

t
333.7
ch61

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS
NATURALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE
RECURSOS NATURALES



**EVALUACION DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO FISICO-
QUIMICO DE LA PLANTA DE AGUAS RESIDUALES
DOMESTICAS DE UNION ANDINA DE CEMENTOS S.A.A.**

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

AUTOR:

Bach. LUCIA ALEJANDRA CHIRINOS CORNEJO

A handwritten signature in black ink, appearing to be "L. Chirinos", written over the printed name.

ASESOR:

Mg. MÁXIMO FIDEL BACA NEGLIA

A handwritten signature in black ink, appearing to be "M. Baca", written over the printed name.

Callao, 2014

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL

001-2014-JEDT-FIARN

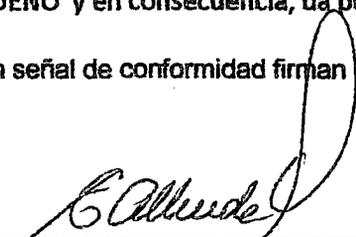
Siendo las 14:25 horas del día viernes 13 de junio de 2014, en el Auditorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales ubicado en la Av. Juan Pablo II N° 306, Bellavista-Callao, dando cumplimiento a la Resolución N° 042-2014-D-FIARN de fecha 30/05/2014 se da inicio a la Sustentación de la Tesis Titulada *"Evaluación del Sistema de Tratamiento Físico-Químico de la Planta de Aguas Residuales Domésticas de Unión Andina de Cementos S.A.A."*, para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales de la Bachiller Lucía Alejandra Chirinos Cornejo, contando con la asistencia del Jurado Evaluador conformado por:

MG. TEOFILO ALLENDE CCAHUANA	Presidente
ING. ABNER JOSUE VIGO ROLDAN	Secretario
ING. AMÉRICO CARLOS MILLA FIGUEROA	Vocal
MG. MÁXIMO FIDEL BACA NEGLIA	Asesor

Terminada la sustentación y luego de absolver satisfactoriamente a las preguntas, el Jurado Evaluador invita a la tesista y al público en general se retiren del ambiente para las deliberaciones del caso.

Acto seguido, el Jurado Evaluador acuerda: **APROBAR POR UNANIMIDAD**, con el Calificativo de BUENO y en consecuencia, da por terminado el acto de sustentación.

En señal de conformidad firman el Jurado Evaluador a las 15:20 horas del 13 de junio de 2014.



Mg. Teófilo Allende Ccahuana
Presidente



Ing. Abner Josué Vigo Roldán
Secretario



Ing. Américo Carlos Milla Figueroa
Vocal



Mg. Máximo Fidel Baca Neglia
Asesor

Dedico este trabajo a todas las personas que de una u otra manera me ayudaron en el camino y en especial a mi madre por haberme enseñado que las cosas se logran con esfuerzo, dedicación y sacrificio.

INDICE DEL CONTENIDO

	Pag.
RESUMEN	vi
ABSTRACT	viii
INTRODUCCION	ix
I: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	10
1.1. Descripción y análisis del problema	10
1.2. Planteamiento del problema	10
1.3. Objetivos de la Investigación	11
1.4. Justificación e importancia	11
a. Importancia	12
b. Justificación	12
c. Limitaciones	12
II: MARCO TEORICO	13
2.1.Ámbito de estudio	13
2.2.Marco Legal y Normativo aplicable	15
2.3.Antecedentes	18
2.4.Agua Residual	19
2.5.Constituyentes de las aguas residuales	20
2.5.1. Constituyentes de las aguas residuales que son removidos por Coagulación y Floculación	20
2.6.La Coagulación	25
2.6.1. Mecanismos de la Coagulación	26
2.6.2. Factores que influyen en la coagulación	28
2.6.3. Coagulación del color	32
2.6.4. Etapas o fases de la coagulación	32
2.6.5. Tipos de coagulación	32
2.7.La Floculación	33
2.7.1. Parámetros de la Floculación	33
2.7.2. Factores que influyen en la Floculación	34
2.7.3. Tipos de Floculación	34
2.8.Descripción del sistema de tratamiento de la Planta UNACEM	35
2.9.Definición de términos básicos	38

	Pag.
III: HIPOTESIS Y VARIABLES	40
3.1. Hipótesis General	40
3.2. Variables de Investigación	40
3.3. Operacionalización de las Variables	40
3.4. Definición Conceptual de las Variables	41
IV: MATERIALES Y METODOS	45
4.1. Materiales	45
4.2. Métodos	45
4.2.1. Procedimiento de recolección de datos	45
4.2.2. Procesamiento de la información	46
4.3. Metodología	47
4.3.1 Tipo de investigación	47
4.3.2 Control del proceso de Coagulación	47
4.3.3. Diseño de la Investigación	52
V: RESULTADOS	54
5.1. Medición del potencial de Hidrógeno (pH)	54
5.2. Remoción de la Turbiedad (Tb)	55
5.3. Aceites y Grasas	56
5.4. Remoción de DBO ₅	57
5.5. Remoción de DQO	58
5.6. Sólidos totales	59
5.7. Sólidos totales disueltos	60
5.8. Concentración de lodos	61
VI: DISCUSION DE RESULTADOS	62
6.1. Dosis y concentración óptima de Catalizadores	62
6.2. Potencial de Hidrógeno (pH)	66
6.3. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	66
6.4. Demanda Química de Oxígeno (DQO)	66
6.5. Aceites y Grasas	67
6.6. Sólidos Totales	67
6.7. Sólidos Totales Disueltos	67
6.8. Turbiedad (Tb)	68
6.9. Concentración de lodos	68

VII: CONCLUSIONES	Pag. 73
VIII: RECOMENDACIONES	75
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	77
APENDICE	79
ANEXOS	90

RESUMEN

La presente Tesis, titulada: **“EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO FÍSICO – QUÍMICO DE LA PLANTA DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DE UNIÓN ANDINA DE CEMENTO S.A.A”**., basa su desarrollo en la problemática que tiene UNACEM¹ con el tratamiento físico - químico de su PTAR², esto nos ha permitido demostrar que es posible la disminución en la dosificación de reactivos, a lo que llamamos “dosis óptima” obteniendo un mejoramiento y optimización del sistema, situación que planteamos como nuestro objetivo general.

Para demostrar la hipótesis de investigación, hubo necesidad de realizar varias Pruebas de Jarras (PJ) con el efluente recolectado en la PTAR – UNACEM, para finalmente encontrar la dosis óptima de reactivos (coagulante y floculante) a aplicar en el tratamiento físico – químico, lo que nos permitió mejorar la calidad del efluente y eficiencia en el funcionamiento, disminuyendo así los costos de operación y mantenimiento.

Durante las PJ se aplicaron los reactivos a distintas concentraciones, encontrando la dosis óptima de 3.5 mL/L del coagulante (MT-8834) al 5% y de 2 mL/L para el floculante (MT - 4285) al 0.05%. Teniendo ya la dosis, se repitieron las pruebas; cuyos resultados se analizaron en un laboratorio certificado.

La investigación realizada se basó en el tratamiento físico – químico, el cual se replicó a nivel de laboratorio, desarrollando el método científico que existen para depurar aguas, (los cuales llevamos a la práctica aplicando los métodos de investigación de campo). Esto concluyó en la obtención de un producto final, que en comparación con los valores paramétricos dados por: FAO/OMS³ y la ECA⁴, se demostró que aplicando las dosis óptimas de 3.5 mL/L de coagulante (MT-8834) al 5% y 2 mL/L para el floculante (MT - 4285) al 0.05%, se logra un efluente de calidad, aceptable para el riego de áreas verdes y el sistema contra incendio utilizado en la UNACEM.

1UNACEM: Unión Andina de Cementos S.A.A

2PTAR :Planta de tratamiento de aguas residuales

3FAO/OMS:Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

4ECA:Estándar de calidad Ambiental

Las PJ se realizaron en los laboratorios de la FIARN – UNAC⁵ con el equipo fabricado por alumnos de las asignaturas de “Instrumentación y Control de Procesos” y “Diseño de Plantas de Tratamiento”.

⁵FIARN – UNAC: Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales – Universidad Nacional de Callao.

ABSTRACT

This thesis, entitled "EVALUATION OF THE TREATMENT PHYSICAL - CHEMICAL PLANT WASTEWATER DOMESTIC ANDINA UNION OF CEMENT SAA ", bases its development on the problems that have UNACEM with the physical - chemical treatment of the PTAR . This allowed us to demonstrate that it is possible to reduce the dosage of reagents, which we call "optimal dose " obtaining an improvement and optimization of the system, we propose situation as our overall objective.

To prove the research hypothesis, there was need for multiple Jar Test (JT) with the effluent collected in the PTAR - UNACEM, to finally find the optimal dose of reagents (coagulant and flocculant) to apply in the physical - chemical treatment. This will allow us to improve effluent quality and operating efficiency, thus reducing operating costs and maintenance.

During PJ reagents at different concentrations were applied , obtaining optimal doses of 3.5 mL/L of coagulant (MT- 8834) to 5% and 2 mL/L for the flocculant (MT - 4285) 0.05% , and the dose given repeated tests , which have been analyzed by a certified laboratory .

The investigation was based on the physical - chemical treatment which was replicated in the laboratory, the scientists developed methods exist for purifying water, which we implement using the methods of field research. This led, in obtaining a final product, compared with the parameter values given by FAO / WHO and ACE showed that using the optimal dose of 3.5 mL/L of coagulant (MT- 8834) to 5% and 2 mL/L for flocculant (MT - 4285) to 0.05 % , high quality effluent for landscape irrigation and firefighting system is achieved.

The JT were performed in the laboratories of the FIARN - UNAC with equipment manufactured by students of the subjects of "Instrumentation and Process Control" and "Treatment Plant Design".

INTRODUCCIÓN

Con el presente trabajo de investigación queremos demostrar que el tratamiento físico - químico de las aguas residuales para su disposición final a la red sanitaria doméstica, es viable.

Hoy en día, en nuestro país, es una práctica obligatoria que las empresas deben cumplir con los Valores Máximos Admisibles (VMA) de sus efluentes tratados previos a su disposición final a la red de alcantarillado, en concordancia a las disposiciones legales vigentes, ajustando como en el caso que nos ocupa la dosis adecuada de los reactivos, a fin de optimizar el tratamiento en las plantas diseñadas para ello.

UNACEM S.A.A. posee una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales domésticas, la cual se implementó para reaprovechar los efluentes domésticos generados y así disminuir la extracción de agua de pozo. Este efluente tratado es destinado al riego de áreas verdes y sistema contra incendio.

Lo que se plantea en esta investigación es que el tratamiento que actualmente se lleva a cabo no es del 100% eficiente, encontrando que la cantidad y concentración dosificada de reactivos en (mL/L) - (coagulante y floculante) no es la adecuada, ocasionando una serie de inconvenientes en el tratamiento, y por ende significa aumento en los costos de operación y mantenimiento, y baja calidad del efluente tratado que no cumple con los VMA.

Para lograr nuestros objetivos, se realizaron varias pruebas de laboratorio, logrando así identificar la dosificación adecuada de reactivos (coagulante y floculante) para el efluente a tratar.

Definida ya la dosis óptima (mL/L) las cuales son de 3.5 mL/L de coagulante (MT-8834) al 5% y de 2 mL/L para el floculante (MT - 4285) al 0.05%, para el tratamiento físico - químico del efluente, se procedió a identificar las mejoras a aplicar en la planta de tratamiento para lograr el reaprovechamiento del 100% del efluente y la mejora de la calidad de este.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.Descripción y análisis del problema.-

El tratamiento de aguas residuales para su disposición final a la red sanitaria doméstica hoy en día es una práctica obligatoria que las empresas deben de cumplir, de modo que se cumpla con la disposiciones legales vigentes como es el caso del Decreto Supremo N° 021-2009 – VIVIENDA del 20.11.2009 y su Reglamento aprobado mediante el Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA del 22.05.2011, para ello se debe de adoptar o seleccionar el método de tratamiento más adecuado a fin de que las características finales del efluente tratado cumpla con esta disposición.

La selección del sistema de tratamiento obedece a las características del efluente y a la capacidad económica de la entidad, población, etc., a la que le resuelve el problema, pero el rendimiento de las mismas está ligado a su diseño y la selección de la tecnología, teniendo en cuenta además si se desea reutilizar el efluente tratado con fines de riego de áreas verdes.

El uso de tratamientos físico – químicos, los cuales son menos sensibles que los tratamientos biológicos a los cambios repentinos de la composición de las aguas residuales, son muy usados en la actualidad.

En este caso la eficiencia remocional podrá ser incrementada con la optimización de la dosis (mL/L) - (coagulante y floculante), mejorando la eficiencia del proceso y un ahorro económico que haga que la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, PTAR, sea suficientemente autosustentable por el tratamiento del total de efluentes y rehúso en el riego de áreas verdes, sistema contra incendios y de ser necesario en el proceso productivo como agua de uso industrial.

1.2.Planteamiento del problema.-

¿En qué medida la calidad del efluente, el uso eficiente de la infraestructura actual, la dosificación de reactivos y la optimización del costo de operación de la planta de tratamiento de aguas residuales generadas en las instalaciones de la empresa Unión Andina de Cementos S.A.A, al ser evaluadas, permitirán obtener un efluente que cumpla con los parámetros permitiendo su disposición final y/o reutilización para su

rehúso en el riego de áreas verdes, así como la disminución de los costos de operación y mantenimiento de esta?.

1.3.Objetivos de la investigación:

a. Objetivo General.-

Mejora y optimización del sistema de tratamiento físico – químico de la planta de tratamiento de aguas residuales.

b. Objetivos Específicos.-

- Determinación de dosis óptima de reactivos (mL/L) - (coagulante y floculante).
- Reaprovechamiento del 100% del efluente
- Mejoramiento de la calidad del efluente.

1.4.Justificación e Importancia.-

a. Importancia.-

El uso del agua tratada para el riego de áreas verdes y sistema contra incendios de la empresa UNACEM S.A.A, contribuye a la prolongación de la existencia del recurso hídrico actual (reducción de consumo de agua de pozo) y con ello el reaprovechamiento de las aguas residuales domésticas producidas, con un costo – beneficio ventajoso para la empresa.

b. Justificación.-

Las instalaciones de UNACEM S.A.A., tiene alta demanda por el consumo de agua para el riego de áreas verdes, sistema contra incendios, campamento y proceso productivo en las instalaciones de la empresa, por ello es que en el 2010 se inició la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, la cual empezó sus operaciones a finales del 2011.

- **Aspecto ambiental:** La implementación de este proyecto trajo consigo un importante beneficio sanitario y ambiental, al reducir la generación y descarga inadecuada de efluentes, así como también por mantener los niveles del acuífero al dejar de extraer 18000m³ de aguas subterránea de la zona de Las Palmas, creando un entorno ecológico saludable para la población colindante.

- **Aspecto económico:** Reducción de costos de sustracción de agua del acuífero y ahorro por disposición de efluentes en las redes públicas de alcantarillado.
- **Aspecto Legal:** Cumplimiento de la normatividad ambiental vigente para las aguas residuales domésticas tratadas, previas a su disposición final, así como también con el PAMA en la que se contempla la implementación de dicha planta.
- **Aspecto Social:** Mejorar los hábitos de consumo de agua potable en la empresa y campamento.

A principios del 2012 empezó a incrementarse el consumo de reactivos, costo por mantenimiento, disminución de la eficiencia de la planta y la calidad del efluente.

Por ello se justifica la necesidad de realizar nuevas evaluaciones al tratamiento físico-químico, el mismo que forma parte de este trabajo de investigación que estamos realizando actualmente.

c. Limitaciones.-

- Acceso a los materiales y carencia de equipos necesarios para realizar las pruebas experimentales in-situ.
- Área limitada para la realización del proyecto.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. **Ámbito de estudio.-**

2.1.1. Ubicación.- La Planta de tratamiento de aguas residuales.- se ubica dentro de las instalaciones de UNACEM S.A.A. sede Atocongo, en el Distrito de Villa María del Triunfo, Provincia y Departamento de Lima.

El efluente tratado será utilizado para el sistema contra incendios, proceso productivo (opcional) y el riego de las áreas verdes, que crea un entorno ecológico en la zona inmediata al sistema de tratamiento.

El área de trabajo comprende una extensión aproximada de 2,5 Ha, que corresponde a la zona de construcción de la PTAR mediante una nueva red hasta la zona de las pozas de tratamiento, la red de bombeo hasta el reservorio, la red de descarga de emergencia y la electrificación del sistema.

2.1.2. Vías de Comunicación y/o acceso¹.- Unión Andina de Cementos S.A.A. – Atocongo (UNACEM S.A.A.), se encuentra ubicada en Av. Atocongo # 2440 en el distrito Villa María del Triunfo, provincia y departamento de Lima. El acceso a la Planta Industrial se realiza desde el norte por la Av. Pachacutec, Av. 26 de noviembre hasta llegar a las canteras e instalaciones de la empresa; y por el sur desde la carretera Panamericana Sur, Av. María Reiche y la Av. Lima hasta las instalaciones de la empresa.

El afluente de la PTAR proviene de las instalaciones que se encuentran dentro de la empresa, la cual comprende campamento, comedores y oficinas administrativas tanto de la empresa como de planta, este efluente es netamente doméstico.

2.1.3. Aspectos Climatológicos y Meteorológicos.-

a. Clima y Zonas de Vida.- La temperatura media máxima en los meses de verano oscila entre 25° y 30° C y en los meses de invierno fluctúa de 18°C a

¹Walsh Perú S.A. Ingeniero y Científicos Consultores. Estudio de Impacto Ambiental Modernización de la Planta Industrial Atocongo de Cementos Lima S.A. Perú, Enero, 2010.

22° C. El análisis de la precipitación indica que se trata del parámetro de mayor variabilidad, entre un mínimo anual promedio de 27 mm en Manchay Bajo a 250 mm en la estación Atocongo. Este promedio es atípico para el desierto, y refleja condiciones de abundante precipitación invernal de neblinas de las más densas lomas costeras. La humedad relativa más baja se presenta durante los meses de verano (91 a 96%), mientras que los valores más altos se registran entre los meses de julio a septiembre (99%).

El régimen de vientos en el litoral costero es bastante regular, su velocidad a lo largo del año es débil, salvo raras excepciones en que se presentan vientos de mediana a fuerte intensidad. Su dirección predominante a lo largo del año es de Sur a Norte.

En el área de estudio se han identificado tres zonas de vida, según el sistema de clasificación desarrollado por Leslie R. Holdridge. A continuación se describen las zonas de vida presentes en el área de estudio, sobre la base de lo establecido en la Guía Explicativa del Mapa Ecológico del Perú (INRENA, 1995).

- Desiertodesecado - Subtropical (dd-S)
- Desiertosuperárido - Subtropical (ds-S)

b. Geología.- La geología del área de operaciones de Cementos Lima se enmarca dentro de la geología regional de la costa central, la cual consta de estribaciones montañosas de la Cordillera Occidental y de planicies de piedemonte; asimismo estas unidades incluyen las formas litorales e islas, conos deyección y depósitos aluviales y eólicos. Las rocas que componen el área son de naturaleza intrusiva, volcánica y sedimentaria, de depósitos cuyas edades varían del Cretáceo medio al Cuaternario.

2.1.4. Suelo.- El suelo como componente ambiental constituye una variable sensible a las acciones naturales y antrópicas. Las acciones erosivas pueden deteriorarlo o hacerlo desaparecer en cortos períodos de tiempo, ocasionando daños al entorno ecológico. Asimismo, cuando se implementan proyectos y existen actividades antrópicas, en donde no se consideran adecuadas medidas de protección, éstas pueden acelerar el deterioro del recurso edáfico.

Cartográficamente, se identificaron: **consociaciones de suelos**, con una superficie de 1 347,07 ha., es decir el 31,40 %, **asociaciones de suelos** con 1 488,10 ha., o sea el 32,78 %. Hay una unidad **no edáfica** (no es suelo propiamente dicho), que tiene una superficie de 48,01 ha, es decir el 1,12% y **otras áreas** con 1 488,58 ha., es decir el 34,70%, las cuales ocupan la mayor superficie.

2.1.5. Hidrología.- La planta de UNACEM sede Atocongo se ubica en la cuenca baja del río Lurín, limita por el Norte con la cuenca del río Rímac, por el Sur con la cuenca del río Chilca, por el Este con la cuenca del río Mala y por el Oeste con el Océano Pacífico, forma parte del sistema hidrográfico del Pacífico, es uno de los más angostos, en la parte alta de la cuenca presenta quebradas escarpadas, abruptas y barrancos profundos, sus aguas provienen del desagüe de las lagunas formadas por la desglaciación de las cumbres, precipitaciones y puquiales.

La cuenca presenta una pendiente promedio de 7,6% en su curso medio, en la localidad de Manchay es de 5% y en la parte baja es de 1,1%. Se divide en cuenca “imbrífera” o “húmeda”, llamada así por encontrarse por encima de los 2 000 msnm con una superficie de 833 km², mientras la cuenca seca tiene una superficie de 812 km² comprendida entre los 2 000 msnm y el nivel del mar.

2.2. Marco Legal y normativo aplicable

- **Constitución Política del Perú (29 Diciembre de 1993).**- La constitución en su Capítulo II del Ambiente y los Recursos Naturales, señala:
Art. 2º.- Toda persona tiene derecho: a la paz, a la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida.
Art. 66º.- Los recursos naturales, renovables y no renovables, son patrimonio de la Nación. El Estado es soberano en su aprovechamiento.
Art. 67º.- El estado determina la política nacional del ambiente.
- **Ley N° 28611, Ley General del Ambiente (13 de Octubre del 2005).**-
Art. 1º.- La presente Ley es la norma ordenadora del marco normativo legal para la gestión ambiental en el Perú. Establece los principios y normas básicas para asegurar el efectivo ejercicio del derecho a un ambiente saludable, equilibrado y

adecuado para el pleno desarrollo de la vida, así como el cumplimiento del deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población y lograr el desarrollo sostenible del país.

Art. 5°.- La gestión del ambiente y de sus componentes, así como el ejercicio y la protección de los derechos que establece la presente ley, se sustentan en la integración equilibrada de los aspectos sociales, ambientales y económicos del desarrollo nacional, así como en la satisfacción de las necesidades de las actuales y futuras generaciones.

- **D.L. N° 1055, Decreto Legislativo que Modifica La Ley N° 28611, Ley General del Ambiente.-**

Art. 1°.- Modifíquense los artículos 32°, 42°, 43° y 51° de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en los siguientes términos:

Art. 32°.- Del Límite Máximo Permisible, El Límite Máximo Permisible – LMP, es la medida de la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su determinación corresponde al Ministerio del Ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Los criterios para la determinación de la supervisión y sanción serán establecidos por dicho Ministerio.

- **Ley N° 26842: Ley General de Salud (20 de Julio de 1997).-**

Art. 103°.- La protección del ambiente es responsabilidad del Estado y de las personas naturales y jurídicas, los que tienen la obligación de mantenerlo dentro de los estándares que, para preservar la salud de las personas, establece la Autoridad de Salud competente.

Art. 104°.- Toda persona natural o jurídica, está impedida de efectuar descargas de desechos o sustancias contaminantes en el agua, el aire o el suelo, sin haber adoptado las precauciones de depuración en la forma que señalan las normas sanitarias y de protección del ambiente.

- **D.S. 002-2008-MINAM, Aprueban Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (31 de julio de 2008).**- (Ver en Anexos Tablas N°2.1, 2.2 y 2.3).
Aprobación del Estándares de Calidad Ambiental Para Agua.
Aprobar los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua contenidos en el Anexo I del presente.
- **R.M. N° 026-ITINCI/DM Protocolo de Monitoreo de Efluentes Líquidos y Emisiones Atmosféricas. (23/02/2000).**-
La respectiva resolución ministerial contiene las pautas necesarias para la ejecución del monitoreo, procesamiento de los datos y elaboración de informes de monitoreo ambiental.
- **DS 003-2010 Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas o Municipales (PTAR), para el sector Vivienda.**- (Ver en Anexos Tabla N°2.6).
Decretan en su artículo 1° la Aprobación de Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de plantas de tratamiento de Agua Residuales Domésticas o Municipales (PTAR), los que en Anexo forman parte integrante del presente y que aplican en el ámbito nacional.
- **Reglamento Nacional de Edificaciones (DS N° 011-2006-VIVIENDA) y su modificatoria: modifican Norma Técnica OS.090 “Plantas de tratamiento de aguas residuales” (DS N° 022-2009-VIVIENDA).**-
 - El objetivo principal es normar el desarrollo de proyectos de tratamiento de aguas residuales en los niveles preliminar, básico y definitivo.
 - La presente norma está relacionada con las instalaciones que requiere una planta de tratamiento de aguas residuales municipales y los procesos que deben experimentar las aguas residuales antes de su descarga al cuerpo receptor o a su reutilización.
- **Recomendaciones de la OMS.**-(Ver en Anexos Tabla N°2.4)
 - Recomendaciones de la calidad microbiológica de agua recicladas para riego (OMS 1989).
 - Tratamiento recomendado por la OMS según criterios de calidad sanitaria en las aguas recicladas.

2.3. Antecedentes².- Unión Andina de Cementos S.A.A. (Antes Cementos Lima), empresa productora de cemento en el Perú, ubicada en la localidad de Atocongo distrito de Villa María del Triunfo, en el cono sur de Lima, y que para el desarrollo de sus actividades requiere de recursos como el agua subterránea de dos pozos ubicados en Las Palmas que se encuentran a 4,5 km aproximadamente de sus instalaciones y reservorios, lugar donde son impulsados mediante equipos de bombeo a los reservorios Cruz y Puquio, para su tratamiento previo mediante intercambio iónico y de cloración antes de ser distribuidas a sus instalaciones como agua de uso industrial y doméstico respectivamente.

El agua de uso industrial es empleada en los siguientes procesos:

- Sistema de enfriamiento de motores con red de recirculación de agua a través de un tanque industrial.
- Sistemas de enfriamiento de gases y partículas, que mejoran la captación de partículas en el Filtro de Mangas del Horno I y en el Electro filtro del enfriador del Horno II.
- Sistema de captación de polvo en el proceso de chancado primario de caliza, por medio de inyección de agua a través de toberas que nebulizan la zona.
- Enfriamiento de partículas de Clinker en fajas transportadoras a la salida del enfriador hacia las canchas de almacenamiento de Clinker.
- Regado de caminos y accesos.
- Regado de áreas verdes.
- Sistema contraincendios.

Los efluentes de esta agua industrial no son derivados de la red de desagüe por contar con un sistema de recirculación en el primer caso y porque el agua industrial se evapora al ambiente en los otros procesos. Por lo que no se tienen aguas residuales industriales.

El agua de uso doméstico es empleada en las oficinas, servicios sanitarios, comedor, campamento y estadio de la empresa, descargándose las aguas residuales domésticas a la red de alcantarillado público.

Unión Andina de Cemento S.A.A. (Antes Cementos Lima), consciente de que el agua es un elemento vital y escaso en la zona, vió por conveniente desarrollar un proyecto de implementación de una Planta de Tratamiento de Efluentes en sus instalaciones,

²Walsh Perú S.A. Ingeniero y Científicos Consultores. Estudio de Impacto Ambiental Modernización de la Planta Industrial Atocongo de Cementos Lima S.A. Perú, Enero, 2010.

dicho proyecto fue incluido en el Plan de Inversiones de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA) de su planta industrial desde el año 2002 y presentado al Ministerio de la Producción, proyecto concebido con la finalidad de captar, tratar y reusar el agua residual tratada en el mantenimiento de sus áreas verdes, sistema contra incendio, y en caso ser necesario en el proceso de producción como agua de uso industrial.

Previa a la construcción de la Planta de tratamiento existente se construyó un sistema de humedales piloto de flujo sub - superficial (SFS), este sistema de tratamiento proyectado tuvo una primera etapa de evaluación de pantanos artificiales por flujo superficial (FWS), sistema que se descartó por sus potenciales impactos sanitarios debido a que promueve la reproducción de insectos vectores como zancudos.

En e Agosto del 2008 el Ministerio de Producción aprueba la Actualización del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) del Sistema de Tratamiento de Efluentes de Cementos Lima S.A.; ahora Unión Andina de Cementos S.A.A.

En el mismo año 2008 se inicia la construcción del Sistema de Tratamiento de Efluentes a cargo de ARPL Tecnología Industrial S.A.C. (finalizando la construcción y poniéndose en operación en el año 2010.

a. Caracterización de las aguas residuales.- Se ha realizado un detallado estudio de la composición del efluente de origen doméstico, mediante muestreos puntuales y compuestos, durante todo el año 2005, durante las pruebas piloto, previas al diseño final que actualmente opera. (Ver en Anexo el Cuadro N° 2.1)

b. Caudales de Diseño.- El monitoreo de caudales del agua residual vertida al desagüe ha permitido evaluar su comportamiento horario típico y su tendencia, se ha podido determinar los caudales de diseño siguientes: Caudal máximo horario de 10.5 L/s (910 m³/d), Caudal mínimo horario de 3.0 L/s (260 m³/d).

2.4. Agua residual³.- El término **agua residual** define un tipo de agua que está contaminada con sustancias fecales y orina, procedentes de desechos orgánicos humanos o animales. Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación.

³http://es.wikipedia.org/wiki/Aguas_residuales

A las aguas residuales también se les llama **aguas servidas, fecales o cloacales**. Son residuales, habiendo sido usada el agua, constituyen un residuo, algo que no sirve para el usuario directo; y cloacales porque son transportadas mediante cloacas (del latín *cloaca*, alcantarilla), nombre que se le da habitualmente al colector. Algunos autores hacen una diferencia entre aguas servidas y aguas residuales en el sentido que las primeras solo provendrían del uso doméstico y las segundas corresponderían a la mezcla de aguas domésticas e industriales. En todo caso, están constituidas por todas aquellas aguas que son conducidas por el alcantarillado e incluyen, a veces, las aguas de lluvia y las infiltraciones de agua del terreno. El intervalo normal para el pH se sitúa entre 6,5 y 8,5 y la presencia de agua residual industrial puede modificar el pH de forma significativa⁴.

El término **aguas negras** también es equivalente debido a la coloración oscura que presentan.

Todas las aguas naturales contienen cantidades variables de otras sustancias en concentraciones que varían de unos pocos mg/L en el agua de lluvia a cerca de 35 mg/L en el agua de mar. A esto hay que añadir, en las aguas residuales, las impurezas procedentes del proceso productor de desechos, que son los propiamente llamados vertidos. Las aguas residuales pueden estar contaminadas por desechos urbanos o bien proceder de los variados procesos industriales.

La composición y su tratamiento pueden diferir mucho de un caso a otro, por lo que en los residuos industriales es preferible la depuración en el origen del vertido que su depuración conjunta posterior.

2.5. Constituyentes de las aguas residuales⁵.- Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y biológica.(Ver en Anexos Tabla N° 2.5)

2.5.1. Constituyentes de las aguas residuales que son removidos por Coagulación- Floculación⁶.- Entre estos constituyentes se encuentran algunos de características tanto físicas como químicas.

⁴(METCALF & EDDY, INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES, Tercera Edición, Tomo 1, Editorial Mc Graw Hill 1997)

⁵ (PAG 54 METCALF & EDDY, INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES Tercera Edición, Tomo 1, Editorial Mc Graw Hill 1997)

⁶ (METCALF & EDDY, INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES, Tercera Edición, Tomo 1, Editorial Mc Graw Hill 1997)

En las **características físicas** el más importante es el contenido total de sólido (el cual está compuesto por materia flotante y materia en suspensión, en dispersión coloidal y en disolución) y el color.

En las **características químicas** tenemos nutrientes como el fósforo componente de materia inorgánica y la materia orgánica.

a. Características Físicas

- **Sólidos totales (mg/L).**- Analíticamente, el contenido de sólidos del agua residuales se define como toda la materia que queda como residuo de evaporación a 103 – 105 °C. Los sólidos totales o residuo de evaporación, pueden clasificarse como sólidos suspendidos o sólidos filtrables; la fracción de sólidos suspendidos incluye los sólidos sedimentables. Los sólidos sedimentables son una medida aproximada de la cantidad de fango que se eliminara mediante sedimentación.

La fracción de sólidos filtrables se compone de sólidos coloidales y disueltos. Los sólidos disueltos se componen de moléculas orgánicas e inorgánicas e iones que se encuentran presentes en disolución verdadera en el agua. La fracción coloidal no puede eliminarse por sedimentación. Por lo general, se requiere una coagulación u oxidación biológica seguida de sedimentación para eliminar estas partículas en suspensión.

A su vez, cada una de estas clases de sólidos puede clasificarse de nuevo con base en su volatilidad a 600°C. La fracción orgánica se oxidara y será expulsada como gas a dicha temperatura, permanenciando la fracción inorgánica como ceniza. Por tanto los términos “sólidos suspensión volátiles” y “sólidos suspendidos fijos” se refieren, respectivamente, al contenido orgánico e inorgánico (mineral) de los sólidos suspendidos.

- **La turbidez (Unidades Nefelométricas de turbiedad – NTU).**- Medida de la propiedad de transmisión de la luz del agua. Es otro ensayo utilizado para indicar la calidad de los vertidos de aguas residuales y aguas naturales con respecto a la materia coloidal. La material coloidal dispersa o absorbe la luz evitando así su transmisión.
- **Color.**-Históricamente, la palabra condición se utilizó junto con composición y concentración para describir el agua residual. La condición se refiere a la edad del agua residual y se determina cualitativamente por

su color y olor. El agua residual reciente suele ser gris; sin embargo, como quiera que los componentes son descompuestos por las bacterias, el oxígeno disuelto en el agua residual es séptica. Algunas residuales de tipo industrial añaden color al agua residual doméstica.

- **Fósforo (mg/L).**- Es un componente inorgánico de las aguas residuales y naturales que tiene importancia para el establecimiento y control de calidad del agua.

El fósforo es también esencial para el crecimiento de las algas y otros organismos biológicos. Debido a los crecimientos explosivos nocivos que tiene lugar en las aguas superficiales, existe mucho interés en la actualidad en controlar la cantidad de los compuestos de fósforo que entran en las aguas superficiales a través de los vertidos de aguas residuales industriales, domésticas y de las escorrentías naturales.

La forma más frecuente en que se encuentra el fósforo en soluciones acuosas son orto fosfato, poli fosfato y fosfato orgánico.

b. Características químicas.-

- **Materia orgánica.**- En un agua residual típica urbana de intensidad media, un 75% de los sólidos suspendidos y un 40% de los sólidos filtrables son de naturaleza orgánica. Proceden de los reinos animal y vegetal y de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos. Los compuestos orgánicos están formados generalmente por una combinación de carbono, hidrogeno y oxígeno, junto con nitrógeno en algunos casos. Otros elementos importantes tales como azufre, fosforo y hierro pueden hallarse también presentes. Los principales grupos de sustancias hallados en el agua residuales son proteínas (40 a 60%), carbohidratos (25 a 50%) y aceites y grasas (10%). La urea, principal constituyente de la orina, es otro importante compuesto orgánico del agua residual. En razón de la rapidez con que se descompone, la urea es muy raramente hallada en un agua residual que no sea muy reciente.

Junto con las proteínas, carbohidratos, aceites y grasas y la urea, el agua residual contiene pequeñas cantidades de un gran número de diferentes moléculas orgánicas sintéticas cuya estructura puede variar desde muy

simple hasta sumamente compleja. Por otro lado, el número de tales compuestos aumenta cada año al ir incrementándose la síntesis de moléculas orgánicas, La presencia de estas sustancias ha complicado en los últimos años el tratamiento de las aguas residuales, ya que muchas de ellas no pueden descomponerse biológicamente o bien lo hacen muy lentamente. Este factor justifica el creciente interés por el uso de la precipitación química seguida de la adsorción por carbón activo para el tratamiento completo del agua residual.

- Todas las **proteínas** contienen carbono, que es común a todas las sustancias orgánicas, así como oxígeno e hidrógeno. Además contiene, como característica que las distingue, una proporción bastante elevada y constante de nitrógeno de alrededor del 16%. En muchos casos, también son componentes el azufre, fósforo y hierro. La urea y las proteínas son las principales fuentes de nitrógeno en el agua residual; cuando este elemento se halle presente en grandes cantidades, es posible que se produzcan olores extremadamente desagradables debido a la descomposición.
- Los **carbohidratos** ampliamente distribuidos por la naturaleza, incluyen azúcares, almidones, celulosa y fibra de madera. Todos se encuentran en las aguas residuales. Contienen carbono, hidrógeno y oxígeno; los carbohidratos comunes contiene seis, o un múltiplo de seis átomos de carbono en una molécula, e hidrógeno y oxígeno en las proporciones en que estos elementos se encuentran en el agua. Algunos carbohidratos, especialmente los azúcares tiene predisposición a la descomposición. Los almidones, por su lado, son más estables pero se transforman en azúcares por la actividad microbiana así como por los ácidos minerales diluidos. Desde el punto de vista de volumen y resistencia a la descomposición, la celulosa es el carbohidrato más importante que se encuentra en el agua residual.
- Las **grasas** animales y **los aceites** son cualitativamente el tercer componente de los alimentos, que se hallan en el agua residual. Las grasas y aceites acceden al agua residual como mantequilla, manteca de cerdo, margarina, grasas y aceites vegetales. Las grasas se hallan corrientemente en las carnes, germen de los cereales, semillas, nueces y ciertas frutas.

Las grasas son uno de los compuestos orgánicos más estables y no se descomponen fácilmente por las bacterias. Sin embargo, los ácidos minerales las atacan, dando como resultado la formación de glicerina y ácido graso. En presencia de álcalis, tales como el hidróxido sódico, la glicerina se libera y se forman sales alcalinas de los ácidos grasos.

Estas sales alcalinas son conocidas como jabones y, como en el caso de las grasas, son estables. Los jabones comunes se hacen por saponificación de grasas con hidróxido sódico. Son solubles en agua; pero en presencia de los constituyentes de la dureza, las sales sódicas se transforman en sales cálcicas y magnéticas de ácidos grasos, también conocidas por jabones minerales, que son insolubles y precipitan.

El queroseno y los aceites lubricantes y los procedentes de materiales bituminosos usados en la construcción de carreteras se derivan del petróleo y alquitrán y mantienen principalmente carbono e hidrógeno. Estos aceites llegan a veces a alcantarillas en grandes volúmenes procedentes de tiendas, garajes y calles. En su mayoría flotan sobre el agua residual, aunque una parte de ellos es llevada al fango por los sólidos sedimentables. Incluso en mayor proporción que las grasas, aceites y jabones, los aceites minerales tienden a recubrir las superficies. Las partículas interfieren con la acción biológica y causan problemas de mantenimiento.

- Los **agentes tensoactivos**.- son grandes moléculas orgánicas, ligeramente solubles en agua y causan espumas en las plantas de tratamientos así como en las aguas a las que se vierten efluentes residuales. Durante la aireación del agua residual, estos compuestos se acumulan sobre la superficie de las burbujas de aire causando por ello una espuma muy estable.
- Los **pesticidas y productos químicos agrícolas**.- son tóxicos para gran número de formas de vida, y pueden llegar a ser peligrosos contaminantes de las aguas superficiales. Estos productos químicos no son constituyentes comunes de las aguas residuales si no suelen incorporarse fundamentalmente como consecuencia de la escorrentía de parques, campos agrícolas y tierras abandonadas.

2.6. La Coagulación⁷.- La coagulación es el proceso que consiste en la adición de sustancias químicas al agua, su distribución uniforme en ella y la formación de un *floc* fácilmente sedimentables. También se puede definir como el proceso por el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas con peso específico superior al del agua llamadas *floc*.

La coagulación prepara el agua para la sedimentación, incrementa grandemente la eficiencia de los sedimentadores y tiene como función principal desestabilizar, agregar y unir las sustancias coloidales presentes en el agua. El proceso remueve turbiedad, color, bacterias, algas y otros organismos planctónicos, fosfatos y sustancias productoras de olores y sabores. La coagulación es el proceso que se usa más ampliamente para remover las sustancias que generan turbiedad en el agua, las cuales son a menudo inorgánicas, mientras que las que causan olor, sabor o color son generalmente orgánicas. (Ver en Anexos la Figura N° 2.1).

El proceso de coagulación se usa principalmente para:

- a. Remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no puede sedimentar rápidamente.
- b. Remoción de color verdadero y aparente.
- c. Eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos.
- d. Destrucción de algas y plancton en general.
- e. Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor en algunos casos y de precipitados químicos suspendidos o en otros compuestos orgánicos.

El uso de cualquier otro proceso, como la sedimentación simple, para la remoción de las partículas muy finas, resulta antieconómico (si no imposible).

Hay que distinguir un aspecto fundamental en el proceso de coagulación del agua y otro posterior a este:

- a. La desestabilización de las partículas suspendidas, osea la remoción de las fuerzas que las mantienen separadas.
- b. El transporte de ellas dentro del líquido para que hagan contacto, generalmente estableciendo puentes entre si y formando una malla tridimensional de coágulos porosos.

Al primer aspecto los autores suelen referirse como **coagulación** y al segundo como a **floculación**.

7 (Arbolea valencia. J, "Teoría y práctica de la purificación del agua", ACODAL III Ed. McGraw Hill 2000)

La coagulación comienza en el mismo instante en el que se agregan los coagulantes al agua y dura solamente fracciones de segundo.

Básicamente consiste en una serie de reacciones químicas y físicas entre los coagulantes, la superficie de las partículas, la alcalinidad del agua y el agua misma.⁸

La floculación es el fenómeno por el cual las partículas ya desestabilizadas chocan unas con otras para formar coágulos mayores.

La coagulación es el tratamiento más eficaz, pero también es el que representa un gasto elevado cuando no está bien realizado. Es igualmente el método universal porque elimina una gran cantidad de sustancias de diversa naturaleza y de peso eliminados a menor costo en comparación con otros métodos.

El proceso de coagulación mal realizado también puede conducir a la degradación rápida de la calidad del agua y representa gastos de operación no justificados. Por lo tanto se considera que la dosis del coagulante condiciona el funcionamiento de las unidades de decantación y que es imposible de realizar una clarificación, si la cantidad de coagulante está mal ajustada.

2.6.1. Mecanismos de la coagulación.- La desestabilización se puede obtener por los mecanismos fisicoquímicos siguientes:

- a. **Compresión de la doble capa.-** Cuando se aproxima dos partículas semejantes, sus capas difusas interactúan y generan una fuerza de repulsión, cuyo potencial está en función de la distancia que los separa y cae rápidamente con el incremento de iones de carga opuesta al de las partículas, esto se consigue solo con los iones del coagulante. (Ver en Anexos la Figura N° 2.2). Existe por otro lado un potencial de atracción o fuerzas de atracción F_a , entre las partículas, llamadas fuerzas de Van der Walls, que dependen de los átomos que constituyen las partículas y de la densidad de estos últimos.

Si la distancia que separa a las partículas es superior a "L", entonces las partículas, no se atraen, E es la energía que los mantiene separados.

⁸ (Arboleda valencia, J, "Teoría y práctica de la purificación del agua", ACODAL III Ed. McGraw Hill 2000)

- b. Adsorción y neutralización de cargas.-** Las partículas coloidales poseen carga negativa en su superficie, estas cargas llamadas primarias atraen los iones positivos que se encuentran en solución dentro del agua y forman la primera capa adherida al coloide.

El potencial en la superficie del plano de cizallamiento es el potencial electro cinético – potencial ZETA; este potencial rige el desplazamiento de coloides y su interacción mutua.

Después de la teoría de la doble capa, la coagulación es considerada como la anulación del potencial obtenido por adición de productos de coagulación – floculación, en la que la fuerza natural de mezcla debido al movimiento browniano no es suficiente requiriéndose una energía complementaria necesaria; por ejemplo realizar la agitación mecánica o hidráulica.

Cuando se adiciona un exceso de coagulante al agua a tratar, se produce la re - estabilización de la carga de la partícula; esto se puede explicar debido a que el exceso de coagulante son absorbidos en la superficie de la partícula, produciendo una carga invertida a la carga original. (Ver en Anexos la Figura N° 2.3).

- c. Atrapamiento de partículas en un precipitado.-** Las partículas coloidales desestabilizadas se pueden atrapar dentro de un floc cuando se adiciona una cantidad suficiente de coagulantes, habitualmente sales de metales trivalentes como el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$, o Cloruro Férrico $FeCl_3$; el floc está formado de moléculas de $Al(OH)_3$ o de $Fe(OH)_3$. La presencia de ciertos aniones y de las partículas coloidales acelera la formación del precipitado. Las partículas coloidales juegan el rol de anillo durante la formación del floc; este fenómeno puede tener una relación inversa entre la turbiedad y la cantidad de coagulante requerida. En otras palabras, una concentración importante de partículas en suspensión puede requerir menor cantidad de coagulante. (Ver en Anexos la Figura N° 2.4).
- d. Adsorción y puente.-** En cualquier caso, se obtiene el tratamiento más económico utilizando un polímero aniónico, cuando las partículas están cargadas negativamente. Este fenómeno es explicado por la teoría del

“puente”. Las moléculas del polímero muy largas contienen grupos químicos que pueden adsorber las partículas coloidales. La molécula de polímero puede así adsorber una partícula coloidal en una de sus extremidades, mientras que los otros sitios son libres para adsorber otras partículas.

Por eso se dice que las moléculas de los polímeros forman el “puente” entre las partículas coloidales. Esto puede tener una re - estabilización de la suspensión, por una excesiva carga de polímeros. (Ver en Anexos la Figura N° 2.5).

2.6.2. Factores que influyen en la coagulación.- Es necesario tener en cuenta los siguientes factores con la finalidad de optimizar el proceso de coagulación:

- pH
- Turbiedad
- Sales disueltas
- Temperatura del agua
- Tipo de coagulante utilizado
- Condiciones de Mezcla
- Sistemas de aplicación de los coagulantes
- Tipos de mezcla y color

La interrelación entre cada uno de ellos permiten predecir cuales son las cantidades de los coagulantes a adicionar al agua.

a. Influencia del pH (Unidades de pH) .- El pH es una medida de la actividad del ion hidrógeno en una solución, y es igual a:

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$$

El pH es la variable más importante a tener en cuenta al momento de la coagulación, para cada agua existe un rango de pH óptimo para la cual la coagulación tiene lugar rápidamente, ello depende de la naturaleza de los iones y de la alcalinidad del agua.

El rango de pH es función del tipo de coagulante a ser utilizado y de la naturaleza del agua a tratar; si la coagulación se realiza fuera del rango de pH

óptimo entonces se debe aumentar la cantidad del coagulante; por lo tanto la dosis requerida es alta.

Para sales de aluminio el rango de pH para la coagulación es de 6.5 a 8.0 (unidades de pH) y para las sales de hierro, el rango de pH óptimo es de 5.5 a 8.5 (unidades de pH).

b. Influencia de las sales disueltas.- Las sales contenidas en el agua tienen influencia sobre la coagulación y floculación:

- Modificación del rango de pH óptimo.
- Modificación del tiempo requerido para la floculación.
- Modificación de la cantidad de coagulantes requeridos.
- Modificación de la cantidad residual del coagulante dentro del efluente.

c. Influencia de la Temperatura del agua.- La variación de 1°C en la temperatura del agua conduce a la formación de corrientes de densidad (variación de la densidad del agua); esto afecta a la energía cinética de las partículas en suspensión, por lo que la coagulación se hace más lenta; Temperaturas muy elevadas desfavorecen igualmente a la coagulación. Una disminución de la temperatura del agua en una unidad de decantación conlleva a un aumento de su viscosidad; esto explica las dificultades de la sedimentación de un floc.

d. Influencia de la dosis del coagulante.- La cantidad del coagulante a utilizar tiene influencia directa en la eficiencia de la coagulación, así:

- Poca cantidad del coagulante, no neutraliza totalmente la carga de la partícula, la formación de los microfloculos es muy escaso, por lo tanto la turbiedad residual es elevada.
- Alta cantidad de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula, conduce a la formación de gran cantidad de micro floculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación son muy bajas, por lo tanto la turbiedad residual es igualmente elevada.
- La selección del coagulante y la cantidad óptima de aplicación; se determina mediante los ensayos de PJ.
- La selección del coagulante y la dosis juegan un rol muy importante sobre:
 - ✓ La buena o mala calidad del agua clarificada.
 - ✓ El buen o mal funcionamiento de los decantadores.

e. Influencia de Mezcla.- El grado de agitación que se da a la masa de agua durante la adición del coagulante, determina si la coagulación es completa; turbulencias desiguales hacen que cierta porción de agua tenga mayor concentración de coagulantes y la otra parte tenga poco o casi nada; la agitación debe ser uniforme e intensa en toda la masa de agua, para asegurar que la mezcla entre el agua y el coagulante haya sido bien hecho y que se haya producido la reacción química de neutralización de cargas correspondiente.

En el transcurso de la coagulación y floculación, se procede a la mezcla de productos químicos en dos etapas. En la primera etapa, la mezcla es enérgica y de corta duración (60 seg., máx.) llamado mezcla rápida; esta mezcla tiene por objeto dispersar la totalidad del coagulante dentro del volumen del agua a tratar, y en la segunda etapa la mezcla es lenta y tiene por objeto desarrollar los microflóculos.

La mezcla rápida se efectúa para la inyección de productos químicos dentro de la zona de fuerte turbulencia. Una inadecuada mezcla rápida conlleva a un incremento en el uso de productos químicos.

Tipos de Mezcla.- Las unidades para producir la mezcla pueden ser:

- Mezcladores Mecánicos
 - ✓ Retromezcladores (agitadores)

El gradiente de velocidad en un mezclador mecánico no varía con el caudal, tiene la ventaja adicional de controlar el grado de agitación, haciendo variar la velocidad de rotación del impulsor; sin embargo tiene la limitante de depender de la energía externa que una falla hace que el proceso de mezcla se perjudique.
- Mezcladores Hidráulicos
 - ✓ Resalto hidráulico:
 - ✓ Canaleta Parshall
 - ✓ Vertedero rectangular
 - ✓ En línea: Difusores (tuberías y Canales) inyectores, etc.

Los mezcladores hidráulicos se caracterizan por presentar poca flexibilidad a las variaciones de caudal, no depende de una energía

externa. Por lo general se utilizan como mezcladores rápidos las canaletas Parshall y vertederos.

f. Influencia de la turbiedad:

Turbiedad (Unidad Nefelométrica de Turbiedad – NTU).- Es una forma indirecta de medir la concentración de las partículas suspendidas en un líquido; mide el efecto de la dispersión que estas partículas presentan al paso de la luz. Es en función del número, tamaño y forma de partículas.

La turbiedad del agua superficial es gran parte debido a partículas de lodos de sílice de diámetros que varían entre 0,2 a 5 μm . La coagulación de estas partículas es muy fácil de realizar cuando el pH se mantiene dentro del rango óptimo. La variación de la concentración de las partículas permite hacer las siguientes predicciones:

- Para cada turbiedad existe una cantidad de coagulante, con el que se obtiene la turbiedad residual más baja, que corresponde a la dosis óptima.
- Cuando la turbiedad aumenta la cantidad de coagulante no es mucha debido a que la probabilidad de colisión entre las partículas es muy elevada; por lo que la coagulación se realiza con facilidad; por el contrario cuando la turbiedad es baja la coagulación se realiza muy difícilmente, y la cantidad del coagulante es igual o mayor que si la turbiedad fuese alta.
- Cuando la turbiedad es muy alta, conviene realizar una pre - sedimentación natural o forzada, en este caso con el empleo de un polímero aniónico. (En la Planta de la Atarjea, se realiza este último, en época de alta turbiedad).
- Es siempre más fácil coagular las aguas de baja turbiedad y aquellas contaminadas por desagües domésticos industriales, porque requieren mayor cantidad de coagulante que los no contaminados.

g. Sistemas de aplicación del coagulante.- Se considera que una reacción adecuada del coagulante con el agua se produce cuando:

- La dosis del coagulante que se adicione al agua es en forma constante y uniforme en la unidad de mezcla rápida, tal que el coagulante sea completamente dispersado y mezclado con el agua.

- El sistema de dosificación debe proporcionar un caudal constante y fácilmente regulable (Ver Figura N° 2.6). Esta condición se obtiene por medio de los equipos de dosificación, tanto para los coagulantes al estado sólido y estado líquido, que deben encontrarse calibrados y comprobados en la práctica por medio de las pruebas de aforamiento.

2.6.3. Coagulación del color.- En general el color de un agua es debido a la descomposición de la materia orgánica que contienen los humos de los suelos; esto depende de una gran variedad de compuestos orgánicos como las sustancias húmicas que son de masa molecular variada de 800 a 50000 gr/mol.

2.6.4. Etapas o fases de la coagulación⁹.- El proceso de coagulación se desarrolla en un tiempo muy corto (casi instantáneo), en el que se presenta las siguientes etapas. (Ver Figura N° 2.7).

- Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas en suspensión
- Formación de compuestos químicos poliméricos
- Adsorción de cadenas poliméricas por los coloides
- Adsorción mutua de coloides
- Acción de barrido

2.6.5. Tipos de Coagulación.- Se presenta dos tipos básicos de coagulación la coagulación por adsorción y la coagulación por barrido.

a. Coagulación por adsorción.- Se presenta cuando el agua presenta una alta concentración de partículas en estado coloidal. Cuando el coagulante es adicionado al agua turbia los productos solubles de los coagulantes son adsorbidas por los coloides y forman los flóculos en forma casi instantánea. (Ver en Anexos la Figura N° 2.8).

b. Coagulación por Barrido.- Este tipo de coagulación se presenta cuando el agua es clara (presenta baja turbiedad) y la cantidad de partículas coloides es pequeña; en este caso las partículas son atrapadas al producirse una

⁹ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química/"Diseño y Construcción de un Equipo de Prueba de jarras para la tratabilidad de aguas residuales" Autores: SUAREZ OQUENDO, Victor E; TRUJILLO VILLA, Diego F.

sobresaturación de precipitado de sulfato de aluminio o cloruro férrico. (Ver en Anexos la Figura N° 2.9).

2.7. La Floculación¹⁰.- La floculación consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad. Estos flóculos inicialmente pequeños, al juntarse crean aglomerados mayores que son capaces de sedimentar.

La floculación tiene relación con los fenómenos de transporte dentro del líquido para que las partículas hagan contacto. Esto implica la formación de puentes químicos entre partículas de modo que se forme una malla de coágulos, la cual sería tridimensional y poroso. Así se formará, mediante el crecimiento de particular coaguladas, un floc suficientemente grande y pesado como para sedimentar.

Mientras la coagulación se debe principalmente a una acción química, la floculación se origina y se realiza como consecuencia del transporte de partículas desestabilizadas dentro del agua.

La floculación tiene dos objetivos:

- Reunir los coloides desestabilizados para formar agrupaciones de partículas o flóculos con peso específico superior al del agua.
- Compactar los flóculos para disminuir su grado de hidratación y conseguir características adecuadas tales como mayor peso y buena consistencia para su fácil remoción.

2.7.1. Parámetros de la Floculación.- Los parámetros que caracterizan la floculación son los siguientes:

- Floculación Ortocinética (Se da por el grado de agitación proporcionada: Mecánica o Hidráulica).
- Gradiente de Velocidad (energía necesaria para producir la mezcla).
- Número de colisiones (choque entre microflóculos).
- Tiempo de retención (tiempo que permanece el agua en la unidad de floculación).
- Densidad y tamaño de floc.

¹⁰ Evaluación de plantas y desarrollo tecnológico. ING. ANDIA CARDENAS Y. Tratamiento de agua: Coagulación y Floculación. Lima, Abril 2000

- Volumen de lodos (los flóculos formados no deben sedimentar en las unidades de floculación).

2.7.2. Factores que influyen en la Floculación:

- a. Concentración y naturaleza de las partículas.-** La velocidad de formación del floc es proporcional a la concentración de partículas en el agua y del tamaño inicial de estas.
- b. Tiempo de retención.-** La velocidad de aglomeración de las partículas es proporcional al tiempo de retención. Debe estar lo más cerca posible al óptimo determinado por medio de ensayos de jarras.
- c. Gradiente de velocidad.-** Este factor es proporcional a la velocidad de aglomeración de las partículas. Existe un límite máximo de gradiente que no puede ser sobrepasado, para evitar el rompimiento del floc. El gradiente a través de las cámaras debe ser decreciente y no se deben tener cámaras intermedias con gradientes elevados.

2.7.3. Tipos de floculación¹¹.- Existen dos tipos por las cuales pueden ser producidas.

- a.** El movimiento browniano de las partículas del agua. La **floculación producida por este movimiento se denomina peri cinética**. Es demasiado lenta y por tanto no tiene interés práctico en el tratamiento de aguas aunque puede ser importante para explicar la denominación auto floculación.
- b.** El movimiento inducido del agua mediante suministro externo de energía. **Esta floculación se denomina ortocinética** y se debe a gradientes de velocidad originados por disipación de energía mecánica o hidráulica. En esta forma se consigue que las partículas se muevan con diferentes velocidades, lo cual aumenta su probabilidad de contacto. (Ver en Anexos la Figura N° 2.10).

Floculación: El floculante tiende un puente entre las partículas coloidales aglomeradas para formar flóculos más grandes fácilmente sedimentables.

¹¹ (CASAS REYES, JOSE VICENTE COAGULACION - FLOCULACION. Universidad Nacional de Colombia, Primera edición 1992.)

Puede suceder que los flóculos formados por la aglomeración de varios coloides no sean lo suficientemente grande como para sedimentar con la rapidez deseada, por lo que el empleo de un floculante es necesario para reunir en forma de red, formando puentes de una superficie a otra enlazando las partículas en aglomerados. (Ver en Anexos la Figura N° 2.10).

La floculación es favorecida por el mezclado lento que permite juntar poco a poco los flóculos; un mezclado demasiado intenso los rompe. La floculación no solo incrementa el tamaño de las partículas del flóculo, sino que también aumenta su peso. La floculación puede ser mejorada por la adición de un reactivo o ayudante de floculación.

2.8.Planta de Tratamiento de aguas residuales domesticas de Unión Andina de Cementos S.A.A. – Sede Atocongo¹². Descripción del sistema de la Planta de Tratamiento de aguas residuales domésticas. (Ver en Apéndice la Figura N° 1).

2.8.1.Cámara de Rejas.- Es una reja mecanizada de limpieza automática, con abertura de 20mm; la segunda unidad es una reja de limpieza manual con abertura de 6mm., adicionalmente lleva un trasportador de Tornillo sinfín.

La función de las rejas, es la de retener los sólidos de gran tamaño que dificultan el tratamiento del agua residual en las unidades posteriores. Cada reja está instalada en un canal diferente, los cuales se interconectan mediante compuertas removibles.

La operación de las rejas se realiza de manera alterna; la reja principal es la de limpieza automática, la reja alterna es la de limpieza manual. Periódicamente será necesario limpiar el canal donde está ubicada la reja mecanizada, y realizar las operaciones de mantenimiento, para ello se colocarán las compuertas de cierre y se desviará el flujo de desagüe hacia el canal que alberga la reja manual. Los sólidos separados son transportados a través de un tornillo sinfín, hacia una tolva de recolección, y deben ser dispuestos de manera adecuada en un punto de la PTAR destinado para tal fin. Se debe evitar su exposición al aire libre, debido a que generan olores desagradables e incentivan la proliferación de insectos. (Ver en Apéndice la Figura N° 2).

¹² Manual de Operación y Mantenimiento.ING, ROSA MIGLIO T. Planta de tratamiento de aguas residuales Cementos Lima Elaborado. Lima 2010.

2.8.2. Medidor de caudal tipo Parshall.- Es una unidad prefabricada de concreto, instalada en un canal ubicado a continuación de la cámara de rejas; su función es controlar el caudal de agua residual que ingresa a la planta de tratamiento.

Este caudal de ingreso es medido con un sensor de nivel ultrasónico, los datos son enviados a un computador, el cual muestra los valores de flujo instantáneo y totalizado. (Ver en Apéndice la Figura N° 3).

2.8.3. Tanque de regulación.- Está conformado por dos unidades instaladas en paralelo, cada unidad es un tanque de concreto que recibe de manera continua el flujo de desagüe que ingresa después de pasar por la cámara de rejas y el aforador. (Canaleta Parshall).

Debido a las variaciones de consumo, el caudal de desagüe varía en las diferentes horas del día, presentándose picos con valores máximos y mínimos. La función del tanque de regulación, es homogenizar el caudal que pasa a las siguientes unidades de tratamiento, permitiendo que se mantenga un caudal y una concentración de contaminantes promedio.

En este tanque se debe evitar la sedimentación de sólidos, por lo que han instalado agitadores mecánicos sumergibles en cada unidad, los cuales servirán para mantener en movimiento el agua residual, impidiendo la acumulación de sólidos en el fondo del tanque. El nivel de llenado y vaciado del tanque es controlado automáticamente con un sensor de nivel. Para impulsar el desagüe hacia la siguiente unidad de tratamiento, cada tanque cuenta con un equipo de bombeo. (Ver en Apéndice la Figura N° 4).

2.8.4. Sedimentador Laminar.- El sedimentado es de tipo laminar y permite separar los sólidos coloidales que se encuentran en suspensión, dejando parcialmente clarificada la descarga de efluentes.

En la PTAR se ha instalado un sedimentado de placas paralelas, con placas de PVC inclinadas que permiten la caída gravitacional de los sólidos, mientras que el agua fluye hacia la parte superior.

Para incrementar la eficiencia, lleva adicionalmente un tanque de mezcla rápida y floculación, con un sistema de mezclador y bomba de alimentación para la dosificación de los polímeros (coagulante y floculante). Su objetivo es aglomerar las partículas coloidales de pequeño tamaño y formar flóculos de mayor densidad, que puedan ser separados del agua más fácilmente.

Los sólidos presentes en el agua residual se asientan en la inclinación de las placas paralelas y caen hacia el fondo de una tolva formando lodo. El engrosamiento de los lodos se realiza en la tolva, debido a la compresión en la zona de reposo. (Ver en Apéndice la Figura N° 5).

2.8.5. Tanque de aireación.- Es un tanque de concreto instalado entre el sedimentador y las celdas de humedales, lleva al centro un aireador flotante que adiciona oxígeno al agua residual antes de su ingreso a la unidad de tratamiento biológico (humedal), esto permite hacer más eficiente el tratamiento. (Ver en Apéndice la Figura N° 6)

2.8.6. Celdas de tratamiento SFS - Humedales artificiales.- Son unidades de tratamiento biológico, encargadas de remover la materia orgánica y microorganismos patógenos presentes en el agua residual. La PTAR se ha instalado 6 celdas de humedales, que reciben el efluente proveniente de la cámara de aireación.

Los humedales tienen flujo sub-superficial (SFS), esto significa que el nivel de agua se mantiene debajo de la superficie del terreno (mínimo 5 cm), evitando la presencia de olores e insectos vectores. El agua fluye en forma horizontal a través de un lecho poroso (confitillo), y entre las raíces de la vegetación que cubre el humedal (paragüitas y achira); en ese medio se desarrollan conglomerados de microorganismos encargados de la depuración del agua residual.

Las celdas de humedal son independientes entre sí, y reciben un flujo de desagüe equivalente, el cual es repartido y controlado desde una cámara de partición ubicada inmediatamente después del tanque de aireación.

A la salida de cada celda, existen buzones de inspección, donde se han instalado codos de control del nivel de agua en el humedal. El máximo nivel de llenado se logra con el codo a 90°, esto se puede verificar con una rejilla colocada frente al codo. (Ver en Apéndice la Figura N° 7).

2.8.7. Tratamiento de lodos.- Esta unidad permite reducir la humedad y el volumen del lodo que se extrae del sedimentador laminar. En la PTAR se ha instalado un filtro Prensa de mando hidráulico, una bomba de alimentación de diafragma, un tanque de acondicionamiento de lodos, un mezclador eléctrico y un sistema de

polímero automático. El filtro está conformado por un conjunto de placas instaladas de forma paralela en un soporte de estructura metálica, las placas llevan una lona (membrana filtrante) a través de la cual debe hacerse pasar el lodo a presión, de manera de comprimirlo y reducirle el contenido de agua.(Ver en Apéndice la N°8).

2.8.8.Desinfección final.- La planta de tratamiento cuenta con un sistema de desinfección para la aplicación de cloro gaseoso. El cloro se aplica al agua residual que sale de las celdas del humedal, con el propósito de reducir la cantidad de microorganismos patógenos que quedan aún después del tratamiento.(Ver en Apéndice la Figura N° 9)

2.9. Definición de términos básicos

- **FAO/OMS.-** Organización de la Naciones Unidad para la Alimentación y la Agricultura
- **ECA.-** Estándar de Calidad Ambiental
- **UNACEM.-** Unión Andina de Cementos S.A.A.
- **FIARN – UNAC .-** Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales - Universidad Nacional del Callao
- **PTAR – UNACEM.-** Planta de tratamiento de aguas residuales - Unión andina de Cementos S.A.A.
- **Lodo.-** Los lodos son producido en las plantas de tratamiento de aguas residuales, durante su proceso, en las fases primaria, secundaria y terciaria, involucra una combinación de procesos físico, químico y biológico. En la fase primaria, se pueden separar del agua servida componentes fluctuantes, basura arrastrada por el flujo del agua servida y arena. Los lodos están formados por sustancias contaminantes y peligrosas para la salud, por ese motivo los lodos deben ser tratadas. Los lodos extraídos de los procesos de tratamiento de las aguas residuales domésticas e industriales tienen un contenido en sólido que varía entre el 0.25 y el 12% de su peso.
- **MT 8834.-** Coagulante utilizado en el proceso de coagulación en planta de tratamiento de aguas residuales de UNACEM.
- **MT4285.-** Floculante utilizado en el proceso de floculación, esto previo a la coagulación en planta de tratamiento de aguas residuales de UNACEM.

- **PJ:** Prueba de Jarras o Equipo de Prueba de Jarras

CAPITULO III

HIPOTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis General:

La optimización del proceso y la eficiencia en el uso de reactivos, permitirá obtener una mejor calidad del efluente y eficiencia en el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas disminuyendo costos de operación y mantenimiento.

3.2. Variables de Investigación

- **Variable Independiente:**

X = Sistema de Tratamiento Físico- Químico

- **Variables Dependientes:**

Y = Dosis óptima de catalizadores

Z = Operatividad de la planta de tratamiento

J = Eficiencia

3.3. Operacionalización de las Variables

a. Variable independiente,(X): Sistema de Tratamiento Físico- Químico

Caudal (m^3/s) X₁

Carga Superficial de Tratamiento ($m^3/m^2.d$) X₂

Período de tratamiento(h/d) X₃

b. Variable Dependiente (Y): Dosis óptima de catalizadores

Concentración de Solución catalítica (%Volumen o Peso) Y₁

Dosis de Solución catalítica(mg/L) Y₂

c. Variable Dependiente (Z):Operatividad de la planta de tratamiento

Concentración de lodos(mL/L/h) Z₁

Índice de filtrabilidad (Concentración de Lodos %) Z₂

d. Variable Dependiente (J): Eficiencia

Potencial Hidrogeno (Unidades de pH)	J ₁
Demanda Química de Oxígeno (DQO), (mg/L)	J ₂
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅), (mg/L)	J ₃
Aceites y Grasas (mg/L)	J ₄
Sólidos Totales (mg/L)	J ₅
Sólidos Disueltos (mg/L)	J ₆
Turbiedad(Unidades Nefelométricas de Turbiedad – NTU)	J ₇

3.4. Definición Conceptual de las Variables

3.4.1. Concentración de Solución Catalítica.-La concentración de la solución catalítica está estrechamente relacionada con el rango de pH en el que se mueve esta concentración. Dicha concentración está ligada a la dosis óptima que se obtendrá en la Prueba de Jarras (PJ).

3.4.2. Dosis Óptima de Solución Catalítica.- La dosis óptima de la solución catalítica se obtendrá realizando las Pruebas de Jarras (PJ) correspondientes, el procedimiento se detallara en los siguientes Capítulos.

3.4.3. Concentración de lodos.-La concentración de lodos puede ser determinada y expresada en función de un volumen (mL/L) o de un peso de mg/L. La prueba volumétrica requiere solamente de un cono de Imhoff y un vaso de plástico o vidrio según el tipo de agua analizada.

3.4.4. Potencial Hidrogeno (Unidad de pH).- Indica en número de la acidez o alcalinidad de una solución. Se representa en una escala de 0 a 14. El valor 7 corresponde al estado neutro, el valor cero al más ácido y el valor 14 al más alcalino.

3.4.5. Temperatura (°C).- Indica el estado térmico de una sustancia respecto de su capacidad de transmitir calor a su entorno.

3.4.6. Aceites y grasas (mg/L)¹³.-Son sustancias contenidas en el desagüe como resultado de las actividades que son desarrolladas en las actividades domesticas- Su eliminación en el tratamiento de un agua residual o efluente debe ser completa por que alteran los procesos aerobios y anaerobios, forman películas que impiden el desarrollo de la fotosíntesis y cubren los fondos de lechos de ríos y lagos degradando el ambiente.

3.4.7. Demanda Química de Oxígeno - DQO (mg/L).-La demanda química de oxígeno (DQO) determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua residual, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo.

3.4.8. Demanda Bioquímica del Oxígeno - DBO₅ (mg/L)¹⁴.-El parámetro de contaminación orgánica más ampliamente empleado, aplicable tanto a aguas residuales como a aguas superficiales. La determinación del mismo está relacionada con la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica.

3.4.9. Turbiedad (Unidad Nefelometrica de Turbiedad- NTU)¹⁵.-La turbiedad, como medida de las propiedades de transmisión de la luz de un agua, es otro parámetro que se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia orgánica coloidal y residual en suspensión. La medición de la turbiedad se lleva a cabo mediante la comparación entre la intensidad de la luz dispersada en la muestra y la intensidad registrada en una suspensión de referencia en las mismas condiciones.

¹³(Fuente: Medio Ambiente/ Problemas & Soluciones – Ing. Raymundo Carranza.)

¹⁴Ingeniería de aguas residuales. Volumen I: Tratamiento, Vertido y Reutilización. Metcalf& Eddy

¹⁵ Ingeniería de aguas residuales. Volumen 1: Tratamiento, vertido y reutilización. Metcalf& Eddy

3.4.10. Sólidos sedimentables (mg/L)¹⁶.- Los sólidos sedimentables son el grupo de sólidos cuyos tamaños de partículas corresponden a 10 micras, y se puede sedimentar. Son los sólidos más pesados que al tratarlos con elementos químicos, por el propio tratamiento sedimentan en el fondo del lugar de tratamiento de las aguas. Los sólidos sedimentables están formados por partículas más densas que el agua, que se mantienen dispersas dentro de ella en virtud de la fuerza de arrastre causada por el movimiento o turbulencia de la corriente. Por esta razón, sedimentan rápidamente por acción de la gravedad cuando la masa de agua se mantiene en reposo. La turbidez va en directa relación con los sólidos sedimentables en la muestra del agua.

3.4.11. Índice de Filtrabilidad (Concentración de lodos %).- El índice de filtrabilidad es una característica de los lodos que se generan en el tratamiento de los efluentes y está asociado a la densidad del lodo, volumen de humedad, y se evalúa para conocer cuán fácil se puede secar, para su disposición final.

Ivesha establecido un índice de filtrabilidad (F), (Sin dimensiones) para comparar la eficiencia de la filtración para diferentes materiales de la misma granulometría en función del estado de su superficie:

$$F = \frac{\Delta h}{Vxt} \times \frac{C}{C_o}$$

Donde:

- Δh : Pérdida de carga, en m de columna de agua, en el material filtrante al cabo del tiempo t.
- V: Velocidad de filtración en m/h.
- T: Duración de la filtrabilidad en horas.
- C: Parámetro de calidad de agua filtrada.
- C_o : Parámetro de calidad de agua a filtrar.

La relación C/C_o puede expresarse en diferentes unidades tales como turbiedad, materia orgánica, sólidos, etc.

¹⁶Fuente: <http://es.scribd.com/doc/50537314/13/SOLIDOS-SEDIMENTABLES> /Diccionario para el agua potable y residual. Ingeniería Sanitaria II Calidad de agua. Grupo I, 04/03/11)

Tabla N° 3.1.- Operacionalización de las variables

OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES				MÉTODO A EMPLEAR
VARIABLE	INDICADOR		INDICE	
Variable Independiente X:				
Sistema de Tratamiento Físico-Químico	Caudal	(X ₁)	(M ³ /s)	Sensor de Caudal
	Carga Superficial de Tratamiento	(X ₂)	Carga óptima M ³ /M ² .d	Velocidad de sedimentación Cronometro y Trazadores
	Periodo de tratamiento	(X ₃)	Periodo de tratamiento optimo(hrs/d)	
Variables Dependientes: Y,Z,J				
Dosis óptima de catalizadores (Y)	Concentración de Solución catalítica	(Y ₁)	(% Volumen o Peso)	Prueba de Jarra o Jar Test
	Dosis de Solución catalítica	(Y ₂)	Dosis optima (mg/L)	
Operatividad de la planta de tratamiento (Z)	Concentración de lodos	(Z ₁)	Concentración optima (mg/L)	Cono Inhoff
	Índice de filtrabilidad	(Z ₂)	Índice optimo (Concentración de lodos %)	
Eficiencia (J)	Potencial Hidrógeno (pH)	(J ₁)	Unidad de Ph	SMEWW. 21thEdition.2005.Part 4500-H-B. ElectrometricMethod.
	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	(J ₂)	mg/L	SM 5220D
	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	(J ₃)	mg/L	SM 5210 B
	Aceites y grasas.	(J ₄)	mg/L	EPA – Method 1664 Revison A; 1999, N-Hexane Extractable material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel Treated N-Hexane Extratable Material by Extraction and Gravimetry
	Sólidos totales suspendidos	(J ₅)	mg/L	SMEW DWri e2d1 t 180 °C s t Edition. Part 2540 B. Solids. Total Solids Dried at 103-105°C.
	Sólidos totales disueltos	(J ₆)	mg/L	SMEWW 21s t Edition. Part 2540 C Pág. 2-56 APHA-AWWA-WEF 2005, Total Dissolved
	Turbiedad	(J ₇)	NTU	ISO 7027:1999 “Water Quality. Determination of Turbidity”. SM 2130 B

*Las variables, indicadores, indice y métodos empleados en la Operacionalización de las variables.

CAPITULO IV

MATERIALES Y METODOS

4.1. Materiales.- Para la recolección de datos se ha utilizado diversos tipos de instrumentos y materiales, los cuales se detallan a continuación.

- Equipo de prueba de jarras (Equipo fabricado por los alumnos de las asignaturas de “Instrumentación y Control de Procesos” y “Diseño de Planta de Tratamiento”
- pHmetro – Marca HANNA
- Turbidímetro – Marca HANNA
- Bagueta
- Vasos de precipitados de 1000 ml
- Vasos de precipitados de 5 ml
- Pipeta de 10 ml
- Jeringas descartables de 10 ml
- Cono Imhoff
- Muestra de agua residual
- Guantes quirúrgicos desechables
- Lentes de laboratorio
- Mascarillas desechables
- 1 guardapolvo blanco
- 2 Galoneras de 5 galones c/u.
- Agua potable de la PTAR utilizada para la dilución de los reactivos en laboratorio
- Envases esterilizados para trasladar las muestras al laboratorio para ser analizadas.
- Envases esterilizados para el coagulante y floculante preparados.
- Balanza electrónica
- Paleta

4.2.Métodos.-

4.2.1. Procedimiento de recolección de datos

Las pruebas se realizaron en el transcurso de 5 meses (Mayo a Setiembre del 2013).Las muestras recolectadas en la PTAR fueron trasportadas al laboratorio de la Universidad Nacional del Callao, donde se realizaron las PJ(Prueba de

Jarras), dichas muestra ya ensayadas fueron recolectadas y llevadas a analizar a MINLAB (Ver en Anexos los resultados del laboratorio), dicho laboratorio tiene la certificación correspondiente a ley. Todos estos ensayos se realizaron con estricta adherencia al protocolo de monitoreo y preservación de muestras respectivo.

a. Actividades de Pre - Muestreo, Muestreo y Recolección de la muestra.

- Equipos e Instrumentos.- Cada equipo y cada instrumento que se utilizó se les dio el mantenimiento respectivo antes y después de las operaciones.
- Tipos de recipientes de Muestreo.- Los recipientes utilizados fueron de plástico, limpios y sellados.
- Volumen de Muestra.- Los volúmenes de muestra obtenidos eran de 5 galones en el punto de muestreo.
- Preservantes químicos y soluciones de calibración.- Las muestras tomadas para nuestros análisis no necesitaban ser preservadas debido a que se realizaban y eran entregadas al laboratorio horas después de los ensayos.
- Toma de Muestra.- Las muestras obtenidas fueron recolectadas de la canaleta Parshall, la cual se ubica antes de los tanques de regulación en la PTAR.
- Conservación y preservación de la muestra.- Una vez realizada la prueba, el agua era colocada en el frasco el cual se sellaba y se embalaba correctamente para ser llevadas al laboratorio y ser analizadas.
- El laboratorio con el que hemos trabajado en el transcurso de esta investigación fue MINLAB (Ver en Anexos los resultados), dicho laboratorio tiene la certificación correspondiente a ley.

4.2.2. Procesamiento de la información.-

Para el procesamiento de la información de los datos obtenidos se utilizó el Windows 7 – Excel, el cual nos ayudó a realizar los cuadros estadísticos y curvas de tendencias que se presentan en la tesis.

4.3. Metodología.-

4.3.1. Tipo de investigación.- El presente trabajo de investigación fue del tipo experimental, primero a nivel de laboratorio con las PJ en las que se sometieron las muestras de aguas en base a las variables planteadas, donde la variable independiente incidirá sobre la variable dependiente (manipulada), las que fueron medidas a través de sus indicadores, luego estos resultados fueron aplicados al Tratamiento Físico – Químico en la propia planta de Tratamiento de aguas residuales domésticas de UNACEM S.A.A. en la que la variable independiente hipotéticamente será una de las causas que generó el supuesto cambio en las variable dependientes en este caso sobre el efluente residual doméstico, lo que se evidenció al evaluar los valores de sus indicadores durante las observaciones realizadas al producto final.

4.3.2. Control del proceso de Coagulación.-

La coagulación del agua constituye el proceso básico que determina en gran parte las condiciones de operación de la planta de tratamiento. De esta depende casi por completo la mayor o menor eficiencia del proceso subsiguiente, por lo tanto, el cuidadoso control del proceso de coagulación, debe constituir una de las principales preocupaciones en la operación de plantas de tratamiento.¹⁷

a. Para el control del proceso de coagulación.-

Los ensayos más usados para el control del proceso de coagulación son: ensayo de jarras, pH, turbiedad, filtrabilidad, comparador de color y potencial zeta.¹⁸

b. Ensayo de Jarras y/o Prueba de Jarras (PJ).-

Ensayo de jarras es uno de los más importantes en el control del proceso de coagulación química de aguas. Se realiza, entre otros, con los siguientes propósitos:

- Selección del tipo de coagulación más efectivo.
- Determinación del pH óptimo de coagulación.
- Evaluación de la dosis óptima de coagulante.

¹⁷ Romero Rojas Jairo Alberto, "Calidad Del Agua", Escuela Colombiana de Ingeniería, 2000

¹⁸ Romero Rojas Jairo Alberto, "Calidad Del Agua", Escuela Colombiana de Ingeniería, 2000

- Determinación de la dosis de ayudas de coagulación (Floculantes).
- Determinación del orden más efectivo de adición de los diferentes productos químicos.
- Determinación de los niveles óptimos de mezcla, gradientes de velocidad y tiempos de mezcla.
- Evaluación de la necesidad de proveer floculación y sedimentación previa a la filtración o factibilidad de filtración directa.
- Este ensayo se ha usado ampliamente; sus resultados tienen gran aplicabilidad en el diseño y la operación real de las unidades de tratamiento, así como en la optimización de plantas existentes. El procedimiento requiere como datos previos mínimos los valores de pH, turbiedad, color y alcalinidad del agua cruda.¹⁹

c. Descripción del equipo de prueba de jarras utilizados.-

Para efectuar los ensayos de simulación de procesos, existen algunas variaciones en el equipo tradicional, que son descritas en la literatura. Aunque no es un requisito indispensable, estas pruebas, en la mayor parte de los casos, son realizadas en equipos comerciales, también fabricados empíricamente según las recomendaciones del CEPIS y otras instituciones.²⁰ (Ver en Anexo Figura N° 4.1).

Normalmente estos equipos constan de los siguientes elementos:

- Un agitador mecánico provisto con tres a seis paletas, capaz de operar a velocidades variables (de 0 a 100 revoluciones por minuto; actualmente pueden obtenerse equipos que operan con velocidades de hasta 400 revoluciones por minuto).
- Un iluminador de flóculos localizado en la base del agitador del equipo.
- Vasos de precipitado de 1 o 2 litros de capacidad, de cristal refractario.

¹⁹ Lidia de Vargas Ing. "criterios para la selección de los procesos y de los parámetros óptimos de las unidades. Cap. 11(WWW.CEPIS.OPS.OMS.ORG)

²⁰ Lidia de Vargas Ing. "criterios para la selección de los procesos y de los parámetros óptimos de las unidades. Cap. 11(WWW.CEPIS.OPS.OMS.ORG)

- Análisis de los componentes más importantes de la prueba.
- Sistema de dosificación.²¹

Las unidades de agitación múltiple usadas en las pruebas de coagulación deben ser equipadas con las facilidades necesarias para la adición de coagulantes químicos en forma rápida y simultánea a cada vaso o jarra. Este equipo es importante cuando una sola persona realiza la prueba.

d. Práctica usual recomendada para la adición de reactivos en las pruebas de jarras.-

La práctica usual de adicionar coagulantes a cada vaso mediante el uso de una pipeta graduada no puede ser desechada en forma radical, pero la velocidad de adición del reactivo químico es muy lenta y pueden presentarse diferencia considerable en el tiempo de adición y en la rapidez requerida para avanzar con la dosificación.

- Una manera simple de evitar estas dificultades es medir las cantidades de coagulante que se van a aplicar a cada jarra con una pipeta y verterlos en vasitos, de los cuales se succiona mediante jeringas hipodérmicas desechables, provistas de su aguja. Se llena cada jeringa con la dosis respectiva, se retira la aguja y se le coloca delante la jarra correspondiente, en un soporte de madera especialmente acondicionado que se instala en el puente superior del equipo, en el cual se han horadado de 6 a 12 agujeros en los que se colocan las jeringas hipodérmicas. Al momento de aplicar el coagulante, con el equipo funcionando y programado con los tiempos y gradientes adecuados, se aplasta una banda de madera que presiona los émbolos de todas las jeringas lo más rápido posible (máximo: 5 segundos). Esto permite la aplicación simultánea e instantánea en todas las jarras.
- Este equipo auxiliar permite que una sola persona ejecute toda la prueba. Si no se dispone de este equipo, se requiere de por lo menos tres personas

²¹ Lidia de Vargas Ing. "criterios para la selección de los procesos y de los parámetros óptimos de las unidades. Cap. 11(WWW.CEPIS.OPS.OMS.ORG)

para efectuar una aplicación correcta, considerando que cada persona aplica a dos jarras, una de ellas de la voz de indicando el tiempo de inicio de la prueba y la otra acciona el equipo. En general, se recomienda aplicar la dosis de coagulante muy cerca del agitador, con el equipo operando con el gradiente de mezcla y aplicando exactamente lo que se debe efectuar en el mezclador de la planta. Los equipos de pruebas de jarras automáticos que permiten velocidades de hasta 300 revoluciones por minuto, son ideales para efectuar simulación de procesos, y en ellos la bondad de los resultados depende mucho de la exactitud con la que se ejecuta la prueba.

- Utilizando estos equipos y estatores o deflectores en las jarras, se pueden obtener gradientes dentro del rango recomendable para mezcla rápida, con muchos tiempos tan breves como 5 segundos, al cabo de los cuales el equipo automáticamente cambia para el gradiente de floculación programado.

e. Sistemas de agitación²².-

- La variable que más importancia tiene en la prueba de jarras es la intensidad de agitación expresada como gradiente de movimiento del agua. Se utilizan paletas o rotores, accionados en forma mecánica o magnética, y pueden utilizarse una o más paletas.

f. Descripción de las jarras:

- Las jarras o vasos que se van a usar deben poder ser como dados en el aparato y tener 2000 ml de capacidad; en caso de no tenerse vasos de este tamaño, podría optarse por vasos de 1000 ml. Se debe evitar usar vasos más pequeños debido a la dificultad en la adición de pequeños volúmenes de coagulantes y ayudantes para obtener muestras satisfactorias del agua sedimentada. Podrían usarse botellas cuadradas, pero antes deben asegurarse las modificaciones producidas por cambio de secciones para el cálculo de gradientes.²³

²² Lidia de Vargas Ing. "criterios para la selección de los procesos y de los parámetros óptimos de las unidades. Cap. 11(WWW.CEPIS.OPS.OMS.ORG)

²³ Lidia de Vargas Ing. "criterios para la selección de los procesos y de los parámetros óptimos de las unidades. Cap. 11(WWW.CEPIS.OPS.OMS.ORG)

- En lo posible, debe evitarse el lavado de las jarras con detergentes, ya que muchos de estos tienen compuestos aniónicos que son fuertemente absorbidos por las paredes de las jarras de vidrio. Si estos no son completamente removidos, pueden afectar los resultados de las pruebas en forma significativa.
- **Iluminación:** para observar el flóculo formado en los vasos, es conveniente, aunque no esencial, una buena iluminación.
- Idealmente, los vasos deben estar provistos con una base blanca y una iluminación en ángulo recto a la dirección del observador; por ejemplo, arriba o debajo de los vasos (Ver en Anexos Figura N° 4.2). Se deben evitar fuentes de luz que generen mucho calor y con un efecto significativo en la coagulación y sedimentación, lo que ocasiona diferencias de temperaturas entre el modelo y la realidad. Ello redundara en la obtención de resultados erróneos.²⁴

g. Consideraciones generales para la ejecución de ensayos en la prueba de jarras.-

En los ensayos experimentales se imponen ciertos controles que sirven para evaluar los efectos producidos al variar el valor del parámetro que está siendo medido. Cuando los ensayos se efectúan con el equipo de prueba de jarras, se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Equipo usado para la prueba.
- Análisis de laboratorios requeridos.
- Dosis de coagulante.
- Concentración del coagulante.
- Sistema de adición de coagulante.
- Coagulante.
- Dosificación del ayudante de floculación.
- Sistema de adición del ayudante de floculación.

²⁴ Lidia de Vargas Ing. "criterios para la selección de los procesos y de los parámetros óptimos de las unidades. Cap. 11(WWW.CEPIS.OPS.OMS.ORG)

- Tiempo de duración y gradiente de velocidad de la mezcla rápida.
- Tiempo de duración y gradiente de velocidad de la mezcla lenta.
- Sistema de toma de muestra.

4.3.3. Diseño de la Investigación.-

a. **Descripción del equipo de Prueba de Jarras utilizadas.-** Para efectuar los ensayos de simulación de procesos, existen algunas consideraciones las cuales se han tomado en base a la literatura y la experiencia personal.

- **Mezcla rápida:** 1 a 2 min minutos, a velocidad de 100 a 75 rpm, la cual se aplica en la coagulación.
- **Mezcla lenta:** 10 a 15 minutos a velocidad de 50 rpm, la cual se aplica en la floculación.
- **Reposo:** 10 minutos a velocidad de 0 rpm, la cual se aplica en la sedimentación.

b. Cálculo del caudal de tratamiento(X_1)

Para esta investigación se sabe que el caudal a tratar es como se describe a continuación:

El diseño de la planta tiene una capacidad para un tratamiento de $300\text{m}^3/\text{d}$ a $500\text{m}^3/\text{d}$ dependiendo de la estación del año.

Para los cálculos de las cantidades más adelante presentadas tomaremos un promedio de caudal día de $400\text{m}^3/\text{d}$, lo cual equivale a $400000\text{L}/\text{d}$.

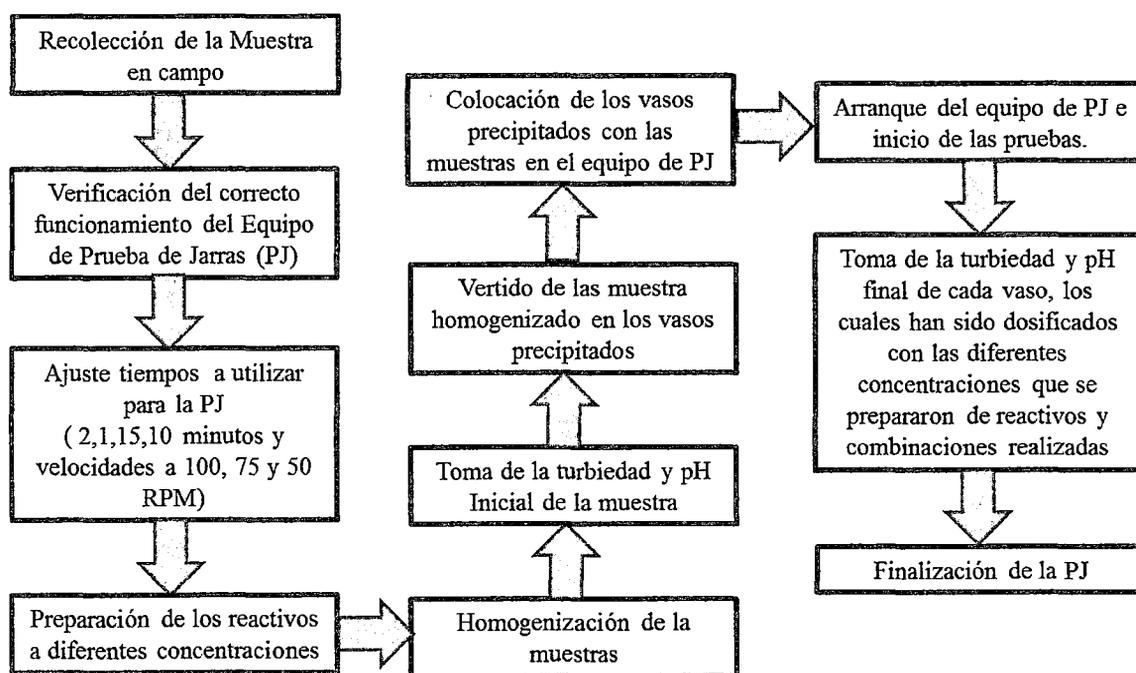
- **Etapa I: Dosis Óptima y Prueba de Jarras (PJ)**

Para encontrar la dosis óptima realizamos la prueba de jarras, cuyo procedimiento describiremos a continuación:

- a. Para comenzar verificamos que nuestro equipo de PJ este operativo, se programaron los tiempos de mezcla rápida y lenta: 2 min., 1 min., 10 y 15 minutos respectivamente. Se ajustaron las revoluciones del motor, esto se realiza manualmente y son de 100,75, 50 y 0 rpm.

- b. Paralelo a esto tomamos de la galonera de 5 galones de agua residual domestica obtenida horas antes de las prueba en la PTAR UNACEM S.A.A.
- c. De la galonera, que esta previamente homogenizada se toma una pequeña muestra para tomar los parámetros iniciales de pH y Turbiedad, luego llenamos los vasos precipitados con 1 L de muestra cada uno.
- d. Se toman 4 botellas estériles de 200 mL cada uno, donde se preparó coagulante al 75%, 50% y al 5% y se dejó una botella de coagulante puro el cual se encuentra al 100% y para el floculante se tomaron también 4 botellas estériles de 200 mL donde se preparó al 5%, 1% ,0.1% y a 0.05% respectivamente.
- e. Se agregaron en diferentes combinaciones de cantidades en mL y concentraciones preparadas previamente, esto se realizó en diferentes días y en múltiples pruebas, las cuales se pueden apreciar en el Apéndice,

Figura N°4.1: Pasos a seguir para la Prueba de Jarras



CAPITULO V

RESULTADOS

En este capítulo mostramos los resultados de las pruebas realizadas, así como las tablas y gráficos que corresponde en base a los resultados que se obtuvieron durante el periodo de pruebas. Recalcamos que estas pruebas se realizaron en las instalaciones de la planta de tratamiento de agua residual doméstica de UNACEM S.A.A. y en los laboratorios de la Universidad Nacional del Callao a lo largo de 5 meses (Mayo a Setiembre).

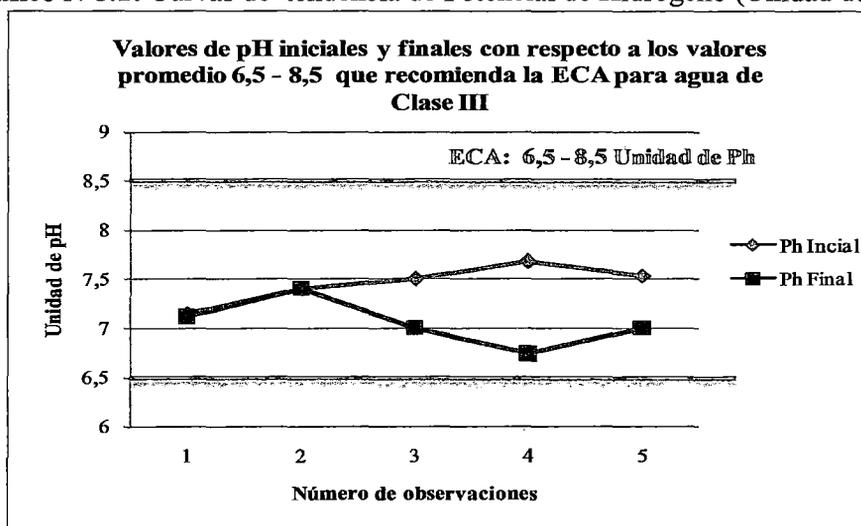
5.1. Medición del potencial de Hidrógeno (Unidad de pH).- Los resultados obtenidos durante las pruebas realizadas, se mantuvieron entre 6,7 y 7,4 unidad de pH, los cuales se encuentran dentro del Estándar de Calidad de Agua de Clase III (6,5 – 8,5 Unidad de pH). Los resultados se pueden apreciar a continuación, para su mayor comprensión.

Tabla N°5.1: Ensayos realizados – Potencial de Hidrógeno (pH)

Obs.	Hora de recolección de la muestra	Fecha de análisis	PH Inicial	PH Final	Limite (ECA)	Límite (LMP –DS 003-2010-VIVIENDA)
1	7:20 AM	16.04.13	7,15	7,11	6.5 - 8.5 Unidad de pH	
2	6:38 AM	31.05.13	7,4	7,4		
3	3:55 PM	10.06.13	7,5	7		
4	2:40 PM	14.08.13	7,68	6.74		
5	7:20 AM	17.08.13	7,54	7		

Fuente: Autoría Propia

Gráfico N°5.1: Curvas de tendencia de Potencial de Hidrógeno (Unidad de pH)



Fuente: Autoría Propia

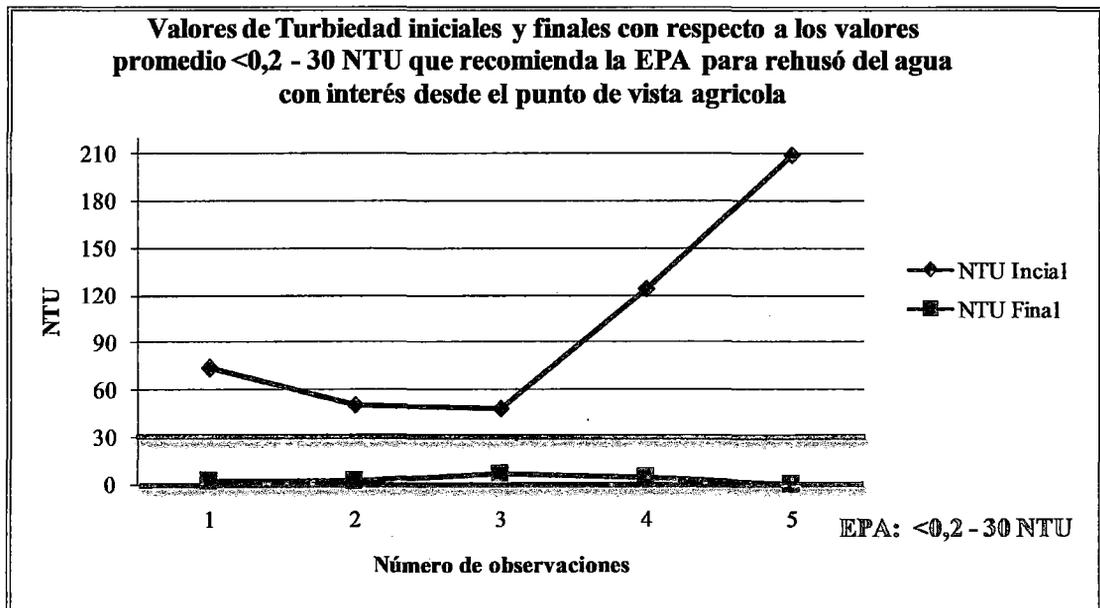
5.2. Remoción de la Turbiedad (Unidad Nefelométrica de Turbiedad - NTU).- Los resultados obtenidos durante las pruebas realizadas, nos arrojaron datos de entrada muy variados los cuales estuvieron en un rango de 47,9 a 209 NTU en el afluente y valores de 1,76 y 6,79 NTU en el efluente. Estos valores se encuentran dentro de los valores permisibles establecidos en la EPA para rehusó del agua con interés desde el punto de vista agrícola (<0,2 A 30 NTU). Los resultados se pueden apreciar a continuación, para su mayor comprensión.

Tabla N° 5.2: Ensayos realizados - Turbiedad (Unidad Nefelométrica de Turbiedad - NTU)

Obs.	Hora de recolección de la muestra	Fecha de análisis	NTU Inicial	NTU Final	Limite (EPA)
1	7:20 AM	16.04.13	73	1,94	<0,2 - 30 NTU
2	6:38 AM	31.05.13	50	1,76	
3	3:55 PM	10.06.13	47,9	6,79	
4	2:40 PM	14.08.13	124	3,67	
5	7:20 AM	17.08.13	209	5.71	

Fuente: Autoría Propia

Gráfico N° 5.2: Curva de tendencia de Turbiedad (Unidad Nefelométrica de Turbiedad - NTU)



Fuente: Autoría Propia

5.3. Aceites y Grasas (mg/L).- Los resultados obtenidos durante las pruebas realizadas, nos dieron como resultado del efluente valores en un rango de 2,6 – 7 mg/L de aceites y grasas.

Estos valores obtenidos no se encuentran dentro de los valores permisibles establecidos por el Estándar de Calidad de Agua de Clase III (1mg/L). Para lo cual construimos una tabla y curva en la que podemos ver los resultados.

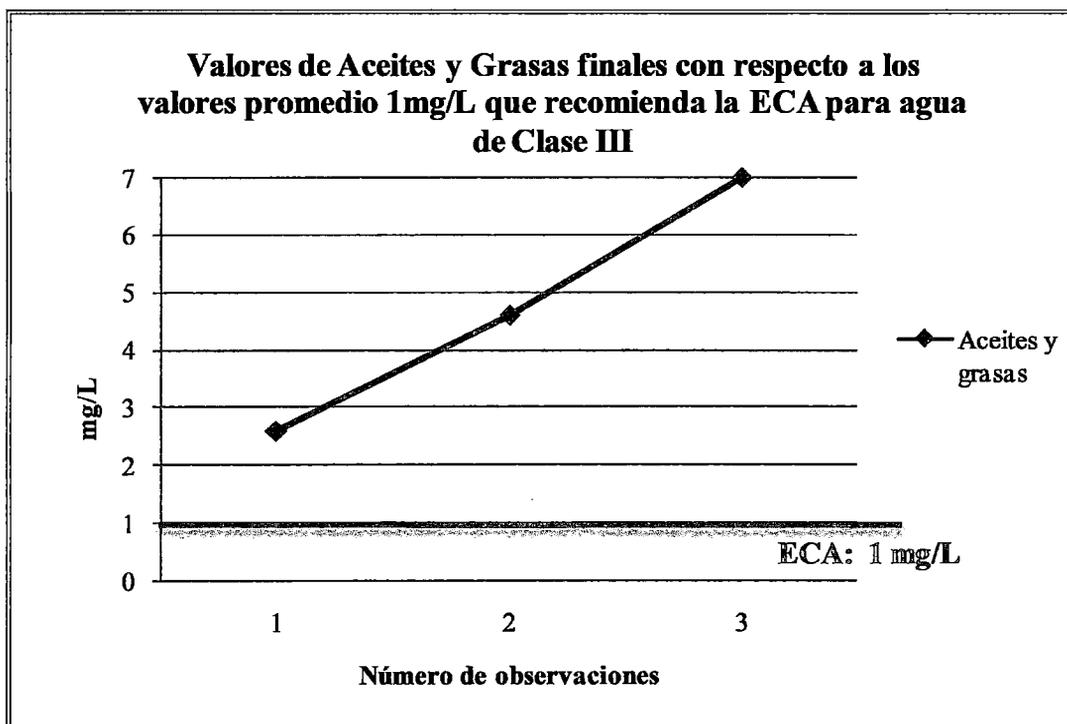
Los resultados se pueden apreciar a continuación, para su mayor comprensión.

Tabla N° 5.3: Ensayos realizados – Aceites y Grasas (mg/L)

Obs.	Hora de recolección de la muestra	Fecha de análisis	Aceites y grasas	Límite (ECA)	Límite (LMP-DS 003-2010-VIVIENDA)
1	3:55 PM	10.06.13	2.6	1 mg/L	20 mg/L
2	2:40 PM	14.08.13	4.6		
3	7:20 AM	17.08.13	7		

Fuente: Autoría Propia

Grafico N° 5.4: Curva de tendencia de Aceites y grasas (mg/L)



Fuente: Autoría Propia

5.4. Remoción de DBO₅ (mg/L).- Los resultados obtenidos durante las pruebas realizadas, nos dieron como resultado del efluente valores en un rango de 9 –13mg/L para la remoción de DBO₅ (mg/L).

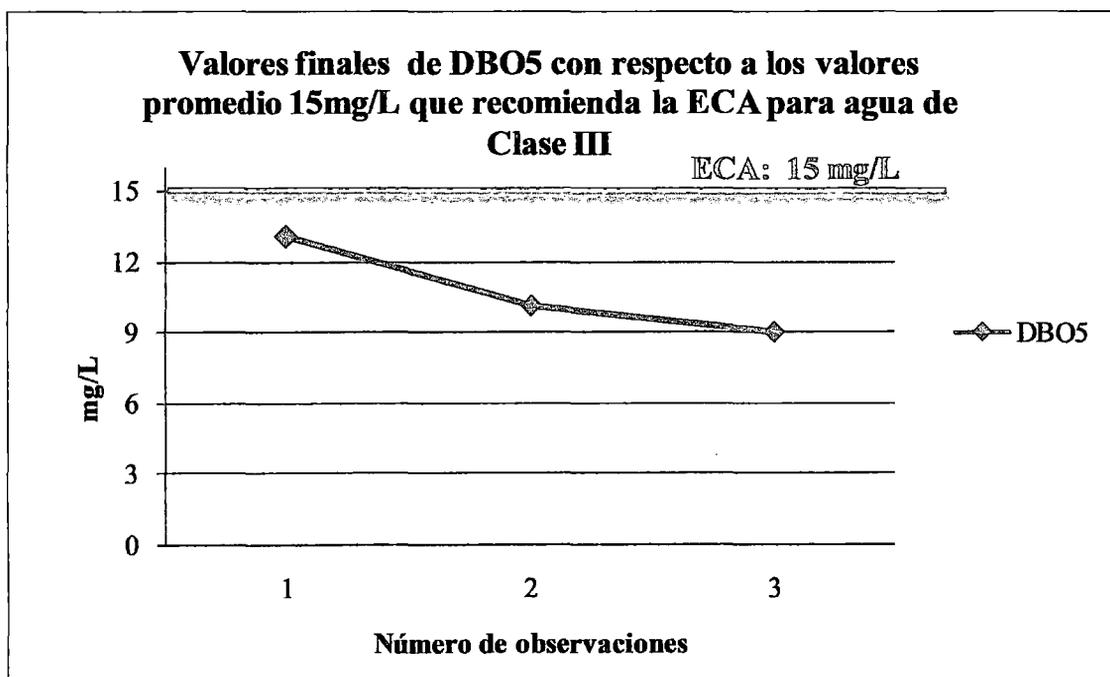
Estos valores obtenidos se encuentran dentro de los valores permisibles establecidos por el Estándar de Calidad de Agua de Clase III (15 mg/L). Los resultados se pueden apreciar a continuación, para su mayor comprensión.

Tabla N° 5.4: Ensayos realizados – Remoción de DBO₅(mg/L)

Obs.	Hora de recolección de la muestra	Fecha de análisis	DBO ₅	Límite (ECA)	Límite (LMP -DS 003-2010-VIVIENDA)
1	3:55 PM	10.06.13	13	15 mg/L	100 mg/L
2	2:40 PM	14.08.13	10,1		
3	7:20 AM	17.08.13	9		

Fuente: Autoría Propia

Grafico N° 5.4: Curva de tendencia de Remoción de DBO₅(mg/L)



Fuente: Autoría Propia

5.5. Remoción de DQO (mg/L).- Los resultados obtenidos durante las pruebas realizadas, nos dieron como resultado del efluente valores en un rango de 24 – 27,4 mg/L para la remoción de DQO (mg/L).

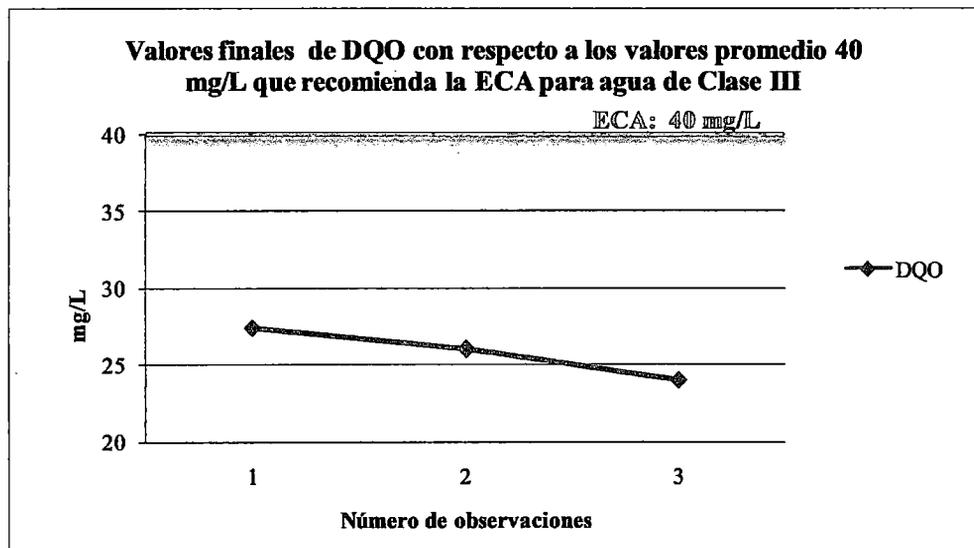
Estos valores obtenidos se encuentran dentro de los valores permisibles establecidos por el Estándar de Calidad de Agua de Clase III (40 mg/L). Los resultados se pueden apreciar a continuación, para su mayor comprensión.

Tabla N° 5.5: Ensayos realizados – Remoción de DQO(mg/L)

Obs.	Hora de recolección de la muestra	Fecha de análisis	DQO	Límite (ECA)	Límite (LMP-DS 003-2010-VIVIENDA)
1	3:55 PM	10.06.13	27,4	40 mg/L	200 mg/L
2	2:40 PM	14.08.13	26		
3	7:20 AM	17.08.13	24		

Fuente: Autoría Propia

Gráfico N° 5.5: Curva de tendencia de remoción de DQO



Fuente: Autoría Propia

5.6. Sólidos Totales (mg/L).- Los resultados obtenidos durante las pruebas realizadas, nos dieron como resultado del efluente valores en un rango de 20,7- 28,3 mg/L para los Sólidos Totales (mg/L).

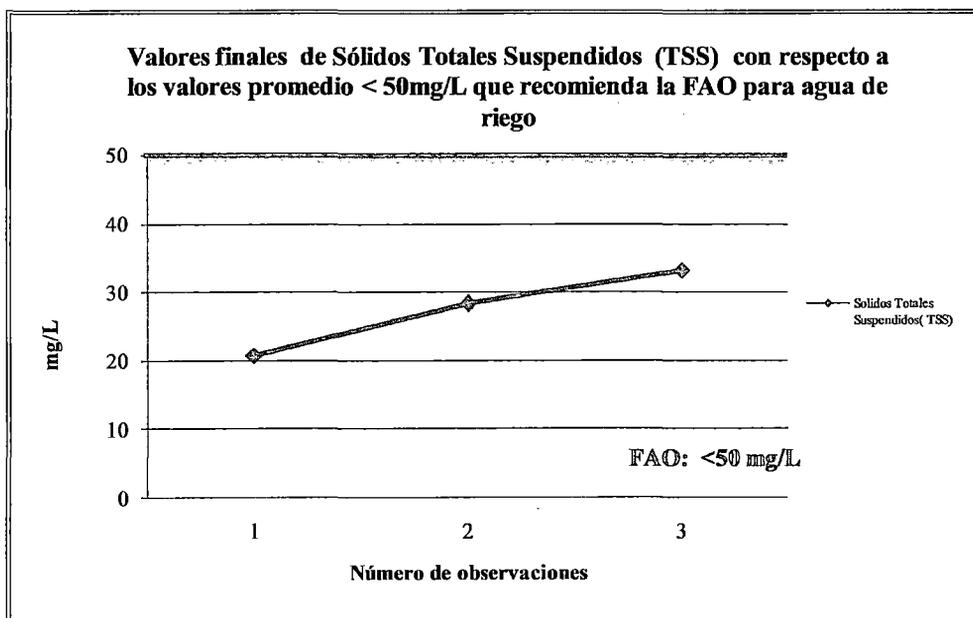
Para este parámetro no existe ningún valor permisible, sin embargo para los Sólidos totales suspendidos si, los cuales están establecidos por la FAO/OMS para agua de riego (<50 mg/L). Los resultados se pueden apreciar a continuación, para su mayor comprensión.

Tabla N° 5.6: Ensayos realizados - Sólidos totales (mg/L)

Obs.	Hora de recolección de la muestra	Fecha de análisis	Sólidos Totales Suspendidos (mg/L)	Limite (FAO-Destinada agua de riego)
1	3:55 PM	10.06.13	20,7(mg/L)	<50 mg/L
2	2:40 PM	14.08.13	28,3(mg/L)	
3	7:20 AM	17.08.13	33,2(mg/L)	

Fuente: Autoría Propia

Gráfico N° 5.7: Curva de tendencia - Sólidos totales (mg/L)



Fuente: Autoría Propia

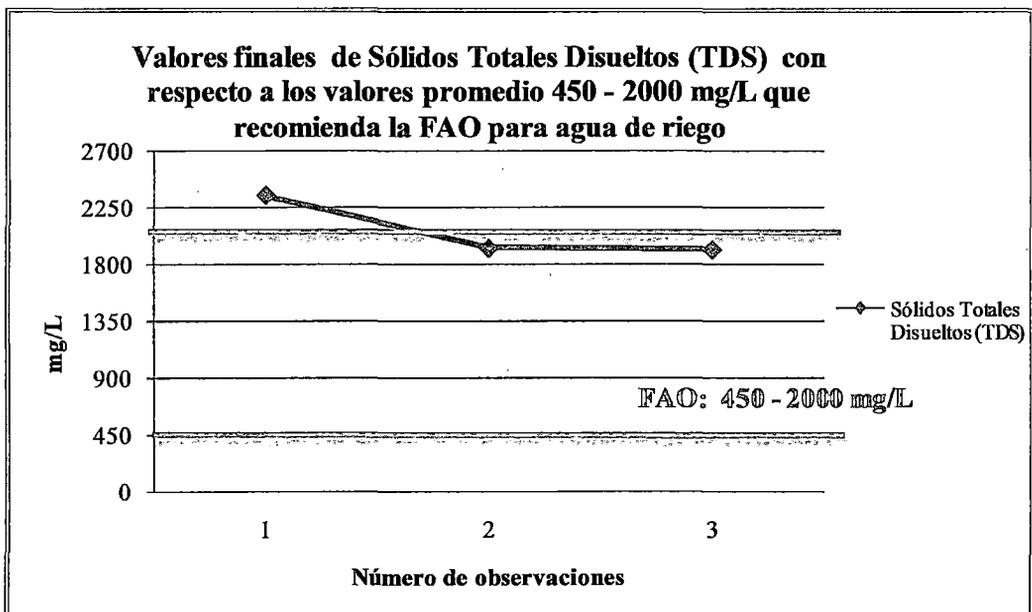
5.7. Sólidos Totales Disueltos (mg/L).-Los resultados obtenidos durante las pruebas realizadas, nos dieron como resultado del efluente valores en un rango de 1912 – 2340 mg/L para los Sólidos Totales Disueltos (TDS). No todos los valores obtenidos se encuentran dentro de los valores permisibles establecidos por la FAO/OMS para agua de riego (450 - 2000 mg/L). Los resultados se pueden apreciar a continuación, para su mayor comprensión.

Tabla N° 5.7: Ensayos realizados – Sólidos totales Disueltos (TDS) - (mg/L)

Obs.	Hora de recolección de la muestra	Fecha de análisis	Sólidos Totales Disueltos (TDS)(mg/L)	Limite (FAO-Destinada agua de riego)
1	3:55 PM	10.06.13	2340	450 - 2000 mg/L
2	2:40 PM	14.08.13	1921,5	
3	7:20 AM	17.08.13	1912	

Fuente: Autoría Propia

Gráfico N°5.7: Curva de tendencia de Sólidos totales Disueltos (TDS) - (mg/L)



Fuente: Autoría Propia

5.8. Concentración de lodos (mL/L/h).- Los resultados obtenidos durante las pruebas realizadas, nos dieron como resultado del efluente valores en un rango de 1,7 mL/L/h – 2 mL/L/h.

Estos valores obtenidos no se encuentran en ninguna normativa peruana o internacional, pero este parámetro ha sido medido como referencia para el estudio y estos parámetros están dentro de la variable dependiente: Operatividad de la planta de tratamiento. Para lo cual construimos una tabla y curva en la que podemos ver los resultados.

Los resultados se pueden apreciar a continuación, para su mayor comprensión.

Tabla N° 5.8: Ensayos realizados – Concentración de lodos por litro de efluente (mL/L/h)

Obs.	Hora de recolección de la muestra	Fecha de análisis	Lodo(15' min)	Lodo(60' min)
1	3:55 PM	10.06.13	0,8 mL/L/h	1,7 mL/L/h
2	2:40 PM	14.08.13	1,2 mL/L/h	2 mL/L/h
3	7:20 AM	17.08.13	1 mL/L/h	1,9 mL/L/h

Fuente: Autoría Propia

CAPITULO VI

DISCUSION DE RESULTADOS

La contrastación de hipótesis con los resultados.- La verificación o contrastación de hipótesis, la realizamos recopilando los datos relevantes que nos permitieron concluir si la hipótesis debe ser aceptada o rechazada. Para lograr lo antes propuesto es fundamental conocer el grado de control que ejercemos sobre lo estudiado, esto nos indujo a aplicar una metodología experimental que es el único método que permite establecer relaciones causa – efecto que contraste en las relaciones existentes entre los dos tipos de variables: La variable dependiente y la variable e independiente. La variable que manipulamos se denomina variable independiente (Sistema de Tratamiento Físico- Químico). Las variables que se refiere al producto que nos interesa medir son las variables dependientes (Dosis óptima de catalizadores, Operatividad de la planta de tratamiento y Eficiencia).

La contrastación de los resultados obtenidos son comparados con los Estándares de Calidad Ambiental para el agua Clase III, la FAO/OMS, estos son referenciales ya que en nuestro país no existe regulación normativa alguna para el agua de riego.

6.1. Dosis (mg/L) y concentración óptima de catalizadores (% Volumen o Peso).-

a. Para el Coagulante.-

En esta etapa dosificamos el coagulante MT – 8834, cuya dosis óptima es 3.5 mL/L al 5%, la determinación de esta dosis se realizó a través de varios ensayos en diferentes fechas a lo largo de los 5 meses de pruebas.

Para pruebas de jarras en laboratorio se sabe que:

1 L de agua residual doméstica-----3.5 mL (MT – 8834 al 5%)

1 L de agua residual doméstica-----0.0035 L (MT – 8834 al 5%)

Entonces:

4000000 L /d de agua residual doméstica-----X

Calculando:

1400 L/d al 5%

Entonces se tiene que:

Se utilizaran 70 L/d de coagulante puro (100% de concentración), los cuales se diluirán en 1400 L de agua para un día. Esto quiere decir que se dosificará a una concentración del 5%.

b. Para el Floculante

En esta etapa dosificaremos el floculante MT - 4285 cuya dosis óptima es 2 mL /L al 0.05%, la determinación de esta dosis se realizó a través de varios ensayos en diferentes fechas a lo largo de los 5 meses de pruebas.

Para pruebas de jarras en laboratorio se sabe que:

1 L de agua residual doméstica-----2 mL (MT - 4285 al 0.05%)

1 L de agua residual doméstica-----0.002 L (MT - 4285 al 0.05%)

Entonces:

400000 L /día de agua residual doméstica-----X

Calculando:

800 L/d de floculante al día

Entonces se tiene que:

Se utilizaran 400 gr/d de floculante, los cuales se diluirán en 800 L de agua para un día. Esto quiere decir que se dosificará a una concentración del 0.05%.

El resultado final de estas pruebas fue el hallazgo de la dosis óptima tanto de coagulante y floculante a dosificar

- Coagulante MT - 8834 (5%) : 3,5 mL/L
- Floculante MT - 4285 (0,05%): 2mL/L

Tabla N° 6.1: Aplicación de Dosis Óptima de reactivos (Coagulante –Floculante)

Hora de muestra recolectada	Fecha de las pruebas	Turbiedad (NTU)	Ph _{inicial} (Unidad de pH)	Coagulante MT 8834 (5%) (ml)	Floculante MT 4285 (0.05%) (ml)	Ph _{final} (Unidad de pH)	Comentario
7:20 am	16.04.13	1,7	7,15	1	1	7,11	Las múltiples PJ realizadas nos ayudaron a determinar la dosis óptima, básicamente las variables predominantes son el color y/o turbiedad y el s pH.
6:38 am	31.05.13	1,76	7,4	1	1	7,4	
	31.05.13	1,94	7,4	5	1	7,4	
	31.05.13	4,1	7,4	2,85	2,85	6,51	
3:55 pm	10.06.13	6,79	7,5	2,75	2,75	7	
12:00 pm	14.08.13	3,67	7,68	3,5	2	6,74	
	14.08.13	5,72	7,68	3	2	6,74	
4:00 pm	16.08.13	5,45	7,56	3,5	2	7,08	
8:00 am	17.08.13	5,1	7,54	3,5	2	7	

Fuente: Autoría Propia

Al alcanzar las dosis óptimas de Coagulante y Floculante, guiándonos del color y/o turbiedad y el pH principalmente. Las muestras fueron enviadas al laboratorio certificado para su análisis final, confirmando así la óptima remoción de los contaminantes a los rangos recomendados por la ley.

Tabla N° 6.2: Dosis ensayadas en las Prueba de Jarras realizadas

Fecha de las pruebas	Turbiedad inicial (NTU)	Ph _{inicial} (Unidad de pH)	Dosis aplicadas (% Volumen y/o Peso)				Turbiedad final (NU)	Ph _{final} (Unidad de pH)
			Coagulante		Floculante			
			(Unidad) mL/L	% de concentración	(Unidad) mL/L	% de concentración		
16.04.13	73	7,15	2	100%	2	5%	10	7,15
			1,5	75%	0,5	5%	9,67	7
			2	50%	0,5	1%	8,6	6,7
			2	5%	1	0,1%	1,94	6,72
			1	5%	1	0,1%	9,34	7,11
			5	5%	1	0,05%	1,7	7,11
31.05.13	50	7,14	2	50%	0,5	1%	9,5	7,08
			1	5%	1	0,05%	1,76	7,4
			5	5%	1	0,05%	1,94	6,51
			2,85	5%	1,85	0,05%	4,1	7,4
10.06.13	47,9	7,5	2,75	5%	2	0,05%	6,79	7
			2,75	5%	2	0,05%	7	7,05
14.08.13	124	7,68	3	5%	2	0,05%	3,67	6,74
			3,5	5%	2	0,05%	5,72	7,07
16.08.13	209	7,54	3,5	5%	2	0,05%	2,05	7,07
			3,5	5%	2	0,05%	2	7,05
17.08.13	150	7,56	3,5	5%	2	0,05%	5,45	7,08
			3,5	5%	2	0,05%	5,35	7,08

Fuente: Autoría Propia

Como se puede apreciar durante los múltiples ensayos realizados la Turbiedad y el pH juegan un papel muy importante en los resultados obtenidos, esto se demuestra en la práctica y en las referencias bibliográficas realizadas para la elaboración de la tesis.

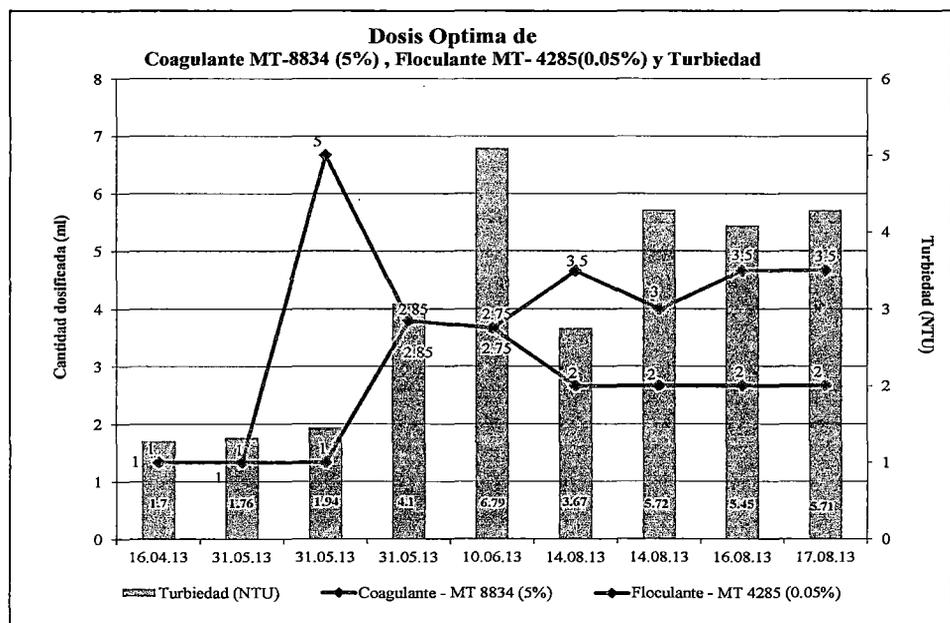
Según la tendencia que se muestra en la tabla pudimos encontrar la concentración n y dosis óptimas adecuadas para nuestro tratamiento, esto se puede apreciar desde el 10.06.13 hasta el final de las pruebas el 17.08.13.

Tabla N° 6.3: Aplicación de Dosis Actual vs. Dosis Optima hallada (Coagulante – Floculante)

Actual		Ensayada	
Coagulante - MT 8834 (% en Volumen al 100%)	Floculante - MT 4285 (% en Volumen al 0,05%)	Coagulante - MT 8834 (% en Volumen al 5%)	Floculante - MT 4285 (% en Volumen al 0,05%)
0,36 mL/L	0,3 mL/L	3,5 mL/L	2 mL/L

Fuente: Autoría Propia

Gráfico N° 6.1: Curva de dosis óptima



Fuente: Autoría Propia

Curva de dosis ensayadas, la cual nos ayuda en la determinación de la dosis optima hallada, el grafico está compuesto por el pH, la turbiedad y las concentraciones de reactivos aplicados.

6.2. Potencial Hidrógeno (Unidades de pH).- Podemos observar que de los resultados obtenidos a lo largo de la investigación, para el caso del pH, se obtuvieron resultados aceptables comparados con los Estándares de Calidad Ambiental para el agua Clase III , donde se indica que los valores son de 6,5 a 8,5 unidad de pH, y los obtenidos durante las pruebas de laboratorio el resultado promedio del producto final obtenido en nuestras pruebas, que con respecto al parámetro pH fluctúa en un rango de 6,74 y 7,4 unidad de pH.

Para este parámetro nuestros resultados son ampliamente aceptados, estando dentro de los rangos.

6.3. Demanda Bioquímica de Oxígeno - DBO₅ (mg/L) .- Para contrastar este parámetro nosotros identificamos el valor de los Estándares de Calidad Ambiental para el agua Clase III que indica como valor máximo para agua de riego de vegetales y bebida de animales debe ser 15 mg/L y la tendencia debe ser inferior a este valor, obteniendo durante nuestros trabajos a nivel de laboratorio el resultado promedio del producto final obtenido en nuestra planta, que con respecto al parámetro DBO₅ fluctúa entre 9 - 13 mg/L.

Para este parámetro los valores obtenidos son ampliamente aceptados, porque no solo estamos por debajo del límite recomendado, estamos en la tendencia inferior por debajo de 15 mg/L de DBO₅, lo que definiría a nuestro resultado como óptimo. Nos corresponde mencionar que para lograr este resultado satisfactorio con respecto a la manipulación de la variable independiente que en el caso nuestro es el tratamiento físico - químico.

Para ello se realizó una correcta prueba de jarras a lo largo de la investigación y producto de esta obtuvimos una dosis óptima de coagulante y floculante esto aportó mucho para el control constante de la variable independiente.

6.4. Demanda Química de Oxígeno - DQO(mg/L).- Para contrastar este parámetro nosotros identificamos el valor de los Estándares de Calidad Ambiental para el agua Clase III que indica como valor máximo para agua de riego de vegetales y bebida de animales debe ser 40 mg/L y la tendencia debe ser inferior a este valor, obteniendo durante nuestros trabajos a nivel laboratorio el resultados promedio del

producto final obtenido en nuestra planta, que con respecto al parámetro DQO fluctúa entre 24- 27,4 mg/L.

Para este parámetro los valores son ampliamente aceptada, porque no solo estamos por debajo del límite recomendado, estamos en la tendencia inferior por debajo de 40 mg/L de DQO, lo que definiría a nuestro resultado como óptimo.

Para ello se realizó una correcta prueba de jarras a lo largo de la investigación y producto de esta obtuvimos una dosis óptima de coagulante y floculante esto aportó mucho para el control constante de la variable independiente

- 6.5. Aceites y grasas (mg/L).**- Podemos observar que de los resultados obtenidos a lo largo de la investigación, para este caso no se obtuvieron resultados con los Estándares de Calidad Ambiental para el agua Clase III, donde se indica que el valor es de 1 mg/L, obteniendo en nuestros trabajos de laboratorio resultados promedio, que con respecto al parámetro de aceites y grasas fluctúa en un rango de 2,6 a 7 mg/l de Aceites y Grasas.

Para este parámetro los valores no son aceptados en su totalidad ya que no se entra dentro de los rangos, establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para el agua Clase III.

- 6.6. Sólidos totales (mg/L).**- Para contrastar este parámetro nosotros identificamos que para este valor no existe un límite recomendable, sin embargo para los Sólidos totales Suspendidos, si tenemos la recomendación de la FAO que indica como valor máximo los Sólidos Totales Suspendidos debe <50 mg/L y la tendencia inferior debe ser menor a este, en nuestros trabajos a nivel laboratorio se obtuvo como resultado promedio , que con respecto al parámetro de Sólidos Totales Suspendidos fluctúa entre 20,7 – 33,2 mg/L.

Para este parámetro nuestros valores son aceptados en su totalidad, porque estamos dentro de los límites recomendados por la FAO.

- 6.7. Sólidos Totales Disueltos (mg/L).**- Para contrastar este parámetro nosotros tomamos la recomendación de la FAO que indica como valor máximo los Sólidos Totales Disueltos debe ser 2000mg/L y la tendencia inferior debe ser 450 mg/L,

las pruebas a nivel laboratorio nos arrojaron que con respecto al parámetro de Sólidos totales disueltos fluctúa entre 1912 - 2340 mg/L.

Para este parámetro nuestros valores son aceptados en dos de los resultados obtenidos en la pruebas (1912 mL/L y 1967,5 mL/L), a diferencia del valor de 2340 mL/L la cual no es aceptada.

- 6.8. Turbiedad (Unidades Nefelométricas de Turbiedad – NTU).**- Para contrastar este parámetro nosotros tomamos como referencia la recomendación de la FAO que indica como valor máximo la Turbiedad debe ser 30 NTU y la tendencia debe ser <0,2 NTU, los resultados obtenidos en nuestros trabajos a nivel laboratorio nos dieron un promedio del producto final de Turbiedad que fluctúa entre 1,76 y 6,79 NTU.

Para este parámetro nuestros valores son aceptados, porque no solo estamos dentro del límite recomendado, lo que definiría a nuestro resultado como óptimo.

- 6.9. Concentración de lodos (mL/L/h).**-Para encontrar este parámetro se realizaron múltiples pruebas en el cono Imhoff obteniendo una cantidad de lodos por Litro de efluente que fluctúa 1,7 mL/L/h a 2 mL/L/h.

Para este parámetro no existen límites recomendados, simplemente es una referencia.

Los resultados obtenidos en cada una de las variables han sido comparadas con las normas aplicables han sido contrastados con los valores que recomienda la normativa Peruana vigente (DS -002-2008 /MINAM: Estándar de Calidad Ambiental para agua – Clase III: Agua para riego de vegetales y bebida de animales, así como también con los parámetros recomendados por la FAO y la OMS.(Ver Tabla N° 6.4 y Figura N° 6.2).

Tabla N° 6.4: Valores obtenidos de las pruebas realizadas, las cuales están analizadas por Laboratorio Certificado

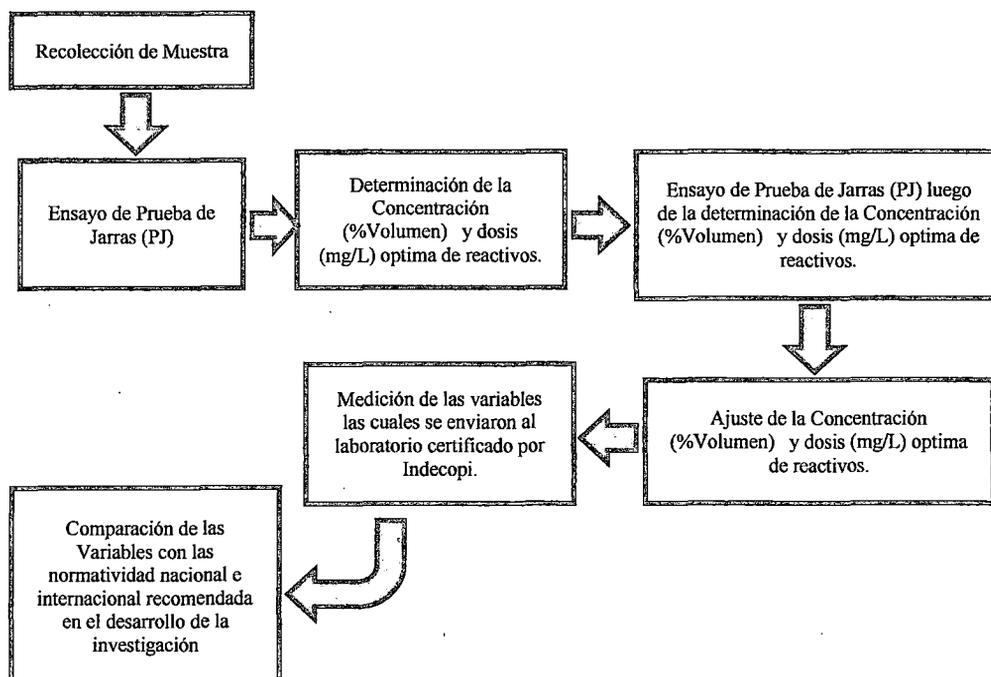
Parámetro	PTAR – UNACEM			
	Coagulante - MT 8834/Floculante - MT 4285			
	LMP	1° Prueba	2° Prueba	3° Prueba
pH (ECA-Clase III)	6,5 – 8,5 Unidad de PH	7	6,74	7
Turbiedad (EPA – Agua de regadío)	1-30 NTU	6,79	3,67	5,71
DBO ₅ (ECA-Clase III)	15 mg/L	13	10,1	9
DQO (ECA-Clase III)	40 mg/L	27,4	26	24
Aceites y Grasas* (ECA-Clase III)	1 mg/L	2,6	4,6	7
Sólidos Totales Suspendidos(TSS) (FAO/OMS)	<50mg/L	20,7	28,3	33,2
Sólidos Totales Disueltos(TDS) (FAO/OMS)	450 – 2000 mg/L	2340	1921,5	1912

Fuente: Autoría Propia

Los valores obtenidos en la PTAR UNACEM son ampliamente aceptados en el tratamiento y por las recomendaciones que nos da la ley, pero no cumple para las aceites y grasas ya que PTAR UNACEM no cuenta con trampas de grasas previo a las unidad de cribado, más si en puntos específicos, las cuales no cumplen las necesidades requeridas por la planta.

Figura N°6.2:

Pasos a seguir para la obtención de resultados de las variables evaluadas



Fuente: Autoría Propia

Tabla N° 6.5.- Numero de ensayos de PJ- PTAR VILLA SANTANA

PTAR VILLA SANTANA					
N° de Ensayos	Turbiedad inicial (NTU)	pH Inicial	Dosis Aplicadas al 5% Unidad (mL/L) - Sulfato de Aluminio	Turbiedad Final (NTU)	pH Final
1	24,5	8,78	40	16,4	6,69
2	5,52	7,88	20	5,31	6,98
3	272	7,9	49	5,09	5,62
4	68,6	8,14	65	3,35	4,95
5	67,3	8,7	22	9,06	7,11
6	18,9	7,68	45	1,72	6,59
7	121	9,01	48	2,12	6,65
8	8,69	9,22	24	9,68	7,36
9	288	9,37	56	2,09	6,46
10	10,8	9,51	34	7,32	9,16

Tabla N° 6.6.- Numero de ensayos de PJ – PTAR LA ATARJEA

PTAR LA ATARJEA						
N° de Ensayos	Turbiedad inicial (NTU)	pH Inicial	Dosis Aplicadas al 1% Unidad (mL/L) Cloruro Férrico	Dosis Aplicadas al 0,1% Unidad (mL/L) Polímero Anicónico	Turbiedad Final (NTU)	pH Final
1	85	7,5	10	1	2	7,05
2	70	7,8	15	4	4,14	7,1
3	60	6,84	12	1,5	2,85	7,08
4	75	7,05	10	7,5	2,1	7
5	45	6,9	30	10	1,83	6,6
6	77	6,7	35	12	2,2	6,7
7	65,5	7,8	40	14	1,72	6,8
8	63,7	7,65	45	16	1,58	6,62
10	80,6	8	50	18	1,75	6,48
11	51,8	7,9	55	20	5	6,42
12	77,8	7,35	60	22	1,65	6,38

Tabla N° 6.7.- Resumen de la aplicación de reactivos en diferentes tipos de plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas (Turbiedad y Ph)

PTAR	Turbiedad inicial (NTU)	Ph inicial (Unidad de pH)	Dosis aplicadas (%Volumen y/o Peso)				Turbiedad final (NU)	Ph final (Unidad de pH)
			Coagulante MT 8834		Floculante MT 4285			
			(Unidad) mL/L	(% Volumen)	(Unidad) mL/L	(% en Peso)		
PTAR UNACEM	47,9	7,5	2,75	5%	2	0,05%	6,49	7
	124	7,68	3	5%	2	0,05%	3,76	6,74
	209	7,54	3,5	5%	2	0,05%	2	7,05
	150	7,56	3,5	5%	2	0,05%	5,35	7,08
PTAR	Turbiedad inicial (NTU)	Ph inicial (Unidad de pH)	Dosis aplicadas (%Volumen y/o Peso)				Turbiedad final (NU)	Ph final (Unidad de pH)
			Coagulante (Cloruro Férrico)		Floculante (Polímero aniónico)			
			(Unidad) mL/L	(% Volumen)	(Unidad) mL/L	(% en Peso)		
PTAR-LA ATARJEA*	85	7,5	10	1%	1	0,1%	2	7,05
	60	6,84	12	1%	1,5	0,1%	2,5	7,08
	75	7,05	10	1%	1	0,1%	2,1	7
PTAR	Turbiedad inicial (NTU)	Ph inicial (Unidad de pH)	Dosis aplicadas (%Volumen y/o Peso)				Turbiedad final (NU)	Ph final (Unidad de pH)
			Coagulante Sulfato de Aluminio					
			(Unidad) mL/L	(%) Volumen				
PTAR - VILLA SANTANA*	24,5	8,78	40	5 %			16,4	6,69
	272	7,9	49	5 %			5,09	5,62
	686	8,14	65	5 %			3,35	4,95

Fuente: Autoría Propia

Es importante la elección de los reactivos adecuados para así no alterar el pH y que este no interfiera con el proceso de coagulación y floculación.

Por ejemplo para el proceso de Potabilización de las Aguas del Río Rímac, específicamente en Las Plantas LA ATARJEA, en que se utiliza tratamiento físico – químico, en la que se utilizan entre otros reactivos para el tratamiento y en las PJ se tiene el uso de Cloruro Férrico, Sulfato de Aluminio y Catiónico, estas condiciones se dan en el invierno por la baja turbiedad de las aguas, en épocas de verano solo se utiliza Sulfato de Aluminio, Cloruro Férrico, Polímero Catiónico y Anionico solo por esta razón se logran resultados óptimos en el tratamiento de las aguas durante el proceso de potabilización para consumo doméstico, este proceso es previo a la potabilización del agua. Usándose los polímeros cuando a fin de reducir costo por un lado y calidad del producto terminado dado que las sales de aluminio y fierro consumen la alcalinidad del

agua, es decir tiende a que el agua tratada tenga un pH ácido se dosifica a cambio polímero producto que no modifica el pH del agua.

Otro ejemplo de tratamiento físico – químico se tiene en **la PTAR –VILLA SANTANA:** Se tiene cuidado con la dosis del sulfato de aluminio en el tratamiento de las aguas residuales ya que este por las propiedades que posee podrían alterar el pH, de modo que de ser así este se regula con dosis de Cal hidratada es decirlo que conocemos como alcalinizar el agua y para poder volver a un pH de 7.

En este caso solo se utiliza un coagulante por las características del agua a tratar, se observan buenos resultados de pH y Turbiedad

- Sólidos totales disueltos 1912 a 2340 mg/L
- Sólidos totales 1945,2 a 2360,7 mg/L
- Sólidos totales suspendidos 20,7 a 33,2 mg/L

Cabe resaltar que para la medida de los sólidos totales suspendidos están dentro de los límites.

- 7.6. Los valores de Aceites y grasas se mantienen elevados, esto se debe a la ineficiente operatividad de las trampas de grasas existentes en lugares específicos dentro de la planta y en campamento. Cabe señalar que los resultados fueron comparados con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para el agua de Clase III (riego de vegetales y bebidas de animales).
- 7.7. Los valores obtenidos Sólidos Disueltos Totales solo en dos de los ensayos se encuentran dentro de los estándares de calidad de agua para riego que establece la FAO/OMS, en el ensayo del día 10/06/13 el valor excede a los límites establecidos, esto se debe a la dosificación de reactivos que se aplicó agregó la cual no era la óptima. Cabe resaltar que en el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para el agua de Clase III (riego de vegetales y bebidas de animales) que rige actualmente en nuestro país, no solicitan estos parámetros como requisito de medición en el agua de Clase III.

CAPITULO VIII

RECOMENDACIONES

8.1. Se debe tener en cuenta las condiciones ambientales de la zona, ya que un aumento en las precipitaciones podría aumentar la cantidad de sólidos disueltos totales y sólidos totales en los afluentes que llegan a la PTAR, ocasionando diferentes obstrucciones y molestias en el proceso. Estas condiciones ambientales se presentan en el invierno (Junio a Agosto).

Así mismo las temperaturas altas hacen que el floc sea más denso, lo cual significa una mejor reacción y aglomeración de partículas.

8.2. Regular la dosis y la concentración de reactivos (Coagulante y Flocculante) a dosificar en la PTAR, esto con el fin de realizar un tratamiento eficiente, lo cual significa un considerable ahorro en consumo de reactivos, respecto al consumo y dosificación que actualmente se viene realizando. (Ver en Capítulo VI: Tablas N° 6.1, 6.2, 6.3 y 6.6, así como el Gráfico N° 6.1, para su mayor comprensión).

8.3. Para la dosificación de la dosis y concentración óptima de reactivos (Coagulante y Flocculante), la PTAR requiere de modificaciones para la ubicación de los nuevos puntos de dosificación, los cuales brindaran un mayor tiempo de acondicionamiento del efluente. (Ver en Apéndice la Figura N° 8.1, para su mayor comprensión).

- Nuevos puntos de dosificación:
 - Tanque de regulación número 1.
 - Línea de impulsión hacia el sedimentador

8.4. La modificación de los puntos de dosificación de reactivos trae consigo la modificación de algunas zonas de la planta para que tenga un funcionamiento eficiente y sin pérdidas. (Ver en Apéndice la Figura N° 8.1, para su mayor comprensión).

- Modificaciones recomendadas
 - Modificaciones en los tanques de regulación para que estos estén conectados.
 - El aireador que se encuentra luego de la unidad de sedimentación sea movido al tanque de regulación número 1 para que este realice el acondicionamiento del efluente con el coagulante, lo cual tendrá una mejor gradiente de mezcla y posteriormente pase al proceso de flocculación.

- El área de donde se pretende retirar el aireado serviría como tanque de almacenamiento previo al paso de las toberas que surten los 6 humedales, esto con el fin de que los flocs obtenidos en la sedimentación que escapan a este proceso no se rompan y no obstruyan las siguientes unidades de tratamiento. Cabe resaltar que con las modificaciones planteadas en el ítem 8.3 y en párrafos anteriores a este ya no se romperían los flocs.

8.5. Realizar un mantenimiento de las trampas de grasas y evaluar la posibilidad de implementar una nueva tecnología para las existentes así como nuevas trampas de grasas en puntos estratégicos, esto para no recibir tanta grasas en la PTAR lo cual dificulta su proceso o la implementación de sistemas de flotación por aire (DAF), conjuntamente al uso de biocatalizadores orgánicos, esto previo al tratamiento físico químico.

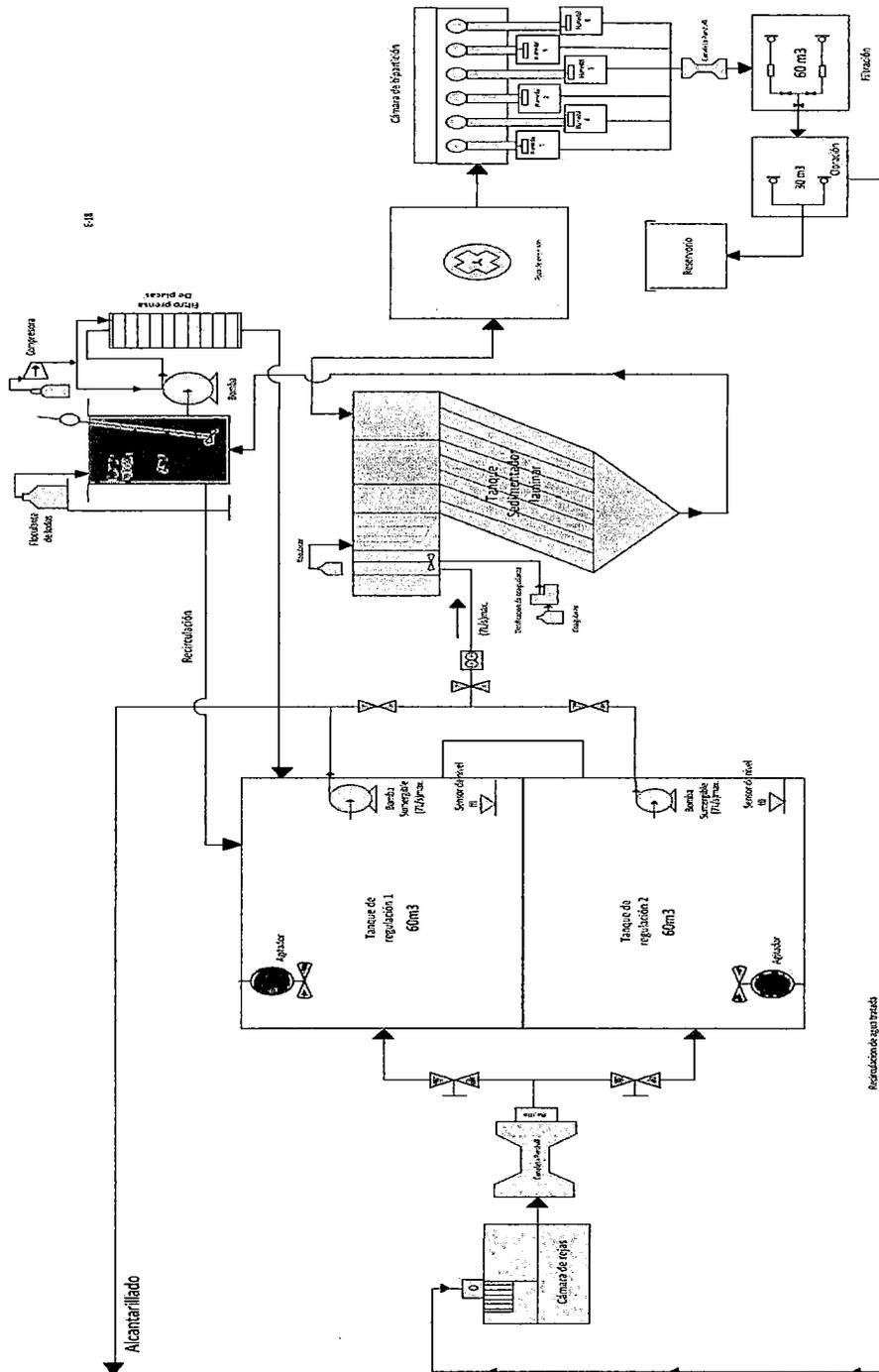
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 9.1. ARBOLEDA VALENCIA, J. Teoría y práctica de la purificación del agua. ACODAL III Ed. McGraw Hill 2000.
- 9.2. AGUILAR, MI. ; SEZ, J; LORENS, M; SOLER, A; ORTUÑO. Tratamiento físico – químico de aguas residuales, Coagulación – Flocculación: JF. Universidad de Murcia
- 9.3. RAMÍREZ ZAMORA R, DURÁN MORENO A, BERNAL MARTINEZ A, ORTA DE VELASQUEZ T. Proceso de Coagulación - Flocculación para el tratamiento de aguas residuales: Desarrollo y Utilización de Nuevos Compuestos para la Reducción de Lodos. México DF: Instituto de Ingeniería, UNAM. Coordinación de Ingeniería Ambiental
- 9.4. RAMALHO, R.S. Tratamiento de aguas residuales. Editorial Reverte S.A.. Barcelona. Reimpresión Mayo 2003
- 9.5. METCALF & EDDY. Ingeniería de aguas residuales, Volumen 1: Tratamiento, vertido y reutilización. Ed. McGraw Hill 1997. España. 3ed.
- 9.6. Gómez N. Remoción de Materia Orgánica por Coagulación – Flocculación (Tesis para optar Título). Manizales: Universidad Colombia; 2005.
- 9.7. Evaluación de plantas y desarrollo tecnológico. ING. ANDIA CARDENAS Y. Tratamiento de agua: Coagulación y Flocculación. Lima , Abril 2000
- 9.8. Decreto Supremo
Decreto Supremo N ° 003-2010-MINAM. Límites máximos permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de aguas residuales Domésticas o Municipales
- 9.9. Decreto Supremo
D.S N° 002-2008-MINAM, Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA)
- 9.10. Grupo 1, (04/03/2011). Diccionario para el agua potable y residual. Ingeniería Sanitaria II. Calidad de agua. <http://es.scribd.com/doc/50537314/13/SOLIDOS-SEDIMENTABLES>
- 9.11. Recomendaciones de la OMS para la calidad de agua recicladas para riego.[1 página] Disponible en: gwww.who.int/en/
Consultado Agosto 25, 2013.

- 9.12.**Díaz, R. Referencias Bibliográficas estilo Vancouver. Centro de Nuevas Tecnologías de la Información y las Comunicaciones Ministerio de Educación Superior. La Habana, Cuba. [Seriada en línea] 2009;[13 páginas] Disponible en:URL:<http://www.cpimtz.sld.cu/normvanc.html>
Consultado Julio 7, 2013.
- 9.13.**Manual de Operación y Mantenimiento.ING, ROSA MIGLIO T. Planta de tratamiento de aguas residuales Cementos Lima Elaborado. Lima 2010.
- 9.14.**Romero, J. Calidad del agua. Escuela Colombiana de Ingeniería, 2000.
- 9.15.**Rodríguez, C. Uso y control del proceso de coagulación en plantas de tratamiento de agua potable (Tesis para optar Título). Universidad de Sucre. Facultad de Ingeniería, departamento de Ingeniería. Octubre 2008.
- 9.16.**Vallejos, F. Obtención de agua potable a partir de agua clase III (Tesis para optar Título).Universidad Nacional del Callao. Facultad de Ingeniería Ambiental. Perú, Callao 2012.
- 9.17.**Walsh Perú S.A. Ingeniero y Científicos Consultores. Estudio de Impacto Ambiental Modernización de la Planta Industrial Atocongo de Cementos Lima S.A. Perú, Enero, 2010.
- 9.18.**Calidad de agua para irrigación.[3 páginas]. Disponible en:<http://www.lenntech.es/aplicaciones/riego/calidad/irrigacion-calidad-agua.htm>. Consultado el 29 de Agosto 2013.
- 9.19.**Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas/Organización Mundial de la Salud (Serie Evaluación de riesgos microbiológicos, Nº 3).Caracterización de peligros de patógenos en los alimentos y el agua: directrices. Ginebra (Suiza), FAO/OMS, 2003.
- 9.20.**Lidia de Vargas Ing. “criterios para la selección de los procesos y de los parámetros óptimos de las unidades. Cap. 11(WWW.CEPIS.OPS.OMS.ORG)

APENDICE

Figura N° 1: Descripción del sistema de tratamiento de la Planta de Unión Andina de Cementos S.A.A. – Sede Atocongo.



Fuente: Autoría Propia

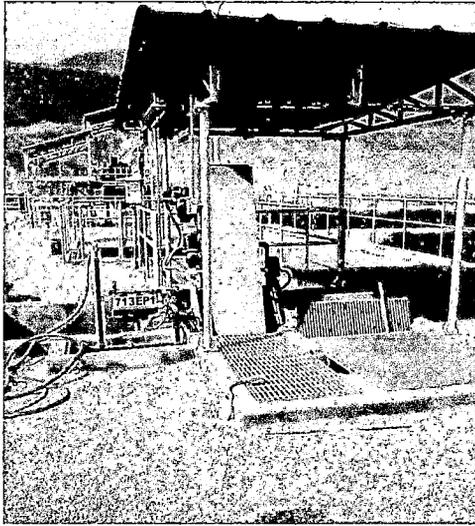


Figura N° 2.-Cámara de rejas



Figura N° 3.- Canaleta Parshall

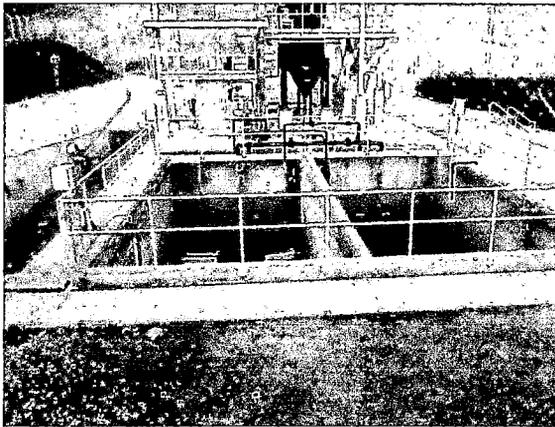


Figura N° 4.- Tanque de regulación

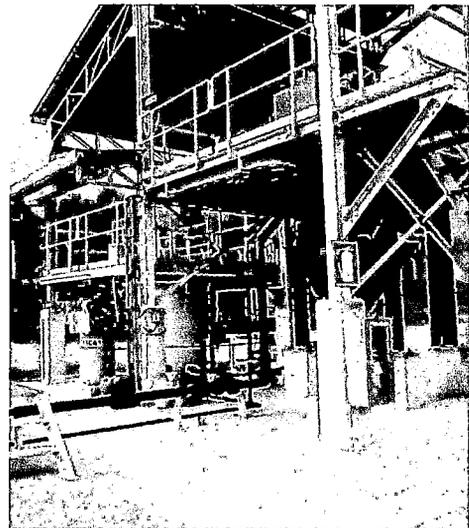


Figura N° 5.-Tanque Sedimentación

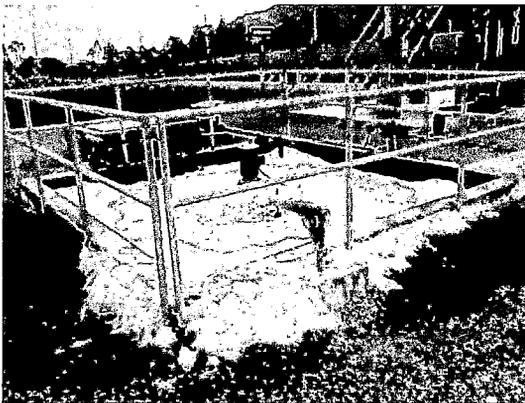


Figura N° 6.- Tanque de aireación

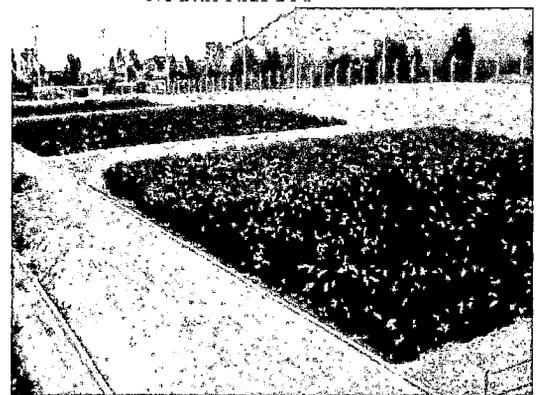


Figura N° 7.- Celdas de tratamiento SFS Pantanos Artificiales

Figura N° 8.- Tratamiento de lodos

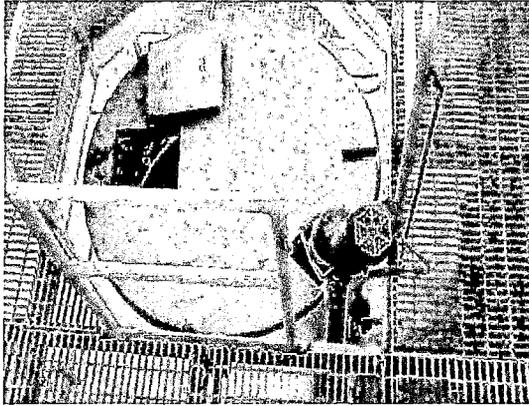


Figura N° 8 a.-Tanque de lodos

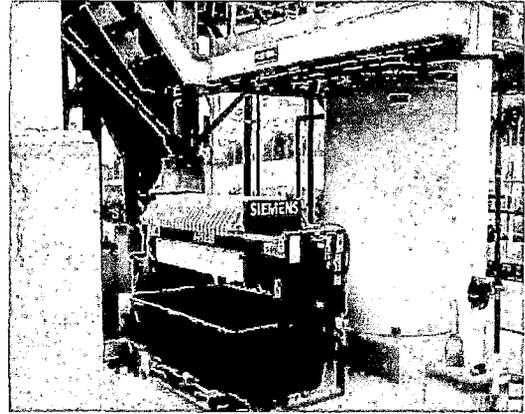


Figura 8b.- Filtro prensa

Figura N° 9.- Desinfección final y distribución del agua tratada

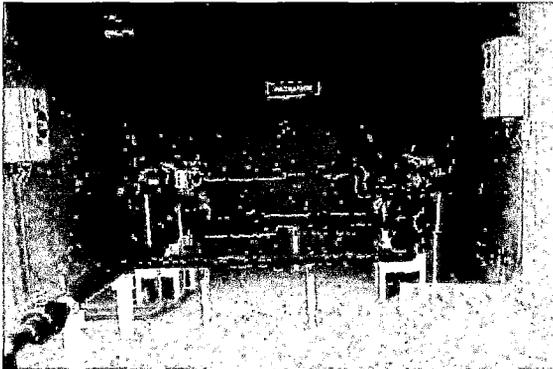


Figura N° 9 a.-Filtros de arena

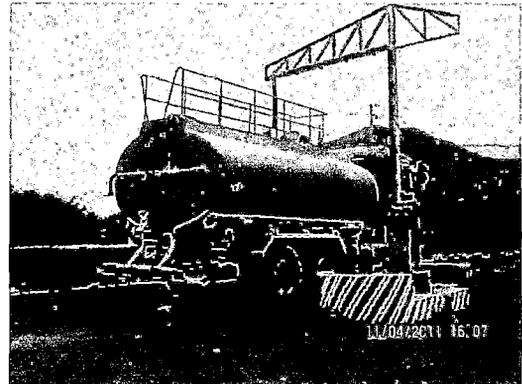


Figura N° 9 b.-Despacho de agua a las Cisternas



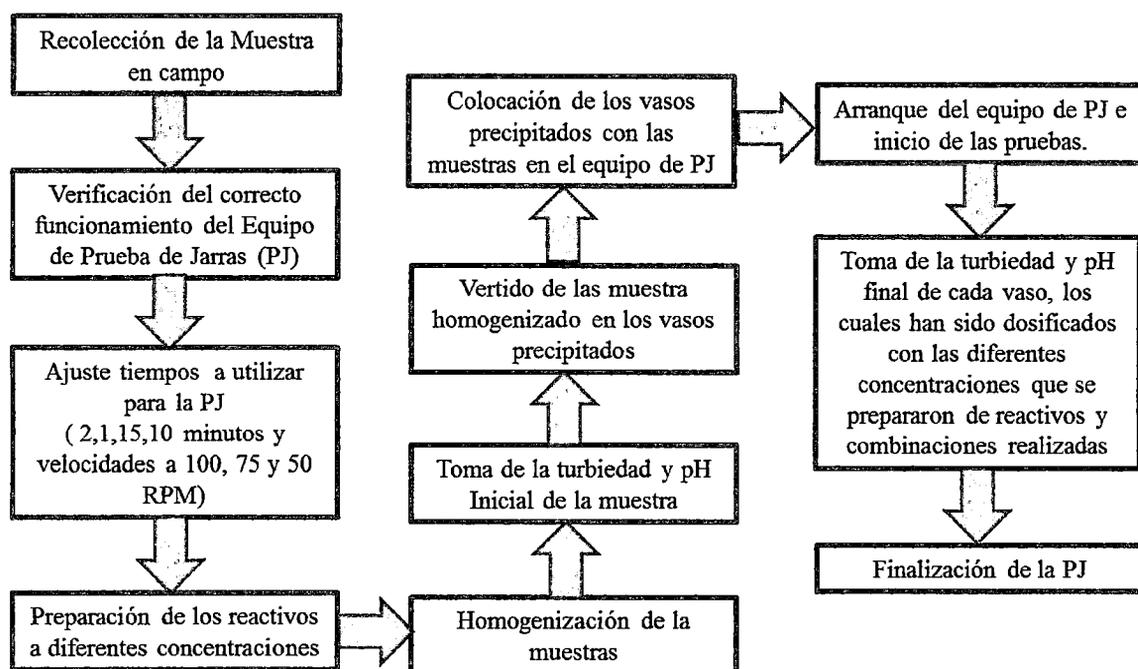
**Figura N° 9 c.-Sala de cloración
- Desinfección Final**

Tabla N° 3.1.- Operacionalización de las variables

OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES				MÉTODO A EMPLEAR
VARIABLE	INDICADOR		INDICE	
Variable Independiente X:				
Sistema de Tratamiento Físico-Químico	Caudal	(X ₁)	(M ³ /s)	Sensor de Caudal
	Carga Superficial de Tratamiento	(X ₂)	Carga optima M ³ /M ² .d	Velocidad de sedimentación Cronómetro y Trazadores
	Periodo de tratamiento	(X ₃)	Periodo de tratamiento optimo(hrs/d)	
Variables Dependientes: Y,Z,J				
Dosis optima de catalizadores (Y)	Concentración de Solución catalítica	(Y ₁)	(% Volumen o Peso)	Prueba de Jarra o Jar Test
	Dosis de Solución catalítica	(Y ₂)	Dosis óptima (mg/L)	
Operatividad de la planta de tratamiento (Z)	Concentración de lodos	(Z ₁)	Concentración óptima (mg/L)	Cono Inhoff
	Índice de filtrabilidad	(Z ₂)	Índice optimo (Concentración de lodos %)	
Eficiencia (J)	Potencial Hidrógeno (pH)	(J ₁)	Unidad de Ph	SMEWW. 21thEdition.2005.Part 4500-H-B. ElectrometricMethod.
	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	(J ₂)	mg/L	SM 5220D
	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	(J ₃)	mg/L	SM 5210 B
	Aceites y grasas.	(J ₄)	mg/L	EPA – Method 1664 Revison A; 1999, N-Hexane Extractable material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel Treatred N-Hexane Extratable Material by Extraction and Gravimetry
	Sólidos totales suspendidos	(J ₅)	mg/L	SMEW DWri e2d1 t 180 °C s t Edition. Part 2540 B. Solids. Total Solids Dried at 103-105°C.
	Sólidos totales disueltos	(J ₆)	mg/L	SMEWW 21s t Edition. Part 2540 C Pág. 2-56 APHA-AWWA-WEF 2005, Total Dissolved
	Turbiedad	(J ₇)	NTU	ISO 7027:1999 “Water Quality. Determination of Turbidity”. SM 2130 B

*Las variables, indicadores, índice y métodos empleados en la Operacionalización de las variables.

Figura N°4.1: Pasos a seguir para la Prueba de Jarras



Fuente: Autoría Propia

Tabla N° 6.1.-Aplicación de Dosis Óptima de reactivos (Coagulante –Floculante)

Hora de muestra recolectada	Fecha de las pruebas	Turbiedad (NTU)	Ph _{inicial} (Unidad de pH)	Coagulante MT 8834 (5%) (ml)	Floculante MT 4285 (0.05%) (ml)	Ph _{final} (Unidad de pH)	Comentario
7:20 am	16.04.13	1,7	7,15	1	1	7,11	Las múltiples PJ realizadas nos ayudaron a determinar la dosis óptima, básicamente las variables predominantes son el color y/o turbiedad y el s pH.*
6:38 am	31.05.13	1,76	7,4	1	1	7,4	
	31.05.13	1,94	7,4	5	1	7,4	
3:55 pm	31.05.13	4,1	7,4	2,85	2,85	6,51	
	10.06.13	6,79	7,5	2,75	2,75	7	
12:00 pm	14.08.13	3,67	7,68	3,5	2	6,74	
	14.08.13	5,72	7,68	3	2	6,74	
4:00 pm	16.08.13	5,45	7,56	3,5	2	7,08	
8:00 am	17.08.13	5,1	7,54	3,5	2	7	

Fuente: Autoría Propia

Tabla N° 6.2: Dosis ensayadas en las PJ realizadas en PTAR UNACEM

Fecha de las pruebas	Turbiedad inicial (NTU)	PH _{inicial} (Unidad de pH)	Dosis aplicadas (% Volumen y/o Peso)				Turbiedad final (NU)	PH _{final} (Unidad de pH)
			Coagulante		Floculante			
			mL/L (Unidad)	% de concentración	mL/L (Unidad)	% de concentración		
16.04.13	73	7,15	2	100%	2	5%	10	7,15
			1,5	75%	0,5	5%	9,67	7
			2	50%	0,5	1%	8,6	6,7
			2	5%	1	0,1%	1,94	6,72
			1	5%	1	0,1%	9,34	7,11
			5	5%	1	0,05%	1,7	7,11
31.05.13	50	7,14	2	50%	0,5	1%	9,5	7,08
			1	5%	1	0,05%	1,76	7,4
			5	5%	1	0,05%	1,94	6,51
			2,85	5%	1,85	0,05%	4,1	7,4
10.06.13	47,9	7,5	2,75	5%	2	0,05%	6,79	7
			2,75	5%	2	0,05%	7	7,05
14.08.13	124	7,68	3	5%	2	0,05%	3,67	6,74
			3,5	5%	2	0,05%	5,72	7,07
16.08.13	209	7,54	3,5	5%	2	0,05%	2,05	7,07
			3,5	5%	2	0,05%	2	7,05
17.08.13	150	7,56	3,5	5%	2	0,05%	5,45	7,08
			3,5	5%	2	0,05%	5,35	7,08

Fuente: Autoría Propia

Tabla N° 6.3: Aplicación de Dosis Actual vs. Dosis Optima hallada (Coagulante – Floculante)

Actual		Ensayada	
Coagulante - MT 8834 (% en Volumen al 100%)	Floculante - MT 4285 (% en Volumen al 0,05%)	Coagulante - MT 8834 (% en Volumen al 5%)	Floculante - MT 4285 (% en Volumen al 0,05%)
0,36 mL/L	0,3 mL/L	3,5 mL/L	2 mL/L

Fuente: Autoría Propia

Tabla N° 6.4: Valores obtenidos de las pruebas realizadas, las cuales están analizadas por Laboratorio Certificado

Parámetro	PTAR – UNACEM			
	Coagulante - MT 8834/Floculante - MT 4285			
	LMP	1° Prueba	2° Prueba	3° Prueba
pH *	6,5 – 8,5 Unidad de PH	7	6,74	7
Turbiedad (EPA – Agua de regadío)	1-30 NTU	6,79	3,67	5,71
DBO ₅ *	15 mg/L	13	10,1	9
DQO *	40 mg/L	27,4	26	24
Aceites y Grasas*	1 mg/L	2,6	4,6	7
Sólidos Totales Suspendidos, (TSS) **	<50mg/L	20,7	28,3	33,2
Sólidos Totales Disueltos, (TDS) *	450 – 2000 mg/L	2340	1921,5	1912

Nota: * (ECA-Clase III); ** (FAO/OMS)

Fuente: Autoría Propia

Tabla N° 6.6.- Numero de ensayos de PJ- PTAR VILLA SANTANA

PTAR VILLA SANTANA					
N° de Ensayos	Turbiedad inicial (NTU)	pH Inicial	Dosis Aplicadas al 5% Unidad (mL/L) - Sulfato de Aluminio	Turbiedad Final (NTU)	pH Final
1	24.5	8.78	40	16,4	6,69
2	5,52	7.88	20	5,31	6,98
3	272	7.9	49	5,09	5,62
4	686	8.14	65	3,35	4.95
5	67,3	8.7	22	9,06	7.11
6	18.9	7.68	45	1,72	6,59
7	121	9.01	48	2,12	6,65
8	8,69	9.22	24	9,68	7,36
9	288	9.37	56	2,09	6,46
10	10,8	9.51	34	7,32	9,16

Fuente: Autoría Propia

Tabla N° 6.6.- Numero de ensayos de PJ – PTAR LA ATARJEA

PTAR LA ATARJEA						
N° de Ensayos	Turbiedad inicial (NTU)	pH Inicial	Dosis Aplicadas al 1% Unidad (mL/L) Cloruro Férrico	Dosis Aplicadas al 0,1% Unidad (mL/L) Polímero Aniónico	Turbiedad Final (NTU)	pH Final
1	85	7.5	10	1	2	7.05
2	70	7,8	15	4	4,14	7,1
3	60	6.84	12	1,5	2,85	7,08
4	75	7,05	10	7,5	2,1	7
5	45	6,9	30	10	1,83	6,6
6	77	6,7	35	12	2,2	6,7
7	65,5	7,8	40	14	1,72	6,8
8	63,7	7,65	45	16	1,58	6,62
10	80,6	8	50	18	1,75	6,48
11	51,8	7,9	55	20	5	6,42
12	77,8	7,35	60	22	1.65	6,38

Fuente: Autoría Propia

Tabla N° 6.7.- Resumen de la aplicación de reactivos en diferentes tipos de plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas (Turbiedad y pH)

PTAR	Turbiedad inicial (NTU)	Ph inicial (Unidad de pH)	Dosis aplicadas, (%Volumen y/o Peso)				Turbiedad final (NU)	Ph final (Unidad de pH)
			Coagulante MT 8834		Floculante MT 4285			
			(Unidad) mL/L	(% Volumen)	(Unidad) mL/L	(% en Peso)		
PTAR UNACEM	47,9	7,5	2,75	5%	2	0,05%	6,49	7
	124	7,68	3	5%	2	0,05%	3,76	6,74
	209	7,54	3,5	5%	2	0,05%	2	7,05
	150	7,56	3,5	5%	2	0,05%	5,35	7,08
PTAR	Turbiedad inicial (NTU)	Ph inicial (Unidad de pH)	Dosis aplicadas, (%Volumen y/o Peso)				Turbiedad final (NU)	Ph final (Unidad de pH)
			Coagulante (Cloruro Férrico)		Floculante (Polímero aniónico)			
			(Unidad) mL/L	(% Volumen)	(Unidad) mL/L	(% en Peso)		
PTAR-LA ATARJEA*	85	7,5	10	1%	1	0,1%	2	7,05
	60	6,84	12	1%	1,5	0,1%	2,5	7,08
	75	7,05	10	1%	1	0,1%	2,1	7
PTAR	Turbiedad inicial (NTU)	Ph inicial (Unidad de pH)	Dosis aplicadas; (%Volumen y/o Peso)		Turbiedad final (NU)	Ph final (Unidad de pH)		
			Coagulante (Sulfato de Aluminio)					
			(Unidad), mL/L	(% Volumen)				
PTAR – VILLA SANTANA*	24,5	8,78	40	5%	16,4	6,69		
	272	7,9	49	5%	5,09	5,62		
	686	8,14	65	5%	3,35	4,95		

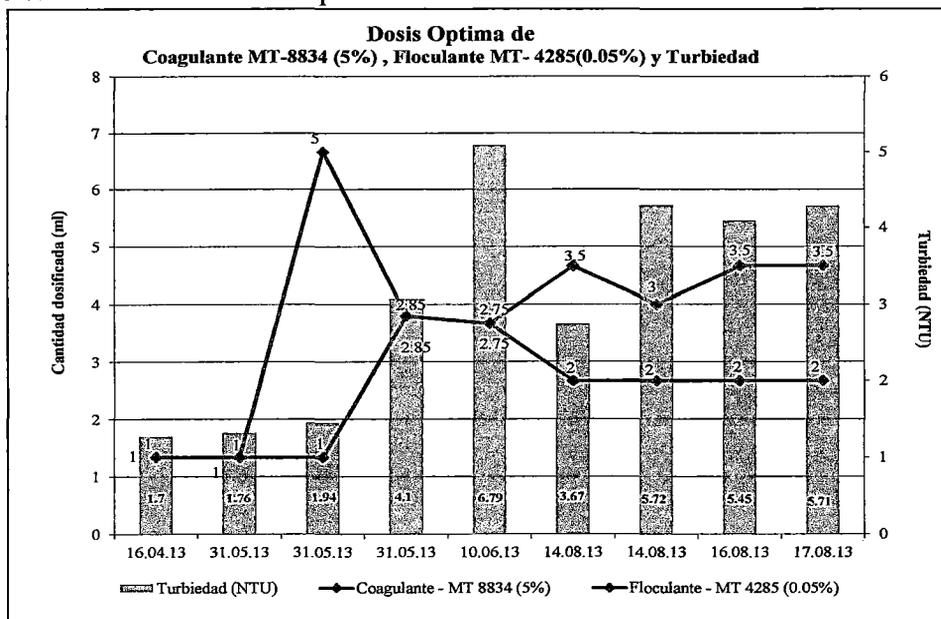
Fuente: Autoría Propia

Tabla N° 6.8.- Cuadro comparativo de Costo vs Ahorro Anuales en consumo de reactivos (Referencia de consumos al año 2012)

Costos Anuales	Actual		Ensayada	
	Cantidad	Importe(\$.)	Cantidad	Importe(\$.)
Coagulante - MT 8834	1752 gal	\$58394,16	851,6 gal	\$28383,83
Floculante - MT 4285	43,800 Kg	\$240,9	146 kg*	\$803
Totales		\$58635,06		\$29186,83
Diferencia de Costo Actual y Ensayado**			29448,23	

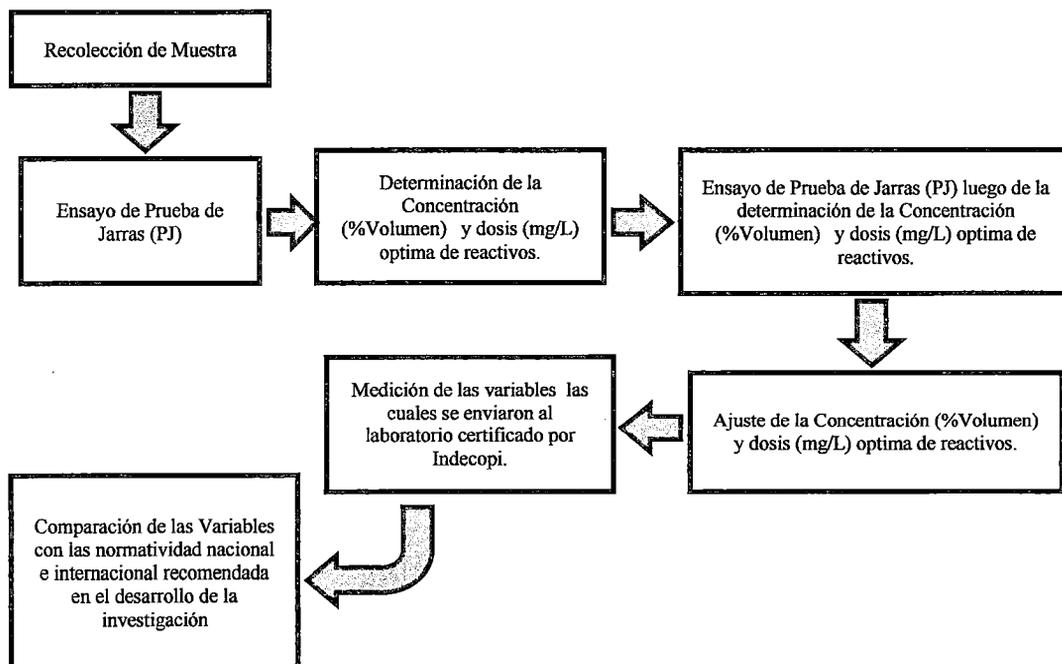
Fuente: Autoría Propia

Grafico N° 6.1: Curva de dosis óptima



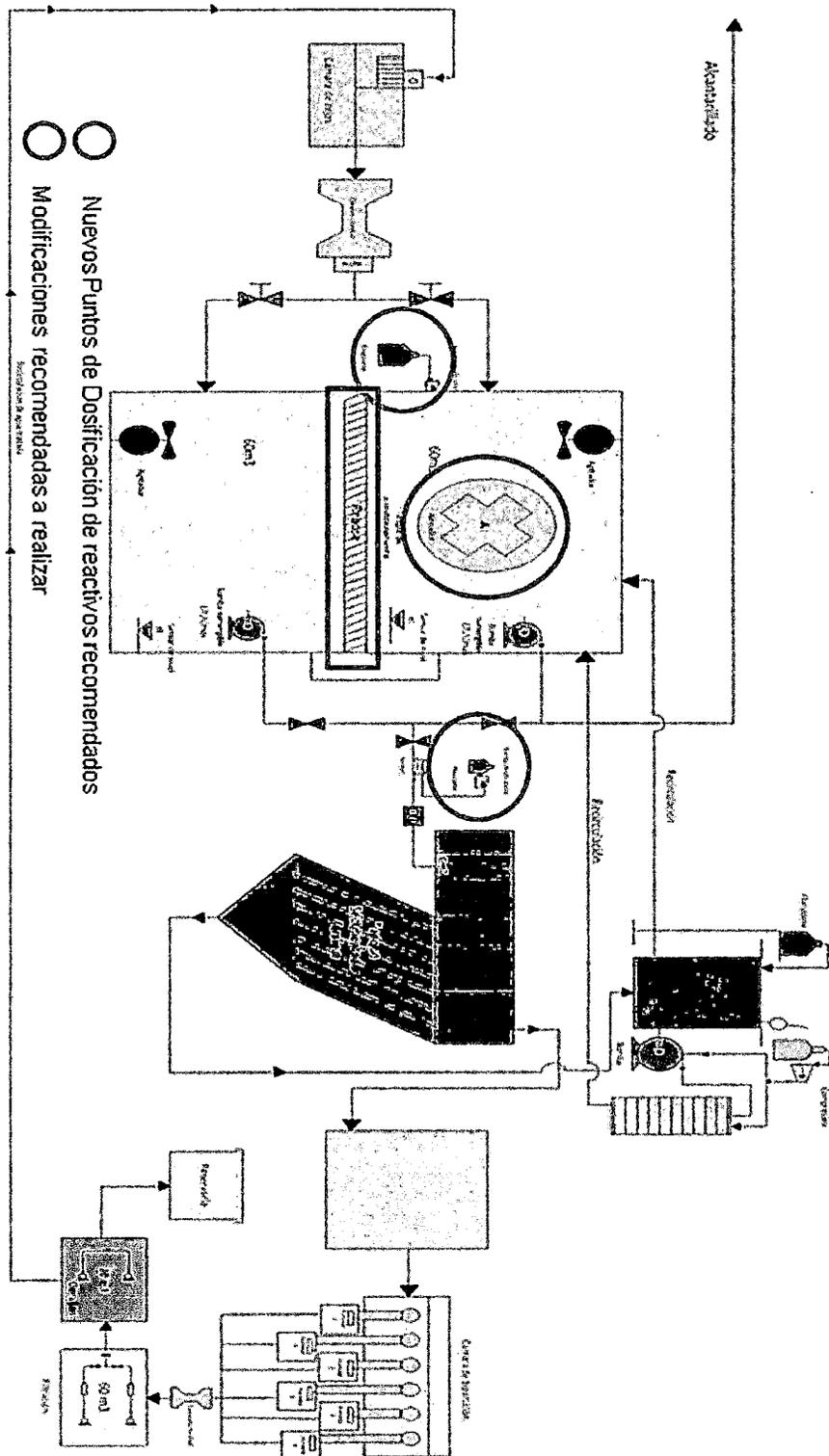
Fuente: Autoría Propia

Figura N°6.2: Pasos a seguir para la obtención de resultados de las variables evaluadas



Fuente: Autoría Propia

Figura N° 8.1: Descripción del sistema de tratamiento de la Planta de Unión Andina de Cementos S.A.A. – Sede Atocongo con las modificaciones realizadas luego de la evaluación.



Fuente: Autoría Propia

ANEXOS

Tabla N° 2.1: Estándar de Calidad Ambiental - Agua Clase III - Riego de vegetales y bebidas de animales – Parte I

CATEGORÍA 3: RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDAS DE ANIMALES

PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES DE TALLO BAJO Y TALLO ALTO		
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR
Físicoquímicos		
Bicarbonatos	mg/L	370
Calcio	mg/L	200
Carbonatos	mg/L	5
Cloruros	mg/L	100-700
Conductividad	(uS/cm)	<2.000
Demanda Biológica de Oxígeno	mg/L	15
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	40
Fluoruros	mg/L	1
Fosfatos - P	mg/L	1
Nitratos (NO ₃ -N)	mg/L	10
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	0,05
Oxígeno Disuelto	mg/L	> =4
pH	Unidad de pH	6,5 - 8,5
Sodio	mg/L	200
Sulfatos	mg/L	300
Sulfuros	mg/L	0,05
Inorgánicos		
Aluminio	mg/L	5
Arsénico	mg/L	0,05
Bario total	mg/L	0,7
Boro	mg/L	0,5-6
Cadmio	mg/L	0,005
Cianuro Total	mg/L	0,1
Cobalto	mg/L	0,05
Cobre	mg/L	0,2
Cromo (6+)	mg/L	0,1
Hierro	mg/L	1
Litio	mg/L	2,5
Magnesio	mg/L	150
Manganeso	mg/L	0,2
Mercurio	mg/L	0,001
Níquel	mg/L	0,2
Plata	mg/L	0,05
Plomo	mg/L	0,05
Selenio	mg/L	0,05
Zinc	mg/L	2
Orgánicos		
Aceites y Grasas	mg/L	1
Fenoles	mg/L	0,001
S.A.A.M. (detergentes)	mg/L	1
Plaguicidas		
Aldicarb	ug/L	1
Alifin (CAS 309-00-2)	ug/L	0,004
Clordano (CAS 57-74-9)	ug/L	0,3
DDT	ug/L	0,001
Dieldrin (N° CAS 72-20-8)	ug/L	0,7
Endrin	ug/L	0,004

Fuente: ECA – Agua Clase III - Riego de vegetales y bebidas de animales

Tabla N°2.2: Estándar de Calidad Ambiental - Agua Clase III - Riego de vegetales y bebidas de animales – Parte II

PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES DE TALLO BAJO Y TALLO ALTO		
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR
Endosulfán	ug/L	0,02
Hepcloruro (N° CAS 76-44-8) y heptacloripóxido	ug/L	0,1
Lindano	ug/L	4
Paratión	ug/L	7,5

Fuente:ECA – Agua Clase III - Riego de vegetales y bebidas de animales

Tabla N°2.3: Estándar de Calidad Ambiental - Agua Clase III - Riego de vegetales y bebidas de animales – Parte III

CATEGORÍA 3: RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDAS DE ANIMALES

PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES			
PARÁMETROS	Unidad	Vegetales Tallo Bajo	Vegetales Tallo Alto
		Valor	Valor
Biológicos			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1 000	2 000(3)
Coliformes Totales	NMP/100mL	5 000	5 000(3)
Enterococos	NMP/100mL	20	100
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	100	100
Huevos de Helminfos	huevo/filtro	<1	<1(1)
<i>Salmonella</i> sp.		Ausente	Ausente
<i>Vibrio cholerae</i>		Ausente	Ausente

Fuente:ECA – Agua Clase III - Riego de vegetales y bebidas de animales

Cuadro N°2.1: Características del Efluente doméstico en las pruebas piloto previa la construcción de la PTAR que actualmente opera

PARAMETROS	ANÁLISIS DE EFLUENTES RESIDUALES - MENSUALES													
	UNID.	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	PROM.
Temperatura	°C	30.7	28	27.3	26	25	25	24.8	20	19.5	26	23.4	25	25.06
Caudal	l/s	8.5	9	8.3	2	2	1.5	2.5	1.2	2	1.5	1.1	2.7	3.53
pH		7.35	6.87	7.4	7.57	7.2	9.8	7.81	7.31	7.85	8.1	7.73	7.21	7.68
Sol. Dis. Tot.	mg/l	964	905	784	960	720	1246	1170	1036	1252	1168	1154	1344	1059
Sol. Sus. Tot	mg/l	210	72	56	47	102	256	87	34	165	154	268	156	134
Aceites y grasas	mg/l	7.3	17	15	5.5	6.4	9.4	3.76	1	21.4	15.6	45.4	12.6	13.4
DBO	mg/l	240	198.4	229.5	240	224.3	232.5	121	170	200.2	115	150.8	171.8	188.1
HCT	mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	19.5	-	-	-	-

Fuente: Estudio de Impacto Ambiental

Tabla N° 2.4: Calidad de agua para irrigación (Unión Europea)

PARÁMETRO	IMPORTANCIA PARA EL REGADÍO	RANGO EN EFLUENTES PROCEDENTE DEL TRATAMIENTO SECUNDARIO Y TERCIARIO	OBJETIVO TRAS EL TRATAMIENTO PARA EL REUSO DEL AGUA CON FINES AGRÍCOLAS
Sólidos totales en suspensión Turbidez	La medida de partículas se pueden relacionar con la contaminación microbiana; pueden interferir con la desinfección; obstrucción de los sistemas de regadío; deposición.	5- 50 mg/L	< 5 -35 TSS/L
		1-30 NTU	< 0.2 – 35 NTU
DBO ₅ DQO	Substrato orgánico para el crecimiento microbiano; puede generar crecimiento bacteriano en los sistemas de distribución y deposición microbial (Bio - fouling)	10 – 30 mg/L	<5-45 mg BOD/L
		50 – 150mg/L	<1-200 mg COD/L
Coliformes totales	Medida del riesgo de infección debido a la presencia potencial de patógenos; puede dar lugar a bio-fouling.		<1 –200cfu/10 ml
Metales Pesados	Algunas sales disueltas son nutrientes beneficiosos para el crecimiento de la plata, mientras otros pueden ser fitotoxicos o convertirse en fitotoxicos a ciertas concentraciones. Elementos específicos(Cd, Ni, Hg, Zn, etc.) son tóxicos para plantas, y por lo tanto existen límites máximos de concentración de estos elementos para el agua utilizada para irrigación		<0.001mgHg/L <0.01 mgCd/L <0.02- 0.1 mg Ni/L
Inorgánicos	Alta salinidad y boro son dañinos para el agua de regadío de cultivos vulnerables.		<450 – 4000 mg TDS/L < 1 mgB/L
Cloro residual	Recomendado para prevenir el crecimiento bacteriano; la concentración excesiva de cloro libre (>0.05 mg/L) puede dañar algunos cultivos vulnerables		0.5- >5 mgCl/L
Nitrógeno	Fertilizantes para regadío; puede contribuir a crecimiento bacteriano y eutrofización de depósitos de almacenamiento, corrosión(N-NH4) o incrustación (P)	10 – 30 mgN/L	<10-15 mgN/L
Fosforo		0.1 -30mgP/l	<0.1 -2 mgP/L

Fuente: <http://www.lenntech.es/aplicaciones/riego/calidad/irrigacion-calidad-agua.htm> - En la Unión Europea (UE)

Tabla N° 2.5: Características y procedencia de las aguas residuales

Características		Procedencia	
Propiedades	Color	Agua residuales domesticas e industriales, degradación natural de materia orgánica	
	Olor	Agua residuales en descomposición , residuos industriales	
	Sólidos	Agua de suministro, aguas residuales domesticas e industriales, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas	
	Temperatura	Aguas residuales domesticas e industriales.	
Constituyentes	Orgánicos	Carbohidratos	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
		Grasas y aceites	
		Pesticidas	
		Fenoles	
		Proteínas	
		Contaminantes Prioritarios	
		Tenso activos	
		Compuestos orgánicos volátiles	
		Otros	
	Inorgánicos	Alcalinidad	Aguas residuales, domesticas, agua de suministro. Infiltración de agua subterránea
		Cloruros	
		Metales pesados	Vertidos industriales
	Gases	Sulfuro de Hidrogeno	Descomposición de residuos domésticos
Metano			
Oxigeno		Agua de suministro, infiltración de agua superficial	
Constituyentes biológicos	Animales	Cursos de agua y plantas de tratamiento	
	Plantas		
	Protistas	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial plantas de tratamiento	
	Virus	Agua residuales domesticas	

Fuente: METCALF & EDDY. Ingeniería de aguas residuales, Volumen 1: Tratamiento, vertido y reutilización. Ed. McGraw Hill 1997. España. 3ed.

Tabla N° 2.6.-Límites Máximos Permisibles para efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas o Municipales (PTAR). DS-003-2010-VIVIENDA

**LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
PARA LOS EFLUENTES DE PTAR**

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

Figura N° 2.1.- Muestra como las sustancias químicas anulan las cargas eléctricas de la superficie del coloide, permitiendo que las partículas coloidales se aglomeren formando floculos.

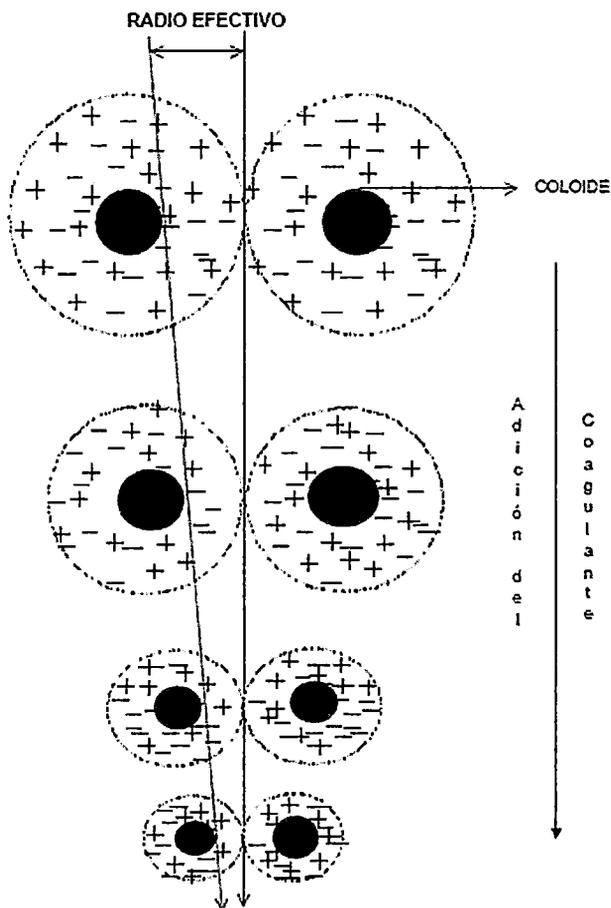


Figura N°2.2.- Fuerzas de Atracción y Repulsión

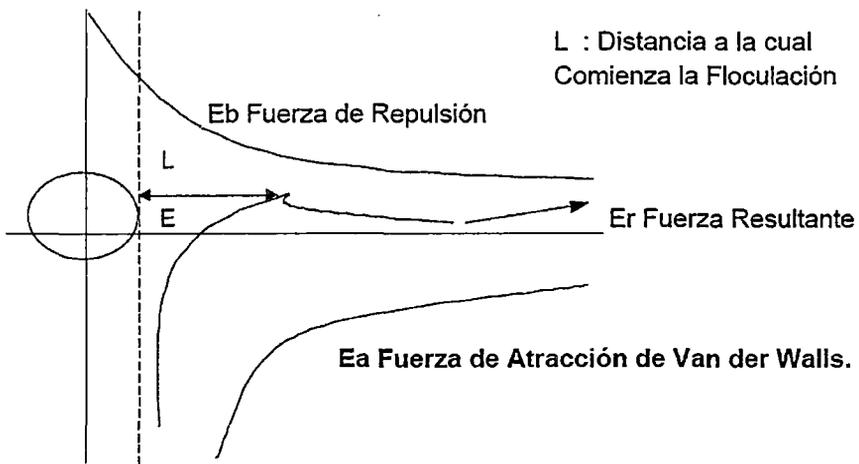


Figura N° 2.3.- Re - estabilización de Partículas

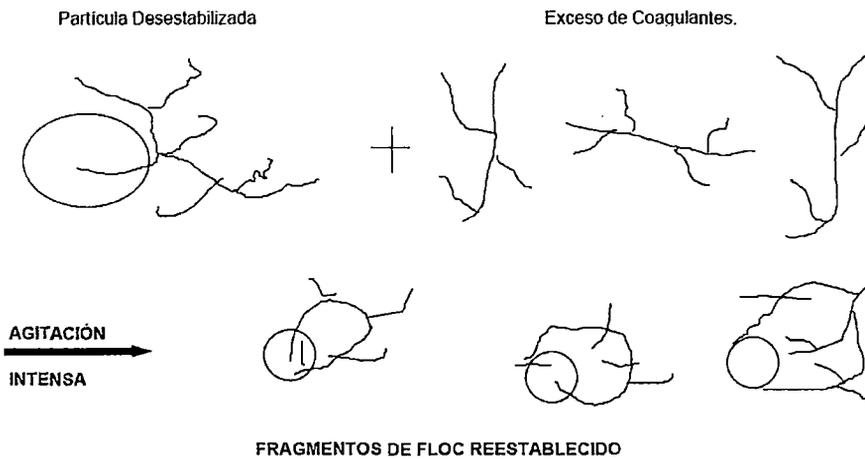


Figura N° 2.4.- Atrapamiento de las partículas en un Floc

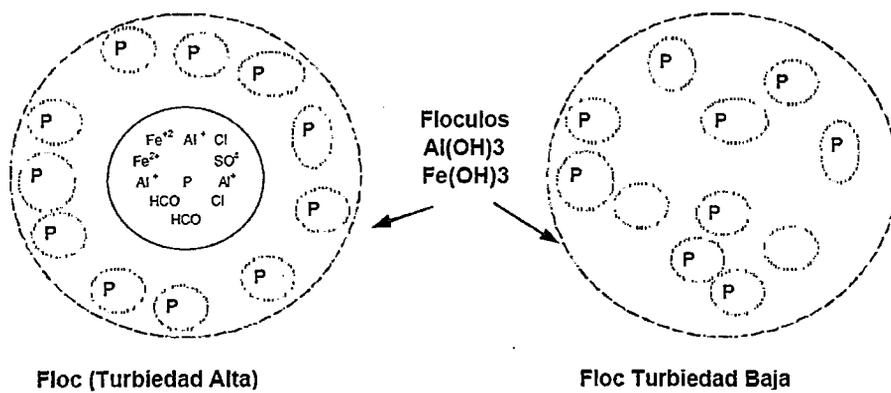


Figura N ° 2.5.- Efecto de Puente de las Partículas en Suspensión

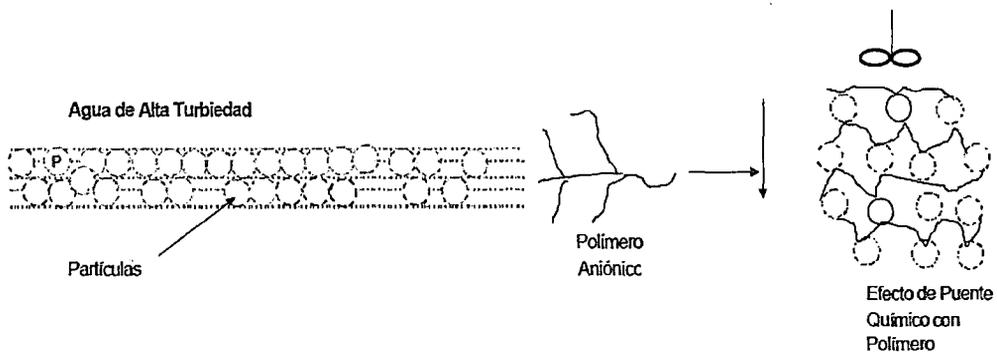


Figura N ° 2.6.- Condiciones de mezcla

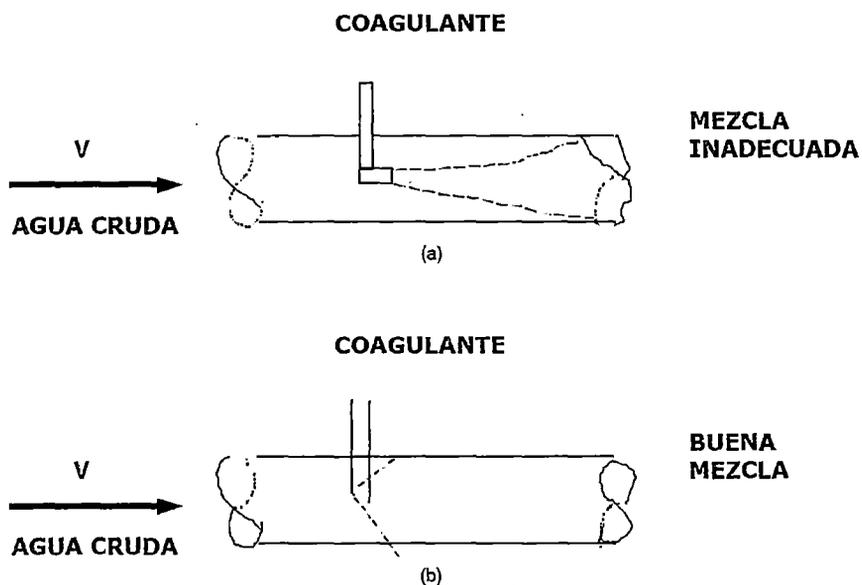


Figura N° 2.7.- Etapas o fases de la coagulación

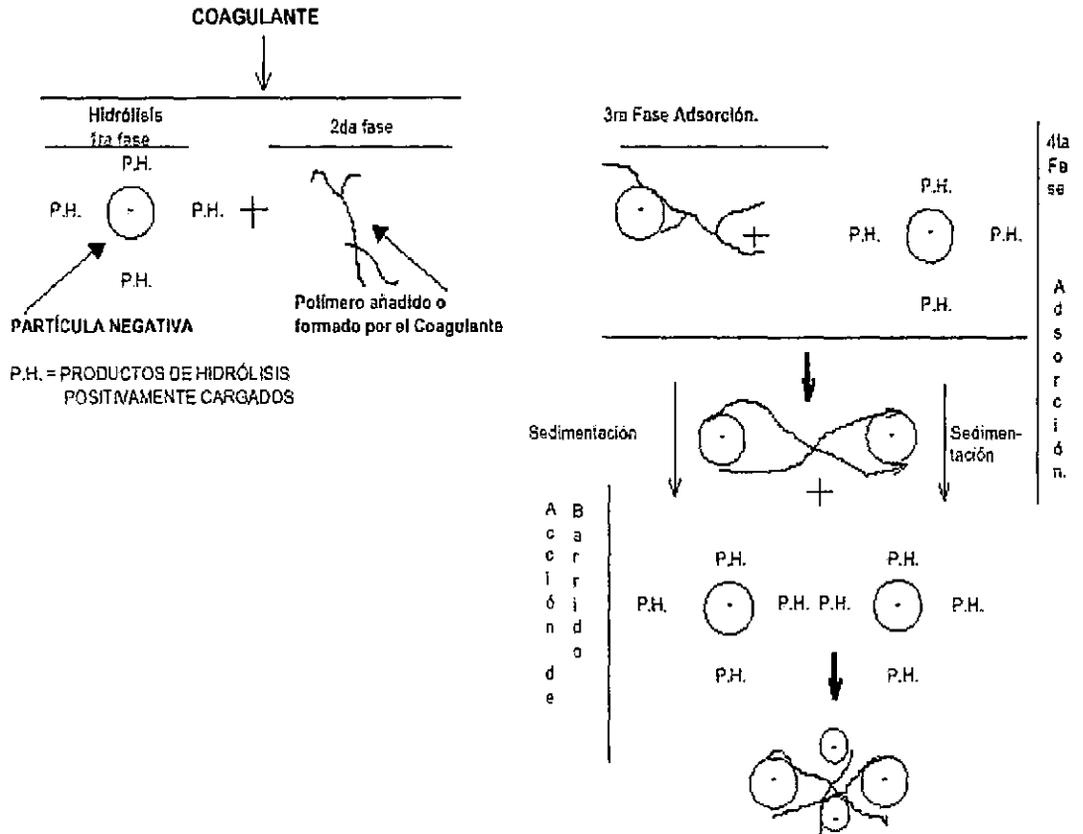


Figura N°2.8.- Coagulación por Adsorción

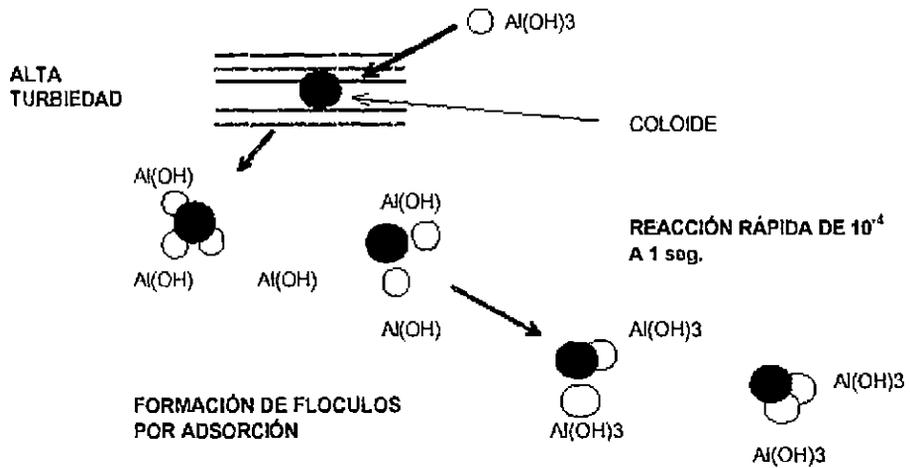


Figura N° 2. 9.- Coagulación por Barrido

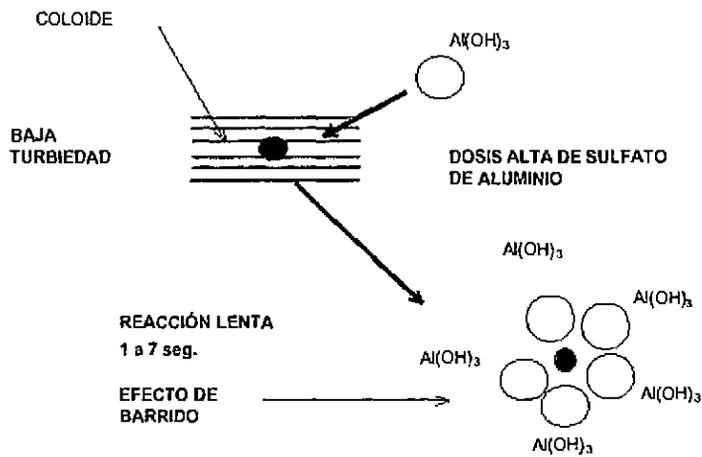


Figura N°2.10.- Se observa que en la floculación, el floculante tiende un puente entre las partículas coloides aglomeradas para formar flóculos más grandes fácilmente sedimentables.

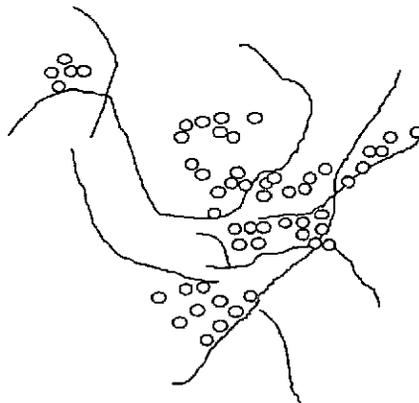


Figura N° 4.1: Equipo de Prueba de Jarras

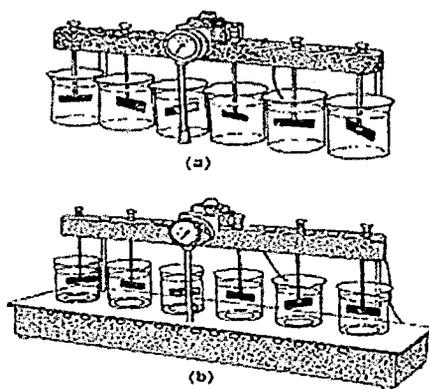
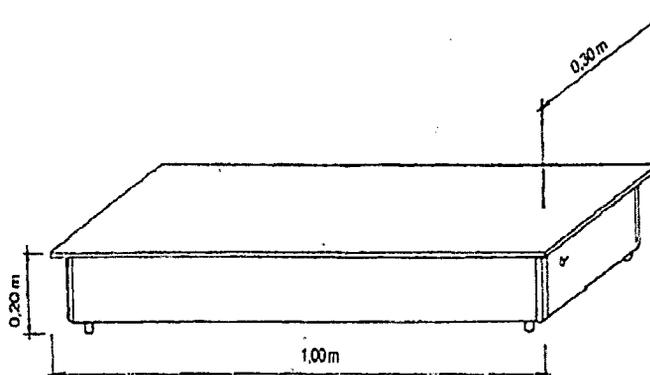


Figura N° 4.2: Base iluminada sobre la cual se coloca e equipo de jarras



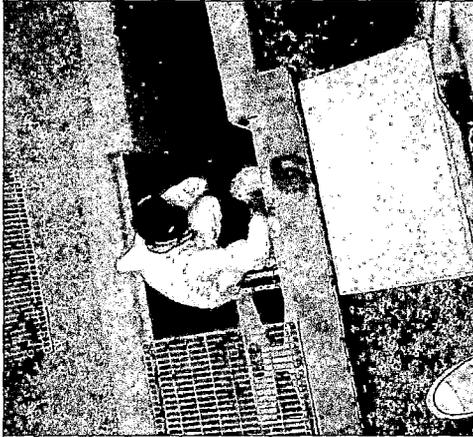


Figura N° 4.3.- Toma de la muestra de agua residual a analizar

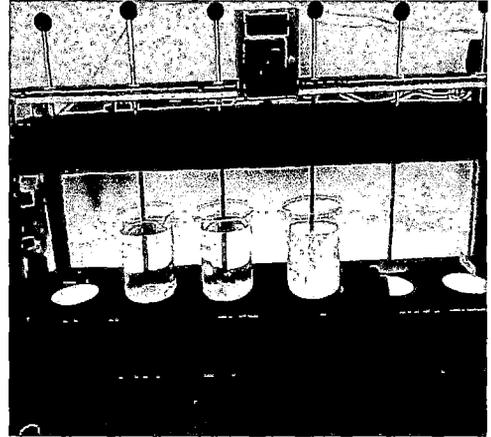


Figura N° 4.4.- Equipo de Jarras utilizado

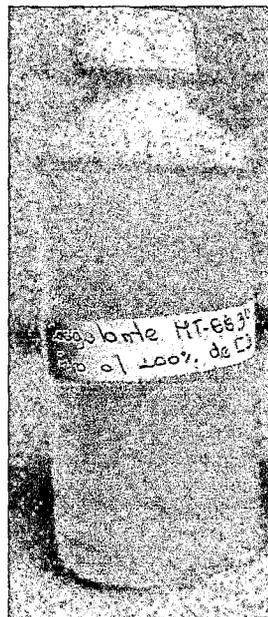


Figura N° 4.5.- Coagulante MT-8834 puro al 100%

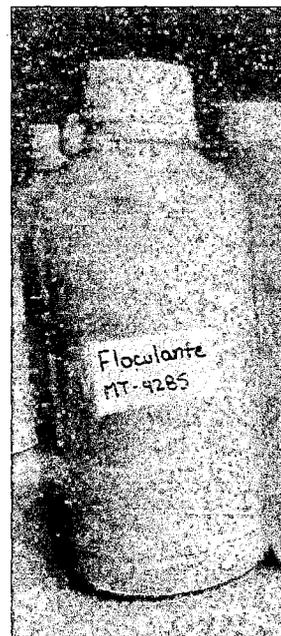


Figura N° 4.6.- Floculante MT-4285

Figura N° 4.7.- Materiales utilizados en la preparación de las muestras



Figura N°4.7 a.- Jarras Graduadas de 1000 ml y 50 ml

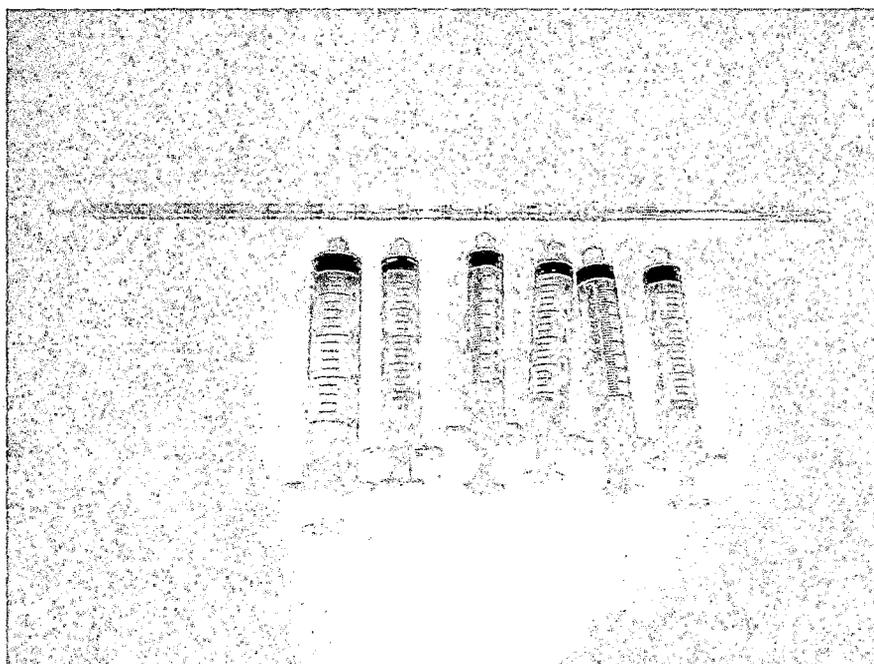


Figura N° 4.7 b.- Jeringas y pipeta para aplicación de las dosis de coagulante y floculante en las pruebas

Figura N° 4.8.- Reactivos preparados para la realización de las pruebas

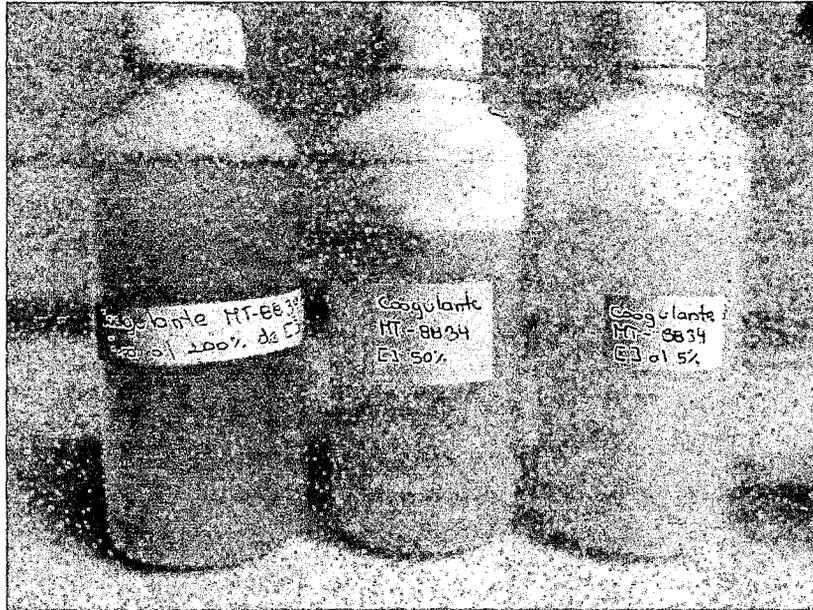


Figura N° 4.8 a.- Coagulante



Figura N° 4.8 b.- Floculante

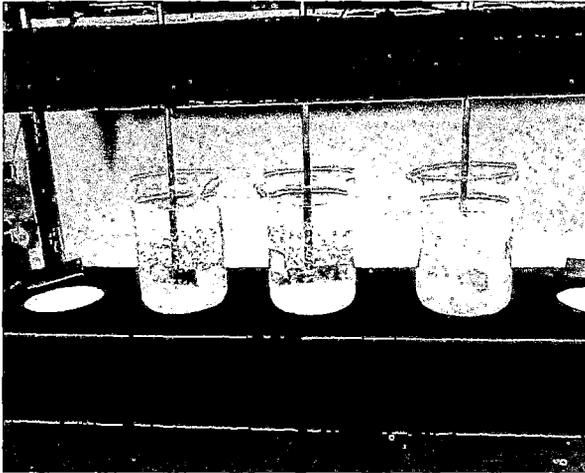


Figura N° 4.9.- Mezclado Rápido de las muestras

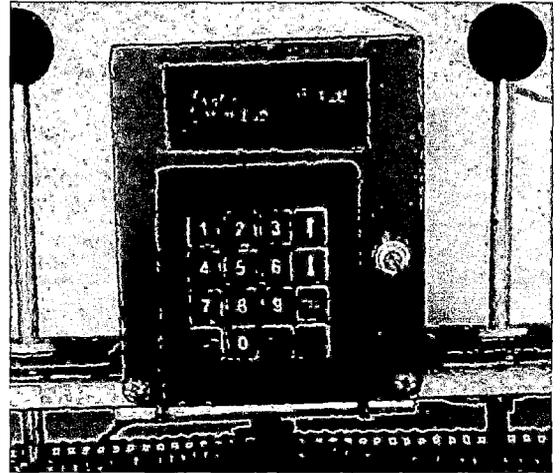


Figura N° 4.10.- Panel de control de las Pruebas de jarras

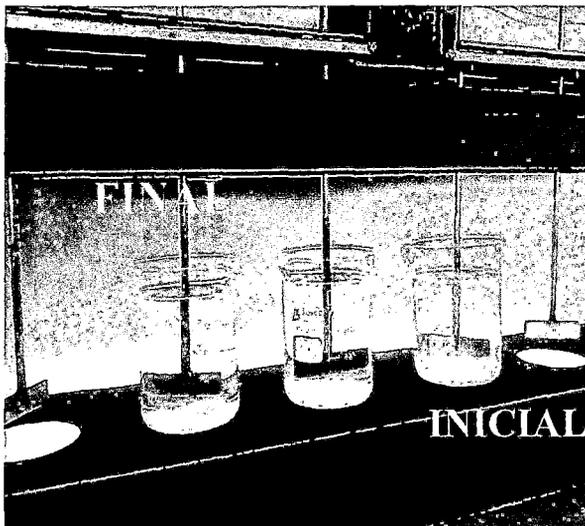


Figura N°4.11.- Muestra luego de 10 min de reposo



Figura N° 4.12.- Equipos utilizados para la medición de parámetros (Turbidímetro y pH)

Prueba de Jarras 10.06.13



MINLAB
EXPERTOS EN LABORATORIO

INFORME DE ENSAYO
N° AM-313.13

Pág. 1 de 1

Emilito en Lima, el 01 de Agosto del 2013

Nombre del Solicitante	: Hidroambiente Soluciones Tecnológicas S.A.C.
Dirección de la Empresa	: Ca. Gozzoli Norte N°580-Ofic. 401 San Borja-Lima 33
Asunto	: Análisis Físico-químicos
Tipo de Muestra	: Agua Residual
Cantidad de Muestras	: 01
Fecha de Recepción	: 11-06-2013
Características de la muestra	: Frascos de PVC y vidrio x 1L c/u, refrigeradas y preservadas.
Fecha de realización del ensayo	: Del 11-06-2013 Hasta 01-08-2013

DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	FECHA DE MONITOREO	HORA DE MONITOREO
	Agua Residual Pura	10/09/2013	19:00 Horas

Nota: La fecha de muestreo, hora y Condiciones de Muestreo son datos proporcionados por el Cliente.

MÉTODOS DE ENSAYO

DETERMINACIÓN	METODOLOGÍA
Determinación de pH	SMEWW, 21th Edition 2005, Part 4900-H-B' Electrometric Method
Determinación de Sólidos Disueltos Totales (TDS)	SMEWW 21st Edition, Part 2540 C Pág. 2-56 APHA-AWWA-WEF 2005, Total Dissolved
Determinación de Sólidos Totales	SMEWW 21st Edition, Part 2540 B, Solids, Total Solids Dried at 103-105°C
Determinación de Aceites y Grasas	EPA - Method 1654 Revision A: 1995, N-Hexane Extractable material (HEM, Oil and Grease) and Silica Gel-Treated N-Hexane Extractable Material by Extraction and Gravimetry

Los ensayos se han realizado en los Laboratorios de Minlab SRL, sito en el Jr. España N°931 - La Perla - Callao y la(s) correspondiente(s) del producto serán conservadas por un periodo de tiempo acorde a la naturaleza de la muestra y los métodos de análisis, luego del cual se eliminarán según nuestros procedimientos internos. Los resultados de los ensayos pertenecen sólo a las muestras enviadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este Informe de Ensayo no podrá ser reproducido, excepto en su totalidad, sin aprobación de Minlab SRL.



SN ASC
SOCIIDAD NACIONAL DE ORGANISMOS Acreditados en SISTEMAS DE CALIDAD

Jr. España 931 La Perla - Callao - Perú - Telfs. (51-1) 420-5955 457-6389 420-5280 457-5173 420-4933 457-6301 Fax: 457-5815
Rpe 01-9-8913-4388 Gerencia de Operaciones - Rpe 01-9-8913-4388 Gerencia de Marketing
E-mail: servicioalcliente@minlab.com.pe www.minlab.com.pe



MINLAB
EXPERTOS EN LABORATORIO

INFORME DE ENSAYO
N° AM-313.13

Pág. 2 de 2

Emilito en Lima, el 01 de Agosto del 2013

MÉTODOS DE ENSAYO

DETERMINACIÓN	METODOLOGÍA
Determinación de D.B.O ₅	EPA 405.1 Biochemical Oxygen Demand, 5 Days, 20°C, "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste, Document 20460, EPA 821-C-99-004, June 1999"
Determinación de DQO	EPA 410.2 Chemical Oxygen Demand, Titrimetric, Low-Level, "Methods for Chemical analysis of water and wastes, Document 20460, EPA 821-C-99-004, June 1999"

RESULTADO DE ENSAYOS

DETERMINACIÓN DE PARAMETROS FÍSICO QUÍMICOS:

DETERMINACIÓN	Unidades	Límite de Cuantificación	RESULTADOS
Determinación de pH	Standard	-----	7.00
Determinación de Sólidos Disueltos Totales (TDS)	mg/L	0.1	2340
Determinación de Sólidos Totales	mg/L	4.0	2380.7
Determinación de Aceites y Grasas	mg/L	0.4	2.6
Determinación de D.B.O ₅	mg/L	2.0	13.0
Determinación de DQO	mg/L	2.0	



Ing. Francisca Luna Cervero
Supervisora de Medio Ambiente



Ing. Martín Alejandro Asanza
Jefe de Laboratorio

Los ensayos se han realizado en los Laboratorios de Minlab SRL, sito en el Jr. España N°931 - La Perla - Callao y la(s) correspondiente(s) del producto serán conservadas por un periodo de tiempo acorde a la naturaleza de la muestra y los métodos de análisis, luego del cual se eliminarán según nuestros procedimientos internos. Los resultados de los ensayos pertenecen sólo a las muestras enviadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este Informe de Ensayo no podrá ser reproducido, excepto en su totalidad, sin aprobación de Minlab SRL.



SN ASC
SOCIIDAD NACIONAL DE ORGANISMOS Acreditados en SISTEMAS DE CALIDAD

Jr. España 931 La Perla - Callao - Perú - Telfs. (51-1) 420-5955 457-6389 420-5280 457-5173 420-4933 457-6301 Fax: 457-5815
Rpe 01-9-8913-4388 Gerencia de Operaciones - Rpe 01-9-8913-4388 Gerencia de Marketing
E-mail: servicioalcliente@minlab.com.pe www.minlab.com.pe

Prueba de Jarras 14.08.13

INFORME DE ENSAYO N° AM – 355.13

Emitido en Lima, el 02 de Setiembre 2013

Pág. 1 de 3

Nombre del Solicitante : Hidroambiente Soluciones Tecnológicas S.A.C.
 Dirección de la Empresa : Ca. Gozzoli Norte N°580-Ofic. 401 San Borja-Lima 33
 Asunto : Análisis Físico-químicos
 Tipo de Muestra : Agua Residual
 Cantidad de Muestras : 02
 Fecha de Recepción : 14-08-2013
 Características de la muestra : Frascos de PVC y vidrio x 1L c/u. refrigeradas y preservadas.
 Fecha de realización del ensayo : Del 14-08-2013 Hasta 02-09-2013

DESCRIPCION DE MUESTRAS

CÓDIGO	DESCRIPCION	FECHA DE MONITOREO
*****	Agua Pura	14-08-2013
*****	Agua Tratada	14-08-2013

Nota: Muestras enviadas por el cliente/ Datos proporcionados por el cliente.

MÉTODOS DE ENSAYO

DETERMINACION	METODOLOGIA
Determinación de pH	SMEWW, 21th Edition, 2005, Part 4 590-H-B, Electrometric Method.
Determinación de Turbiedad	ISO 7027:1998 "Water Quality, Determination of Turbidity"
Determinación de Sólidos Disueltos Totales (TDS)	SMEWW 21 st Edición, Part 2540 C Pág. 2-50 APHA-AWWA-WEF 2005, Total Dissolved Solids Dried 180 °C

Los ensayos se han realizado en los Laboratorios de Minlab SRL, sito en el Jr. España N°931 "La Perla" - Callao y UIC) contra muestra(s) del producto serán conservadas por un periodo de tiempo de acuerdo a la naturaleza de la muestra y los métodos de análisis, luego del cual se eliminarán según nuestros procedimientos internos. Los resultados de los ensayos pertenecen sólo a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este Informe de Ensayo no podrá ser reproducido, excepto en su totalidad, sin aprobación de Minlab SRL.

AM-FR-11/ Versión: 03

INFORME DE ENSAYO N° AM – 355.13

Emitido en Lima, el 02 de Setiembre 2013

Pág. 2 de 3

MÉTODOS DE ENSAYO

DETERMINACION	METODOLOGIA
Determinación de Sólidos Totales en Suspensión (TSS)	SMEWW, APHA, AWWA, WEF, 21 st Edición, 2005, Part. 2540 D-Sólidos totales en suspensión secados a 103-105 °C.
Determinación de D.B.O. ₅	Electrometrica, SM 5210B Ed 22
Determinación de DQO	Spect UV/VIS, SM 5220D Ed 22
Determinación de Aceites y Grasas	EPA – Method 1694 Revision A; 1999, N-Hexane Extractable material (HEM, Oil and Grease) and Silica Gel Treated N-Hexane Extractable Material by Extraction and Gravimetry
Determinación de Coliformes Totales	Coli-ert Test Kit Quanti Tray 2000 for Total Coliform and E. Coli.
Determinación de Coliformes Termotolerantes	Coli-ert Test Kit Quanti Tray 2000 for Total Coliform and E. Coli.
Determinación de Huevos Helmintos	NMX-AA-113-SCFI-1999 – Análisis de agua – Determinación de Huevos Helmintos

RESULTADO DE ENSAYOS

DETERMINACION DE PARAMETROS FISICO QUIMICOS:

DETERMINACION	Unidades	Límite de Cuantificación	RESULTADOS	
			Agua Pura	Agua Tratada
Determinación de pH	Standard	*****	7.88	8.74
Determinación de Turbiedad	NTU	0.10	124	3.78
Determinación de Sólidos Disueltos Totales (TDS)	mg/L	0.1	*****	1812.5

Los ensayos se han realizado en los Laboratorios de Minlab SRL, sito en el Jr. España N°931 "La Perla" - Callao y UIC) contra muestra(s) del producto serán conservadas por un periodo de tiempo de acuerdo a la naturaleza de la muestra y los métodos de análisis, luego del cual se eliminarán según nuestros procedimientos internos. Los resultados de los ensayos pertenecen sólo a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este Informe de Ensayo no podrá ser reproducido, excepto en su totalidad, sin aprobación de Minlab SRL.

AM-FR-11/ Versión: 03

INFORME DE ENSAYO
N° AM - 355.13

Emitido en Lima, el 02 de Setiembre 2013

Pág. 3 de 3

DETERMINACION DE PARAMETROS FISICO QUIMICOS:

DETERMINACION	Unidades	Límite de Cuantificación	RESULTADOS	
			Agua Pura	Agua Tratada
Determinación de Sólidos Totales en Suspensión (TSS)	mg/L	5.0	*****	28.3
Determinación de Aceites y Grasas	mg/L	0.4	*****	4.6
Determinación de D.B.O.	mg/L	1.07	*****	10.1
Determinación de DQO	mg/L	10.0	*****	28

* La determinación de DBO y DQO fueron realizados por un tercer laboratorio.

Ing. Francesca Lima Cavero
Supervisora de Medio Ambiente

Ing. Martín Rivadeneira Asanzo
Jefe de Laboratorio

Los ensayos se han realizado en los Laboratorios de MINUB SRL, s.a en el Jr. España N°911-La Perla- Callao y (s) (contaminantes) del producto se han conservados por un periodo de tiempo de acuerdo a la naturaleza de la muestra y los métodos de análisis. Luego del cual se eliminarán según nuestros procedimientos internos. Los resultados de los ensayos pertenecen sólo a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este Informe de Ensayo no podrá ser reproducido, excepto en su totalidad, sin aprobación de Minub S.a.

AM-FR-11/ Versión: 03

Prueba de Jarras 17.08.13

INFORME DE ENSAYO
N° AM-368.13

Emitido en Lima, el 06 de Setiembre del 2013

Pág. 1 de 3

Nombre del Solicitante : Hidroambiente Soluciones Tecnológicas S.A.C.
 Dirección de la Empresa : Co. Gozrol Norte PP580-Ofic. 401 San Borja-Uma 33
 Azúto : Análisis Físico-químico
 Tipo de Muestra : Agua Residual
 Cantidad de Muestras : 02
 Fecha de Recepción : 17-08-2013
 Características de la muestra : Frascos de PVC y vidrio x 1L c/a refrigerados y preservados.
 Fecha de realización del ensayo : Del 17-08-2013 Hasta 06-09-2013

DESCRIPCION DE MUESTRAS

CÓDIGO	DESCRIPCION	FECHA DE MONITOREO
*****	Agua Pura	17/08/2013
*****	Agua Tratada	17/08/2013

Nota: Muestras enviadas por el cliente (datos proporcionados por el cliente).

MÉTODOS DE ENSAYO

DETERMINACION	METODOLOGIA
Determinación de pH	SMEWRN, 21th Edition, 2012, Para 4500-H-B, Electrodo de Líquido.
Determinación de Turbiedad	ISO 7027:1999 "Water Quality. Determination of Turbidity".
Determinación de Sólidos Disueltos Totales (TDS)	SMEWY 23 rd Edition, Para 2540 G Pág. 2-59 APHA-AWWA-WEF 2000. Total Dissolved Solids Direct 189.1C

Los ensayos se han realizado en los Laboratorios de MINUB SRL, s.a en el Jr. España N°911-La Perla- Callao y (s) (contaminantes) del producto se han conservados por un periodo de tiempo de acuerdo a la naturaleza de la muestra y los métodos de análisis. Luego del cual se eliminarán según nuestros procedimientos internos. Los resultados de los ensayos pertenecen sólo a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este Informe de Ensayo no podrá ser reproducido, excepto en su totalidad, sin aprobación de Minub SRL.

AM-FR-11/ Versión: 03

INFORME DE ENSAYO
N° AM-368.13

Emitido en Lima, el 06 de Setiembre del 2013

Fig. 2 de 3

MÉTODOS DE ENSAYO

DETERMINACION	METODOLOGIA
Determinación de Sólidos Totales en Suspensión (TSS)	SM/ENW, APHA, AWWA, WEF.21 ST Edición.2005,Part. 2540 D.Sólidos totales en suspensión secados a 103-105 °C.
Determinación de D.B.O ₅	Electrometría, SM 5210B Ed 22
Determinación de DQO	Espect UV-VIS, SM 5220D Ed 22
Determinación de Aceites y Grasas	EPA – Method 1664 Revision A; 1999, N-Hexane Extractable material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel Treated N-Hexane Extractable Material by Extraction and Gravimetry
Determinación de Coliformes Totales	Colfert Test Kit Quantity Tray 2000 for Total Coliform and E. Coli.
Determinación de Coliformes Termotolerantes	Colfert Test Kit Quantity Tray 2000 for Total Coliform and E. Coli.
Determinación de Huevos Helmintos	NMX-AA-113-SCFI-1999 – Análisis de agua – Determinación de Huevos Helmintos

RESULTADO DE ENSAYOS

DETERMINACION DE PARAMETROS FISICO QUIMICOS:

DETERMINACION	Unidades	Limite de Cuantificación	RESULTADOS	
			Agua Pura	Agua Tratada
Determinación de pH	Standard	*****	7.50	7.00
Determinación de Turbiedad	NTU	0.10	35.27	5.71
Determinación de Sólidos Disueltos Totales(TDS)	mg/L	0.1	*****	1912.0

Los ensayos se han realizado en los Laboratorios de Minlab SRL, s.a en el Jr. España N°931 -La Perla- Callao y la(s) contramuestra(s) del producto serán conservadas por un periodo de tiempo de acuerdo a la naturaleza de la muestra y los métodos de análisis, luego del cual se eliminarán según nuestros procedimientos internos. Los resultados de los ensayos pertenecen sólo a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
Este Informe de Ensayo no podrá ser reproducido, excepto en su totalidad, sin aprobación de Minlab SRL.

AM-FR-11/ Versión: 03

INFORME DE ENSAYO
N° AM-368.13

Emitido en Lima, el 06 de Setiembre del 2013

Fig. 2 de 3

MÉTODOS DE ENSAYO

DETERMINACION	METODOLOGIA
Determinación de Sólidos Totales en Suspensión (TSS)	SM/ENW, APHA, AWWA, WEF.21 ST Edición.2005,Part. 2540 D.Sólidos totales en suspensión secados a 103-105 °C.
Determinación de D.B.O ₅	Electrometría, SM 5210B Ed 22
Determinación de DQO	Espect UV-VIS, SM 5220D Ed 22
Determinación de Aceites y Grasas	EPA – Method 1664 Revision A; 1999, N-Hexane Extractable material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel Treated N-Hexane Extractable Material by Extraction and Gravimetry
Determinación de Coliformes Totales	Colfert Test Kit Quantity Tray 2000 for Total Coliform and E. Coli.
Determinación de Coliformes Termotolerantes	Colfert Test Kit Quantity Tray 2000 for Total Coliform and E. Coli.
Determinación de Huevos Helmintos	NMX-AA-113-SCFI-1999 – Análisis de agua – Determinación de Huevos Helmintos

RESULTADO DE ENSAYOS

DETERMINACION DE PARAMETROS FISICO QUIMICOS:

DETERMINACION	Unidades	Limite de Cuantificación	RESULTADOS	
			Agua Pura	Agua Tratada
Determinación de pH	Standard	*****	7.50	7.00
Determinación de Turbiedad	NTU	0.10	35.27	5.71
Determinación de Sólidos Disueltos Totales(TDS)	mg/L	0.1	*****	1912.0

Los ensayos se han realizado en los Laboratorios de Minlab SRL, s.a en el Jr. España N°931 -La Perla- Callao y la(s) contramuestra(s) del producto serán conservadas por un periodo de tiempo de acuerdo a la naturaleza de la muestra y los métodos de análisis, luego del cual se eliminarán según nuestros procedimientos internos. Los resultados de los ensayos pertenecen sólo a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
Este Informe de Ensayo no podrá ser reproducido, excepto en su totalidad, sin aprobación de Minlab SRL.

AM-FR-11/ Versión: 03

MT – 4285

HOJA TÉCNICA

Generalidades

Nombre del Producto	MT – 4285
Familia Química	Poliacrilamida Anionica

Especificaciones Técnicas

Apariencia	Polvo Granular Blanco
Ionicidad Teórica (% Mol)	5
Carga Iónica	Baja
Peso Molecular ($\times 10^3$)	14000
pH solución al 0.5% @ 25°C	6.0 – 8.0
Viscosity, cps: (Brookfield) 1 %	2000 - 5500
Densidad	0.57
Insolubles (%)	3.5 max
Tamaño de Partícula:	≥ 18 MESH ≤ 30.0
	≤ 100 MESH ≤ 6.0
ER (%)	87 min.

Presentación

Bolsas x 25 kg

Ventajas

Fácilmente soluble en agua.
Alta y rápida performance para sedimentar.
Reduce y evita uso de sales inorgánicas.
Uso económico: eficiente a bajas dosificación.
Trabaja a un amplio rango de pH, sin cambiar el pH del sistema.
Es un químico seco y tiene un amplio tiempo de vida media.

Precauciones

Puede irritar ojos y la piel.

Para su manipuleo usar guantes de goma y ropa protectora adecuada. Los métodos más convenientes de dispersar este producto son un alimentador seco del polvo.

Preparación de Soluciones

Preparación	Para obtener soluciones homogéneas es necesario obtener una eficiente dispersión. El método más conveniente para dosificar este producto es a través de una unidad de alimentación de polvo seco. Las soluciones se deben preparar al 0.1 - .13%. Para obtener una buena performance del producto la temperatura del agua debe estar entre 10 °C y 40°C Después de la dispersión es necesario agitar por una hora para asegurar la dilución completa. Se debe usar un tipo de agitador con una velocidad de 200 -500 rpm.
Aplicación	Para obtener resultados óptimos, el polímero se debe agregar como solución diluida cerca de 0.1% o menos. El polímero se debe agregar en un punto de turbulencia para asegurar una mezcla completa.
Dosificación	<ul style="list-style-type: none">• Floculantes 0.2 to 10 mg/lit• Ayuda de floculación 0.05 to 1 mg/lit• Ayuda de filtración 0.01 to 0.1 mg/litAcondicionadores de lodos 10 to 200 mg/lit
Principales usos	Tratamientos de aguas : Para clarificación Tratamiento de aguas de procesos: Separadores API, clarificación primaria, aguas de flotación, sedimentación y desecación de lodos.

Aviso Importante

La información aquí redactada son confiables y representa la mejor información actualmente disponible por nosotros. Sin embargo, no hacemos ninguna garantía u otra autorización, expresada o implicado, con respecto a esta información. Nosotros no asumimos ninguna responsabilidad resultando de su uso. Los usuarios deben hacer sus propias investigaciones para determinar la conveniencia de la información para sus aplicaciones particulares.

HOJA DE DATOS TECNICOS (Technical Data Sheet)

1.- PRODUCTO

NOMBRE TECNICO : Coagulante
NOMBRE COMERCIAL : MT - 8834

2.- PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Aspecto : Líquido ligeramente amarillo
Concentración : Solución al 50 % de sólidos
Oxido de Aluminio : 15.0 – 17.0%.
pH (puro) : 1.5 -2.0
Densidad (20°C) : 1.24 – 1.28 gr/ml
Solubilidad : 100% soluble en agua
Turbidez : < 50NTU
Olor : Característico

3.- APLICACION

- El **MT- 8834**; Es un coagulante mejorado y con un contenido de materia activa de Sal Polimerizada de Clorhidratos de Aluminio entre otros componentes, formulado especialmente para tratar efluentes con alto contenido de carga orgánica (derivados de leche y otros lácteos).
- También puede utilizarse para el tratamiento de aguas industriales, para el proceso de clarificación en la industria textil, minera, petróleo, papel, etc.; Siempre y cuando haya en esta agua un elevado contenido de grasas y aceites.
- La concentración de este producto es de 50 % de sólidos.
- El **MT - 8834**; Elimina en un 80% el uso del sulfato de aluminio (alumbre) u otro coagulante primario (FeCl₃, FeSO₄).
- La ventaja del **MT-8834**, en la dosificación es de 1/3 frente al uso del sulfato de aluminio, de ahí que el agua no se cargue tanto de insolubles como de residuales.
- Forma flóculos grandes de rápida sedimentación en el proceso de clarificación.
- Disminuye o elimina los ayudantes de ajuste de pH.
- Tiene poco o ningún efecto sobre el pH del agua.
- Es efectivo en un rango amplio de pH.
- Remueve el color orgánico.
- No se afecta en presencia del Cloro.
- Es efectivo en aguas con altos sólidos disueltos de carácter aniónico, alta turbiedad y alcalinidad.
- Reduce el volumen de lodos y permite su fácil deshidratación.
- Fácil manejo por su forma líquida.
- Es totalmente compatible con floculantes polímeros tipo poliacrilamidas y poliaminas, (floculantes y coagulantes orgánicos).
- Baja de manera eficaz el DQO, DBO₅; contenido en los efluentes en la primera etapa de tratamiento.

4.- MEDIDAS DE ALAMCENAJE

Se debe almacenar bajo techo y a temperatura 20 °C, en depósitos de PVC, polietileno o material de plástico, ya que el producto es ligeramente corrosivo, protegido contra el sol y la lluvia.
Mantener los envases cerrados.

5.- FORMAS DE DOSIFICACION

- El **MT-8834**, se adiciona al agua o proceso por tratamiento en forma continua o por batch y de ser necesario con una bomba dosificadora.
- Este producto puede dosificarse puro o diluido en agua en rangos entre 5 a 20%.
- La cantidad aplicada se rige por la calidad pre-establecida, temperatura, condiciones de medio ambiente, instalaciones de equipos, así como tiempo de residencia y velocidades de recirculación.
- La dosis requerida del **MT-8834**, va a depender de la carga contaminada del afluente a tratar y del sistema de cada planta. Sin embargo, a través de las pruebas de test de jarras en el laboratorio, podemos establecer la dosis optima del producto y observar los beneficios del mismo

6.- PRESENTACION

En tambores de plástico de 227kg. Neto e IBC de 1000kg.
Disponibilidad en stock.

7.- MEDIDAS DE SEGURIDAD PARA SU USO

El producto **MT -8834**, se debe manejar como cualquier producto químico no peligroso empleando guantes, gafas protectoras, evitando contacto con la piel, ojos, y vestido. En caso contrario lavar con suficiente agua y jabón.

AVISO IMPORTANTE

Los datos consignados en esta HOJA DE TECNICA DEL PRODUCTO fueron obtenidos de fuentes confiables y no eximen al cliente de realizar su control en la recepción de este material. Las recomendaciones presentadas en este documento son de profesionales capacitados. La empresa no se responsabiliza por el uso inadecuado que se haga del producto y/o la información vertida. Determinar las condiciones de uso seguro de este producto es obligación del usuario.

**PROGRAMA REGIONAL OPS / EHP / CEPIS
DE MEJORAMIENTO DE CALIDAD DE
AGUA PARA CONSUMO HUMANO**

CICLO : CIENCIAS BASICAS DE TRATAMIENTO DE AGUA

**MODULO : 2.7 PROCESOS UNITARIOS - ENSAYOS DE
LABORATORIO**

**SUBMODULO : 2.7.3 DETERMINACION DE VARIABLES
QUIMICAS**

MANUAL DE INSTRUCCION

PREPARADO POR

Quim. Marfa Luisa Castro de Esparza

Ing. José M. Pérez Carrión

VERSION PRELIMINAR

ABRIL 1981

1. Introducción

Entre las variables que influyen en la remoción de color y/o turbiedad, podemos citar: tipos y dosis de coagulante empleado, el efecto del pH, alcalinidad, tipo y origen del color y turbiedad y tipos y dosis de ayudantes de coagulación.

Estos factores pueden ser determinados con mucha exactitud a nivel de laboratorio, pudiendo analizarse las siguientes variables químicas:

- a) Selección de coagulante más apropiado,
- b) Determinación de dosis óptima de coagulante,
- c) Determinación de la influencia del pH en la coagulación.
- d) Evaluación de la eficiencia de los ayudantes de coagulación y floculación.
- e) Determinación conjunta de dosis y pH óptimos,
- f) Forma y secuencia de aplicación de las sustancias químicas.
- g) Determinación de la influencia que la concentración de los coagulantes tiene en la coagulación.

Estos factores son función del tipo de problema existente en las aguas, por lo cual la revisión indicada a continuación puede servir para ayudar a decidir qué investigar en los ensayos mediante las pruebas de jarras y cómo interpretar algunos de los datos obtenidos.

1.1 Coagulación de la turbiedad

La turbiedad en el agua es causada por la presencia de materia en suspensión tal como arcilla, partículas orgánicas, plankton y otros organismos microscópicos, presentándose cuatro tipos:

- Alta turbiedad, alta alcalinidad.- Sistema de más fácil tratamiento debido a que con esta agua muchos coagulantes son efectivos. Los polímeros catiónicos proveen una buena desestabilización y una concentración grande de partículas permite fácil floculación en los aglomerados. Pueden ser también efectivos los polímeros aniónicos y no iónicos, posiblemente a más bajo costo. Para tratar este tipo de agua se requiere materiales de alto peso molecular. Las sales de aluminio y hierro generalmente son efectivas. El sulfato de aluminio actúa mejor en una región de pH entre 6 y 7, y las sales férricas en una región de pH entre 5 y 7. Cuando se emplean estos coagulantes es posible que no necesiten ayudantes de coagulación o adición de alcalinizantes para controlar el pH.

- Alta turbiedad, baja alcalinidad.- Aquí los polímeros funcionan como en el caso anterior. También son efectivas las sales de hierro y aluminio, pero se debe controlar cuidadosamente el pH durante la prueba. La coagulación se efectúa con mayor eficiencia en los mismos rangos de pH de las aguas del caso anterior. Puede ser necesaria la adición de alcalinizantes para prevenir que baje el pH por debajo de los niveles óptimos requeridos para la formación de los polímeros de aluminio y hierro.

- Baja turbiedad, alta alcalinidad.- En este tipo de aguas los polímeros no pueden trabajar solos. Usualmente se deben adicionar partículas antes del polímero. Se requieren altas dosis de coagulantes para producir la precipitación del $\text{Al}(\text{OH})_3(\text{s})$ o el $\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s})$. Los precipitados gelatinosos pueden ser ligeramente estables. Se puede reducir la dosis de alúmina si se adiciona arcillas o sílice activada, produciendo un floc más pesado. De igual manera se puede lograr este efecto adicionando polímeros aniónicos.

- Baja turbiedad, baja alcalinidad.- Estas aguas son las más difíciles de coagular. Debido a la baja turbiedad los polímeros no trabajan solos. Como en el caso anterior, para aumentar la turbiedad se pueden adicionar arcillas. Las sales de aluminio y hierro generalmente son inefectivas si se usan solas, debido a que el pH puede bajar a niveles más bajos que el rango de precipitación de el $\text{Al}(\text{OH})_3(\text{s})$ y $\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s})$ para que se produzca floculación. Similarmente, la floculación es demasiado baja para permitir la agregación si se forman los polímeros metálicos para alcanzar la carga de neutralización.

Para aliviar el problema se pueden tomar las siguientes decisiones:

- a) Adición de cal u otro alcalinizante para llevar el agua al tipo 3,
- b) adicionar arcillas o sus equivalentes para transformar el agua al tipo 2.

1.2 Coagulación del color

El color en el agua se debe en principio a la presencia de materia orgánica natural, especialmente de los ácidos húmicos y fúlvicos. Los ácidos húmicos son los componentes solubles en bases fuertes pero insolubles en ácidos fuertes; los ácidos fúlvicos son solubles en ácidos y bases. Los primeros se pueden agregar naturalmente en partículas coloidales con los pesos moleculares más altos aparentemente, los segundos tienen pesos moleculares más bajos. Debido a la presencia de los grupos carboxílicos y fenólicos, las sustancias húmicas tienen una alta capacidad de intercambio catiónico y pueden concentrar o enlazar iones metálicos. Debido a sus características orgánicas ellos pueden acumular compuestos orgánicos hidrofóbicos, incluyendo algunos pesticidas. Varios autores muestran buena remoción del color con las sales de aluminio y férricas, especialmente a valores de pH cerca de 5 para el aluminio, y 4 para el sulfato férrico. Ha sido demostrada una estequiometría definida entre la concentración del color y la dosis de coagulante.

También los polímeros catiónicos se han usado con mucho éxito para remover el color. Puede obtenerse una buena remoción tratando un agua que contiene 160 unidades de color con 60 mg/l de polímero catiónico a un pH cerca de 5. Los valores de pH más altos y bajos permiten remociones menos eficientes. En la mayoría de los casos, los polímeros catiónicos parecen actuar del mismo modo que el aluminio. Un polímero es necesario para precipitar las sustancias húmicas cargadas negativamente.

1.3 Coagulación simultánea de color y turbiedad

El color y la turbiedad reaccionan de manera diferente en la coagulación por lo que resulta difícil el tratamiento de agua que contiene concentraciones objetables de ambos. Cuando hay suficiente cantidad de arcilla para absorber todas las sustancias húmicas del agua, la presencia de los materiales orgánicos adsorbidos incrementa la dosis de polímero para remover la turbiedad. Cuando existe un exceso de ácidos húmicos la turbiedad es cubierta con compuestos orgánicos y los ácidos húmicos y fúlvicos permanecen en solución. El polímero reacciona primero con los compuestos orgánicos solubles para formar precipitados coloidales. Después se completa con el polímero adicional que reacciona con la turbiedad y las partículas orgánicas coloidales. Las dosis de polímero son más altas que las necesarias para remover sólo turbiedad. En otras palabras, las dosis de coagulantes son mayores para tratar aguas con solo el color o la turbiedad.

2. Equipos para determinación de variables químicas

2.1 Antecedentes

La coagulación es un proceso utilizado en Plantas de tratamiento de agua de filtración rápida, como parte inicial de una serie de procesos que incluyen coagulación, sedimentación, filtración y floculación para la remoción de turbiedad, color, bacterias, virus, algas y otros compuestos en estado coloidal.

A nivel de laboratorio, uno de los modelos más empleados es el equipo de "Prueba de Jarras" como elemento de control del proceso de coagulación. G. W. Fuller¹, J. Caird y E. Theirault³, L. Miller⁴, son precursores de la prueba de jarras como modelo predictivo.

De acuerdo a la información obtenida probablemente el primer ensayo de prueba de jarras fue realizado por W. L. Langelier⁵ en la Universidad de California en 1918, las primeras aplicaciones y el desarrollo inicial, corresponden a John Baylis, Bartow and Peterson⁶, Fleming⁷, Nolte y Kromer⁸. Aportes tecnológicos posteriores los realizan Tolman⁹, Niekel¹⁰, Gekershausen¹¹, Langelier - Ludwig¹², Cross et, al,¹³, C. Henry¹⁴, Smith¹⁵, Straub¹⁶,

Elliassen¹⁷, Norcom¹⁸, Cox¹⁹ y otros, que perfeccionan continuamente el ensayo y lo aplican con éxito a diversas condiciones de coagulación de aguas, orientando principalmente el modelo de prueba de jarras hacia la determinación y optimización de las variables químicas del proceso de coagulación.

En la actualidad estudios realizados por la Water Research Association Packham²¹, Sancha et, al.²² y Cohem²³, Kirchmer²⁴ y otros; perfeccionan aún más el ensayo de prueba de jarras para definir variables tan importantes como: determinación de dosis óptimas de coagulante, pH óptimo de coagulación, influencia de la concentración de los coagulantes, influencia en la coagulación de la forma y secuencia de aplicación de los coagulantes, influencia de los ayudantes de coagulación y selección y dosificación de los mismos. Lay, Hudson y Singley²⁵, T. Camp y G. Conkling²⁶; estudian teórica y prácticamente la determinación e influencia de un nuevo e importante parámetro: la energía disipada expresada como gradiente de velocidad. (Griffith y Williams²⁷, Hudson²⁸, Wagner²⁹ y Singley³⁰; orientan el ensayo de prueba de jarras en tal forma de constituir una herramienta muy apreciable para la evaluación y caracterización de la eficiencia de los procesos de coagulación, floculación y sedimentación, estableciendo procedimientos comparativos con las plantas de tratamiento - prototipos).

2.2 Descripción del equipo de prueba de jarras

Para efectuar esta prueba existen algunas variaciones, las cuales son descritas en la literatura. Aunque no es indispensable, éstas pruebas en la mayoría de los casos son conducidas en equipos comerciales y uno de los más conocidos es el equipo de prueba de jarras de velocidad variable fabricado por Phipps y Bird*.

Normalmente estos equipos constan de:

- Un agitador mecánico provisto con tres a seis paletas, capaz de operar a velocidades variables (de 0 a 100 revoluciones por minuto).
- Un iluminador de flóculos localizado en la base del agitador de laboratorio.
- Vasos de precipitados, de 1,500 a 2,000 ml, forma baja, de cristal refractario, tal como se representan en la figura 1.

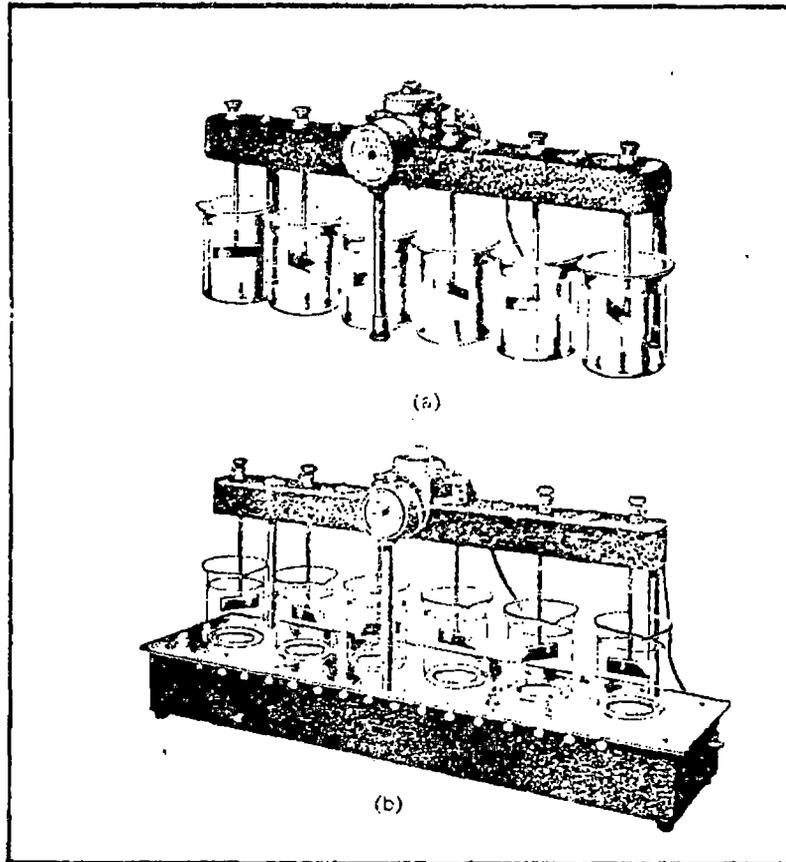


FIGURA 1 - AGITADOR PARA PRUEBA DE POTABILIZACION

(a) agitador mecánico; (b) iluminador de flóculos, con el agitador en su lugar.

A continuación se analizarán algunos de los componentes más importantes.

2.2.1 Sistema de dosificación

Las unidades de agitación múltiple usadas en las pruebas de coagulación, deben ser equipadas con las facilidades necesarias para la adición de coagulantes químicos en forma rápida y simultánea a cada vaso o jarra. La mayoría de equipos comerciales olvidan este detalle que es la causa de muchos resultados erróneos. Los estudios muestran que las diferencias que existen en el tiempo de adición de los reactivos químicos de las soluciones a los diferentes vasos pueden afectar significativamente los resultados particularmente cuando se usan ayudantes de coagulación. También puede alterar los resultados la velocidad de adición la cual debe ser lo más rápida posible. La práctica común de adicionar coagulantes a cada vaso mediante el uso de una pipeta graduada, práctica

que no puede ser desechada en forma radical pero la velocidad de adición del reactivo químico es muy lenta y pueden presentarse diferencias considerables en el tiempo de adición y en la rapidez requerida para avanzar con la dosificación.

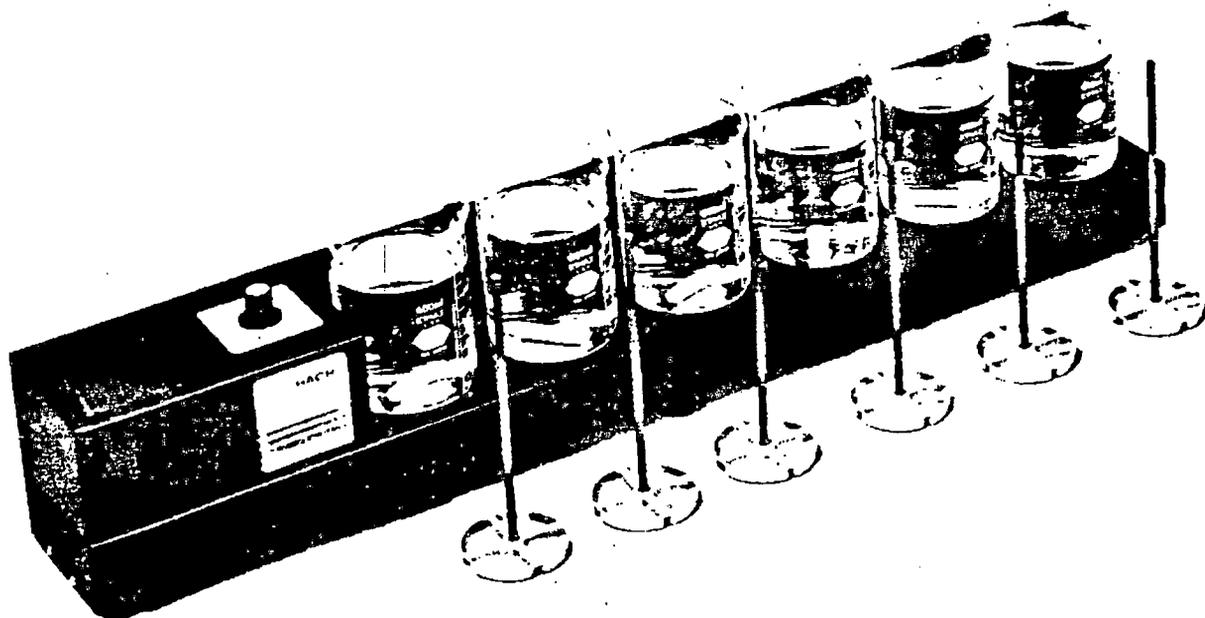
Una manera simple de evitar estas dificultades es medir el coagulante dentro de tubos de prueba o vasos unidos en un soporte de un diseño adecuado. El soporte, que puede estar montado en la unidad de agitación (fig. 2) o mantenido en la mano, ayuda a la adición del coagulante en forma simultánea a todos los vasos. Después de esta operación los recipientes deben ser rápidamente enjuagados con agua destilada y éstos enjuagues deben ser adicionados a los vasos de coagulación.

Esta práctica es particularmente útil cuando se van a adicionar más de un reactivo químico (por ejemplo coagulante y ayudante de coagulación), para lo cual se puede tener soportes separados para cada reactivo antes de la prueba de coagulación, de esta manera se podrá controlar las adiciones con precisión.

La técnica usada en el laboratorio del CEPIS, consiste en colocar en seis vasos pequeños por medio de una pipeta o bureta las dosis de coagulantes que se va a agregar. El contenido de cada vaso se succiona con una jeringa hipodérmica provista de su aguja. Se retira dicha aguja de la jeringa y esta última, con su dosis completa, se pone junto a la jarra correspondiente en un soporte de madera especialmente acondicionado que va colocado en el puente superior del aparato en el cual se ha horadado seis o doce agujeros en los que se colocan las agujas hipodérmicas. Cuando se quieren inyectar los coagulantes, todos los émbolos de las jeringas se bajan manualmente, lo más rápido posible (máximo en un lapso de cinco segundos). Cuando se pone a funcionar el equipo haciendo girar las paletas a alta velocidad, se inyecta el contenido de cada jeringa en la jarra que le corresponde, cuidando que la solución penetre profundamente para que la dispersión sea más rápida.

Otra posibilidad de efectuar la dosificación de coagulantes es poniendo en las jarras las dosis de coagulantes requeridas y vertiendo rápidamente el agua de la muestra mientras se hace girar las paletas a alta velocidad. Esto produce una mezcla completa semejante a la que se obtiene en un salto hidráulico. Una vez hecha la mezcla rápida se disminuye la velocidad de rotación de las paletas y se deja flocular el agua.

En general se recomienda aplicar las dosis de coagulante en un punto fijo localizado en o cerca del eje impulsor durante una mezcla rápida a alta velocidad.



2.2.2 Sistema de Agitación

Descripción del Sistema:

La variable que más importancia tiene en la "Prueba de Jarras" es la intensidad de agitación expresada como gradiente de velocidad. En el equipo de prueba de jarras para lograr el movimiento del agua, se utilizan paletas o rotores, accionada en forma mecánica o magnética. En la figura 3 se esquematizan los sistemas de agitación mecánica y magnética. En la figura 4 se indican las paletas usualmente empleadas. Pudiendo utilizarse una o más paletas, asimismo en el Cuadro No. 1 se detallan las características de las paletas.

Al utilizar únicamente paletas es necesario elevar la velocidad a valores superiores a los que normalmente operan los equipos, produciendo, al detener el motor luego del ensayo de floculación, por inercia, un movimiento helicoidal del cual emanan resultados erróneos en el ensayo posterior de sedimentación por lo que se recurre al uso de estatores o deflectores fijos de tipo continuo o discontinuo, tales como los indicados en la figura No. 5.

a) Condiciones Teóricas

El esfuerzo constante producido entre dos láminas de agua que se deslizan con diferente velocidad está dado por:

$$T = \mu \frac{dv}{ds} \quad (1), \text{ en la cual}$$

$$\frac{dv}{ds} = \text{gradiente de velocidad absoluta}$$

$$\mu = \text{viscosidad absoluta}$$

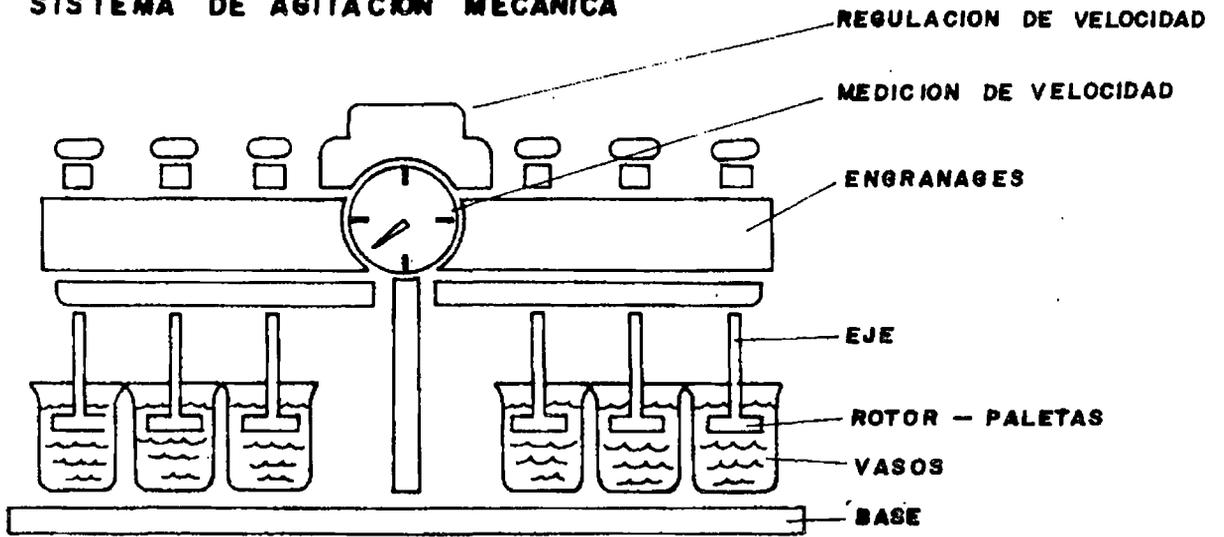
La potencia consumida para mover las láminas de agua estará dada por:

$$P = T \frac{dv}{ds} \quad (2),$$

reemplazando el valor de T, obtenemos:

$$P = \mu \left(\frac{dv}{ds} \right)^2 \quad (3)$$

(a) SISTEMA DE AGITACION MECANICA



(b) SISTEMA DE AGITACION MAGNETICA

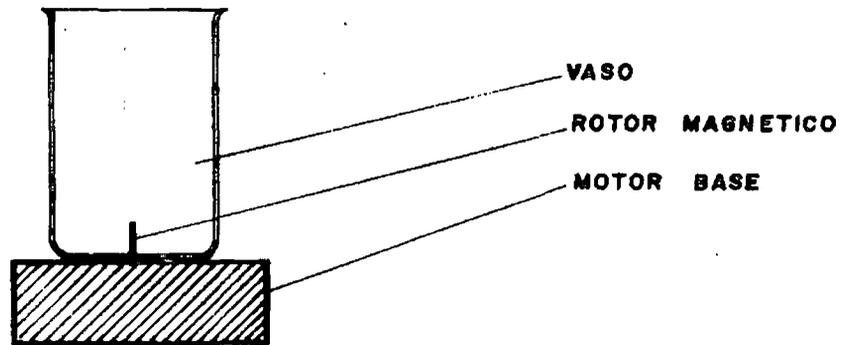


FIG. 3

Cuadro 1 (4)

CARACTERISTICAS DE AGITADORES (14)

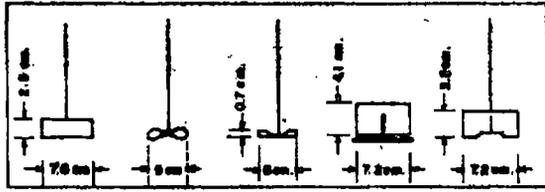
<u>Tipo de Paleta</u>	<u>No. de Paleta</u>	<u>Diámetro (D-cm)</u>	<u>Area Proyectada (a-cm)</u>	<u>Observaciones</u>
Plana-1	2	7 y 6	17.5	a
Plana-2	2	7.2	28.8	b
Plana-3	2	7.2	18.4	c
Hélice	3	5.0	4.50	d
Doblada	2	5.0	2.80	

a) utilizada en Modelo Phipps and Bird

b) tipo impulsor marino

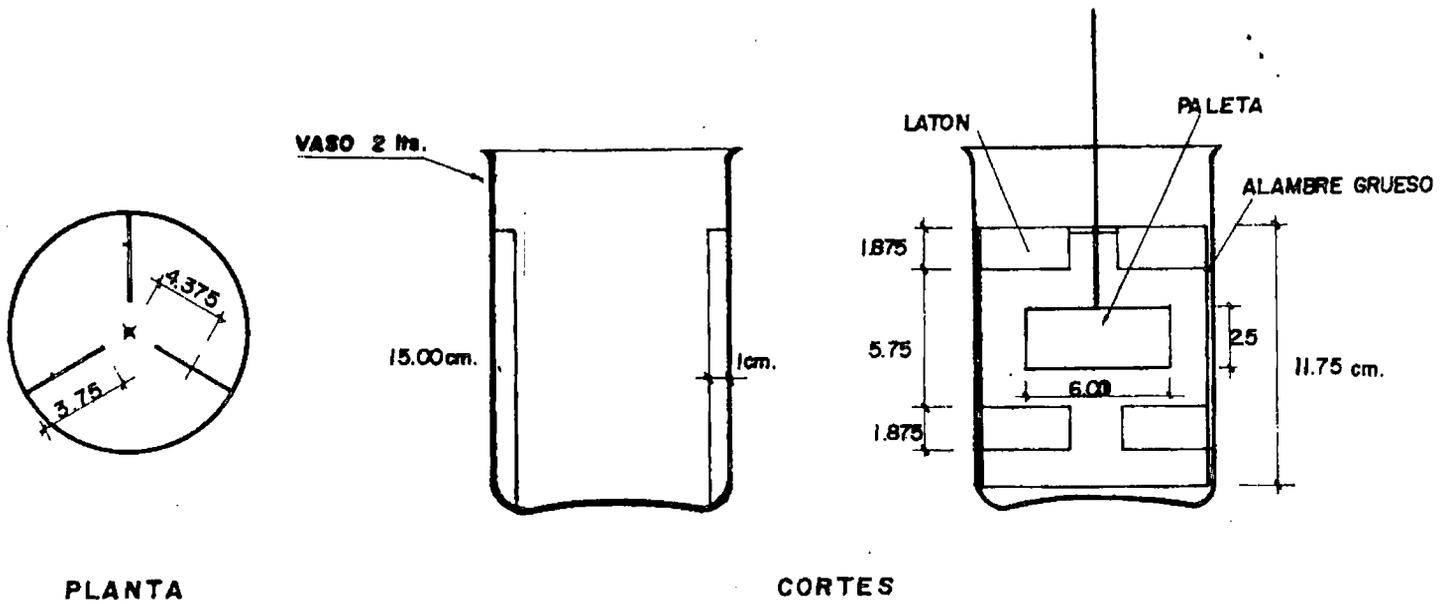
c) utilizada por Florida | 1- Environmental specialities

d) utilizada por Florida | 2- Environmental specialities



TIPO NORMALIZADO DE PALETAS PARA EQUIPO DE PRUEBA DE JARRAS

FIG. 4



TIPOS DE DEFLECTORES

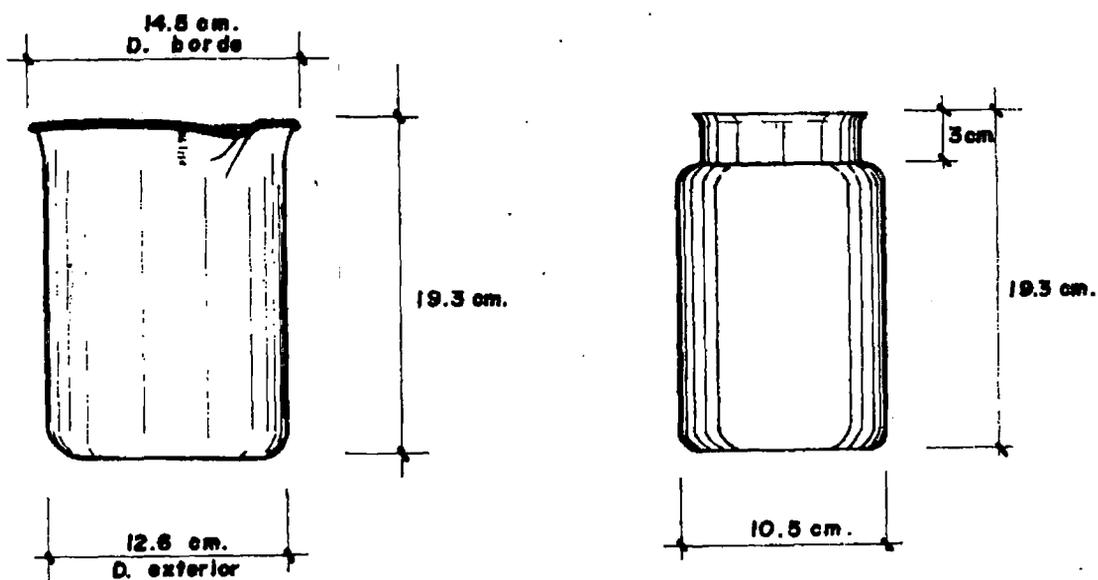
FIG. 5

2.2.3 Descripción de las jarras

Las jarras o vasos a usarse deben poder ser acomodadas en el aparato y deben ser de 2,000 ml de capacidad; en caso de no tenerse vasos de este tamaño, podría optarse por vasos de 1,000 ml. Se debe evitar usar vasos más pequeños debido a la dificultad en la adición de pequeños volúmenes de coagulantes y ayudantes para obtener muestras satisfactorias del agua sedimentada. Podrían usarse botellas cuadradas, pero antes debe asegurarse las modificaciones producidas por cambio de secciones para el cálculo de gradientes.

En lo posible debe evitarse el lavado de las jarras con detergentes, ya que muchos de éstos tienen compuestos aniónicos que son fuertemente absorbidos por las paredes de las jarras de vidrio. Si estos no son completamente removidos, pueden afectar los resultados de las pruebas en forma significativa.

En la figura 12 se detallan las características de los vasos.



ELEVACIONES



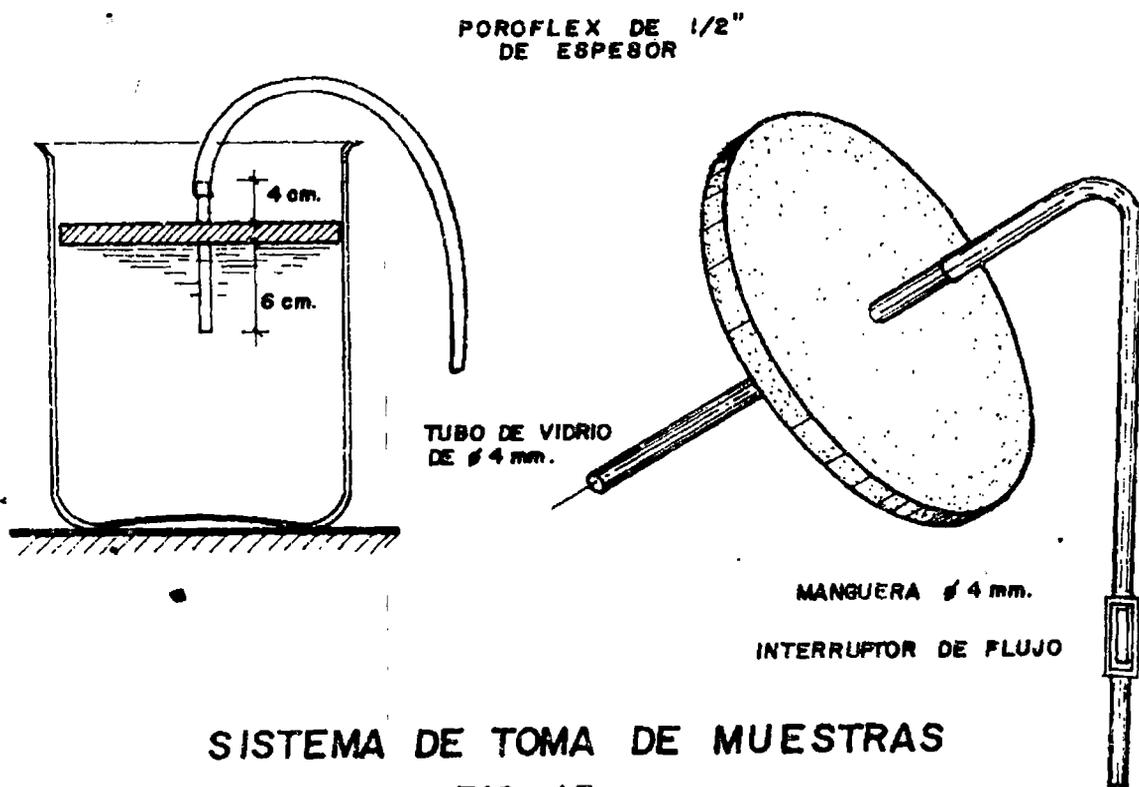
PLANTAS

CARACTERISTICAS DE LOS VASOS
FIG. 12

2.2.4 Sistema de toma de muestra

Después de la mezcla rápida y floculación, se tiende a sedimentar en condiciones adecuadas. Los estatores descritos anteriormente, ayudan a minimizar la rotación persistente del agua dentro del vaso durante el período de sedimentación. Luego se succiona el sobrenadante con una pipeta volumétrica de 50 ml a la misma profundidad en todos los vasos o por medio de un sifón de 3mm de tubo de vidrio (ver figura 13). Este sifón debe ser torcido en dirección horizontal en el punto de muestreo para que ésta sea representativa en una profundidad determinada. El sifón debe ser construido como para dar iguales velocidades de flujo en cada vaso y así disminuir la posibilidad de arrastre de sedimentos. El flujo puede ser regulado mediante una pinza de presión. El sifón está sostenido por un flotador de tecnoport el cual va a ayudar a mantener constante la altura de la toma de la muestra y el nivel del agua como se puede apreciar en la figura siguiente.

Antes de tomar la muestra se debe de descartar a través del tubo de sifoneo aproximadamente 10 ml de agua y luego tomar algo más de 30 ml de muestra para la determinación de la turbiedad. Se debe tener un abastecimiento de más o menos 50 vasitos para tomar las muestras. Con algo de práctica y la ayuda de un cronómetro se puede obtener controles precisos del tiempo.



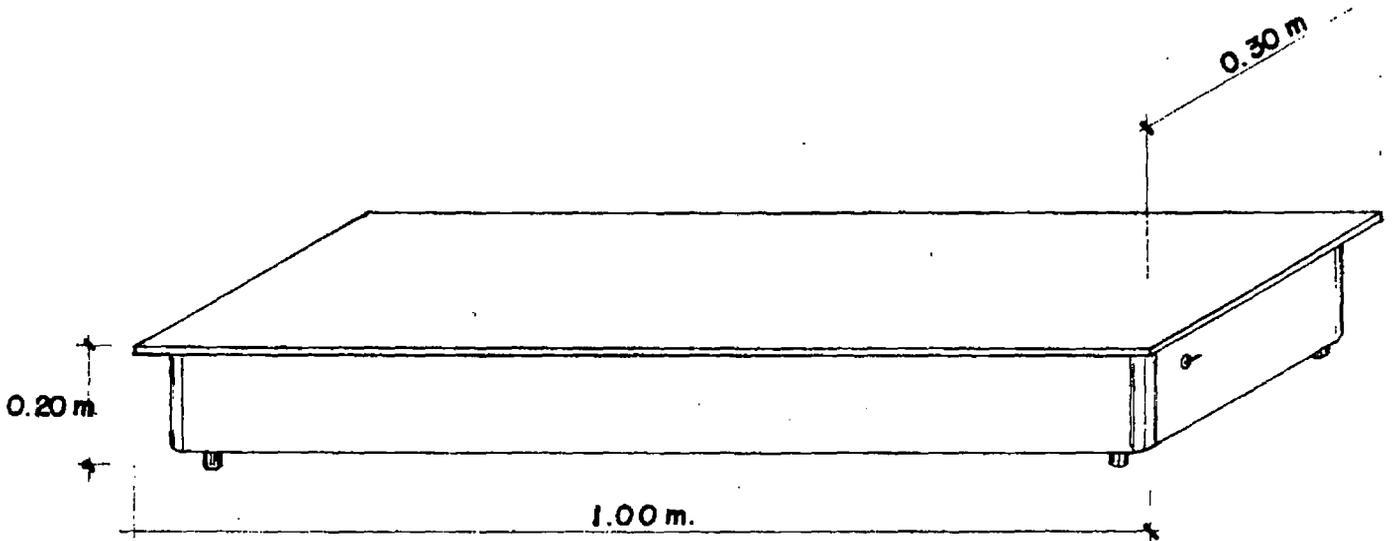
SISTEMA DE TOMA DE MUESTRAS

FIG. 13

2.2.5 Iluminación

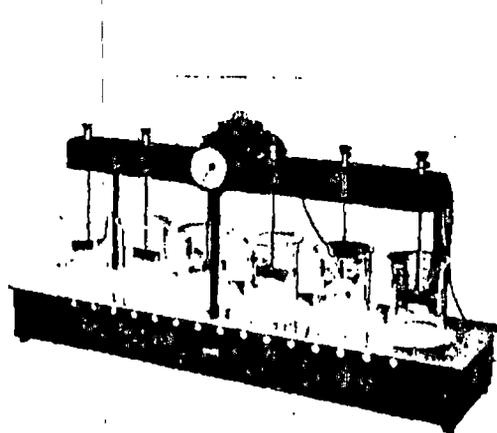
Para observar el floc formado en los vasos, es conveniente una buena iluminación a pesar de que no es esencial.

Idealmente los vasos deben estar provistos con una base blanca y una iluminación en ángulo recto a la dirección del observador, por ejemplo, arriba o debajo de los vasos (figura 14). Se deben evitar fuentes de luz que generen mucho calor y que tienen un efecto significativo en la coagulación y sedimentación, ocasionando diferencias de temperaturas entre el agua del modelo y la realidad lo cual redundaría en obtención de resultados erróneos.



BASE ILUMINADA ENCIMA DE LA CUAL SE COLOCA EL EQUIPO DE PRUEBA DE JARRAS

FIG. 14



2.2.6 Equipo auxiliar

Además de la unidad de agitación, es necesario un cronómetro para controlar el tiempo que demora las diferentes operaciones que comprenden la prueba de coagulación. También se requiere de un medidor de turbiedad, uno de pH y uno de color.

a) Turbidímetro

La medición de la turbiedad del agua se considera como el parámetro más importante para caracterizar el proceso. La medición de la turbiedad se logra mediante el uso de un turbidímetro convencional, que mide la intensidad de la luz que pasa a través de una muestra de agua o la intensidad de la luz que es dispersada por las partículas en suspensión que están presentes en la muestra, generalmente desde una dirección situada a 90° de la dirección original del haz de luz. Un ejemplo de un turbidímetro que en su diseño usa el principio de transmisión es el Hellige, y de los que miden la dispersión de la luz y a los cuales se les denomina turbidímetros nefelométricos, tenemos el Hach 2100A y el DRT 100 de los Estados Unidos deben ser reportados redondeando las cifras como se indica a continuación:

<u>Turbiedad (UT)</u>	<u>Usar intervalos de</u>
0- 10	0.05
1- 10	0.1
10- 40	1.0
40- 100	5.0
100- 400	10.0
400-1000	50.0
>1000	100.0

b) pH-metro

Desde tiempo atrás es conocido que la efectividad de la coagulación tiene dependencia directa del pH, debido a ello la medición de este parámetro antes y después de la floculación tiene importancia básica; por lo cual debe disponerse de un medidor de pH de preferencia potenciométrico, como alternativa podría usarse uno colorimétrico.

El pH es un indicador de la concentración de los iones hidrógeno en solución $pH = \log_{10} \{H^+\}$ y debería ser leído con una sensibilidad de 0.01 unidades en el medidor de pH con electrodos de vidrio y para referencia de calomel, que dispone de un compensador de temperatura. Este medidor debe ser calibrado con una solución amortiguadora fresca cuyo pH está en el rango de operación deseada. En general, para la medición a aguas naturales y tratadas en plantas de potabilización se requiere una precisión de 0.05 unidades.

c) Comparador de color

En muchos casos existe interés en la remoción del color en lugar de la turbiedad. En estos casos la medición del color residual del agua después de floculada y sedimentada puede servir para caracterizar el ensayo.

Este parámetro puede ser determinado mediante comparación visual con soluciones coloreadas de concentraciones conocidas. También puede compararse con discos especiales de color que han sido previamente calibrados. El método de comparación del platino cobalto es el establecido como método normalizado y la unidad de color es la producida por 1 mg/l de platino en la forma de ión de cloroplatinato. La comparación del color se efectúa mediante el uso de tubos Nessler (de la forma alta y de 50 ml).

El color del agua también puede ser determinado como ya se ha mencionado por comparación con discos de color ubicados dentro de una caja metálica o de otro material que contiene los tubos comparadores de la muestra y del agua destilada incolora.

Los discos de vidrio dan resultados acordes con los obtenidos por el método de platino-cobalto y su uso es reconocido.

El resultado de la medición de color se expresa como sigue:

<u>Unidades de Color</u>	<u>Aproximación a</u>
1- 50	1
51-100	5
101-250	10
251-500	20

Junto con estos resultados, también se deben reportar los resultados del pH, parámetro del cual el color es dependiente.

d) Vidriería

Además de los seis vasos de precipitado o jarras adecuadas que de preferencia son de dos litros de capacidad, debe disponerse de pipetas de Mohr de 2 y 10 ml para la adición de los coagulantes a los vasos, seis frascos de vidrio de 120 ml, dos buretas con sus respectivos soportes y por lo menos 50 vasitos de 50 ml. En lo posible esta prueba debe efectuarse a la misma temperatura que tiene la planta de tratamiento y controlar la misma en diferentes puntos del proceso, para lo cual es conveniente tener un termómetro adecuado.

2.3 Precauciones - Limitaciones

Con la prueba de jarras se trata de reproducir las condiciones en las cuales se producen los procesos de floculación y sedimentación en planta de tratamiento.

Sin embargo, dado el pequeño volumen (1 a 2 l) que los vasos de precipitado contienen, en comparación con el gran volumen de los tanques de floculación reales, la prueba de jarras constituye una reproducción parcial del proceso que se efectúa en el prototipo.

Las razones para esto son de orden físico y químico y corresponden a las siguientes, entre otras:

- a. En los reactores existe un flujo continuo, en cambio en las jarras no hay flujo. Esto hace que en los primeros la masa de agua sufra un tratamiento desigual, debido a que parte de ella queda retenida durante largo tiempo, mientras que otra parte pasa casi de inmediato. En cambio, en la prueba de jarras el agua queda retenida durante todo el tiempo que dura el ensayo.
- b. La escala de las jarras no guarda relación con la escala del floc, por cuanto éste se produce a escala natural y, en cambio, las jarras son cientos de veces más pequeñas que los floculadores. Por tanto, la proporción entre la escala de la turbulencia que se produce en uno y otro caso y el tamaño del floc es diferente, lo que afecta la velocidad de aglutinamiento de las partículas.
- c. La dosificación de los coagulantes y la agitación de la masa de agua puede ser mucho mejor controlada en la prueba de jarras que en la planta de tratamiento.

No obstante estas deficiencias, la prueba de jarras sigue siendo el método más usual que hasta ahora disponemos para controlar los factores químicos involucrados en los procesos de coagulación y floculación.

Hay que tener en cuenta, sin embargo, que el hecho que la prueba de jarras sea un ensayo rutinario en la operación de las plantas, no significa que pueda ejecutarse descuidadamente, lo que por desgracia suele ser bastante común.