.

Capítulo II

Infracciones y Sanciones

Artículo 25.- De las infracciones

Cuando la EPS o la entidad que haga sus veces, verifique que se ha cometido alguna de las siguientes infracciones por parte de los Usuarios No Domésticos, las mismas que se clasifican en leves, graves y muy graves, estará facultada para imponer las sanciones previstas en el presente Reglamento, sin perjuicio de la aplicación de sanciones establecidas en otras leyes y reglamentos.

Artículo 26.- De las Infracciones leves

Se considerarán infracciones leves las siguientes:

a) La presentación extemporánea de la documentación solicitada por la EPS o la entidad que haga sus veces, excepto para el caso de la Declaración Jurada de Usuario No Doméstico.

b) La omisión de los actos a los que están obligados los Usuarios No Domésticos establecidos en el presente Reglamento, siempre que no estén considerados como infracciones graves o muy graves.

Artículo 27.- De las infracciones graves

Se considerarán infracciones graves las siguientes:

a) Efectuar descargas no permitidas al sistema de alcantarillado sanitario, de acuerdo a lo establecido en el artículo 10 del presente Reglamento.

b) La alteración de las características de la descarga de las aguas residuales no domésticas al sistema de alcantarillado sanitario que efectúe el Usuario No Doméstico, sin previo aviso, infringiendo lo establecido en el literal e) del artículo 5 del presente Reglamento.

c) Cometer dos (02) faltas leves, en un periodo de seis (06) meses.

d) No presentar los requisitos establecidos en el artículo 16 del presente Reglamento, o presentarlos fuera de los plazos establecidos en el artículo 17 del presente Reglamento.

Artículo 28.- De las infracciones muy graves

Se considerarán infracciones muy graves las siguientes:

a) La falsedad de la Declaración Jurada de Usuario No Doméstico presentada a la EPS o la entidad que haga sus veces.

b) La no presentación o presentación extemporánea de la Declaración Jurada de Usuario No Doméstico, en el plazo establecido.

c) Excederse en los VMA establecidos en el Anexo N° 2 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA.

d) No cumplir con efectuar el pago adicional por exceso de concentración de los VMA establecidos en el Anexo N° 1 del Decreto Supremo, por dos (02) periodos consecutivos o por dos (02) periodos no consecutivos en un periodo de cuatro (04) meses.

e) Cometer dos (02) faltas graves, en un periodo de seis (06) meses.



f) Incumplir las acciones previstas para los casos de emergencia, establecidas en el artículo 33 del presente Reglamento.

g) Retrasar y/o impedir, de cualquier forma, la toma de muestra o la toma de muestra inopinada por el laboratorio acreditado ante el INDECOPI.

h) Reponer el servicio de alcantarillado sanitario cerrado o habilitar una conexión clandestina para la descarga de las aguas residuales no domésticas.

Artículo 29.- De las sanciones

Para el caso de las EPS y PES, los procedimientos de sanciones serán establecidos por la SUNASS. Para los demás prestadores de servicios de saneamiento, se deberá tomar como referencia el procedimiento establecido por la SUNASS.

Capítulo III

Actualización de los Valores Máximos Admisibles

Artículo 30.- De la actualización y modificación de los Valores Máximos Admisibles

En caso que la EPS o la entidad que haga sus veces, verifique que algún parámetro especificado o no en los Anexos N° 1 y 2 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, afecte al sistema de alcantarillado sanitario o los sistemas de tratamiento de aguas residuales, deberán presentar una solicitud al MVCS adjuntando, al menos, lo siguiente:

a) Análisis de la caracterización de las aguas residuales no domésticas descargadas al sistema de alcantarillado sanitario.

b) Identificación de los problemas que la descarga ocasiona al sistema de alcantarillado sanitario y/o al sistema de tratamiento de aguas residuales.

c) Informe técnico que sustente el motivo por el cual debe de actualizarse y/o modificar el parámetro y/o su valor.

Capítulo IV

Denuncias

Artículo 31.- De la participación de otros usuarios

Todos los usuarios domésticos y no domésticos, podrán denunciar ante la EPS o la entidad que haga sus veces, los hechos, actos u omisiones que dañen el sistema de alcantarillado sanitario, de forma verbal o escrita, conteniendo lo siguiente:

a) Identificación completa de quién realiza la denuncia.

b) Identificación del Usuario No Doméstico que efectúa la descarga al sistema de alcantarillado sanitario.

c) Breve descripción del hecho, acto u omisión que se presume cometido.

Asimismo, podrá interponer las quejas y/o denuncias ante las instancias que considere necesarias.

TÍTULO VI

SITUACIÓN DE EMERGENCIAS

Artículo 32.- De la situación de emergencia

Si bajo una situación de emergencia, por caso fortuito o fuerza mayor, se incumplieran alguno o algunos de los preceptos contenidos en el presente Reglamento, se deberá comunicar inmediatamente dicha situación por cualquier medio a la EPS o la entidad que haga sus veces.

Una vez producida la situación de emergencia, el Usuario No Doméstico utilizará todos los medios a su alcance para reducir al máximo los efectos de la descarga por situación de emergencia, en coordinación con la EPS o la entidad que haga sus veces.

Artículo 33.- Del procedimiento a seguir en caso de emergencia

33.1 En un plazo máximo de dos (02) días calendario de producido el hecho, el Usuario No Doméstico deberá informar por escrito a la EPS o la entidad que haga sus veces, la situación de emergencia, señalando su identificación y los siguientes datos: causas que originaron la situación, hora en que se produjo y duración del mismo, volumen y características de la descarga, medidas correctivas adoptadas, hora y forma en que se comunicó el suceso a la EPS o la entidad que haga sus veces.

33.2 La EPS o la entidad que haga sus veces, previa evaluación de la información remitida por el Usuario No Doméstico, en un plazo no mayor de dos (02) días calendario de recibido, podrá exonerar del cobro por el pago por exceso de concentración o de la suspensión del servicio de alcantarillado sanitario por las descargas de aguas residuales no domésticas que superen los VMA detallados en los Anexos N° 1 y 2 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, otorgándoles como máximo el plazo de tres (03) días calendario, contados desde la comunicación del pronunciamiento efectuado por la EPS o la entidad que haga sus veces, para reponer su sistema de tratamiento de aguas residuales cuando se ha producido un caso fortuito y/o cuando ocurra un evento por fuerza mayor.

33.3 Sin perjuicio de otras responsabilidades en que pudiera haber incurrido el Usuario No Doméstico, los costos en que las EPS o las entidades que hagan sus veces que incurran como producto de las acciones correctivas por las descargas accidentales, serán asumidas por el Usuario No Doméstico, de acuerdo al procedimiento establecido por la entidad reguladora.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES

Primera.- El presente Reglamento entrará en vigencia a los treinta (30) días calendario contados desde su publicación en el Diario Oficial El Peruano.

Segunda.- Corresponde a las entidades señaladas en el presente Reglamento, su difusión por los medios más adecuados para su conocimiento y aplicación, debiendo, además, ser publicado en la página web de cada institución.

Tercera.- Las EPS o las entidades que hagan sus veces, implementarán campañas y programas de difusión, a fin de que los Usuarios No Domésticos en el plazo establecido en la Segunda Disposición Complementaria Final del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, adecúen sus descargas a las disposiciones establecidas en el presente Reglamento.

Cuarta.- Las EPS o las entidades que hagan sus veces, deberán implementar actividades de capacitación y otras que considere pertinentes, al interior de su organización, durante el plazo de adecuación que tienen los Usuarios No Domésticos para la implementación de los VMA, de acuerdo a la Segunda Disposición Complementaria Final del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA.

Quinta.- La metodología para el pago adicional por exceso de concentración establecida por la SUNASS está referida a las EPS y PES. Para determinar la metodología de prestadores de servicios de saneamiento distintos a las EPS y PES, se podrá hacer uso referencial a aquélla.

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA TRANSITORIA

Única.- En un plazo no mayor de treinta (30) días calendario, contados desde la publicación del presente Reglamento en el Diario Oficial El Peruano, la SUNASS deberá aprobar la metodología para el cálculo de conceptos facturables, mecanismos de atención de reclamos, procedimiento para aplicación de sanciones, suspensión y reposición del servicio de alcantarillado sanitario, así como mecanismos y procedimientos para la supervisión, fiscalización y monitoreo, las cuales serán complementarias a lo establecido en el presente Reglamento.

ANEXO I
"DECLARACIÓN JURADA DE USUARIO NO DOMESTICO"
 (Ficha debe ser llenada por el usuario no doméstico)

Código de Usuario No Doméstico:

(Llenado por el prestador de servicios)

1. DATOS GENERALES.

A. Razón Social.

B. Actividad

C. Ubicación oficina administrativa

D. Ubicación Planta

E. Otra instalación

F. Representante Legal:

G. Nombre del propietario y/o arrendatario del predio:

H. Fecha de inicio de operación:

I. Número de CIUU

Descripción:

Descripción:

Descripción:

Descripción:

2. ACTIVIDAD QUE REALIZA

A. Indicar los meses de máxima y mínima producción.

Meses de máxima producción

Meses de mínima producción

B. Materia(s) Prima(s) Empleada(s) Principal(es)

Materia prima	Producto

3. ABASTECIMIENTO DE AGUA: (Marcar un aspa lo que corresponde)

A.

Tipo de fuente:

 Red pública

 Pozo de agua

 Otro (especificar)

Observaciones

 Consumos durante los últimos 12 meses en M³

1	
2	
3	
4	
5	
6	

7	
8	
9	
10	
11	
12	

5. DESCARGA DE LAS AGUAS RESIDUALES NO DOMESTICAS

A.

Ubicación de los puntos de descarga de las aguas residuales no domésticas al sistema de alcantarillado sanitario

Ubicación	
1	
2	
3	

Presentar un esquema general de la ubicación de estas descargas.

B.

Descripción del sistema de tratamiento de las aguas residuales no domésticas (indicar capacidad, insumos, tipo de procesos, eficiencias)

C.

Observaciones

6. DOCUMENTOS PRESENTADOS (Marque con una aspa los documentos que adjunta)

a.

Resultado de Análisis de laboratorio acreditado por INDECOPI del Anexo N° 1 y Anexo N° 2 del DS N° 021-2009-VIVIENDA

b.

Copia legalizada de la licencia de funcionamiento vigente de la empresa

c.

Copia legalizada de la vigencia de poder del representante legal

d.

Ficha registro unico de contribuyente-acreditación del inicio de actividades

e.

Copia de la factibilidad de servicios otorgado por la EPS o autorización de conexión del servicio de agua y saneamiento emitido por un prestador distinto de la EPS

Llenado por

Firma y sello de Representante Legal

Lugar y Fecha



ANEXO II
"ACTA DE TOMA DE MUESTRA INOPINADA"
(Ficha debe ser llenada por el prestador de servicio)

Código de Usuario No Doméstico:
<small>(Llenado por el prestador de servicios)</small>

1. DATOS GENERALES.

A. Razón Social.

--

B. Actividad

--

C. Ubicación oficina administrativa

Distrito:	Provincia:	Departamento:
-----------	------------	---------------

D. Ubicación Planta

Distrito:	Provincia:	Departamento:
-----------	------------	---------------

E. Otra instalación

Distrito:	Provincia:	Departamento:
-----------	------------	---------------

F. Número de CIUU

	Descripción:	
	Descripción:	
	Descripción:	
	Descripción:	

2. CARACTERÍSTICAS DE LA TOMA DE MUESTRA

Nombre del Laboratorio:	
Fecha:	
Hora:	
Responsable de toma de muestra:	

Anexo N° 1			
Parámetro	VMA	N° de muestras	Tipo de muestra
(DBO ₅)	500 mg/lit		
(DQO)	1000 mg/lit		
Sólidos Suspendedos Totales	500 mg/lit		
Aceites y Grasas	100 mg/lit		

Anexo N° 2			
Parámetro	VMA	N° de muestras	Tipo de muestra
Aluminio	10 mg/lit		
Arsénico	0.5 mg/lit		
Boro	4 mg/lit		
Cadmio	0.2 mg/lit		
Cianuro	1 mg/lit		
Cobre	3 mg/lit		
Cromo hexavalente	0.5 mg/lit		
Cromo total	10 mg/lit		
Manganeso	4 mg/lit		
Mercurio	0.02 mg/lit		
Níquel	4 mg/lit		
Plomo	0.5 mg/lit		
Sulfatos	500 mg/lit		
Sulfuros	5 mg/lit		
Zinc	10 mg/lit		
Nitrógeno Amoniacal (2)	80 mg/lit		
PH (2)	6-9		
Sólidos Sedimentables (2)	8.5 ml/l/h		
Temperatura (2)	<35 ° C		

(2) Estos parámetros, serán tomadas de muestras puntuales. El valor de los demás parámetros serán determinados a partir del análisis de una muestra compuesta.

Observaciones:

3. UBICACIÓN DEL DISPOSITIVO(S) PARA LA TOMA DE MUESTRA

	Ubicación
1	
2	
3	

Observaciones:

4. DOCUMENTOS QUE ACREDITEN LA TOMA DE MUESTRA

a.	
b.	
c.	
d.	

Firma Representante del Laboratorio

Firma del técnico/especialista del prestador de servicio de agua y saneamiento

Firma Usuario No Doméstico

Anexo N° 3

Procedimiento de evaluación de agentes coagulantes y floculantes por prueba “Test
de Jarras”

MA-MIN-004	PROCEDIMIENTO	VIG. DESDE: 05/01/2010
VERSIÓN: 003	EVALUACIÓN DE AGENTES COAGULANTES Y FLOCULANTES POR EL TEST DE JARRAS	PÁGINA : 1 de 3

1. PROPOSITO

Con este procedimiento evaluamos la acción de los agentes coagulantes y/o floculantes sobre pulpas, líquidos, y otros; en el objetivo de clarificar y/o realizar separación sólido/líquido. Además, este procedimiento permite optimizar el nivel de uso de estos reactivos.

2. EQUIPOS

- Equipo de prueba de Jarra (Jar Test de 6 vasos)
- Turbidímetro
- pH metro
- Vasos de precipitado
- Probeta graduada de 1000 ml
- Jeringas de 5, 10 y 20 cc
- Reactivos químicos: coagulantes y floculantes

MA-MIN-004	PROCEDIMIENTO	VIG. DESDE: 05/01/2010
VERSIÓN: 003	EVALUACIÓN DE AGENTES COAGULANTES Y FLOCULANTES POR EL TEST DE JARRAS	PÁGINA : 2 de 3

3. PROCEDIMIENTO

- a) Se mide el pH y la turbiedad de la muestra a analizar
- b) Se regula el pH si fuera necesario de las muestras de agua o pulpa, la regulación va depender del medio que se requiere hacer el ensayo, generalmente el medio apropiado es a pH neutro.
- c) Se vierte las muestras de agua (o pulpa) a analizar, en los vasos del equipo Jar Test. El volumen puede varias de 1 a 2 litros, esto depende de la cantidad de muestra de solución que se disponga y la cantidad de pruebas a realizar.
- d) Una vez vertidos las muestras de agua en los vasos del equipo de prueba de jarra se mantendrá un orden ascendente en las dosis de los químicos (ppm) con el fin de visualizar rápidamente el efecto de formación del floc en la etapa de coagulación - floculación.
- e) Se enciende el equipo y se procede a homogenizar cada una de las muestras contenidas en cada vaso.
- f) Regulando la velocidad de agitación a 300 rpm para la etapa de coagulación se procede a agregar el coagulante manteniendo la agitación por un tiempo de 1 minuto, luego se detiene la agitación para observar la formación del floc. Se escogerá la mejor dosis de coagulante donde se formó el floc de mayor tamaño.

MA-MIN-004	PROCEDIMIENTO	VIG. DESDE: 05/01/2010
	EVALUACIÓN DE AGENTES COAGULANTES Y FLOCULANTES POR EL TEST DE JARRAS	PÁGINA : 3 de 3
VERSIÓN: 003		

- g) Se procede a la etapa de floculación, para ello se regula la velocidad de agitación a 50 rpm manteniendo la agitación por un tiempo de 30 segundos, se detiene la agitación y se deja sedimentar por un tiempo de 5 min.
- h) Medir con el equipo turbidímetro la turbiedad de cada vaso del equipo de prueba de jarra.
- i) El vaso que presente la menor turbidez y se visualice la mayor aglomeración de los floc formados lográndose la sedimentación inmediata en fondo del vaso, será la mejor dosificación de floculante.

4. FUENTE

Procedimiento según manual del equipo Phipps & Bird.

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Fecha:	Fecha:	Fecha:

Anexo N° 4

Hoja de Datos de Seguridad del agente floculante Sedipur CF-305

Safety data sheet

Page: 1/6

BASF Safety data sheet according to 91/155/EEC

Date / Revised: 30.09.2004

Product: **Sedipur* CF 305**

Version: 1.0

(30066605/SDS_GEN_EU/EN)

Date of print 17.06.2005

1. Substance/preparation and company identification

Sedipur* CF 305

Use: flocculation agent

Company:

BASF Aktiengesellschaft
Regionale Geschäftseinheit Papierindustrie Europa
67056 Ludwigshafen, Deutschland
Telephone: +49-621-60-40277
E-mail address: ps-edp@basf-ag.de

Emergency information:

Fire brigade BASF Ludwigshafen
Telephone: +49-621-60-43333
Telefax number: +49-621-60-92664

2. Composition/information on ingredients

Chemical nature

polyacrylamide, cationic modified

3. Hazard identification

No particular hazards known.

4. First-aid measures

General advice:

Remove contaminated clothing.

If inhaled:

Keep patient calm, remove to fresh air.

BASF Safety data sheet according to 91/155/EEC
Date / Revised: 30.09.2004
Product: **Sedipur* CF 305**

Version: 1.0

(30066605/SDS_GEN_EU/EN)

Date of print 17.06.2005

On skin contact:
Wash thoroughly with soap and water.

On contact with eyes:
Wash affected eyes for at least 15 minutes under running water with eyelids held open.

On ingestion:
Rinse mouth and then drink plenty of water.

5. Fire-fighting measures

Suitable extinguishing media:
water, water spray, dry extinguishing media, foam, carbon dioxide

6. Accidental release measures

Personal precautions:
Avoid dust formation. Take appropriate protective measures.

Environmental precautions:
Do not empty into drains. Contain contaminated water/firefighting water.

Methods for cleaning up or taking up:
For large amounts: Do not spread product with water. Contain with dust binding material and dispose of. Pick up with suitable appliance and dispose of.

Additional information: High risk of slipping due to leakage/spillage of product.

7. Handling and storage

Handling

Ensure thorough ventilation of stores and work areas. Avoid contact with skin and eyes. Avoid dust formation. Processing machines must be fitted with local exhaust ventilation.

Protection against fire and explosion:
No special precautions necessary.

Storage

Further information on storage conditions: Keep container tightly closed and dry; store in a cool place.

Storage stability:
Storage temperature: 0 - 35 °C

8. Exposure controls and personal protection

Personal protective equipment

Respiratory protection:

Breathing protection if dusts are formed. Suitable respiratory protection for higher concentrations or long-term effect: Particle filter Type P2 or FFP2, (medium efficiency for solid and liquid particles e.g. EN143,149)

Hand protection:

Chemical resistant protective gloves (EN 374)
nitrile rubber (NBR) - 0.4 mm coating thickness

Supplementary note: The specifications are based on own tests, literature data and information of glove manufacturers or are derived from similar substances by analogy. Due to many conditions (e.g. temperature) it must be considered, that the practical usage of a chemical-protective glove in practice may be much shorter than the permeation time determined in accordance with EN 374.

Eye protection:

Safety glasses with side-shields (frame goggles) (EN 166)

Body protection:

Body protection must be chosen depending on activity and possible exposure, e.g. apron, protecting boots, chemical-protection suit (according to DIN-EN 465).

General safety and hygiene measures:

Handle in accordance with good industrial hygiene and safety practice. Do not breathe dust. Hands and/or face should be washed before breaks and at the end of the shift.

9. Physical and chemical properties

Form:	powder, granules
Colour:	white
Odour:	odourless
pH value:	2.5 - 4.5 (5 g/l)
Flash point:	Not applicable
Solubility in water:	miscible
Partitioning coefficient n-octanol/water (log Pow):	0.000

10. Stability and reactivity

Substances to avoid:
oxidizing agent

BASF Safety data sheet according to 91/155/EEC
Date / Revised: 30.09.2004
Product: **Sedipur* CF 305**

Version: 1.0

(30066605/SDS_GEN_EU/EN)

Date of print 17.06.2005

Hazardous reactions:
Dust explosion hazard.

Possible thermal decomposition products:
carbon monoxide, carbon dioxide, hydrogen chloride
nitrogen oxides

11. Toxicological information

LD50/oral/rat: > 5,000 mg/kg

by inhalation:
No mortality was observed.

dermal/rabbit:
No mortality was observed.

Primary skin irritation/rabbit: non-irritant

Primary irritations of the mucous membrane/rabbit: non-irritant

Sensitization:
no sensitizing effect

Further information:

Repeated oral uptake of the substance did not cause substance-related effects.

Additional information:

Feeding tests (2 years) have not led to any pathological changes in the test animals
The product has not been tested. The statement has been derived from products of a similar structure and composition.

12. Ecological information

Ecotoxicity

Toxicity to fish:
OECD Guide-line 203
Brachydanio rerio/LC50 (96 h): 10 - 100 mg/l

Aquatic invertebrates:
OECD Guideline 202, part 1
Daphnia magna (48 h): > 50 mg/l

Aquatic plants:

Due to the product characteristics the test is impossible.

BASF Safety data sheet according to 91/155/EEC
Date / Revised: 30.09.2004
Product: **Sedipur* CF 305**

Version: 1.0

(30066605/SDS_GEN_EU/EN)

Date of print 17.06.2005

Microorganisms/Effect on activated sludge:
DEV-L2
> 1,000 mg/l

Assessment of aquatic toxicity:
Acutely harmful for aquatic organisms.
The hydrolysis products are not acutely harmful to aquatic organisms.
Fish toxicity and aquatic toxicity are drastically reduced by rapid irreversible adsorption onto suspended and/or dissolved organic matter.

Persistence and degradability

Assessment: Elimination from water by precipitation or flocculation.

Information on Stability in Water (Hydrolysis)

degree of hydrolysis: > 70 % (28 d) (pH value > 6)
In contact with water the substance will hydrolyse rapidly.

Bioaccumulation potential

Accumulation in organisms is not to be expected.

Additional information

Other ecotoxicological advice:
Fish toxicity and aquatic toxicity are drastically reduced by rapid irreversible adsorption onto suspended and/or dissolved organic matter.
Do not release untreated into natural waters.

13. Disposal considerations

Must be dumped or incinerated in accordance with local regulations.

Contaminated packaging:
Packs that cannot be cleaned should be disposed of in the same manner as the contents.

14. Transport information

Not classified as hazardous under transport regulations (ADR RID ADNR IMDG/GGVSee ICAO/IATA)

BASF Safety data sheet according to 91/155/EEC
Date / Revised: 30.09.2004
Product: **Sedipur* CF 305**

Version: 1.0

(30066605/SDS_GEN_EU/EN)

Date of print 17.06.2005

15. Regulatory information

Regulations of the European union (Labelling) / National legislation/Regulations

Directive 1999/45/EEC ('Preparation Directive'):

The product does not require a hazard warning label in accordance with EC Directives.

Other regulations

The information fulfills the requirements of Directive 1999/45/EC concerning preparations and the associated requirements for 'safety data sheets'.

16. Other information

Recommended use: flocculation agent

Any other intended applications should be discussed with the manufacturer.

Vertical lines in the left hand margin indicate an amendment from the previous version.

The information contained herein is based on the present state of our knowledge and does not therefore guarantee certain properties. Recipients of our product must take responsibility for observing existing laws and regulations.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA



**EVALUACIÓN Y MEJORAS EN LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DE
UNA EMPRESA DE INSUMOS QUÍMICOS PARA LA
INDUSTRIA MINERA**

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO METALURGISTA**

PRESENTADO POR:
CARLOS ENRIQUE FERROA QUISPE

ASESOR:
ING. MARÍA FLOR SUAREZ SÁNCHEZ

LIMA – PERÚ

2013

DEDICATORIA

Con mucho Amor y Cariño a nuestro Padre y Creador JEHOVÁ DIOS Nuestro por regalarme un día más de vida y poder compartirla con mis seres más queridos.

A mis padres Eliseo y Rosa por su gran esfuerzo y dedicación a lo largo de toda sus vidas con el fin de sacar adelante a mis amados hermanos.

A mi amada Esposa Magnolia, “Mi gran ayuda idónea”, el regalo más precioso de mi amado DIOS.

A mis hijos que son la más grande Bendición que he recibido y motivo más que suficiente para seguir adelante.

RESUMEN

El presente informe abarca la evaluación y mejoras realizadas en un sistema de tratamiento de las aguas residuales industriales de una empresa productora de insumos químicos para industria minera y se divide en cuatro capítulos.

En el primer capítulo se describe los objetivos específicos y la justificación del presente informe; en el segundo capítulo se detalla la revisión teórica más importante y resaltante; en el tercer capítulo se detallan los resultados de las diferentes pruebas a nivel laboratorio ejecutado con la finalidad de determinar que agentes coagulantes y floculantes resultan ser más efectivos en el tratamiento de las aguas residuales industriales; en el cuarto capítulo se detallan los resultados de los ensayos a nivel industrial, los cambios y mejoras realizadas a la planta de tratamiento de aguas residuales industriales, en los resultados se incluye la calidad final del efluente que es descargado directamente a las alcantarillas, para ello se muestra la composición final de los elementos o contenidos monitoreados y luego se comparan con los estándares de calidad regulados bajo las normas legales vigentes.

Finalmente se hacen mención las conclusiones más importantes de este informe incluyendo la posibilidad de reutilizar el efluente final como agua para los inodoros.

ABSTRACT

This report covers the evaluation and improvements to a system of treatment of industrial wastewater performed by a manufacturer of chemical products for the mining industry and is divided into four chapters.

The first chapter describes the specific objectives and justification of this report, the second chapter sums up the most important theoretical review and prominent; the third chapter details the results of the different tests performed at the laboratory in order to determine that coagulation and flocculation agents are more effective in the treatment of industrial wastewater; the fourth chapter details the results of testing at industrial level, the changes and improvements to the treatment plant, regarding industrial wastewater. The results include the quality of the final effluent which is discharged directly to the sewers, for that it is shown the final composition or content elements monitored and then compared with current quality standards regulated under the laws in force.

Finally, it is mentioned of the most important conclusions of this report including the ability to reuse the final effluent as water for the toilets.

INDICE

	Pág.
INTRODUCCION	24
CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES	
1.1 Objetivo general	26
1.2 Justificación	26
CAPITULO II: REVISION TEORICA	
2.1 Aguas residuales	29
2.2 Fuentes de aguas residuales	30
2.3 Características de las aguas residuales	30
2.3.1 Características físicas	32
2.4 Contaminantes de importancia en las aguas residuales	40
2.4.1 Métodos analíticos	40
2.5 Tipos de aguas residuales industriales	42
2.6 Métodos de tratamiento de aguas residuales	42
2.6.1 Pretratamientos y tratamientos primarios	43
2.6.1.1 Cribado	43
2.6.1.2 Sedimentación	44
2.6.1.3 Expresiones de velocidad de sedimentación	52
2.7 Método de coagulación y floculación	57
2.7.1 Proceso de Coagulación-Floculación	57

2.7.2	La Coagulación Química	58
2.7.3	La Floculación	64
2.7.4	Factores que influyen en el proceso de coagulación	65
2.7.5	Características de los coagulantes	67
2.7.6	Principales productos coagulantes	68
2.7.7	Coadyuvantes	74
	2.7.7.1 Coadyuvantes inorgánicos	75
	2.7.7.2 Coadyuvantes orgánicos	76
2.8	Legislación ambiental referente a el vertido de efluentes residuales industriales	76
2.8.1	Consideraciones generales	76
2.8.2	Valores máximos admisibles	77

CAPITULO III: EVALUACIONES DE AGENTES FLOCULANTES Y COAGULANTES A NIVEL LABORATORIO

3.1	Ensayo de pruebas “Test de Jarras”	80
3.2	Evaluación de productos alternativos - Nivel Laboratorio	80
3.3	Resultados de los ensayos a Nivel Laboratorio	81
	3.3.1 Evaluaciones preliminares: efecto del AF-205 y el $Al_2(SO_4)_3$	81
	3.3.2 Evaluaciones de los floculantes AF-205, AF-400; AF-900 y el CF-305	86
	3.3.3 Evaluaciones de los reactivos MT-8834, MT-6506, $FeCl_3$ y el CF-305	96

3.3.4	Evaluaciones de los reactivos PAC100, M-1011, FeCl ₃ y el CF-305	103
-------	---	-----

CAPITULO IV: MEJORAS Y/O CAMBIOS EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

4.1	Evaluaciones en la planta de aguas residuales - Nivel Industrial	109
4.1.1	Curvas de turbidez vs tiempo de las muestras de aguas industriales	118
4.1.2	Consumos y dosificaciones de FeCl ₃ y CF-305 en las evaluaciones	121
4.2	Situación de la planta en estudio	121
4.2.1	Características del efluente tratado en los años 2007 y 2008	121
4.2.2	Características del sistema de tratamiento a considerar	123
4.3	Descripción de la planta de tratamiento	124
4.3.1	Tanque de homogenización	124
4.3.2	Tanque de mezcla rápida	125
4.3.3	Tanque de floculación	126
4.3.4	Sedimentador de placas paralelas	127
4.4	Cambios y recomendaciones realizados en la planta de tratamiento	127
4.4.1	Diagramas de flujo de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales	130
4.5	Comparación de los valores de los parámetros analizados respecto a la normatividad vigente entre los años 2008 y 2009	135

CONCLUSIONES	138
BIBLIOGRAFIA	141
ANEXOS	

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1 Presencia y distribución de las partículas disueltas, coloidales y suspendidas en el agua de acuerdo a su tamaño	34
Figura 2.2 Interrelación entre los sólidos presentes en el agua residual	36
Figura 2.3 Uso del Cono Imhoff para la determinación de los sólidos sedimentables	36
Figura 2.4 Rejas autolimpiantes empleadas en el tratamiento del agua residual	45
Figura 2.5 Tamiz de tambor rotatorio	45
Figura 2.6 Proceso de sedimentación por zonas en probetas	49
Figura 2.7 Curva de sedimentación por zonas en una probeta	50
Figura 2.8 Fuerzas actuantes en una partícula	52
Figura 2.9 Correlación entre el coeficiente de fricción para partículas esféricas y el número de Reynolds	56
Figura 2.10 Esquema de las fuerzas de interacción que actúan sobre una partícula en suspensión	61
Figura 2.11 Mecanismos de coagulación de partículas coloidales	62
Figura 2.12 Polielectrolitos no iónicos	73
Figura 2.13 Fuerzas actuantes en una partícula	74
Figura 2.14 Formación del flóculo	75
Figura 3.1 Con FeCl_3 al 1% a 1000 ppm (izq.) y $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ al 1% a 1000 ppm (der.)	83

Figura 3.2	En ambas jarras con AF-205 al 0.1% a 4 ppm	83
Figura 3.3	En ambas jarras con FeCl ₃ al 10% con 1500 ppm	84
Figura 3.4	Con AF-205 al 0.1 % con 4 ppm (izq.) y sin AF-205 (der.)	84
Figura 3.5	Con FeCl ₃ al 1% con 100 ppm (izq.) y 150 ppm (der.)	86
Figura 3.6	En ambas jarras con AF-205 (0.1%) con 5 ppm	86
Figura 3.7	Muestras iniciales del agua sin tratamiento previo	88
Figura 3.8	Con AF-900 (izq.) y con AF-205 (der.)	88
Figura 3.9	Muestras de las aguas residuales sin tratamiento previo	89
Figura 3.10	Con AF-205 (izq.) y con CF-305 (der.)	89
Figura 3.11	Muestras de aguas residuales antes de la evaluación	90
Figura 3.12	Con AF-900 (izq.) y con AF-205(der.)	90
Figura 3.13	Curvas de velocidad de sedimentación con los agentes floculantes evaluados	90
Figura 3.14	Línea de tendencia de la curva de velocidad de sedimentación del CF-305	91
Figura 3.15	Muestras de efluentes antes del tratamiento previo	92
Figura 3.16	Con CF-205 (izq.) y con AF-205 (der.)	92
Figura 3.17	Curvas de velocidad de sedimentación con los agentes floculantes evaluados	93
Figura 3.18	Curva de la velocidad de sedimentación del CF-305 y su línea de tendencia	93
Figura 3.19	Muestras de los efluentes residuales antes de la evaluación	94
Figura 3.20	Con AF-205 (izq.) y con CF-305 (der.)	94

Figura 3.21	Curvas de velocidad de sedimentación con los agentes flocculantes evaluados	95
Figura 3.22	Línea de tendencia de la curva de velocidad de sedimentación del AF-404	95
Figura 3.23	Resultado con MT-8834 y MT-6506 (prueba N° 01)	97
Figura 3.24	Resultado con FeCl ₃ y CF-305 (prueba N° 02)	97
Figura 3.25	Resultado con MT-8834 y MT-6506 (prueba N° 02)	97
Figura 3.26	Resultado con FeCl ₃ y CF-305 (prueba N° 03)	98
Figura 3.27	Resultado con MT-8834 y MT-6506 (prueba N° 03)	98
Figura 3.28	Curvas de velocidad de sedimentación con los agentes flocculantes evaluados	99
Figura 3.29	Tendencia lineal de la curva de velocidad de sedimentación del CF-305	99
Figura 3.30	Resultado con FeCl ₃ (300 ppm) y CF-305 (15 ppm)	101
Figura 3.31	Resultado con FeCl ₃ (260 ppm) y CF-305 (30 ppm)	101
Figura 3.32	Curvas de velocidad de sedimentación con el agente flocculante CF-305 a diferentes dosificaciones	101
Figura 3.33	Líneas de tendencia de la curvas de velocidad de sedimentación correspondiente al CF-305 a diferentes dosificaciones	102
Figura 3.34	A la izquierda se observa la muestra inicial sin reactivos, en el centro y a la derecha las muestras finales luego de evaluar los distintos reactivos	102

Figura 3.35	A la izquierda se observa la muestra inicial sin reactivos, las muestras finales luego de evaluar el FeCl_3 en el centro y CF-305 a la derecha	103
Figura 3.36	Resultado con PAC 100 (1200 ppm) y CF-305 (10 ppm)	105
Figura 3.37	Resultado con PAC 100 (1200 ppm) y M-1011(10 ppm)	105
Figura 3.38	Resultado con FeCl_3 (250 ppm) y CF-305 (10 ppm)	105
Figura 3.39	Resultado con FeCl_3 (250 ppm) y M-1011 (10 ppm)	105
Figura 3.40	Curvas de velocidades de sedimentación con los floculantes evaluados	106
Figura 3.41	Resultado con PAC 100 (680 ppm) y CF-305 (10 ppm)	107
Figura 3.42	Resultado con PAC 100 (680 ppm) y M-1011(10 ppm)	107
Figura 3.43	Resultado con FeCl_3 (100 ppm) y CF-305 (10 ppm)	108
Figura 3.44	Resultado con FeCl_3 (100 ppm) y M-1011 (10 ppm)	108
Figura 3.45	Curvas de velocidades de sedimentación con nuevas dosificaciones de los floculantes evaluados	108
Figura 4.1	Efluente luego del tratamiento	110
Figura 4.2	Antes (izquierda) después (derecha)	110
Figura 4.3	Efluente después del tratamiento	111
Figura 4.4	Inicio (izquierda) Final (derecha)	111
Figura 4.5	Efluente al finalizar el tratamiento	112
Figura 4.6	Vista del efluente luego del tratamiento	114
Figura 4.7	Efluente al término del tratamiento	116
Figura 4.8	Al inicio (izquierda) Finalizado (derecha)	116

Figura 4.9	Curva de turbidez vs tiempo de la evaluación N° 01	118
Figura 4.10	Curva de turbidez vs tiempo de la evaluación N° 02	118
Figura 4.11	Curva de turbidez vs tiempo de la evaluación N° 03	118
Figura 4.12	Curva de turbidez vs tiempo de la evaluación N° 04	119
Figura 4.13	Curva de turbidez vs tiempo de la evaluación N° 05	119
Figura 4.14	Curva de turbidez vs tiempo de la evaluación N° 06	119
Figura 4.15	Curva de turbidez vs tiempo de la evaluación N° 07	120
Figura 4.16	Vista del motor de la bomba de agitación en el tanque de homogenización	125
Figura 4.17	Vista del tanque de homogenización	125
Figura 4.18	Vista interna del tanque de mezcla rápida	126
Figura 4.19	Vista del tanque de floculación	126
Figura 4.20	Sedimentador de placas paralelas	127
Figura 4.21	Sistema Inicial de la planta	128
Figura 4.22	Sistema actual de la planta: disposición de las válvulas A y B	128
Figura 4.23	Sistema actual de la planta: disposición de las válvulas C y D	128
Figura 4.24	Modificaciones en el tanque de mezcla rápida	129
Figura 4.25	Cadena de arrastre de flóculos flotantes	130
Figura 4.26	Especificaciones de los principales equipos de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales (Sistema Original)	131
Figura 4.27	Diagrama de flujo de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales (Sistema Original)	132

Figura 4.28	Especificaciones de los principales equipos de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales (Sistema Modificado)	133
Figura 4.29	Diagrama de flujo de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales (Sistema Modificado)	134
Figura 4.30	Lodo colectado después del proceso de sedimentación	135
Figura 4.31	DBO vs tiempo	136
Figura 4.32	DQO vs tiempo	136

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1 Propiedades físicas y constituyentes químicos de las aguas residuales	31
Tabla 2.2 Constituyentes biológicos de las aguas residuales	32
Tabla 2.3 Contaminantes de importancia en las aguas residuales	41
Tabla 2.4 Tipos de sedimentación que intervienen en el tratamiento del agua residual	51
Tabla 2.5 Valores de b y n	57
Tabla 2.6 Valores que condicionan al ser sobrepasados por el usuario un pago establecido	78
Tabla 2.7 Valores Máximos Admisibles (1) que al ser sobrepasados condicionan al usuario la suspensión del servicio	79
Tabla 3.1 Información de los diferentes efluentes residuales industriales	81
Tabla 3.2 Resultados de tratamiento en planta del efluente con Acronal S400 SA (1)	82
Tabla 3.3 Resultados de evaluación en laboratorio del efluente con Acronal S400 SA (1)	82
Tabla 3.4 Dosificación de reactivos para el tratamiento del efluente con Acronal S400 SA (1)	82
Tabla 3.5 Resultados de tratamiento en planta del efluente con Acronal S400 SA (2)	83

Tabla 3.6	Resultados de evaluación en laboratorio del efluente con Acronal S400 SA (2)	84
Tabla 3.7	Dosificación de reactivos para el tratamiento del efluente Acronal S400 SA (2)	84
Tabla 3.8	Resultados de tratamiento en planta del efluente con Acronal S400 SA, Afranil MG y Ligante ET	85
Tabla 3.9	Resultados de evaluación en laboratorio del efluente con Acronal S400 SA, Afranil MG y Ligante ET	85
Tabla 3.10	Dosificación de reactivos para el tratamiento del efluente con Acronal S400 SA, Afranil MG y Ligante ET	85
Tabla 3.11	Información de los distintos efluentes residuales industriales	86
Tabla 3.12	Resultados de tratamiento en planta del efluente con Acronal 18D, Ligante Helizarin ET, Vinofan BA 610 SA, Sokalan PA 30	87
Tabla 3.13	Resultados de evaluación en laboratorio del efluente con Acronal 18D, Ligante Helizarin ET, Vinofan BA 610 SA, Sokalan PA 30	87
Tabla 3.14	Dosificación de reactivos para el tratamiento del efluente con Acronal 18D, Ligante Helizarin ET, Vinofan BA 610 SA, Sokalan PA 30	87
Tabla 3.15	Resultados de tratamiento en planta del efluente con Vinofan BA610, Acronal 18D	88

Tabla 3.16	Resultados de evaluación en laboratorio del efluente con Vinofan BA610, Acronal 18D	88
Tabla 3.17	Dosificación de reactivos para el tratamiento del efluente con Vinofan BA610, Acronal 18D	89
Tabla 3.18	Dosificaciones del coagulante FeCl ₃ y los diversos floculantes	90
Tabla 3.19	Resultados de tratamiento en planta del efluente con Vinofan BA739, Kieralon LH Jet B Conc	91
Tabla 3.20	Resultados de evaluación en laboratorio del efluente con Vinofan BA739, Kieralon LH Jet B Conc	91
Tabla 3.21	Dosificación de reactivos para el tratamiento del efluente con Vinofan BA739, Kieralon LH Jet B Conc	92
Tabla 3.22	Dosificaciones del coagulante FeCl ₃ y floculantes CF-305 y AF-205	92
Tabla 3.23	Resultados de tratamiento del efluente con Vinofan BA739 y Estireno	93
Tabla 3.24	Resultados de evaluación en laboratorio del efluente con Vinofan BA739 y Estireno	94
Tabla 3.25	Dosificación de reactivos para el tratamiento del efluente con Vinofan BA739 y Estireno	94
Tabla 3.26	Dosificaciones de los floculantes AF-205, AF-404, AF-900 y CF-305	95
Tabla 3.27	Información de las aguas residuales industriales de las evaluaciones siguientes	96

Tabla 3.28	Resultados de tratamiento del efluente con Acronal 18D (1)	96
Tabla 3.29	Dosificación de reactivos para el tratamiento del efluente con Acronal 18D (1)	96
Tabla 3.30	Resultados de tratamiento del efluente con Acronal 18D (2)	96
Tabla 3.31	Dosificación de reactivos para el tratamiento del efluente con Acronal 18D (2)	97
Tabla 3.32	Resultados de tratamiento del efluente con Acronal 18D (3)	97
Tabla 3.33	Dosificación de reactivos para el tratamiento del efluente con Acronal 18D (3)	97
Tabla 3.34	Dosificaciones de coagulantes MT-8834, FeCl ₃ y floculantes MT-6506 y CF-305	98
Tabla 3.35	Resultados de tratamiento del efluente con Acronal 296 y Basoplast 4118 (1)	99
Tabla 3.36	Dosificación de reactivos para el tratamiento del efluente con Acronal 296 y Basoplast 4118 (1)	100
Tabla 3.37	Resultados de tratamiento del efluente con Acronal 296 y Basoplast 4118 (2)	100
Tabla 3.38	Dosificación de reactivos para el tratamiento del efluente con Acronal 296 y Basoplast 4118 (2)	100
Tabla 3.39	Dosificaciones del FeCl ₃ y CF-305	101
Tabla 3.40	Información de las aguas residuales industriales para las evaluaciones en curso	103
Tabla 3.41	Resultados de tratamiento del efluente con Vinofan BA739	104

Tabla 3.42	Resultados de evaluación en laboratorio del efluente con Vinofan BA739	104
Tabla 3.43	Dosificación de reactivos para el tratamiento del efluente con Vinofan BA739	105
Tabla 3.44	Dosificaciones de los reactivos PAC 100, FeCl ₃ , CF-305 y M-1011	106
Tabla 3.45	Resultados de tratamiento del efluente con Styrofan BA803	106
Tabla 3.46	Resultados de evaluación en laboratorio del efluente con Styrofan BA803	107
Tabla 3.47	Dosificación de reactivos para el tratamiento del efluente con Styrofan BA803	107
Tabla 3.48	Nuevas dosificaciones de los reactivos PAC 100, FeCl ₃ , CF-305 y M-1011	108
Tabla 4.1	Información de las aguas residuales industriales antes de las pruebas	109
Tabla 4.2	Resultados de la evaluación del efluente con Basoplast 4118, Acetato de vinilo, Acido acrílico	110
Tabla 4.3	Resultados de la evaluación del efluente con Vinofan BA 610 (2)	111
Tabla 4.4	Resultados de la evaluación del efluente con Vinofan BA 610 (3)	112
Tabla 4.5	Resultados de la evaluación del efluente con Vinofan BA 610 -lavado del filtro Sweco	113

Tabla 4.6	Resultados de la evaluación del efluente con Vinofan BA 610 (5)	114
Tabla 4.7	Resultados de la evaluación del efluente con Acronal 296, Basoplast 4118	115
Tabla 4.8	Resultados de la evaluación del efluente con Acronal 296	116
Tabla 4.9	Datos de turbidez vs tiempo de las diversas muestras de aguas residuales industriales	117
Tabla 4.10	Dosificaciones y consumos de los agentes: Coagulante FeCl_3 y del floculante CF-305	122
Tabla 4.11	Resultados de los parámetros del efluente tratado	137

NOMENCLATURA

UNIDAD	SIMBOLO
Metro	m
Centímetro	cm
Milímetro	mm
Micras	μm
Tonelada métrica	T
Kilogramo	kg
Gramo	g
Día	d
Hora	h
Minuto	min
Segundo	s
Metro cúbico	m^3
Litro	l
Porcentaje	%
Caudal o flujo	m^3/h
Caudal o flujo	ml/min
Unidades Nefelométricas	NTU
Temperatura	$^{\circ}\text{C}$
Densidad	kg/m^3
Conductividad eléctrica	$\mu\text{mho}/\text{cm}$

UNIDAD	SIMBOLO
Concentración	g/l
Partes por millón	ppm
Sólidos sedimentables	mg/l/h
Demanda bioquímica de oxígeno	DBO
Demanda química de oxígeno	DQO