

214

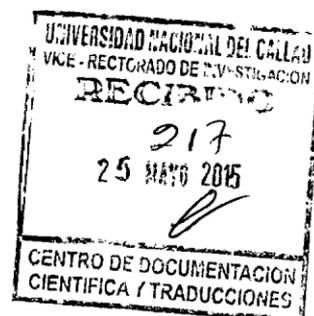
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

**FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y
DE RECURSOS NATURALES**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE
RECURSOS NATURALES**



MAY 2015



INFORME FINAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“EL USO DEL TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO
PARA LA DEPURACIÓN DEL EFLUENTE
GENERADO EN UNA INDUSTRIA DE PINTURAS Y
DE BARNICES PREVIOS A SU DISPOSICIÓN
FINAL, UBICADA EN EL DISTRITO DE
CARABAYLLO - LIMA”**

Autor: Mg. Máximo Fidel Baca Neglia

**(Periodo de Ejecución del 01 de mayo de 2013 al 30 de abril del
2015)**

**(Resolución Rectoral N° 486-2013-R.- Callao, 22 de mayo del
2013)**

Callao, 2015

16

	pág.
I. INDICE	01
II. RESUMEN y ABSTRAC	04
III. INTRODUCCIÓN	06
IV. MARCO TEÓRICO	10
4.1. Caracterización de los Efluentes Generados por las Industrias de Pinturas y Barnices	10
4.1.1. Fuentes de generación de residuos líquidos	11
4.1.2. Fuentes de generación de residuos sólidos	11
4.1.3. Fuentes y caracterización de emisiones a la atmosfera	12
4.1.4. Tecnologías de tratamiento de residuos líquidos	12
4.2. Tratamiento de los efluentes	13
4.3. Tratamiento Físicos – Químicos	13
4.3.1. Tratamiento de los efluentes	14
a. Tratamientos Primarios	14
b. Tratamientos Biológicos o Secundarios	16
c. Tratamiento Terciarios	19
4.4. Sistema de tratamiento por Coagulación – Floculación	22
4.4.1. Coagulación	23
4.4.2. Floculación	25
4.5. Precipitación/Decantación	26
4.6. Parámetros de control para el tratamiento de los efluentes	28
4.7. Problemática Ambiental	29
4.8. Normas Legales	32
4.9. Descripción y características del Distrito de Carabayllo	33
4.9.1. Ubicación y Vías de acceso	33
4.9.2. Reseña histórica de Carabayllo	34
4.9.3. Interpretación de su Nombre	34
4.9.4. Los primeros habitantes	35
4.9.5. Los españoles y la fundación del pueblo de San Pedro de Carabayllo	36
4.9.6. El Periodo de la Independencia y la Conferencia de Puncuca	37
4.9.6. El Periodo de la Independencia y la Conferencia de Puncuca	37
4.9.7. Carabayllo durante la Republica	38
4.9.8. Descripción del Medio Ambiente	40
a. Ambiente Físico	40
b. Ambiente Biológico	45
c. Ambiente Humano	48
d. Densidad poblacional	48
V. MATERIALES Y MÉTODOS	50
5.1. Metodología	50
5.1.1. Relación entre las variables de la investigación	50
5.1.2. Tipo de Investigación	51
5.1.3. Diseño de la Investigación	53
5.1.4. Operacionalización de variables	54
5.2. Materiales	54
5.2.1. Trabajo de Gabinete	54
5.2.2. Trabajo de Campo	55
5.2.3. Trabajo de Laboratorio	55
5.3. Métodos	55
5.3.1. Técnicas de Recopilación de Datos	56
5.3.2. Técnicas Estadísticas	56
5.3.3. Técnicas de Laboratorio	57
5.3.4. Pruebas de Jarras a nivel de Laboratorio	57
5.3.5. Preparación de soluciones de Polielectrolitos o Polímeros	58

VI. RESULTADOS	59
6.1. Características de los Efluentes previos al tratamiento	59
6.2. Reducción de Grasas y Aceites, modificación del pH	59
6.3. Características de los Efluentes con tratamiento y sin Coagulante y/o Floculante	60
6.4. Características de los Efluentes Tratados con Coagulante y/o Floculante	61
VII. DISCUSION	62
7.1. De los resultados de caracterización	62
7.2. Resultados previos al tratamiento de los efluentes para las Pruebas de Jarras	63
7.3. De los resultados obtenidos durante las pruebas de jarras con adición del reactivo neutralizante (Coagulación/Floculación/Sedimentación)	63
7.4. Prueba de reducción de turbiedad, utilizando dosis de polielectrolitos Catiónico y Aniónico	65
7.5. Resultados de otras experiencias en el tratamiento de efluentes provenientes de la industria de los recubrimientos.	65
7.6. Confrontación de nuestros resultados con otras experiencias de tratamiento	70
7.7. Conclusiones	71
7.8. Recomendaciones	75
VIII.- REFERENCIALES	77
IX.- APÉNDICE	80
Matriz de Consistencias	80
Tablas:	82
Tabla N° 5.1. Métodos Normalizados y Equipos para Monitoreo de Aguas Residuales.	82
Figuras:	
Figura N° 5.1. Equipo de Pruebas de Jarras.	83
Figura N° 5.2. Elaboración de solución de polímero aniónico	83
Figura N° 6.2. Cajas de Registro de los Efluentes al ingreso a Celdas de Tratamiento existentes en una planta de pinturas y de barnices.	84
Figura N° 6.3. Muestra de efluente de la planta de pinturas y de barnices, durante la aireación para reducción de grasas y aceites.	84
Figura N° 6.4. Muestra de efluente de la planta de pinturas y de barnices, luego de la reducción de grasas y aceites	84
Figura N° 6.5. Muestra del efluente tratado con la dosis optima de polímero catiónico y aniónico.	85
Figura N° 6.6. Comparación de muestras del efluente tratado con la dosis optimas de polímero catiónico, aniónico y la adición de peróxido de hidrogeno.	86
X.- ANEXOS	87
Tablas:	87
Tabla N° 4.1. Componentes de un agua residual industrial que pueden ser eliminados por tratamiento físico – químico.	87
Tabla N° 4.2. Tratamientos primarios empleados para aguas residuales industriales.	87
Tabla N° 4.3. Anexo N° 1: Valores Máximos Admisibles para disposición final en el Alcantarillado. DS N° 021 – 2009-Vivienda / 20.11.2009	88
Tabla N°4.4. Anexo N° 2: Valores Máximos Admisibles. DS N° 021 – 2009-Vivienda / 20.11.2009	88
Tabla N° 4.5. Zona de Vida	89
Tabla N° 4.6. Densidad Poblacional de Carabayllo y Distritos de Lima Norte al 2014.	89
Figuras:	90
Figura N° 4.1. Esquemas de fuerzas de interacción que actúan sobre una partícula en suspensión.	90
Figura N° 4.2. Mecanismo de coagulación de partículas coloidales,	90
Figura N° 4.3. Mecanismo de formación de floculos de partículas coloidales	91
Figura N° 4.4. Esquema de decantador de lecho de fangos, tipo PULSATOR	91
Figura N° 4.5. Esquema de decantador dinámico, con recirculación de fangos tipo	92

ACCELATOR NS.

Figura N° 4.6. Plano del distrito de Carabayllo.	92
Figura N° 4.7. Casa hacienda de Puchauca.	93
Figura N° 4.8. Estación Meteorológica del Campo de Marte.	93
Figura N° 4.9. Los geotermómetros miden la temperatura del suelo, SENAMH	94
Figura N° 4.10. Unidades Geomorfológicas de Lima provincia.	94
Figura N° 4.11. Cuencas Hidrográficas.	95
Figura N°4.12. Cobertura Vegetal.	95
Figura N° 4.13. Ecosistemas Terrestres.	96
Figura N° 4.14. "Zona de Vida.	96
Figura N° 4.15. Poblacional, Densidad poblacional (Hab./Km ²)	97
Figura N° 6.1. "Diagrama de Flujo del Sistema de y tratamiento de los efluentes generados en la Fábrica de Pinturas y de Barnices	97

Cuadros:

Cuadro N° 4.1. Caracterización de un efluente de la Industria de Pinturas y de Barnices	98
---	----

II. RESUMEN

La presente Investigación denominada "**EL USO DEL TRATAMIENTO FÍSICO QUÍMICO PARA LA DEPURACIÓN DEL EFLUENTE GENERADO EN UNA INDUSTRIA DE PINTURAS Y DE BARNICES PREVIOS A SU DISPOSICIÓN FINAL, UBICADA EN EL DISTRITO DE CARABAYLLO – LIMA**" se efectuó en el ámbito de una empresa ubicada en el Distrito de Carabayllo.

Esta investigación nos permitió demostrar la capacidad del Tratamiento Físico - Químico para reducir el grado de contaminación de los efluentes generados en la industria de pinturas y de barnices, se utilizó dosis de: neutralizante, coagulantes y floculantes ajustando el pH del efluente, previo a su tratamiento y que permitió a partir de su dosis optima reducir los valores de los indicadores de calidad que se hallaban por encima de los Valores Máximos Admisibles (VMA), del efluente industrial para su disposición final en el cuerpo receptor como lo dispone la legislación vigente.

Se redujo primeramente la presencias de Grasas y Aceites inyectando aire a la muestra del efluente, logrando atrapar en la superficie de las burbujas de aire las (G y A), reduciendo un 64.17%, es decir: de 240 mg/L a 86 mg/L; para el caso de regular el pH, se utilizó neutralizante Soda Cáustica al 1% (% en peso) para el efluente de pH ácido (4.7 unidades, encontrándose la dosis de 1.1 mL/L), logrando un valor de 7.00 (incrementándose en un 49%); adicionalmente se utilizó dosis de Coagulante MT – 8834 al 5% y de Floculante MT – 4285 al 0.05% (% en peso) obteniéndose los siguientes resultados: para la Demanda Bioquímica de Oxígeno (**DBO₅**) de 76500 mg/L, se obtuvo VMA de 386.40 mg/L (reducción de 99.49 %); para la Demanda Química de Oxígeno (**DQO**), de 234060 mg/L se redujo a 845.32 mg/L (reducción de 99.64%); para los Sólidos Suspendidos Totales (**SST**) se logró una reducción del orden de 98.42%, es decir, de 4962 mg/L a 78.00 mg/L; para los Sólidos Sedimentados (**SS**) de 49.00 mL/L/h se redujo a 6.00 mL/L/h (reducción de 86.8%). Logrando un afluente apto para su disposición final al sistema de alcantarillado cumpliendo con DS N° 021 – 2009 – VIVIENDA del 20.11.2009.

Palabras clave: Tratamiento Físico – Químicos; Polielectrolitos (Catiónicos y Aniónicos)

ABSTRACT

The present research called the "**USE OF THE TREATMENT PHYSICAL CHEMICAL TREATMENT OF THE EFFLUENT GENERATED IN AN INDUSTRY OF PAINTS AND VARNISHES PREVIOUS AT YOUR DISPOSAL, LOCATED IN THE CARABAYLLO DISTRICT – LIMA**", was carried out within the scope of a company located in the Carabayllo district.

This research allowed us to demonstrate the capacity of the physical - chemical treatment to reduce the level of contamination of the effluents generated in the industry of paints and varnishes, we used doses of neutralizing and coagulants and flocculants, adjusting the pH of the effluent, prior to your treatment, and that allowed from your dose optimal to reduce the values of indicators of quality that were above the maximum admissible values (VMA), of industrial effluent disposal in the water body as provided for in the legislation in force.

Was first reduced the presence of Fats and Oils by injecting air to the sample of the effluent, managing to catch on the surface of the bubbles of air the (F and O), reducing a 64.17% i.e. 240 mg/L to 86 mg/L; in the case of regulating pH, Caustic Soda was used as neutralizing 1% (% by weight) for the effluent from the acidic pH (4.7 units, finding the dose of 1.1 mL/L), achieving a value of 7.00 (increasing by 49%); additionally we used doses of Coagulante MT – 8834, 5% to dose flocculant MT – 8834, 0.05% (% by weight) obtained the following results: for the Biochemical Demand of Oxygen (BDO₅) which was initially 76500 mg/l, obtained a value of 386.40 mg/L (reduction of 99.49%); for the Chemical Demand of Oxygen (COD), a value 234030 mg/L was reduced to 845.32 mg/L (reduction of 99.64%); for Total Suspended Solids (TSS) achieved a reduction in the order of 98.42% i.e., 4962 mg/L to 78.00 mg/L; for the Sedimented Solids (SS) of 49.00 mL/L/h was reduced to 6.00 mL/L/h (reduction of 86.8%). Achieving an affluent suitable for disposal to the sewer system complying with DS N° 021 – 2009 – VIVIENDA of the November 20, 2009

Keys words: Physical – Chemical Treatment; Poyelectrolytes (cationic and anionic)

III. INTRODUCCIÓN

Los efluentes industriales generados en las plantas industriales de Pinturas y de Barnices, debido a los múltiples insumos utilizados en la fabricación de sus diversos tipos de pinturas, barnices y de lacas entre otros, presentan características complejas, y estos al formar parte de sus efluentes están presentes formando diversos componentes, cuyas concentraciones, superan los Valores Máximos Admisibles (VMA), que no le permiten su disposición final al colector de efluentes domésticos y peor si este no existe, y aun sin ser tratados previamente.

Las soluciones que pueden aplicarse para resolver el problema de disposición final derivados de la calidad del efluente, que son los más perjudiciales, pueden ser:

1. Modificación de operaciones y procesos en la planta industrial, compatibles con la producción y calidad de los productos a obtener, con el objeto de disminuir o minimizar los volúmenes de los efluentes o contenido de materia orgánica en las descargas.
2. Tratamiento de los efluentes por métodos físicos, químicos y biológicos, con el fin de reducir la DBO, DQO y de otros parámetros de los mismos hasta los límites fijados por las reglamentaciones vigentes.
3. Aprovechamiento integral o parcial de los efluentes para recuperar productos valiosos, que ofrezcan alguna rentabilidad interesante.

El efluente industrial difiere del doméstico, en que generalmente contienen muy pocos microorganismos y un número limitado de sustratos. Las diferencias del poder contaminante entre un efluente industrial y uno doméstico, que están directamente relacionadas con el contenido de materia orgánica que es medido generalmente en términos de Demanda de Oxígeno Biológica (DBO) o Química (DQO), pueden ser muy considerables. Si comparamos los valores conocidos de DQO y de DBO es decir 234,060 y 76,500 mg/L respectivamente, con los domésticos que suelen tener valores de 120 a 300 mg/L, puede visualizarse la magnitud del problema que presenta este efluente para su tratamiento, sumados al pH: 4.7; SS: 49 mL/Lxh; STS: 4,962 mg/L; y el de Aceites y Grasas: 240 mg/L, entre otros.

Dada la complejidad de este por su composición, es conveniente para el estudio del **Sistema de Tratamiento** considerar aspectos fundamentales como:

- a) Neutralización
- b) Coagulación/Floculación
- c) Sedimentación
- d) Remoción/Extracción de Aceites
- e) Aireación para reducción de DBO/DQO

El conocimiento de estos aspectos en conjunto con la naturaleza de la calidad del efluente, contribuyen en forma integrada al mejor diseño del proceso y operación de los distintos **tipos de tratamiento**.

De modo que podemos expresar el planteamiento del problema a modo de una pregunta:

¿En qué medida es posible depurar el efluente generado en la industria de pinturas y barnices a través del tratamiento Físico – Químico (Neutralización, Aireación, Coagulación, Floculación y Decantación), de modo que cumpla con la normatividad vigente previo a su disposición final?

Para efectuar convenientemente el trabajo de investigación hubo la necesidad de plantear el objetivo en concordancia al planteamiento de problema, siendo en consecuencia el Objetivo General expresado de la siguiente forma: Determinar el efecto del tratamiento Físico – Químico (Neutralización, Aireación, Coagulación, Floculación y Decantación), en el efluente generado por la industria de pinturas y de barnices, para su disposición final.

A fin de lograr este objetivo se desarrollaron los siguientes objetivos específicos:

- Caracterización del efluente generado por la industria de pinturas y de barnices.
- Evaluación a nivel de laboratorio del tratamiento Físico – Químico (Neutralización, Aireación, Coagulación, Floculación y Decantación), sobre muestras representativas del efluente generado por una industria de pinturas y de barnices.

- Evaluación del efluente generado por una industria de pinturas y de barnices una vez que este fuera sometido al tratamiento Físico – Químico (Neutralización, Aireación, Coagulación, Floculación y Decantación) a nivel de laboratorio.
- Finalmente, hubo la necesidad de determinar la eficiencia del tratamiento Físico – Químico (Neutralización, Aireación, Coagulación, Floculación y Decantación), al que fuera sometida la muestra del efluente generado por una industria de pinturas y de barnices.

La importancia del presente trabajo de investigación radica principalmente en mejorar los sistemas existentes de tratamiento de los efluentes de la industria de pintura y de barnices, que permita la disposición del efluente tratado en la red pública de desagüe, disminuyendo con la concentración de los parámetros controlados, y cumplir al mismo tiempo con la normatividad vigente en cuanto a los VMA para la disposición final de sus efluentes y si se desea la recirculación de los mismos. Esta solución planteada puede ser replicada por cualquier industria del rubro que no cuente con un sistema apropiado.

Por otro lado, se justificó el presente trabajo de investigación, debido a que hoy en día, de acuerdo a la decisión que adoptara el gobierno anterior y continuar con la misma política (en este aspecto) el actual gobierno, enmarcado en los objetivos del Plan Nacional de Saneamiento 2006 - 2015 del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, de continuar con la implementación de plantas de tratamiento para los efluentes que se generan en toda la Provincia de Lima y Callao, es decir a través de la planta de Taboada que se inaugurara el 03 de enero del 2014 y en actual construcción la Planta de La Chira que se estima entre en funcionamiento a mediados del año 2015, de modo que a si se estaría completando el tratamiento del 100% de lo desagües generados en las Provincias de Lima y Callao.

Complementándose la justificación de nuestro trabajo de investigación, debido a que los efluentes recolectados por la red sanitaria de SEDAPAL, requerirá que los propios desagües o efluentes industriales sean previamente tratados convenientemente de modo que tengan las características apropiadas para que no afecten a los desagües domésticos ya recolectados en la red los cuales son

"EL USO DEL TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO PARA LA DEPURACIÓN DEL EFLUENTE GENERADO EN UNA INDUSTRIA DE PINTURAS Y DE BARNICES PREVIOS A SU DISPOSICIÓN FINAL, UBICADA EN EL DISTRITO DE CARABAYLLO - LIMA"

derivados a las plantas en actual operación y a las futuras, cumpliéndose con la normatividad legal vigente

IV. MARCO TEÓRICO

En este capítulo denominado Marco Teórico con el fin de tomar una conceptualización, que nos permitió conocer mejor el problema y a formular la alternativa de solución más eficaz, exige por lo tanto conocer los siguientes temas:

4.1. Caracterización de los Efluentes Generados por las Industrias de Pinturas y Barnices¹.- La industria de pinturas elabora una amplia gama de productos, entre los que destacan las pinturas (base agua o solvente), barnices, lacas y esmaltes. Estos productos presentan una amplia clasificación de acuerdo a su uso, ya sea industrial (minería, industria pesada, construcción naval, industria en general) o decorativo (arquitectónico, uso doméstico). También son clasificados según el vehículo o disolvente base (agua o solvente), que se evapora luego de la aplicación del producto. Existen también otros recubrimientos o pinturas especiales, de tipo no volátil, los que se clasifican de acuerdo al método de curado o endurecimiento.

Estos incluyen las pinturas en polvo, recubrimientos curados por radiación y pinturas catalizadas.

Los residuos líquidos se generan principalmente en los procesos de fabricación de pinturas en base agua, producto fundamentalmente de la operación de lavado de equipos. Estos residuos presentan generalmente altos niveles de DQO, debido a la presencia de sustancias orgánicas utilizadas preferentemente como solventes, preservantes y otros (por ejemplo: estirenos, acetonas, xilenos, bencenos, fenoles, etc.) en los productos; además, contienen restos de metales pesados provenientes de los pigmentos utilizados.

Evidentemente esta diversidad repercute en la naturaleza y cantidad de la contaminación vertida. En el **Cuadro N° 3.1.** "Caracterización de un efluente de la Industria y de Barnices", que se ubica en el anexo, se presenta una caracterización promedio de afluentes de la industria de pinturas.

¹ Grupo Aqua Limpia Consultores

4.1.1. Fuentes de generación de residuos líquidos.-

- Lavado de estanques de preparación de pinturas en base solvente. El solvente utilizado para lavado es aguarrás, con un consumo aproximado de 20 L/Ton de pintura producida.
- Lavado de estanques de preparación de pinturas al agua.
- Lavado de reactores de fabricación de resinas, con agua y soda a 100°C.
- Lavado para enjuague.

4.1.2. Fuentes de generación de residuos sólidos.-

La generación de residuos sólidos, tiene como principales fuentes a las etapas de proceso que se mencionan a continuación:

Etapas de dispersión, la que genera residuos tales como:

- Bolsas de papel o plástico que contienen pigmentos.
- Cajas de cartón que contienen pigmentos.
- Pigmento en polvo, Envases de pintura con defectos de fabricación.
- Bolsas de envasado.
- Filtros usados.
- Cajas.
- Tapas y envases no utilizados por presentar defectos de fabricación.

Tipos de residuos sólidos que genera la industria de pinturas:

- Adhesivos.
- Carbón activado agotado.
- Cartón, madera, papel, plásticos.
- Chatarra de hierro.
- Lodos de tratamiento de aguas.
- Polvo.
- Residuos de pintura, Resinas, Tierras decolorantes usadas.
- Trapos sucios.
- Lodos tóxicos desaguados.
- Restos de destilación de solventes.

4.1.3. Fuentes y caracterización de emisiones a la atmósfera.-

Las emisiones a la atmósfera identificadas comprenden principalmente:

- Material particulado en suspensión (P.T.S.).
- Compuestos orgánicos volátiles (C.O.V.).

Desde el punto de vista de la contaminación del aire, existe presencia de polvo en suspensión en los sectores de trabajo con pigmentos, en las zonas de preparación de bases, empastes, almacenaje, etc., debido principalmente a que el manejo de la carga es manual.

Otra fuente importante dice relación con las emanaciones de vapores de los solventes usados en el proceso, tales como aguarrás y compuestos en base a fenoles o bencenos.

4.1.4. Tecnologías de tratamiento de residuos líquidos.-

La utilización de un tratamiento u otro depende principalmente de las características de las corrientes de residuos a tratar. A continuación se describe en forma general los distintos tipos de pre-tratamiento y tratamientos y algunos criterios que se deben tener presente al momento de aplicarlos.

Considerando la amplia gama de tratamientos a los cuales se pueden someter los residuos líquidos de la industria de pintura y debido a que las características de éstos son las que determinan el tipo de tratamiento, resultaría casi imposible proponer uno específico. Sin embargo, como resultado de la experiencia de muchas industrias del rubro alrededor del mundo, se presenta un esquema de tratamiento que ha dado bastante buen resultado. Debe destacarse que en cada una de sus aplicaciones existen diferencias, pero la idea fundamental del proceso es igual en todos los casos.

Este tratamiento presenta las siguientes etapas:

- Remoción de aceites y grasas.
- Equalización y neutralización.
- Floculación.
- Aireación.
- Clarificación

4.2. Tratamiento de los efluentes².- La depuración de los efluentes líquidos es una parte fundamental de la gestión ambiental en cualquier industria. Debe ser asumida en su doble faceta de obligación medioambiental con la sociedad y de parte integrante del proceso de producción. En este último sentido, se deben tener en cuenta dos tipos posibles de costos:

- Costo de producción: derivados del proceso de tratamiento y del (canon del vertido).
- Costo de seguridad: originados por la eliminación de problemas de seguridad e higiene y de penalización por delito ecológico.

Para la planificación del proceso de tratamiento de estos efluentes es preciso tener en cuenta, en principio las posibilidades de actuación siguientes:

- Depuración conjunta en una estación depuradoras de aguas residuales con aguas residuales urbanas.
- Depuración en una estación depuradora de aguas residuales industriales.
- Depuración en la propia industria.

Las características de los efluentes de cada industria, las posibilidades legislativas, los costos de vertido en cada caso y los costos de depuración propia, decidirán la opción elegida.

Si la opción es la señalada en último lugar, será necesario el dimensionamiento del proceso de depuración recurriendo a un inventario de efluentes (caudales y características) y el estudio en una planta piloto previa.

4.3. Tratamientos Físicos - Químicos.- La depuración de los efluentes líquidos es una parte fundamental de la gestión ambiental en cualquier industria. Debe ser asumida en su doble faceta de obligación medioambiental con la sociedad y de parte integrante del proceso de producción. En este último sentido, se deben tener en cuenta dos tipos posibles de costos:

² "CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Una visión desde la Química – Depuración de aguas residuales", Pág. 261

4.3.1. Tratamiento de los efluentes³.-Bajo la denominación de tratamientos físico-químicos de las aguas residuales industriales se engloban una serie de procesos primarios y terciarios que suelen aplicar frecuentemente en las industrias. En la tabla 3.1. "Componentes de un agua residual industrial que pueden ser eliminados por tratamiento físico – químico", que se presenta en el anexo, se recoge una muestra de los posibles componentes.

A continuación se detallan algunos de los tratamientos físicos-químicos más frecuentes:

a. Tratamientos Primarios⁴.

♦ **Homogeneización de efluentes:** con el mezclado y homogeneización de los distintos efluentes generados en el proceso productivo se logra disminuir las fluctuaciones de caudal de los diferentes vertidos, consiguiendo una única corriente de caudal y concentración más constante. Se suele realizar en tanques agitados.

♦ **Cribado:** al igual que en el caso de las aguas residuales urbanas, esta etapa sirve para eliminar los sólidos de gran tamaño presentes en el agua residual. Se suele realizar mediante rejillas, con aberturas entre 5-90mm.

♦ **Neutralización:** la neutralización (tratamiento ácido - base del agua residual) puede utilizarse para los siguientes fines.

- Neutralizar, en general, vertidos ácidos o básicos al pH adecuado para el tratamiento posterior al que vaya a ser sometido dicho vertido.
- Ajuste del pH entre 6.5 - 8.5, antes del tratamiento biológico, con el fin de lograr una actividad biológica óptima.
- Ajuste del pH del efluente final antes de la descarga al medio receptor, para conseguir valores del mismo entre 5.5 – 9.
- Precipitación de metales pesados, siendo ésta la aplicación más importante. En el proceso de precipitación intervienen diversos factores: producto de solubilidad del metal, pH óptimo de precipitación, concentración del metal y del agente precipitante y la presencia de agentes complejantes del metal (cianuros, amonio, por ejemplo). Los

³ y ⁴ "CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Una visión desde la Química – Depuración de aguas residuales", Pág. 263.

metales pesados se precipitan normalmente en forma de hidróxidos, utilizando cal hasta alcanzar el pH óptimo de precipitación (6 – 11), en función de los metales presentes.

Del tanque de neutralización (donde se ajusta el pH concreto), el agua residual pasa a un decantador o clarificador; en el que los hidróxidos metálicos sedimentan (para acelerar la sedimentación se suele añadir un agente floculante). Los lodos obtenidos se deshidratan, generalmente mediante filtros prensa, y se llevan a un depósito de seguridad, en caso de no realizarse una recuperación del metal.

♦ **Coagulación – floculación**⁵: para eliminar sólidos en suspensión y materia coloidal. La coagulación, como ya se vio anteriormente, implica la desestabilización de las partículas coloidales por neutralización de su carga eléctrica, y la floculación la agrupación de dichas partículas en agregados de mayor tamaño, flóculos, los cuales sedimentan por gravedad. Para favorecer la formación de flóculos más voluminosos y su sedimentación, se suelen utilizar determinados productos químicos (floculantes), generalmente de naturaleza polimérica, que establecen puentes de unión entre los flóculos inicialmente formados.

♦ **Separación de fases**⁶: los métodos de separación de sustancias y especies no disueltas en el agua residual son, en general, los mismos que se estudian para la potabilización de aguas y depuración de aguas residuales urbanas, es decir: desarenado y desengrasado, decantación, flotación y filtración. Aunque el fundamento de los procesos es semejante a los ya vistos, cabe resaltar la necesidad de desarrollar, para cualquiera de estas operaciones, un diseño específico adecuado a industrias concretas. Los dos tipos de separación son:

- Separación sólido-líquido.- separación de arenas, grasas sólidas y sólidos en suspensión. Se emplean el desarenado y desengrase, sedimentación, la flotación (para sólidos de baja densidad) y la filtración. En estos procesos se utilizan los mismos tipos de aparatos ya

⁵ y ⁶ "CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Una visión desde la Química – Depuración de aguas residuales", Pág. 265.

comentados, aunque adaptados a los caudales y características específicas de los distintos efluentes.

- Separación líquido-líquido: la aplicación más frecuente es la separación de aceites y grasas. En el caso de aguas residuales industriales, el desaceitado y desengrase se puede realizar de dos maneras:
 - i. Predesaceitado: es una mera operación física que tiene lugar por gravedad, sin adición de aire ni otros reactivos. Se efectúa por flotación natural de las partículas de grasa y aceite; los principales equipos son: desaceitador simple, desaceitador circular de rasquetas, desaceitador longitudinal (separador API – American Petroleum Institute) y desaceitador de placas paralelas (separador PPI y CPI).
 - ii. Desaceitado: es una etapa de afino, para obtener un mayor rendimiento en la eliminación de aceites y grasas. Se utilizan diversas técnicas, como coagulación y la flotación por inyección de aire, aunque la más frecuente es la flotación por aire disuelto (flotación a presión DAF), en el caso de emulsiones aceitosas, se precisa la rotura de la emulsión por adición de ácidos o álcalis y la posterior separación de fases por flotación o centrifugación.

En la tabla N° 4.2. "Tratamiento primarios empleados para aguas residuales industriales", que se muestra en el anexo, se resumen los tratamientos primarios comentados.

b. Tratamiento Biológicos o Secundarios⁷.- Los tratamientos biológicos, también denominados como secundarios, manteniendo la terminología de la depuración de aguas residuales urbanas, son procesos en los que la depuración de la materia orgánica biodegradable del agua residual se efectúa por la actuación de microorganismos (fundamentalmente bacterias), que mantienen en suspensión en el agua o bien se adhieren a un soporte sólido formando una capa de crecimiento.

⁷ "CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Una visión desde la Química – Depuración de aguas residuales", Pág. 270.

Los efluentes industriales con carga orgánica depurable por métodos biológicos corresponden principalmente a industrias de carácter agroalimentario, aunque pueden ser sometidos a estos tratamientos secundarios.

Los procesos biológicos pueden ser de dos tipos: aerobios y anaerobios. En general, para aguas con alta carga orgánica (industrias agroalimentarias, residuos ganaderos, etc.) se emplean sistemas anaerobios y para aguas no muy cargadas, sistemas aerobios. En la práctica pueden ser utilizadas ambas técnicas de forma complementaria.

En ambos procesos, la materia orgánica, en presencia de microorganismos de carácter aerobio o anaerobio, sufre una serie de reacciones metabólicas que provocan la degradación y mineralización de la misma. La energía producida en estas reacciones es utilizada por las bacterias en reacciones metabólicas que provocan la degradación y mineralización de la misma. La energía producida en estas reacciones es utilizada por las bacterias en reacciones de síntesis celular que dan lugar a su crecimiento y a nuevas bacterias que constituyen la biomasa o fangos biológicos del proceso.

Los tratamientos biológicos engloban tanto el proceso de reacciones biológicas comentado, como la posterior separación de los fangos producidos por decantación. Entre las variables a controlar en estos procesos se encuentran la temperatura (anaerobios esencialmente), oxígeno disuelto, el pH, nutrientes, sales y la presencia de inhibidores de las reacciones.

i. Tratamientos aerobios⁸.- Los más empleados son el de lodos activados, filtros percoladores y tratamiento de bajo coste como biodiscos, biocilindros, lecho de turba, filtros verdes y lagunaje (este sistema se puede considerar como "mixto", ya que se dan tanto procesos aerobios como anaerobios, dependiendo de la profundidad). Una modificación con respecto a los procesos convencionales es la adición de carbón activado en polvo, que rebaja la carga orgánica y puede disminuir la concentración de sustancias inhibitoras del agua residual. El proceso de fangos activados también puede llevarse a cabo en una sola etapa, realizándose las fases de aireación y de clarificación en un mismo tanque.

⁸ "CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Una visión desde la Química – Depuración de aguas residuales", Pág. 271.

ii. Tratamientos anaerobios⁹.- La descomposición de la materia orgánica por bacterias se realiza en ausencia de aire, utilizándose reactores cerrados, mediante un proceso anaerobio durante el cual la materia carbonosa de las sustancias orgánicas se convierte mayoritariamente en metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂). Los productos finales de la digestión anaerobia son el biogás (mezcla gaseosa de metano, dióxido de carbono, hidrogeno, nitrógeno y sulfuro de hidrogeno, entre otros), que se puede aprovechar para producción energética, y los lodos generados (compuestos no biodegradados y biomasa). Estos tratamientos tienen tres aplicaciones principales:

- o Aguas residuales industriales con alta carga orgánica.
- o Residuos ganaderos.
- o Lodos de depuradora.

Existen distintos tipos de digestores que tratan de adaptarse a las diferentes características de las aguas residuales de diferente naturaleza o, en su caso, a los lodos a digerir; y que pretenden conseguir los mejores resultados de eliminación de la materia orgánica fermentable. Los avances en este tipo de tecnología se orientan a tratar de conseguir la retención de la biomasa activa dentro del reactor, lo que permite trabajar con menores tiempos de residencia hidráulica de los lodos en el reactor, junto con mayores tiempos de retención de sólidos en el mismo. Una de las clasificaciones de digestores más utilizada es la derivada de emplear como criterio diferenciador los diferentes métodos de retención de la biomasa en el reactor y que, sin pretender hacer una recopilación exhaustiva en un tema en continua renovación, conlleva a los siguientes tipos:

- o Digestores con la biomasa no adherida:
 - Sistema sin recirculación de lodos: digestores de mezcla completa o mono etapa y digestores de flujo pistón.
 - Sistema con recirculación de lodos: digestores de contacto.
 - Sistema con sedimentación interna: digestores de lecho suspendido (UASB).
- o Digestores con la biomasa adherida:

⁹ "CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Una visión desde la Química – Depuración de aguas residuales", Pág. 271.

- Sistema de lecho fijo: digestores de filtro anaerobio y digestores de película.
- Sistema de lecho expandido y fluidizado.

iii. Tratamientos mixtos¹⁰.- En algunos casos se utilizan tratamientos aerobios y anaerobios, bien de forma consecutiva, alternante o simultánea. Esto último es lo que sucede en las denominadas lagunas facultativas, con zonas de depuración aerobia (zona más superficial) y anaerobia (zona más profunda). En los sistemas de lagunaje se combinan las lagunas de los tres tipos, anaerobias, aerobias y facultativas. Un ejemplo importante de aplicaciones es la eliminación de bionutrientes (compuestos de **N** y **P**), que se suele aplicar como tratamiento terciario en muchas ocasiones. En el caso de eliminación de especies nitrogenadas, se realiza en primer lugar un proceso aerobio, con transformación a nitratos (nitrificación), seguido de otro en condiciones anaerobias con transformación a nitrógeno gaseoso (desnitrificación).

c. Tratamiento Terciarios¹¹.- Entre los más empleados en aguas residuales industriales podemos señalar:

♦ **Arrastre con vapor de agua o aire:** denominados procesos de stripping para eliminación de compuestos orgánicos volátiles (**COV**) y semivolátiles (**COSV**), tales como disolventes clorados (Tricloroetileno, clorobenceno, dicloroetileno, etc), o contaminantes gaseosos (amoníaco, sulfhídrico, etc.). El arrastre con aire se utiliza en efluentes con bajas o medias concentraciones de contaminantes, r de balde 200 ppm, mientras que el arrastre con vapor permite hasta concentraciones del 10 % y se utiliza para compuestos menos volátiles y más solubles al agua. El arrastre con vapor se realiza a alta temperatura, obteniéndose mejores porcentajes de eliminación. Se utilizan generalmente columnas de relleno, circulando en contracorriente el vapor o aire y el efluente a tratar; en otros equipos el agua residual se pulveriza para aumentar la superficie de contacto líquido-gas.

¹⁰ "CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Una visión desde la Química – Depuración de aguas residuales", Pág. 274.

¹¹ "CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Una visión desde la Química – Depuración de aguas residuales", Pág. 266.

♦ **Proceso de membrana**¹²: En estos procesos el agua residual se pone en contacto con una membrana porosa, y por acción de una fuerza impulsora, se consigue una separación de los componentes de la misma, en función del tamaño de las moléculas presentes en el efluente, del tamaño del poro de la membrana y de las interacciones moléculas – membrana en algunos casos. Los distintos tipos de filtración por membrana son:

- o **Microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y ósmosis inversa**: se denominan procesos de membrana de filtración. Se basan en la diferencia de presión hidrostática como fuerza impulsora; el agua pasa a través de la membrana correspondiente (permeado), quedando retenidas las diferentes especies, moléculas o iones, según el caso, en un agua residual concentrada (rechazo).

- o **Pervaporación**: la fuerza impulsora del proceso es la diferencia de concentraciones de las sustancias. Es un método que se denomina de permeación, que utiliza membranas no porosas. Se trata de un proceso de membranas que implica un cambio de fase de la sustancia que atraviesa la misma. La aplicación de vacío a un lado de la membrana y la diferencia de concentración (presión de vapor) de algún componente a un lado y otro de la misma, permite la difusión de dicho componente, en la fase gaseosa, a través de la membrana. Posteriormente se produce una condensación del componente que ha migrado. La pervaporación se emplea para la recuperación de disolventes orgánicos en efluentes líquidos, y se está investigando su aplicación en la eliminación de disolventes orgánicos en efluentes líquidos, y se está investigando su aplicación en la eliminación de tóxicos orgánicos volátiles en los efluentes.

- o **Electrodiálisis**: se basa en la diferencia de potencial eléctrico como fuerza impulsora. Se utilizan membranas de intercambio iónico que permiten el paso de iones, pero no del agua ni de moléculas y coloides. Se emplea principalmente en el tratamiento de efluentes de las industrias de galvanotecnia, reciclando el agua purificada para aguas de lavado y el agua concentrada para los baños de deposición.

¹² "CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Una visión desde la Química – Depuración de aguas residuales", Pág. 267

♦ **Intercambio iónico¹³**: sirve para eliminar sales disueltas en el agua. Los iones removidos del agua residual al atravesar ésta una resina intercambiadora, siendo sustituidos por otros iones móviles contenidos en la misma. En vertidos industriales se suele emplear este método para la eliminación de iones específicos contaminantes que puedan estar contenidos en esas aguas residuales.

♦ **Adsorción con carbón activo¹⁴**: se emplea para eliminar compuestos orgánicos, se puede utilizar en forma granular (columnas de carbón activado granular, CAC) y en polvo (PAC). Con el tiempo de uso, la capacidad de adsorción del carbón, se va saturando; una opción es la regeneración del carbón gastado, mediante métodos térmicos (calentamiento del carbón en hornos y desorción térmica de los compuestos orgánicos adsorbidos) o químicos (oxidación)

♦ **Proceso de oxidación¹⁵**: sirve para eliminar o transformar la materia orgánica (aminas, organohalogenados, etc.) y materia inorgánica oxidable (cianuros o sulfuros, por ejemplo), así como para destruir microorganismos patógenos.

♦ **Proceso de reducción¹⁶**: se emplea para reducir elementos metálicos en alto estado de oxidación. Un ejemplo característico es la reducción del cromo hexavalente Cr (VI), mediante agentes reductores como sulfito o hidrogenosulfito de sodio, tiosulfato de sodio, sulfato de hierro (II), etc. Este proceso se utiliza como primera etapa (pre tratamiento) en las industrias que tienen cromo en sus vertidos, como ejemplo en algunas de curtidos.

♦ **Precipitación química¹⁷**: se basa en la utilización de reacciones químicas para la obtención de productos de muy baja solubilidad. La especie contaminante a eliminar pasa a formar parte de esa sustancia insoluble, que precipita y puede ser separada por sedimentación y filtración. El producto, según los casos, y puede ser recuperado o gestionado como residuo sólido. Ejemplos de aplicación serían la precipitación de metales pesados en forma de

¹³, ¹⁴ y ¹⁵ "CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Una visión desde la Química – Depuración de aguas residuales", Pág. 269.

¹⁶ y ¹⁷ "CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Una visión desde la Química – Depuración de aguas residuales", Pág. 270.



hidróxidos y sulfuros; la eliminación de fluoruros por adición de cal en la industria del vidrio o del ácido fosfórico; la eliminación de fosfato (bionutrientes), por precipitación con sales de calcio o aluminio; citar; por último, la precipitación de aniones claramente limitados en los vertidos, como cianuros, sulfuros o cromatos, con algunos cationes metálicos. Los procesos de precipitación se emplean, en algunas industrias, como tratamientos primarios y tienen lugar a la vez que el proceso de neutralización.

4.4. Sistema de Tratamiento por Coagulación – Floculación¹⁸.- La turbiedad y el color del agua son principalmente causados por partículas muy pequeñas, llamadas partículas coloidales. Estas partículas permanecen en suspensión en el agua por tiempo prolongado y pueden atravesar un medio filtrante muy fino. Por otro lado aunque su concentración es muy estable, no presentan la tendencia de aproximarse unas a otras.

Para eliminar estas partículas se recurre a los procesos de coagulación y floculación, la coagulación tiene por objeto desestabilizar las partículas en suspensión es decir facilitar su aglomeración. En la práctica este procedimiento es caracterizado por la inyección y dispersión rápida de productos químicos. La floculación tiene por objetivo favorecer con la ayuda de la mezcla lenta el contacto entre las partículas desestabilizadas. Estas partículas se aglutinan para formar un floc que pueda ser fácilmente eliminado por los procedimientos de decantación y filtración. Es muy importante que los procedimientos de coagulación y floculación sean utilizados correctamente, ya que la producción de un floc muy pequeño o muy ligero produce una decantación insuficiente; mientras que el agua que llega a los filtros contienen una gran cantidad de partículas de floc que rápidamente ensucian los filtros y necesitan lavados frecuentes. Por otro lado cuando el floc es frágil, este se rompe en pequeñas partículas que pueden atravesar el filtro y alterar la calidad del agua producida.

¹⁸ MARTINEZ NAVARRO F. Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional. Tesis Doctoral para obtener el grado de Doctor en Ingeniería Química.



4.4.1. Coagulación¹⁹.- En una suspensión coloidal, no se puede conseguir, de forma efectiva, la separación de las partículas directamente por técnicas de separación sólido-líquido (decantación, flotación), como consecuencia del pequeño tamaño de las mismas, que se traduce en una muy pequeña velocidad de sedimentación. Tampoco se produce la agregación de las partículas, debido a la existencia de cargas eléctricas en la superficie de las partículas coloidales. Estas cargas son normalmente negativas, y están asociadas a la existencia de grupos carboxilo o hidroxilo en la superficie de las partículas orgánicas, y al intercambio de aluminio y silicio por cationes monovalentes (tales como el K^+ , el Na^+ o los H^+) en el caso de los minerales. Esta carga superficial origina la atracción de iones de signo contrario presentes en el seno de la disolución, que se concentran alrededor de las partículas, dando lugar a la formación de una capa difusa de iones, que provoca que las fuerzas de repulsión entre las partículas predominen sobre las fuerzas de atracción másica que existen entre las mismas.

Por este motivo, una suspensión coloidal es un sistema estable, ver en el anexo, la Figura N° 4.1 "Esquema de las fuerzas de interacción que actúan sobre una partícula en suspensión", es decir, sin tendencia a cambios que posibiliten la agregación de las partículas.

La coagulación puede ser definida, en principio, como la desestabilización de las partículas para conseguir que las fuerzas de atracción tipo Van der Waals que existen entre dos partículas predominen sobre las de repulsión electrostática, de manera que las partículas se unan y den lugar a la formación de sólidos de mayor tamaño.

Como consecuencia del mayor tamaño, la velocidad de sedimentación de las partículas se incrementa, posibilitando el uso de la decantación como tecnología de tratamiento. La coagulación es un proceso químico complejo que implica la combinación de numerosos procesos sencillos. Comienza con la adición a una dispersión coloidal de un reactivo químico (normalmente una sal de catión polivalente) que activa simultáneamente varios mecanismos de desestabilización coloidal, siendo los más importantes que se simulan en la

¹⁹ MARTINEZ NAVARRO F. Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional. Tesis Doctoral para obtener el grado de Doctor en Ingeniería Química

Figura N° 4.2 "Mecanismo de coagulación de partículas coloidales", esta última se muestra en el anexo, la compresión de la doble capa eléctrica (como consecuencia del aumento en la fuerza iónica del medio que provoca este nuevo reactivo) y la neutralización de la carga superficial de las partículas coloidales (que está asociada a la adsorción de iones sobre la superficie de las partículas coloidales).

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

Asimismo, la adsorción de grupos activos de un mismo agente coagulante sobre diferentes partículas coloidales permite la formación de enlaces tipo puente entre partículas.

Este mecanismo puede ser conseguido por polímeros formados de forma natural tras la hidrólisis de sales de aluminio o hierro, pero su eficacia aumenta notablemente si se añaden polímeros orgánicos especiales (iónicos o no) con una cadena de gran tamaño.

Como consecuencia del proceso de coagulación por aumento de la fuerza iónica o por neutralización, las fuerzas de repulsión electrostáticas se hacen menores que las correspondientes fuerzas de atracción de Van der Waals, y cuando las partículas coloidales chocan se unen para formar partículas de mayor tamaño. Al proceso físico mediante el que se favorece que estas partículas choquen se le denomina floculación. Normalmente, en el tratamiento de un agua el proceso de floculación se consigue agitando suavemente el agua residual para favorecer el movimiento interno de las partículas coloidales. En este sentido, la coagulación o floculación de barrido, y la resultante de la formación de enlaces inter partículas, son mecanismos que no están claramente englobados en el concepto de coagulación y/o floculación, sino en ambos simultáneamente, y como tal aparecen mezclados en la bibliografía (a veces, incluso, de forma incorrecta).

4.4.2. Floculación²⁰.- La floculación es el proceso que sigue a la coagulación, que 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, crean al juntarse aglomerados mayores que son capaces de sedimentar.

Sucedan que los flóculos formados por la aglomeración de varios coloides no sean lo que suficientemente grande como para sedimentar con 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 individuales en aglomerados, tal como se muestra en el anexo a través de la Figura N° 4.3. Mecanismo de formación de los Flóculos de partículas coloidales.

La floculación es favorecida por el mezclado lento que permite juntar poco a poco los flóculos; un mezclado demasiado intenso los rompe y raramente se vuelven a formar en su tamaño y fuerza óptimos. La floculación no solo incrementa el tamaño de las partículas del floculo, sino que también aumenta su peso.

La floculación puede ser mejorada por la adición de un reactivo de floculación o ayudante de floculación.

Normalmente, la floculación se analiza como un proceso causado por la colisión entre partículas. En ella intervienen, en forma secuencial, tres mecanismos de transporte:

- a) Floculación pericinética o browniana. Se debe a la energía térmica del fluido.
- b) Floculación ortocinética o gradiente de velocidad. Se produce en la masa del fluido en movimiento.
- b) Sedimentación diferencial. Se debe a las partículas grandes, que, al precipitarse, colisionan con las más pequeñas, que van descendiendo lentamente, y ambas se aglomeran.

²⁰ MARTINEZ NAVARRO F. Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional. Tesis Doctoral para obtener el grado de Doctor en Ingeniería Química



Al dispersarse el coagulante en la masa de agua y desestabilizarse las partículas, se precisa de la floculación pericinética para que las partículas coloidales de tamaño menor de un micrómetro empiecen a aglutinarse. El movimiento browniano actúa dentro de este rango de tamaño de partículas y forma el microfloculo inicial. Recién cuando este alcanza el tamaño de un micrómetro empieza a actuar la floculación ortocinética, promoviendo un desarrollo mayor del microfloculo. Este mecanismo ha sido estudiado en lugares donde la temperatura baja alrededor de cero grados, rango dentro del cual el movimiento browniano se anula y, por consiguiente, también lo hace la floculación pericinética. En este caso, se comprobó que la floculación ortocinética es totalmente ineficiente y no tiene importancia alguna sobre partículas tan pequeñas, encontró que si los gradientes de velocidad en el agua son mayores de 5 Seg.^{-1} y las partículas tienen un diámetro mayor de un micrómetro, el efecto de la floculación pericinética es despreciable. Por otro lado, el proceso de floculación pericinética solo es sumamente lento. Se precisan alrededor de 200 días para reducir a la mitad un contenido de 10.000 virus/mL en una muestra de agua.

Por lo tanto, la aglomeración de las partículas es el resultado de la actuación de los tres mecanismos de transporte mencionados más arriba.

4.5. Precipitación/Decantación²¹.- La separación de los flóculos originados en el proceso de coagulación-floculación se realiza en una operación denominada sedimentación o decantación, aumentando el tiempo de permanencia del agua en depósitos adecuados, denominados decantadores. Los flóculos sedimentados dan lugar a los fangos (lodos), los cuales son purgados periódicamente del decantador. El agua decantada (libre de flóculos) se recoge en superficie.

Los factores de los que depende el proceso de sedimentación son, entre otros: tamaño y peso específico de las partículas, concentración de flóculos, tiempo de retención, temperatura, etc.

Los decantadores utilizados pueden dividirse en **estáticos** y por **contacto de fangos** o **dinámicos**. En este segundo grupo, el término dinámico se y se

²¹ "CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Una visión desde la Química – Depuración de aguas residuales", Pág. 147-149.

utiliza para referirse a decantadores en los que se produce el contacto continuo entre el agua floculada y los fangos, con el fin de acelerar y mejorar la decantación. El contacto se establece por precipitación de los fangos, con el fin de acelerar y mejorar la decantación. El contacto se establece por recirculación de los fangos, o por formación de un lecho de fangos, que es atravesado por el agua. Para reducir el tamaño de los decantadores y aumentar su eficacia, se ha desarrollado la tecnología de introducción en los depósitos de lamelas o placas (decantación lamelar), generalmente inclinados un cierto ángulo.

En las Figuras N° 4.4. Esquema de decantador de lecho de fangos, tipo PULSATOR y N° 4.5. Esquema de decantador dinámico, con recirculación de fangos tipo ACCELATOR NS, que se muestran en el anexo, podemos observar dos decantadores del tipo contacto, utilizados en el campo del tratamiento de aguas industriales y de consumo.

La Figura N° 4.4. muestra un decantador tipo PULSATOR. El agua bruta a decantar se introduce por un canal central donde se realiza el vacío. Al llegar a un nivel 1, una válvula rompe el vacío y el agua es impulsada por la zona baja atravesando el manto de fangos: al llegar al nivel 2 vuelve a repetirse el proceso: El llenado, descarga y paso del agua por el lecho de fangos se produce de forma intermitente (pulsos), de donde proviene el propio nombre del decantador, El agua clarificada se recoge por la parte superior mediante unas canaletas y el exceso de fangos cae a unos canales laterales en el fondo, de donde son extraídos.

La Figura N° 4.5 muestra un decantador llamado ACCELATOR NS. El agua bruta se introduce en la parte central en una zona de mezcla rápida primaria; en ella se puede realizar la adición de reactivos coagulantes y se mezcla con parte de los fangos que se recirculan. La mezcla se consigue con turbinas que agitan el sistema. La zona por encima de la anterior se denomina de mezcla secundaria o de floculación, en ella se van formando los flóculos de fango de tamaño más grande. De ahí pasa a las zonas laterales del decantador, en una de ellas (parte izquierda de la figura) el agua con los fangos formados se recircula a la zona de mezcla primaria y en la otra (parte derecha de la figura) se produce la concentración de fangos. El exceso de fangos más densos se va

extrayendo de la misma. El agua clarificada sale por parte superior a través de unos canales de recogida.

4.6. Parámetros de control para el tratamiento de los efluentes.- Los parámetros de control fueron fijados en base al Decreto Supremo N° 021 – 2009 – VIVIENDA del 20 de Noviembre de 2009, "APRUEBAN VALORES MAXIMOS ADMISIBLES (VMA) DE LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES NO DOMESTICAS EN EL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO": Que, las descargas de aguas residuales no domésticas en la red de alcantarillado sanitario contienen concentraciones elevadas de sustancias contaminantes o tóxicas que deben ser reguladas, controladas y fiscalizadas, a fin de evitar el deterioro de las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias y equipos, disminuyendo los costos de su operación y mantenimiento, evitando el deterioro de los procesos de tratamiento de las aguas residuales;

Que, por otro lado la presencia de sustancias nocivas en concentraciones elevadas en las aguas residuales que descargan a las redes de alcantarillado pone en peligro la salud de los seres humanos.

Que es necesario regular las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, a fin de evitar el deterioro y asegurar el adecuado funcionamiento de los sistemas de alcantarillado sanitario y tratamiento de aguas residuales, garantizando la sostenibilidad del tratamiento de las aguas residuales, estableciendo y aprobando para este caso Valores Máximos Admisibles (VMA) en lugar de Límites Máximos Permisibles, pues estos últimos son parámetros de orden ambiental que se aplican a las descargas de efluentes en cuerpos receptores y tiene influencia en el ecosistema y al ambiente;

Según el Artículo 8²².- Actualización de los VMA, a través de los Anexos N°1 y N°2, acuerda establecer los parámetros y sus valores, como se observa en las Tablas N° 4.3: "Anexo N° 1" y N° 4.4. "Anexo N° 2", que se muestra en el anexo.

²² DS N° 021-2009-VIVIENDA (Viernes 20 de noviembre de 2009)

4.7. Problemática Ambiental.- Las industrias de pinturas y de barnices han venido tomando importancia en el país, dentro de las actividades de carácter antrópico se han incrementado durante la última década del siglo pasado y durante lo que va del presente siglo XXI, utilizando para ello tecnologías de punta, lo cual como es tradicional en este rubro obtener producto de mayor calidad y competitividad en el mercado nacional e internacional, es decir que tiene que adoptar modelos de desarrollo, a fin de afrontar la competencia debida a los tratado de Libre Comercio.

Durante el año 2011, el mercado de pinturas y de barnices en nuestro país ha facturado unos US\$ 250 a 300 millones y felizmente se ha mantenido así en estos últimos años. El 2012 fue un año intenso de crecimiento para la industria de la pintura y barnices. En este año se piensa que va a haber un crecimiento adicional que va entre un 10% o un 12%. El mercado de las pinturas piensa facturar este 2012 sobre los US\$ 330 millones, PRODUCE no llega a considerar esto como una meta muy alta. Para sacar esta conclusión se basa en la proporción de la infraestructura del Perú con lo que se piensa facturar. Sabemos que uno de los rubros más grandes que tiene la actividad de fabricación de pinturas es la pintura arquitectónica y ahí está habiendo un gran crecimiento en la construcción.

El número de empresas que conforman el mercado de pinturas y de barnices deben ser una 150 a 200 empresas en total entre las que hay unas cinco o seis grandes, entre ellas están empresas como CPPQ, Industria Vencedor y ANYPSA. Lo curioso es que sumando esas tres deben significar por lo menos el 70% del mercado de las pinturas en nuestro país, refiriéndose al total. El resto está dividido entre empresas pequeñas o medianas muy especializadas que deben ser una 150 o 170 más. En el Perú, claro que hay fábricas locales, en Lima hay bastantes. Industria Vencedor está en el Callao, CPPQ está en El Agustino y ANYPSA está en Carabayllo. También hay algo del mercado de las pinturas importadas, pero son nuestras fábricas locales las que nos abastecen en un 90% con respecto al mercado total.

Una de las empresas de fabricación de Pinturas y de Barnices que está liderando actualmente el mercado es la compañía peruana CPPQ y debe de tener un 40% de la producción del mercado.

Otra de las razones de importancia de las Industrias de Pinturas y de Barnices en el Perú es que hay mucha gente trabajando en ellas, habrá unas 10 mil o 15 mil personas, directa e indirectamente. Lo más importante que debemos mencionar es que la industria de la pintura y de barnices en sí, es la que se encarga del mantenimiento de toda la infraestructura nacional. Es decir, mucha gente cree que el producto se limita a simplemente dar color, pero por ejemplo una fábrica que no se pinta es un cúmulo de fierros viejos, un puente que no se pinta se cae y un puerto que no se pinta se deteriora.

La pintura no solamente por el lado de quien lo fabrica, cuanta gente ocupa, sino cuanta gente ocupa por el lado de quién la aplica.

Para pintar un edificio necesitas mucho personal, por eso se necesita combinar ambos (los que fabrican y los que la aplican). Hoy en día está de moda para los edificios empresariales el tener un exterior hecho completamente de vidrios o se usa mucho acero inoxidable, incluso el interior de los edificios usan muchas paredes de vidrio y mamparas. Pero esto no afecta en nada al mercado de pinturas, siempre habrá una demanda constante.

Entre los compradores de pintura tenemos tanto grandes empresas como grandes aplicadores. Por ejemplo, para la pintura industrial están las grandes minas, la marina y el ejército son grandes consumidores.

Toda orden de distribución de pintura, barnices y lacas para grandes compradores se basa en licitaciones públicas en las cuales participan las fábricas de pinturas. Ahí se establecen las calidades y cantidades para abastecerlos de productos por periodos de tiempo.

El 90% de las pinturas que se consumen en el Perú son fabricadas localmente, para fabricarlas se deben importar una gran cantidad de insumos químicos (solventes, resinas, pigmentos, etc.) que principalmente son producidos en el extranjero.

Se exporta una cantidad significativa de pintura a Ecuador, Chile, Colombia y Centro América, se puede asegurar que las exportaciones están más dirigidas a las pinturas de mantenimiento industrial.

Este abastecimiento de agua para su consumo, se logra por lo general de un abastecimiento de agua subterránea o de pozo, ya que el abastecimiento a través de la red pública para el caso de la ciudad de Lima (SEDAPAL), no es

suficiente al estar limitada dado que la prioridad es el abastecimiento para consumo doméstico, sin embargo, el efluente generado por las industrias es recepcionado por las redes del alcantarillado con que cuenta SEDAPAL, y para el caso de que esta no exista se utiliza algún cuerpo receptor para la disposición final siendo estas, cursos naturales de agua (acequias y Río), es decir de algún modo, un curso natural de agua.

Esta situación de disposición final de los efluentes industriales generado por las industrias textiles y confecciones por sus características físico, químicas y biológicas, afectan al cuerpo receptor impactándolo de modo que contribuyen con la **Contaminación Ambiental**.

Si bien es cierto las plantas de pinturas y de barnices, realizan previo a la disposición final de sus efluentes algún tratamiento, estos no son suficientes o los mismos no son los más eficientes, por lo que en su contenido trasladan una serie de contaminantes e inclusive productos valiosos que se pueden recuperar optimizando el tratamiento de sus plantas mejorando la eficiencia del proceso, a fin de evitar el impacto sobre el medio ambiente.

Existe por esta razón el control o fiscalización que realizan diversas entidades gubernamentales (PRODUCE, DIGESA, SEDAPAL), sobre la calidad de los efluentes previos a su disposición final, existiendo a la fecha una legislación vigente que permite esta fiscalización:

D.S. N° 002-2008-MINAM. Aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua;

DECRETO SUPREMO N° 021 – 2009 – VIVIENDA (20.11.2009) - "Aprueban Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario"

Hoy en día, una organización que tiene como visión ser una empresa de clase mundial, a través de la excelencia y mejora continua, debe compatibilizar la producción, con el tratamiento de sus efluentes, emisiones y residuos sólidos. El Ministerio de la Producción (PRODUCE) engloba diversos sub-sectores, entre ellos a la industria de pinturas y de barnices, caracterizada por su no muy elevado consumo de agua, uso de una gama de productos químicos (Colorantes, blanqueadores, suavizantes, etc.) y generación de residuos sólidos, gaseosos y efluentes.

El presente trabajo de investigación ha tenido como finalidad recopilar información suficiente a partir de distintas empresas del sector Pinturas y de Barnices, a fin de conocer sus sistemas productivos y el de tratamiento de sus efluentes y poder seleccionar, adaptar e innovar, un sistema de tratamiento de efluentes del proceso.

Durante estas visitas hemos podido conocer que las empresas tienen una serie de carencias en sus tratamientos, de modo que aun tiene muchas dificultad para controlar adecuadamente los VMA (Valores Máximos Admisibles) de sus efluentes, sin embargo se busca tratar el efluente del proceso internalizando los costos ambientales en función a la realidad económica de la empresa para poder prevenir la contaminación del ambiente dentro de la normativa vigente.

4.8. Normas Legales.- Las actividades del sector Pinturas y de Barnices, quedan reguladas a través de diferentes Norma Legales, al mismo que el PRODUCE esta facultada a incorporar normas y patrones ambientales de referencia con el mismo fin, entre estas normas se encuentran:

- Constitución Política del Estado
- Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales (Decreto Legislativo N° 613)
- Ley Marco para el Crecimiento de la Inversión Privada (Decreto Legislativo N° 757) modificada por la Ley N° 26734
- Decreto Supremo N° 021 – 2009 – VIVIENDA del 20 de Noviembre de 2009. Aprueban Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.
- Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos.
- Reglamento Nacional para la Aprobación de Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles (Decreto Supremo 044-98-PCM).
- Guías para el Desarrollo de EIA relacionados a la Evacuación de Desechos por Tuberías (Resolución Directoral N° 0052-96/DCG)
- Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental, Ley N° 27446 del 20 de Abril de 2001
- Ley N° 28611, Ley General del Ambiente.

- Decreto Supremo N° 019 – 2009 - MINAM, por el cual se Aprueba el reglamento de la Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental, de fecha 26 de setiembre del 2009.

4.9. Descripción y características del Distrito de Carabayllo²³.- El distrito peruano de Carabayllo es el más extenso de los 43 distritos de la provincia de Lima. Es también el distrito matriz de Lima Norte y uno de los ocho que lo conforman.

4.9.1. Ubicación y Vías de Acceso.- Se localiza al norte de la ciudad, limita por el norte y noreste con el distrito de Santa Rosa de Quives de la provincia de Canta, por el sur limita con el distrito de Comas, por el este con la provincia de Huarochirí y por el oeste con el distrito de Puente Piedra y el distrito de Ancón. Se ubica a ambos márgenes del río Chillón que nace en la cordillera de la Viuda (Canta), el valle donde está situado es muy fértil y sus productos agropecuarios abastecen los mercados de la gran Lima.

Creado en los tiempos de la independencia, fue el primer distrito fundado por don José de San Martín en 1821.

En sus inicios este distrito abarcaba desde la Portada de Guía (límite actual del Rímac, en la división blindada Cuartel Hoyos Rubio por el sur) ocupando los actuales distritos de San Martín de Porres, Independencia, Los Olivos, Comas, Puente Piedra, Santa Rosa, Ancón, Ventanilla y Santa Rosa de Quives.

Carabayllo es una zona de expansión reciente de la ciudad.

Este distrito se conecta con otros distritos por vías como la avenida Túpac Amaru y la avenida Universitaria.

Tiene una altitud entre 238 a 500 metros sobre el nivel del mar (chaupi yunga o costa media). Su población pertenece a los niveles socioeconómicos B, C, D y E.

Su centro urbano activo más antiguo es el pueblo de San Pedro de Carabayllo y es un distrito con una gran área rural (aproximadamente el 65% tierras de cultivo) teniendo haciendas de importancia como Punchauca (donde se reunieron San Martín y La Serna), Huacoy, Huarangal, Caballero, Chocas, etc.

²³ Pág. Web Municipalidad de Distrital de Carabayllo.

La zona urbana se divide en urbanizaciones como: Santa Isabel, Tungasuca, Lucyana, Villa Corpac, Apavic, Santo Domingo; pueblos jóvenes como Raúl Porras Barrenechea, La Flor, El Vallecito, Villa Esperanza, El Progreso, etc. y asentamientos humanos como Las Malvinas

4.9.2. Reseña Histórica de Carabayllo²⁴.- Carabayllo como ciudad, es obra de la historia, su existencia se sostiene en el tiempo desde épocas milenarias. En los periodos antiguos, el territorio de Carabayllo comprendía todo el valle bajo del río Chillón; limitaba por el Norte con Chancay y Canta, por el Este con Huarochirí, por el Sur con el río Rímac y por el Oeste con el Océano Pacífico. A comienzos de la República, el distrito se extendía desde la Portada de Guía (límite actual del Rímac, en la división blindada Cuartel Hoyos Rubio por el sur) abarcando los territorios actuales de los distritos de San Martín de Porres, Independencia, Los Olivos, Comas, Puente Piedra, Santa Rosa, Ancón, Ventanilla y Santa Rosa de Quives. Es por ello que actualmente se resalta la afirmación y el reconocimiento histórico del distrito de Carabayllo como la Genesis el Norte, ver en anexo la Figura N° 4.6. "Plano del Distrito de Carabayllo"

4.9.3. Interpretación de su Nombre²⁵.- A la llegada de los españoles al Perú, se inició un proceso de castellanización de los nombres originarios del antiguo Perú. Según los documentos coloniales se le denominaba como Carvaillo, Carguayllo o Caruaillo, y después se convirtió en Carabayllo.

Su traducción tiene varias interpretaciones: El Padre Pedro Villar Córdova (1982), afirma que el nombre es Kara-Hualla y señala que procede del altiplano. Alberto Tauro del Pino (1987), señala que es CcarhuaAyullo, y significa "ayllu agostado". Marco Ferrel (1990), afirma que Qarwayllu, y es de origen quechua aymará. Qarwa, significa "llama", y ayllu, "grupo de familias", es decir sería el "ayllu de la llama" o el "ayllu de los llameros". Según el diccionario quechua-aymara de Diego Gonzáles de Holguin (1608), Karhuaruna significa: poblador de rostro descolorido, quienes convivían junto con los Colliruna, que

²⁴ Pág. Web Municipalidad de Distrital de Carabayllo.

²⁵ Pág. Web Municipalidad de Distrital de Carabayllo.

eran pobladores de tez oscura. Del que derivaría Karhuayllo, es decir la Comunidad de pobladores de rostro descolorido. Por otro lado, existe la palabra Karahuaylla (Holguín 1608). Kara: cuero, pellejo, cáscara, corteza, y huaylla: prado verde, buen pasto. Significaría: Superficie con buen pasto o prado verde. Este nombre estaría en relación al espacio geográfico del valle del Chillón; y por último Ccara-Ayllo, significa Ccaraes: maíz, y ayllo: comunidad, lo que sería la Comunidad que produce maíz.

Más se acercaría, de acuerdo al ámbito geográfico sería Karahuaylla es decir "Superficie con buen pasto"; o CcaraAyllo "Comunidad que produce maíz". Incluso, también podría aceptarse el termino Karhuayllo la "Comunidad de pobladores de rostro descolorido".

4.9.4. Los primeros habitantes²⁶.- El valle bajo y medio del río Chillón sirvió de escenario para el establecimiento de diversos grupos sociales y organizaciones sociales complejas. Es del tiempo el hombre ha ido ocupando espacios desde la playa hacia el valle medio. El hombre de Chivateros ocupó la desembocadura del río Chillón hace más de 10 000 a.C. Posteriormente, hacia los 2 500 a.c surge la sociedad estratificada, siendo una importante evidencia de este periodo el Templo de "El Paraíso". En el 1 500 a.C. se construyen los complejos piramidales dispuestos en forma de "U", que se ubican tanto en la parte baja y media del valle. Uno de los más importantes es Huacoy, que hoy se ubica en el distrito de Carabayllo.

Posteriormente, en el año 200 a.C. surge la Cultura Lima quien va a tener una importante influencia en el valle con sitios como Culebras y Copacabana.

Hacia el año 1000 d.C hasta el 1470, dominaría estas tierras el Señorío Colli. Durante este período se van a constituir en una sociedad dedicada al trabajo y defensores de su integridad territorial. Tuvo como enemigos a los Cantas y Chaclla, quienes se dice producía la coca de mejor calidad. Sin embargo, en un avance de los Cantas se apoderaron de estas tierras y paso a formar parte de su territorio.

En el año 1746, llegan los Incas al mando de Túpac Inca Yupanqui, quien pide al curaca Colli a que se integre al Imperio y que acepte al Sol como Dios a

²⁶ Pág. Web Municipalidad de Distrital de Carabayllo.

cambio de respetar todas las costumbres Collí. Pero, el curaca Collí, no acepta y los Incas derrotan en una cruenta guerra al pueblo Collí. El legado que nos dejaron hoy como pobladores de esta tierra ancestral que los Collís siempre lucharon por conservar su autonomía y su libertad, herencia que debemos mantener. Al dominar el Inca, en castigo, nombró como jefe Collí a un yanacón, y los diversos pueblos Collí, como Chuquitanta, Carabayllo, Collís, Comas, Guancayos y Quivi, entre otros, estarán bajo su mando.

Otra característica importante en este periodo, es la que refiere el cronista Bernabe Cobo, de que en el valle de Carabayllo los indígenas hablaban una lengua distinta a los grupos étnicos del Sur del valle de Lima, el idioma empleado debió ser el Muchic o Quignam (lengua de pescadores), pero a partir de la época del Tahuantinsuyo su uso decaería ya que los incas oficializaron la lengua del Runa Simi (quechua).

4.9.5. Los españoles y la fundación del pueblo de San Pedro de Carabayllo²⁷.- La llegada y establecimiento de los españoles en el Perú (1532) y en el valle del Chillón (1533) motivo un cambio en las estructuras políticas, económicas, sociales y culturales del Imperio Inca, una de las primeras acciones de Francisco Pizarro posterior a la Fundación de Lima, fue repartir las tierras de los valles de Lima entre los conquistadores. Así los encomenderos se convirtieron en la primera clase social española privilegiada, quienes tuvieron el encargo de evangelizar a los indígenas y estos debían pagar tributos. El primer encomendero de Carabayllo fue Domingo de la Presa, posteriormente Francisco Pizarro nombró como encomendero en 1540, a su hermano Francisco Martín de Alcántara, quien solo estuvo un año, ya que murió junto con su hermano Francisco Pizarro en la casa de gobierno, ante el asalto y venganza de los almagristas. Posteriormente, en 1549, en el gobierno del Virrey Pedro de la Gazca, se nombró como corregidor de Carabayllo a Antonio de Ribera.

Con el gobierno del Virrey Francisco de Toledo, quien llega al Perú en 1569, se inicia una gran reforma administrativa. Toledo, cumpliendo órdenes reales, realiza una visita general del Virreinato, nombrando para ello a más de 60

²⁷ Pág. Web Municipalidad de Distrital de Carabayllo.

visitadores y jueces reducidos, quienes además de averiguar la organización interna de la sociedad y la economía de los pueblos indígenas, tenían la misión de fundar las reducciones de indios. Los visitadores deberían de elegir en cada repartimiento el lugar más apropiado para poder construir la reducción.

El visitador designado para el Valle de Carabayllo y Chancay fue el Licenciado español Juan Martínez Rengifo, quien llegó a los valles de Carabayllo en marzo de 1571. Después de varias gestiones de inspección y acuerdos, Juan Martínez Rengifo fundó LA REDUCCIÓN DE SAN PEDRO DE CARABAYLLO (primer centro administrativo, político y religioso de Lima Norte), el 29 de junio de 1571, significando esta fecha trascendental para el distrito como LA FUNDACIÓN HISTÓRICA DEL DISTRITO DE CARABAYLLO.

Poco después de la fundación de Carabayllo se construyó la Iglesia de San Pedro el cual se terminó de construir en 1632 y cuya regencia fue confiada a los Mercedarios. El Arzobispo de Lima Santo Toribio de Mogrovejo, en su segundo recorrido pastoral, visitó la parroquia de San Pedro en 1593 en donde ofició una misa. El establecimiento de los españoles en el valle conllevó al surgimiento de las haciendas. Así desde el siglo XVI se inicia una lucha entre conquistadores e indígenas por la posesión de las tierras.

Los terratenientes españoles se valieron del poder legal y militar para despojar las tierras de los indígenas. Al consolidarse las haciendas estas pasaron por procesos de parcelación y concentración de tierras, producto de las negociaciones de compra-venta. Hacia 1793, las haciendas existentes en el valle eran: Valle de Carabayllo Alto con 28 haciendas y el valle de Carabayllo Bajo con 15 haciendas.

4.9.6. El Periodo de la Independencia y la Conferencia de Punchauca²⁸ .-

Poco antes de la independencia del Perú, el Virrey José La Serna ordena que se realice una visita con el fin de elaborar una relación de las haciendas que existían en el valle del río Chillón. El objetivo era conocer que haciendas apoyaban a los españoles para contrarrestar a la insurgencia libertadora. Este trabajo fue encomendado a Simón Ravago, quien presenta la relación el 30 de setiembre de 1818 y menciona que el valle de Carabayllo existían 18

²⁸ Pág. Web Municipalidad de Distrital de Carabayllo.

haciendas. En el periodo de la independencia los españoles se preocuparon por poder dominar el valle del Chillón por ser un lugar estratégico de acceso hacia la ciudad de Lima, sin embargo los montoneros, guerrilleros a caballo, que apoyaban la corriente libertadora del sur, no lo permitieron y se enfrentaron a los españoles en diversas batallas. Con la llegada de Don José de San Martín al Perú y en un afán de los españoles de lograr una negociación de paz con la expedición libertadora, el 2 de junio de 1821, el Virrey José de la Serna y San Martín tuvieron una reunión en la Casa hacienda de Punchauca (se muestra en la figura la cual sería denominado LA CONFERENCIA DE PUNCHAUCA, (ver en anexo la Figura N° 3.7. Casa hacienda de Punchauca"), que fracasó por intransigencia de los españoles, quienes no aceptaron la Independencia pacífica.

4.9.7. Carabayllo durante la República²⁹.- En la época republicana la vida en Carabayllo continuaba girando alrededor de las haciendas, pero la propiedad de las tierras sólo beneficiaba y se concentraba en pocas personas. Los hacendados convertían a sus tierras en ingenios para la producción de la caña de azúcar. Pero, había un problema grave que afrontaban los hacendados, no tenían mano de obra. Por eso durante el Primer gobierno de Ramón Castilla, en 1849, se promulga una ley para traer inmigrantes chinos "Coolies", quienes sustituyen y cubren los puestos de los esclavos, que también fueron liberados por Castilla.

En el gobierno de José Rufino Echenique, en 1852, el distrito de Carabayllo amplía y ejerce jurisdicción territorial sobre las islas de Ancón para evitar el contrabando de guano. En esta época el guano de las islas se convierte en el producto más importante de exportación del Perú y debido a ello surgió la explotación clandestina que afectaba económicamente al País.

En el segundo gobierno de Ramón Castilla, mediante una ley, del 2 de enero de 1857, se convocó a elecciones en toda la República, en cumplimiento a la ley de Convocatoria de Elecciones Municipales, para dar cumplimiento a la Ley Orgánica de Municipalidades del 29 de noviembre de 1856, con ella se instituyó las Municipalidades en los Distritos y poblaciones que contaban con más de mil

²⁹ Pág. Web Municipalidad de Distrital de Carabayllo.

habitantes, y entre ellas se constituye la Municipalidad de Carabayllo el cual tendría 5 representantes en el gobierno municipal. Esta Ley fue tomada como fecha de "Creación distrital" de Carabayllo y creo una confusión por muchos años entre la población y ex alcaldes.

En la Guerra con Chile, el Concejo Municipal, presidido por el alcalde Antonio Pomar, se reunió en Sesión Extraordinaria el día 1° de junio de 1879, en donde se acordó formar el "Escuadrón de Carabayanos". Y después de las batallas de San Juan y Miraflores, en enero de 1881, el presidente del Perú, Nicolás de Piérola, llegando a Punchauca escribe una carta, a través de su secretario, al Jefe de la Plaza Militar que defendía Lima, Coronel Belisario Suarez, a que se retire del centro de Lima para evitar que los chilenos incendien la ciudad.

Después cuando llego a la hacienda Chocas estableció que su sede de gobierno sería itinerante, por lo que en ese momento Chocas fue su palacio de gobierno. Después de la infausta guerra con Chile, el país atravesó por una grave crisis económica. Paulatinamente las haciendas en la costa peruana volvieron a producir y a recuperarse. La producción principal era la caña de azúcar y paralelamente surge el cultivo del algodón, que cobró gran importancia principalmente en el período de la 1ra. Guerra mundial, debido a que ambos productos se exportaron.

Finalmente, las haciendas sufrirán un cambio radical en su propiedad. Durante el gobierno del presidente Juan Velasco Alvarado, se promulgo la Ley de Reforma Agraria (1969), que determino que los nuevos dueños de las haciendas serían los campesinos, quienes a su vez debían organizarse en Cooperativas Agrarias. De esta manera la propiedad de la tierra se colectivizó. Sin embargo, a partir de la década de 1980 se inició una paulatina parcelación de las tierras y hoy los campesinos son dueños de 3 y 4 hectáreas en promedio. Ante el avance del crecimiento urbano los campesinos que colindan con la ciudad transforman sus tierras rurales en zonas urbanas, lo que en un momento fue motivo de lucha ante el hacendado hoy es un medio para obtener beneficios económicos. Carabayllo, es el PRIMER DISTRITO de Lima Norte y de su desmembración territorial dio origen a todos los distritos que la conforman. El área territorial de Carabayllo se ha reducido desde fines del siglo pasado. Inicialmente el territorio era de 974.50 Km², actualmente es de 346.88

Km². Más importantes son su riqueza natural (minerales no metálicos, agua y agricultura), su patrimonio cultural, su historia y principalmente su gente, porque siendo el distrito más antiguo tiene una población joven, quienes a su vez se convierten en la base de la transformación y desarrollo del distrito.

4.9.8. Descripción del Medio Ambiente.- Lima es una metrópoli con más de 8 millones de habitantes, ubicada en la estrecha franja costera y en el borde de los contrafuertes de la Cordillera Occidental de los Andes

a. Ambiente Físico³⁰.- Lima ubicada en la estrecha franja costera y en el borde de los contrafuertes de la Cordillera Occidental de los Andes, donde se reflejan claramente los contrastes morfológicos de nuestro territorio: la llanura aluvial relativamente plana y recortada por los ríos Rímac, Chillón y Lurín; las laderas de los cerros adyacentes son sus fuertes pendientes; y los valles de los ya mencionados, formados en el tiempo geológico por la acción de sus aguas. Estos ríos tienen en la actualidad caudales irregulares, pero son importantes durante el verano. Las quebradas adyacentes a los valles principales son generalmente secas, pero en época de lluvias excepcionales se activan formando huaycos como el Pedregal, San Antonio Huaycoloro, Jicamarca, Payhua, etc.

El gran problema es que, sobre estas quebradas, se han establecido asentamientos sin reparar en el peligro que les amenaza.

El litoral es parte de este sistema geográfico y esta formando por una terraza elevada, conocida como los acantilados de la Costa Verde (San Miguel, Miraflores, Barranco y Chorrillos). Frente al litoral se localizan las islas de San Lorenzo, El Frontón, Cavinzas, así como Palomino y Pachacamac. También es importante mencionar las áreas desérticas constituidas por pampas y colinas cubiertas de mantos de arena y pequeñas dunas, que se inician en las playas del litoral, al norte y sur de los acantilados costeros de Lima, alcanzan hasta el límite de las estribaciones andinas.

³⁰ ATLAS AMBIENTAL DE LIMA 2008

La configuración morfológica está relacionada con la variedad de clima, algo a lo que los pobladores de Lima, Miraflores, San Miguel, y los de Chosica, Chaclacayo y Carabayllo están ya acostumbrados.

Si bien el agua es un recurso esencial para el desarrollo de toda ciudad, hay una preocupación creciente por el aumento cada vez mayor de la demanda de este limitado recurso en los sectores agrícolas, industriales y doméstico de la gran Lima. Sin embargo, en época de lluvias, el exceso de estas causa problemas geológicos e hidrológicos, como inundaciones, huaycos y erosiones de las riberas.

Por añadidura, debido a su posición geológica, cerca de la zona de subducción – es decir, la interacción de las placas de Nazca y Sudamérica – Lima ha soportado a lo largo de su historia eventos naturales desastrosos como terremotos y tsunamis. Los más importantes fueron los terremotos de 1586, 1609, 1655, 1687, 1746, 1940, 1966 y que causaron pánico y destrucción de viviendas e infraestructura, especialmente en zonas donde las condiciones geológicas son menos favorables y las poblaciones más pobres.

- **Clima y Calidad del Aire³¹.**- Los factores que inciden sobre el clima de Lima Metropolitana, además de la Cordillera de los Andes son los siguientes:

Capa de Inversión Térmica: en esta, la temperatura del aire aumenta con la altura y se ubica en los niveles bajos de la atmosfera (troposfera). Debido a la gran estabilidad, se genera un manto nuboso del tipo estrato, que es más notorio en la estación de invierno con presencia de lloviznas persistentes. La Capa de Inversión Térmica juega indirectamente un papel importante en el comportamiento de las temperaturas extremas del aire en los distritos de Lima debido a la cobertura nubosa. Así, en los meses de invierno, el espesor de la capa de inversión es mayor y, consecuentemente, la temperatura máxima no supera los 20°C en la mayoría de los distritos. Por el contrario, en el verano predominan los cielos despejados y las temperaturas máximas sobrepasan los 24°C. Ver en anexo las Figuras N° 4.8. "Estación Meteorológica Campo de Marte-SENAMHI" y N° 4.9. "Los geotermómetros miden la temperatura del suelo, (SENAMHI)".

³¹ ATLAS AMBIENTAL DE LIMA 2008

La topografía: se tiene la presencia de valles, hondonadas, cerros que inciden en la distribución espacial de las variables meteorológicas: temperatura, humedad, viento y nubosidad. La presencia de cerros influye en la circulación de los vientos, produciéndose vientos catabáticos (vientos que descienden desde las alturas al fondo de los valles o llanuras producto del enfriamiento de los elementos del relieve más altos a medida que el día se acaba) y vientos anabáticos (vientos que ascienden desde zonas más bajas hacia las más altas a medida que el día empieza y el sol calienta los relieves).

El efecto de la continentalidad: debido a la distancia del mar al continente, las temperaturas mínimas del aire en los distritos ubicados en lugares cercanos al mar, están sujetas a menores variaciones con respecto a los distritos que se encuentran a mayor distancia del mar.

Corriente de Humboldt: por sus características, esta corriente de aguas frías, no favorece a una mayor evaporación, formando solo nubes bajas que causan lluvias tipo lloviznas, en la estación de invierno.

- **Geología³².**- La ciudad de se asienta sobre los conos aluviales que se han formado en las desembocaduras de los ríos Chillón, Rímac y Lurín: Sin embargo, las laderas del valle y las montañas de la parte alta de las cuencas están compuestas por rocas de diferente naturaleza y edad, con características físicas y mecánicas diferentes. Los pisos de valle del río Chillón, Rímac y Lurín están rellenos por depósitos aluviales y fluviales formados por cantos rodados, arenas y arcillas, los que han sido transportados y depositados por los ríos que surcan estos valles.

- **Suelos³³.**- Lima Metropolitana está asentada sobre los abanicos aluviales de los ríos Chillón, Rímac y Lurín que se han formado en la desembocadura de estos cerca al mar. Los ríos Chillón, Rímac y Lurín nacen en los contrafuertes de la Cordillera Occidental del Perú central, que se caracteriza por presentar cumbres que sobrepasan los 5000 msnm. La cordillera está conformada por macizos rocosos de diferente naturaleza, en cambio los pisos de valles y sus desembocaduras están rellenas por sedimentos fluviales y aluviales. Lima Metropolitana y las cuencas de los ríos geomorfológicos que la originaron. Ver en anexo la Figura N° 4.10. "Unidades Geomorfológicas de Lima provincia"

^{32, 33 y 34} ATLAS AMBIENTAL DE LIMA 2008

- **Hidrología³⁴.**- El agua es un recurso para la vida que preserva el normal desarrollo de los ecosistemas y sustenta las actividades socioeconómicas. En las últimas décadas se ha expresado una preocupación creciente por el aumento de la demanda de este limitado recurso en los sectores agrícola, industrial y doméstico. Con la finalidad de poder responder a la creciente demanda actual y futura de agua y tener los conocimientos necesarios para el desarrollo sostenible, necesitamos comprender el complejo sistema hídrico de la tierra, su presencia, distribución, circulación e interacciones con los seres vivos. Para todo ello, debemos basarnos en mediciones – cantidad y calidad – de los componentes del ciclo hidrológico. Sin embargo para nuestro caso desarrollaremos las Cuencas hidrográficas en las que se halla Lima Provincia, dado que los ríos son importantes factores del modelado terrestre. Son los principales agentes de transporte de materiales desde los continentes hacia los océanos. Son Además esenciales para el ciclo del agua. Al llover, el agua se escurre por la superficie, recorre el terreno hasta ir formando pequeños arroyos (afluentes) que desembocan en otros mayores hasta llegar al río principal. Todo este conjunto forma una cuenca hidrográfica. Lima Metropolitana ubicada dentro del sistema hidrográfico del pacífico, entre las cuencas de los ríos Chillón, Rímac y Lurín, ver en anexo la Figura N° 4.11. "Cuencas Hidrográficas".

- **Cuenca del río Chillón.**- Se encuentra ubicada en la provincias de canta y Lima, en el departamento de Lima. Al norte de la capital. Es integrante del sistema hidrográfico del Pacífico y pertenece a la vertiente occidental de los Andes; desciende desde los 5000 msnm, en la divisoria continental de aguas de la cordillera La Viuda, hasta el mar territorial peruano.

El eje de la cuenca es el sistema fluvial formado por los ríos Chillón Quisquichaca, que nacen en un conjunto de lagunas glaciares, con longitudinales de 120 y 40 km respectivamente. La cuenca tiene extensión de 2444 km², con una forma longitudinal de 103 km por una anchura variable de 15 a 30 km.

Cuenca baja: comprende la zona desde el litoral hasta los 800 msnm, con una longitud de 45 km. Las vertientes de esta zona están formadas por

terrazas, planicies y quebradas secas de baja pendiente que nacen en colinas bajas, con muy pocas lluvias.

Cuenca Media: se extiende entre los 800 y 2000 msnm, con una longitud de 28 km y una anchura de 35 km. Las vertientes laterales están formadas por valles de quebradas secas profundas y de fuerte pendiente, que comienzan en montañas de laderas áridas, por debajo de los 3500 msnm.

Cuenca alta: se extiende desde los 2000 msnm hasta la línea divisoria de aguas en la cordillera La Viuda, con una longitud de 24 km. y una anchura de 12 km. Es la fuente de agua para toda la cuenca, debido a las condiciones climáticas muy húmedas y de lluvias estacionales, granizadas, glaciares, deshielos, lagunas, puquiales (aguar subterráneas) y regulaciones de lagunas.

- **Cuenca del río Rimac.-** Está ubicada en el departamento de Lima, en las provincias de Huarochiri y Lima: Tiene su origen en los deshielos del nevado Uco, a 5,100 msnm, se alimenta con las precipitaciones que caen en la parte alta de su cuenca colectora y los deshielos de los nevados y desemboca en el Océano Pacífico en la zona del Callao.

El relieve general de la cuenca es el que caracteriza a la mayoría de los ríos de la vertiente occidental de los Andes, es decir: forma alargada, fondo profundo y quebrado y pendiente fuerte. Presenta una filosofía escarpada y con partes abruptas, y se halla cortada por quebradas de fuerte pendiente y gargantas estrechas.

Cuenca baja: comprende la zona desde el litoral hasta los 1,000 msnm. En esta parte, el valle del río varía desde un amplio plano costero, en el cual está situada Lima, a un perfil de valle bien definido a medida que se asciende, que sirve soporte para actividades agrícolas e importantes centros de población, tales como Vitarte, Chaclacayo y Chosica.

Cuenca media: se extiende entre los 800 y 2,000 msnm. Las vertientes laterales están formadas por valles de quebradas secas profundas de fuerte pendiente, que comienzan en montañas de laderas áridas, por debajo de los 3,500 msnm.

Cuenca alta: presenta una diversidad de ecosistemas húmedos de latas montaña que sustentan las actividades agrícolas intensivas con riego y secano, la ganadería y la forestación.

- **Cuenca del río Lurín.-** Esta se encuentra en las provincias de Huarochiri y Lima, en el departamento de Lima, al sur de la ciudad capital. Tiene su origen en los nevados, a más de 5,500 msnm en la divisoria de aguas, como las cuencas de los ríos Rímac y Mala; desde allí desciende hasta el litoral del mar peruano, en la costa del valle Lurín – Pachacamac.

El eje de la cuenca es el sistema fluvial formado por los ríos Lurín, Namincancha, Antajalla y Canchahuaya con una longitud de 130 km. La cuenca tiene una longitud de 80 km con una anchura variable, desde 15 km en la parte media hasta 40 km en la línea divisoria; su área de drenaje total es de 1,698 km².

Cuenca baja: se extiende desde el litoral hasta los 450 msnm y su dirección de flujo es de NE a SO. Las vertientes laterales de esta macrozona están formadas por planicies, terrazas y quebradas secas de baja a moderada pendiente, que nacen en colinas peráridas con precipitaciones pluviales casi nulas y cerros montañosos bajos, húmedos, con lomas costeras por debajo de los 1,600 msnm.

Cuenca media: se extiende desde san Francisco hasta Cruz de Laya, entre 450 y 1950 msnm, con una longitud de 65 km. Su dirección de flujo es de SE a NO, y tiene una anchura promedio de cuenca de 25 km. Las vertientes laterales están formadas por valles de quebradas profundas de moderada a alta pendiente, que comienzan en las montañas medias, por debajo de los 3,000 msnm. Con laderas áridas de fuerte pendiente y precipitaciones pluviales muy bajas.

Cuenca alta: nace en las cumbres glaciares, por arriba de los 5,000 msnm, con una longitud de 35 km y una anchura promedio de 40 km. Tiene una dirección de flujo central de NE a SO y un contorno de abanico deformado. La parte alta es la proveedora del agua para toda la cuenca y está formada por las vertientes de ríos y quebradas de fuerte pendiente, que nacen en montañas glaciares muy húmedas con numerosos puquiales y lagunas.

b. Ambiente Biológico³⁵.- El componente biótico de Lima metropolitana es variado y esta constituido por microorganismos, animales y plantas que

³⁵ ATLAS AMBIENTAL DE LIMA 2008

conforman diversos ecosistemas comprendidos desde el nacimiento de sus tres ríos principales: Chillón, Rímac y Lurín hasta el litoral. En las cuencas altas de los ríos mencionados la variabilidad de las especies de fauna y flora depende de la interacción de los factores climáticos, del tipo de suelo y de la disponibilidad del agua, entre otros.

Ecosistemas.- la interacción entre los factores abióticos (luz, agua, temperatura) y bióticos (animales, plantas, hongos, protistas, bacterias) origina áreas muy complejas que forman los ecosistemas. El mayor de estos es la biosfera y el menor puede ser un pequeño bosque o humedal. Para un mejor entender dividiremos los ecosistemas en dos grandes grupos: acuáticos y terrestres; en cada uno de éstos se producen flujos constantes de materia y energía. Las estructuras jerárquicas de las especies de fauna y flora se producen en de forma sistemática e intrínseca.

- **Ecosistemas terrestres, cobertura vegetal:** la distribución de la cobertura está condicionada principalmente a los factores climáticos, tipo de suelo, disponibilidad de agua, entre otros factores; además, conceptos como los fisonómicos, florísticos y fisiográficos ayudan a entender mejor dicha distribución. Dentro del ámbito de estudio se han identificado 11 unidades de cobertura vegetal, donde la presencia de especies son más abundantes y diversificadas a medida que nos vamos alejando de las planicies costeras, matorrales con cultivos agrícolas hasta llegar a los pajonales, césped de punta, bofedales, herbazal de tundra y finalmente tierras alto andinas donde la vegetación es escasa. Ver en anexo la Figura N° 4.12. "Cobertura Vegetal"

- **Ecosistemas terrestres: lomas, humedales, cactáceas endémicas, litoral rocoso, fluviales primarios.-** Los ecosistemas terrestres constituyen diversos espacios, por lo general no es posible determinar donde termina un ecosistema y donde se inicia otro, por tanto la idea de ecosistema está sujeta a una delimitación artificiosa. Sin embargo, cabe resaltar que cada uno de los Ecosistemas Terrestres son reconocidos por la presencia de especies de flora y fauna que habitan en estos ecosistemas en consecuencia, si se alteran las condiciones naturales, gozaremos menos de su valor científico, recreativo, paisajístico y ambiental. En Lima aun existen algunos ecosistemas terrestres tales como: ecosistemas de lomas costeras, ecosistemas de humedales

costeros, ecosistemas de piso vegetal de cactáceas endémicas, ecosistemas de litoral rocoso y ecosistemas fluviales primarios, ver en anexo la Figura N° 4.13 "Ecosistemas terrestres".

- **Ecosistemas marinos.-** En el mar de la costa peruana se dan condiciones de nutrientes, capacidad de fotosíntesis y disponibilidad de materia orgánica para sostener las cadenas tróficas. Existe una alta disponibilidad de nutrientes a causa del fenómeno de afloramiento de las aguas desde zonas de profundidad moderada, que transportan los nutrientes de las capas profundas hacia la superficie. La temperatura es templada, por la Corriente Peruana, con alto contenido de oxígeno; la salinidad es alta y la mayor viscosidad permite la flotación del plancton. Además la luz es abundante, por estar en la zona tropical. En la zona norte (Piura y Tumbes) las condiciones son distintas por la influencia de la Corriente Ecuatorial ocasionando que la fauna y flora marinas sean más parecidas a las zonas tropicales.

Flora y Fauna.- La interrelación de los factores bióticos originan áreas con características especiales que denominan Zonas de Vida, para cuyo efecto se ha utilizado el sistema de clasificación propuesto por el Dr. Leslie R. Holdridge, que se basa en criterios bioclimáticos como parámetros que definen la composición florística y por distribución de la fauna de cada zona de vida. Los parámetros considerados son: la biotemperatura promedio mensual, y anual (T°C); la precipitación pluvial; la humedad, que viene a ser la relación de la evapotranspiración potencial entre la precipitación (Evp/p); los pisos altitudinales, distribuyéndose de la siguiente manera: 6 pisos en el tropical, 2 pisos en el subtropical y las regiones latitudinales (tropical y subtropical). Ver en anexo la Tabla N° 4.5 "Zona de Vida" y Figura N° 4.14 "Zona de Vida"

La importancia de los ecosistemas de lomas costeras, radica en que se presenta únicamente en las costas de Perú y Chile, y hace que muchas de las especies de flora y fauna sean endémicas, con la capacidad de sobrevivir a periodos secos y altas temperaturas de verano. Entre las especies de fauna que encontramos tenemos al zorro costero (*Pseudalopex sechurae*), ratas de monte (*Phyllotis spp.*), vizcachas (*Lagidium peruvianum*), Asimismo, encontramos reptiles; jergón de la costa (*Bothrops pictus*) lagartija (*Tropidurus sp*) y entre la flora tenemos: flor de amacaes (*Hymenocallis amancaes*), mito

(*Caricia candicans*), palillo (*Capparis prisca*) y la ortiga (*Loasa ureans*) que cubre el tablazo con vistosas flores amarillas.

Los Humedales costeros de Lima son habitas de transición para las aves migratorias locales y de otros continentes, que llegan a dichos lugares desde Norteamérica, recorriendo durante su viaje grandes distancias. Su importancia radica en que los humedales, como ecosistemas, se encuentran interconectados. Si alguno de ellos fuera alterado, muchas de las especies, tanto de aves residentes como migratorias desaparecerían, interrumpiendo así la conexión que existe entre ellos a lo largo de toda nuestra costa, sin considerar el cambio en la sucesión ecológica. En Lima encontramos entre los humeadle de importancia: Ventanilla y Arenilla, en el Callao; y sobre todo los Pantanos de Villa.

c. Ambiente Humano³⁶.- La configuración actual de Lima es el resultado del proceso histórico que dejó huella en la estructura urbana y en su composición social.

Los primeros pobladores se asentaron hace 8,000 años ocupando progresivamente los valles del Chillón, Rímac y Lurín.

Con la Colonia se produjo un quiebre en la forma de organización del territorio; la nueva estructura urbana siguió el modelo del damero de Pizarro hasta principios del siglo XX. A partir de 1940 aproximadamente, Lima sufrió un crecimiento acelerado hasta la actualidad, cuando adquirió su actual fisonomía como una de las metrópolis latinoamericanas más importantes.

d. Densidad poblacional³⁷.- La población de los distritos que conforman la Zona Norte de Lima metropolitana han registrado diferentes tasas de crecimiento poblacional entre 1972 y el 2011, las mismas que están vinculadas a la tendencia del crecimiento de la capital hacia los distritos de la periferia donde la densidad poblacional se ha ido incrementando.

El distrito de Carabayllo muestra un significativo y sostenido aumento poblacional durante los últimos 39 años, pasando de 28,827 habitantes en 1972 a 257,325 habitantes el 2011, de acuerdo las proyecciones del INEI

³⁶ ATLAS AMBIENTAL DE LIMA 2008

³⁷ Carabayllo...Alternativa de Solución y Calidad de Vida 2014

(Instituto Nacional de Estadística e Informática); con un ligero porcentaje mayor en cuanto al crecimiento de la población femenina frente a la masculina.

Carabayllo cuenta con un territorio de 346.88 Km², constituyéndose en el distrito con mayor extensión territorial equivalente al 39.77% del total de Lima Norte, albergando el 10.28% de su población. El distrito tiene una densidad poblacional de 741 habitantes por Km², a diferencia de los demás distritos que soportan una fuerte presión demográfica por lo reducido de sus territorios, como se aprecia en la Tabla N° 4.6. "Densidad Poblacional" y la Figura N° 4.15. "Población, Densidad poblacional (Hab./Km²)", que se ubican en el anexo. Por las características de su entorno (zona agrícola, clima, terreno, cercanía a servicios básicos, vías de comunicación), Carabayllo es el distrito con mayor atracción para la inversión inmobiliaria, la cual viene dándose en la mayoría de casos de forma planificada y ordenada, y en otros de manera informal.

Entre otras formas de crecimiento, además de la natural por nuevos nacimientos, tenemos la de invasión progresiva de las laderas de las colinas y lomas que circundan el distrito, ya sea por la formación de nuevas familias provenientes de las actuales, o la migración de las provincias y regiones vecinas. Estas formas de ocupación del territorio, traen consigo la presión social por servicios básicos (electrificación, agua, desagüe, educación, salud y otros) hacia el gobierno local, que si bien constituyen derechos afectan sus limitados recursos económicos; lo que hace imperiosa la necesidad de racionalizar la inversión y gestionar recursos ante el gobierno central y otras instituciones públicas y privadas.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Metodología.-

5.1.1. Relación entre las variables de la investigación.- La investigación realizada fue netamente experimental, en ese sentido existe una relación del tipo Causa – Efecto, por lo que las variables están íntimamente relacionadas, según la relación:

(Variable Independiente "X" → Variable Dependiente "Y")

Dado que durante el experimento una o más variables independientes afectan una o más variables dependientes, específicamente para nuestro trabajo como lo precisamos en el planteamiento de la Hipótesis de investigación o de partida:

"La aplicación del tratamiento Físico - Químico de (Neutralización, Aireación, Coagulación, Floculación y Decantación), permitirá mejorar la calidad del efluente generado por la industria de Pinturas y de Barnices y cumplir con Norma de Calidad para la disposición final".

Hipótesis, en el cual presentamos los dos tipos de variables con sus respectivos indicadores:

Variable Independiente: X = Tratamiento Físico - Químico de (Neutralización, Aireación, Coagulación, Floculación y Decantación).

Indicadores:

- Características del Sistema Tratamiento:

Volumen de ensayo, (V)	X ₁
Dosis de optima de neutralizante, (D _P)	X ₂
Tiempo de Mezcla, (T _M)	X ₃
Tiempo de Floculación, (T _F)	X ₄
Tiempo de sedimentación, (T _S)	X ₅
Gradiente de Mezcla, (G)	X ₆
Gradiente de Floculación, (G)	X ₇

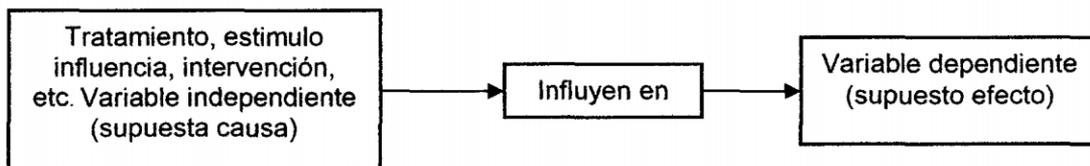
Variable Dependiente: Y = Calidad del efluente para su disposición final.

Indicadores:

- Valores Máximos Admisible:

Temperatura, (T)	Y ₁
pH, (pH)	Y ₂
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	Y ₃
Demanda Química de Oxígeno, (DQO)	Y ₄
Sólidos Suspendidos Totales, (SST)	Y ₅
Sólidos en Suspensión, (SS)	Y ₆
Aceites y Grasas, (A y G)	Y ₇

SAMPIERE (2006) los experimentos manipulan tratamientos, estímulos, influencias o intervenciones (denominadas variables independientes) para observar sus efectos sobre otras variables (las dependientes) en una situación de control, como lo apreciamos en la figura:



Para el desarrollo del trabajo de Investigación, se utilizó el equipo de pruebas de jarras (PJ), en el cual se sometieron los volúmenes diferentes del efluente proveniente de una industria de pinturas y de barnices, en el cual se convino en mantener los Indicadores de la Variable Independiente fijos, es decir bajo un protocolo de pruebas que permitieran determinar la dosis óptima de neutralizantes y como resultado de ello había de demostrarse a la vista de los valores de los indicadores de la Variable Dependiente la caracterización del efluente tratado para su disposición final en el colector sanitario, comparando estos con los Valores Máximos Admisibles de la Norma Vigente.

5.1.2. Tipo de Investigación.- Existen muy diversos tratados sobre las tipologías de la investigación, las controversias para aceptar las diferentes tipologías sugieren situaciones confusas en estilos, formas, enfoques y modalidades. En rigor, y desde un punto de vista semántico, los tipos son

sistemas definidos para obtener el conocimiento. Algunos autores establecen diversas tipologías, una síntesis de los tipos mostrados por diferentes autores se presentan, con la intención de sistematizar y especificar el tipo de nuestro trabajo de Investigación:

- Según las variables: **Experimental.**
Cuasi experimental.
Simple y compleja.
- Según la fuente de información: Investigación documental.
Investigación de Campo.
- Según la extensión del estudio: Investigación censal.
Investigación de caso.
Encuesta
- Según el nivel de medición y análisis de la información:
Investigación cuantitativa.
Investigación cualitativa.
Investigación cuali-cuantitativa.
Investigación descriptiva.
Investigación explicativa.
- Según las técnicas de obtención de datos:
Investigación de alta y baja estructuración.
Investigación participante.
Investigación participativa.
Investigación proyectiva.
Investigación de alta o baja interferencia.
- Según su ubicación temporal: Investigación histórica.
Investigación longitudinal o transversal
Investigación dinámica o estática.
- Según el objeto de estudio: Investigación pura.
Investigación aplicada.

Como lo definiéramos inicialmente nuestro trabajo de investigación realizado fue del tipo experimental, tipología que se deduce a partir de las variables en la que la variable independiente incidirá sobre la variable dependiente (manipulada), la que fuera medida a través de sus indicadores, para ello se sometieron la muestra problema (el efluente industrial) a las Pruebas de Jarras bajo el protocolo de PJ, en la que la variable independiente hipotéticamente será una de las causas que genero el supuesto cambio en las variables

dependientes en este caso sobre el efluente industrial, lo que se evidenció al evaluar los valores de sus indicadores durante todas las observaciones realizadas. Las otras tipologías pueden definirse en forma sistematizadas de acuerdo a la clasificación que se muestra, y cuyas tipologías las hemos resaltado en negritas.

5.1.3. Diseño de la Investigación.- Una vez que precisáramos el planteamiento del problema, se definió el alcance inicial de nuestra investigación, formulando la hipótesis, procedimos a diseñar nuestra investigación, que nos permita demostrar la hipótesis planteada, además de cubrir los objetivos específicos fijados:

- Evaluar el efluente generado por la industria de pinturas y de barnices.
- Evaluar a nivel de laboratorio, el tratamiento Físico - Químico (Neutralización, Coagulación, Floculación y Decantación) sobre muestras representativas del efluente generado en las industria de pinturas y de barnices.
- Evaluar el efluente generado por la industria de pinturas y de barnices una vez depurado a nivel de laboratorio por el tratamiento Físico – Químico (Neutralización, Aireación, Coagulación Floculación y Decantación).
- Determinación de la eficiencia del tratamiento Físico – Químico (Neutralización, Aireación, Coagulación Floculación y Decantación).

En síntesis nuestra investigación del Tipo Experimental dentro de esta tipología que para algunos autores como el caso de Cambell y Stanley (1966), quienes dividen los diseños experimentales en tres clases:

- a) preexperimentos,
- b) experimentos "puros", y
- c) cuasi experimentos.

Teniendo como referencia esta clasificación, nuestro trabajo de investigación se encuadra dentro del diseño preexperimental, con preprueba – posprueba, el mismo se efectuó con el uso del equipo de Pruebas de Jarras, en la que a un grupo se le aplica una prueba previa al estímulo (tratamiento experimental),



después se le administra el tratamiento y finalmente se le aplica una prueba posterior al estímulo, según el esquema siguiente:

G **0₁** **X** **0₂**

En este diseño conocimos un punto de referencia inicial (**0₁**) para ver que nivel tenía el grupo (**G**) en la variable dependiente ante del estímulo o tratamiento (**X**) y posteriormente que nivel (**0₂**) alcanza luego del tratamiento.

5.1.4. Operacionalización de variables.- Para demostrar y comprobar la hipótesis anteriormente formulada, hubo la necesidad de operacionalizarla a través de sus variables y de los indicadores de cada una de ella, es así que a través de la relación causa – efecto, sometidas las muestras de efluentes a las PJ bajo el protocolo respectivo, se evaluó la **Variable Dependiente: Y =** Calidad del efluente para su disposición final, para el cual se establecieron sus **Indicadores:**

- Valores Máximos Admisible:

Temperatura, (T)	Y ₁
pH, (pH)	Y ₂
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	Y ₃
Demanda Química de Oxígeno, (DQO)	Y ₄
Sólidos Suspendidos Totales, (SST)	Y ₅
Sólidos en Suspensión, (SS)	Y ₆
Aceites y Grasas, (A y G)	Y ₇

5.2. Materiales.- Los materiales que se han utilizados han dependido del tipo de trabajo.

5.2.1. Trabajo de Gabinete.- Para el estudio realizado se utilizó:

- Una computadora Pentium IV, con Software Microsoft Office, Autocad 2004.
- Impresora Epson STYLUS CX 5600.
- Cámara Digital MIRAY 10.0 Mega Pinceles.

- Material y útiles de oficina.
- Material Bibliográfico, Libros, trabajos realizados, revistas, normas de calidad etc.

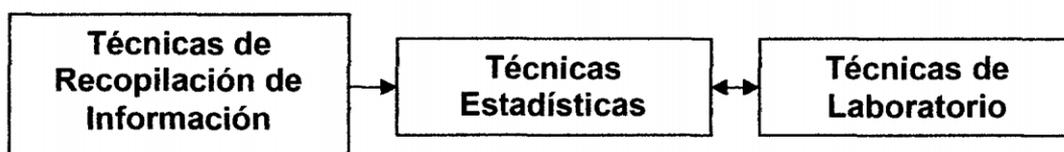
5.2.2. Trabajo de Campo.- Para el trabajo de campo se utilizaron:

- Cámara Digital MIRAY 5.0 Mega Pinceles.
- Potenciómetro de campo (OAKTON), modelo WD – 35624-70 para medición de pH, termómetro de vidrio, botella de vidrio y de plástico de un litro, baldes de plásticos de 20 litros, cajas conservadoras.
- Conos de Inhoff.

5.2.3. Trabajo de Laboratorio.- Equipos diversos de laboratorio, tales como: Balanza analítica, estufa, peras de decantación, Desecadores con silicagel, botellas para determinación de DBO, Conductímetro potenciómetro, refrigeradora, material de vidrio, reactivos.

5.3. Métodos.- Desde que definiéramos el Tipo de Investigación, netamente Experimental en tanto que la variable independiente incidiría sobre la variable dependiente, hubo que reproducir artificialmente el fenómeno para conocer sus causas y consecuencias, por lo que requerimos de la experimentación para comprobar la hipótesis, para ello se sometieron la muestra problema (efluentes industriales) al equipo de Pruebas de Jarras, en la que la variable independiente hipotéticamente sería una de las causas que genero el supuesto cambio de las variables dependientes en este caso sobre el efluente textil, lo que se evidenció al evaluar los valores de sus indicadores durante todas las observaciones realizadas.

La metodología aplicada para cada momento de la investigación siguió la siguiente secuencia:



5.3.1. Técnicas de Recopilación de Datos.- Para el desarrollo del presente trabajo se ha utilizado información muy diversa, recopilada de textos, y para la evaluación de alternativas de tratamiento de los efluentes industriales generados en la planta de Pinturas y Barnices ubicadas en el Distrito de Carabayllo, se han utilizados efluentes propios de una de estas industria ubicada en el Distrito de Carabayllo, las Técnicas e Instrumentos de recolección de datos que hubo que aplicar para nuestro proyecto de investigación, son específicas para cada momento de la propia investigación:

- Primero en su etapa de caracterización de los efluentes generados en planta de pinturas y de barnices su aspecto de calidad (es decir físico - química) y caudal.
- Segundo en su etapa experimental los efluentes industriales son tratados a través de las PJ para evaluar la neutralización de los mismos que permitió demostrar la hipótesis planteada, es decir recolectar datos que se generan durante la manipulación de la variable dependiente.

5.3.2. Técnicas Estadísticas.- A partir de la aplicación del Protocolo de Monitoreo implementado para la extracción de muestras compuestas y puntuales, para determinar los valores de los indicadores de calidad y caracterizar a los efluentes y luego de realizar las pruebas de jarras con las muestras de los efluentes y conocer los Valores Máximos Admisibles es decir determinar la Caracterización de los mismos desde el punto de vista de Cualitativos y Cuantitativos de aquellos indicadores que permitan conocer la constitución de los efluentes previos a su tratamiento y posterior a través de las pruebas de jarras. Una vez obtenidos los valores de cada uno de estos indicadores se aplicaron las técnicas estadísticas que permitieron conocer las tendencias en cada uno de ellos.

Por otro lado durante la fase experimental en la que se sometieron los efluentes de la industria de pinturas y de barnices, se sometieron al tratamiento Físico – Químico en la Pruebas de Jarras como lo explicáramos en el sub índice 5.3.1, se recolecto valores de indicadores los mismo que también se trabajaron estadísticamente para obtener las curvas de tendencias y de modo

que podamos visualizar los resultados con las conclusiones correspondientes.

5.3.3. Técnicas de Laboratorio.- Para determinar los valores de cada uno de los Indicadores de las variables o parámetros de calidad se utilizaron, los métodos normalizados para análisis de aguas residuales, dados por APHA, AWWA WPCF (Standard Methods) for the examination of water and wastewater 21 edition. 2005, las mismas que se muestran en apéndice la Tabla N° 5.1. "Métodos Normalizados y Equipos para Monitoreo de Aguas Residuales".

5.3.4. Pruebas de Jarras a nivel de Laboratorio.- Es el procedimiento habitual utilizado en el laboratorio para determinar las condiciones óptimas de operatividad para el tratamiento de aguas residuales. Este test simula el proceso de coagulación/floculación que se utiliza para eliminar las partículas en disolución que pueden producir turbidez o cambio de color del efluente. Este método conlleva el ajuste del pH, selección del agente coagulante y de su dosis adecuada, elección de velocidad y tiempo de agitación de las paletas así como tiempo de reposo posterior.

Este test se realiza en un aparato denominado floculador que consiste en un montaje de seis vasos de precipitado con sus respectivos sistemas de agitación de velocidad regulable, ver en apéndice la Figura N° 5.1. "Equipo de Pruebas de Jarras"

Este aparato contiene seis agitadores para homogeneizar lo más posible el contenido de los seis vasos de precipitados en los que se varían las condiciones de operación analizándose luego los resultados en cada caso, para concluir cuales son los parámetros óptimos de depuración.

Mediante una agitación rápida se dispersa el coagulante en cada uno de los vasos, después se reduce la agitación para promover la floculación ya que aumenta las probabilidades de colisiones entre partículas dando lugar así a mayores tamaños de flóculo. Por último se cesa la agitación para que la disolución permanezca en reposo y estos flóculos sedimenten.

Midiendo la turbiedad del líquido sobrenadante y comparando con la inicial concluimos que condiciones son las óptimas para la eliminación del parámetro que se requiere remover.

El protocolo de las Pruebas de Jarras al que se sometieron las muestras de los efluentes industriales simulando el Tratamiento Físico - Químico de Neutralización, Coagulación - Floculación y Decantación, (**Variable Independiente: X**), bajo los siguientes indicadores:

Volumen de ensayo, (V)	X₁ = 1 Litro
Dosis de optima de neutralizante, (D _P)	X₂ = Dosis
Tiempo de Mezcla, (T _M)	X₃ = Un minuto
Tiempo de Floculación, (T _F)	X₄ = 15 minutos
Tiempo de sedimentación, (T _S)	X₅ = 15 minutos
Gradiente de Mezcla, (G)	X₆ = 100 rpm
Gradiente de Floculación, (G)	X₇ = 30 rpm

5.3.5. Preparación de las soluciones de Polielectrolitos o Polímeros.- Se utilizaron dos tipos de polímeros, es decir uno del Tipo Catiónico (MT - 8834) y el otro del Tipo Aniónico (MT – 4885).

Para el caso del polímero del tipo catiónico MT – 8834 de apariencia liquida de alta viscosidad, se preparó solución al 2% (% en peso) es decir se diluyeron 20 mL en una fiola de un litro, de modo que por cada mL de esta solución se tomarían 20 mg, es decir, que por cada mL disuelto en un vaso de un litro se estaba dosificando 20 ppm.

Para el caso del polímero del tipo aniónico MT – 4885 (solido granulado), se preparó solución 0.1% (% en peso), se disolvieron 1 gramo en una fiola de un litro, de modo que cada mL de esta solución contiene un mg, el mismo que al aplicarse a un vaso de un litro, correspondió a una dosis de 1 ppm.

Ver en el apéndice la Figura N° 5.2. "Elaboración de solución de polímero aniónico"

VI. RESULTADOS

6.1. Características de los Efluentes previos al tratamiento.- Para la determinación de los parámetros de calidad del efluente se realizó un muestreo aleatorio compuesto, tomándose un tamaño de muestra correspondiente a 25 litros de muestra de cada punto de descarga existente, y de cada punto se tomaron cuatro muestras coincidiendo con el día y horas de aforo. Mientras los resultados promedios de calidad de las aguas arrojaron los valores de la tabla siguiente:

**Tabla N° 6.1.
Valores Promedios de la Calidad del Efluente Industrial**

Calidad del Efluente		Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇
Parámetro	Caudal m ³ /h	Temp. °C	pH	DBO ₅ mg/L	DQO mg/L	SST mg/L	SS mL/L/h	A y G mg/L
Valores Máximos Admisible (*)	---	<35	6 - 9	500	1000	500	8.5	100
Muestra Efluente	0.087	15	4.7	76,500	234,060	4,962	49	240

Fuente: Autoría propia.- (*) Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residual No domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario (Decreto Supremo N° 021-2009-Vivienda).

La Tabla N° 6.1. "Valores Promedio de la Calidad del Efluente Industrial", parámetros que caracterizan al efluente de la planta en su punto de emisiones existentes, donde se registran cada uno de los valores obtenidos en los diferentes monitoreos, los valores en rojo son aquellos que superan los VMA. Ver en anexo la Figura N° 6.1. "Diagrama de Flujo del Sistema de y tratamiento de los efluentes generados en la Fábrica de Pinturas y de Barnices", ver en apéndice las: Figura N° 6.2. "Cajas de Registro de los Efluentes al ingreso de las Celdas de Tratamiento Sistema de tratamiento existentes".

6.2. Reducción de Grasas y Aceites, modificación del pH.- previos al tratamiento en la Pruebas de Jarras tratados con el usos de los Polímeros Catiónicos y Aniónicos, se extrajo las grasas y aceites de las muestras, sometiendo el volumen de muestras de 25 litros a un periodo de aireación de 15 minutos, burbujeando aire a través de un difusor en el fondo del depósito de 25 litros, haciendo que las grasas y aceites asciendan a la superficie (adheridas a las superficies de las burbujas de aire) y extrayendo las mismas con ayuda

de papel filtro reduciendo las grasa de 240 mg/L a 86 mg/L, luego de ello se inició efectuó la adición de solución de soda caustica al 1% (porcentaje en peso) utilizándose de 58 mL por cada 25 litros de muestra de modo que se pudo elevar el pH de 4.7 unidades al valor de 7.00 unidades, de este modo se procedió a efectuar las PJ.

Ver en apéndice la Figura 6.3. "Muestra de efluente de la planta de pinturas y de barnices, durante la aireación para reducción de grasas y aceites", además ver la Figura N° 6.4. "Muestra de efluente de la planta de pinturas y de barnices, luego de la reducción de grasas y aceites"

6.3. Características de los Efluentes Tratados con Polímeros Catiónicos y Aniónicos.- Los resultados de estas se muestran en la Tabla N° 6.2. "Valores promedio de las muestras sometidas al Protocolo de Pruebas de Jarras – con Dosis de Reactivo".

Tabla N° 6.2.
Valores promedio de las muestras sometidas al Protocolo de Pruebas de Jarras – con Dosis de Reactivo

Calidad del Efluente	DOSIS mL/L (***)	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇
Parámetro		Temp. °C	pH	DBO ₅ mg/L	DQO mg/L	SST mg/L	SS mL/L/h	A y G mg/L
Valores Máximos Admisible (*)	MT-8834 MT-4885	< 35	6 - 9	500	1000	500	8.5	100
Valores después de 15' min de Sedimentación (**)	-	15	7	76,500	234,060	4,962	49	240
	1.5	15	7	7,317.2	20,129.16	465.8	37.04	86
	2.5	15	7	3,658.2	8964.498	238.17	25.50	86
	3.5	15	7	2,327.9	7122.445	150.23	15.00	86
	4.5	15	7	798.201	2442.182	94.278	9.00	86
	5.5	15	7	386.40	845.32	78.00	6.00	86

Fuente: Autoría propia.- (*): Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residual no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario (Decreto Supremo N° 021-2009-Vivienda; (**): Corresponde al sobrenadante después de 15 minutos de sedimentación (***) 1 mL/L de solución de MT – 8834 corresponde a 20 ppm; mientras que 1 mL/L de solución de MT – 4885 corresponde a 1 ppm.

Se observa que el pH de la muestra tratada no se modifica debido a que el Coagulante/Floculante: MT – 8834 y el MT – 4835, son polímeros sintéticos que no consumen ni contribuyen con alcalinidad y por lo tanto no modifican el pH. Ver en apéndice la Figura N° 6.5. "Muestras del efluente tratado con la dosis optima de polímero catiónico y aniónico"

6.4. Características de los Efluentes Tratados con Polímeros Catiónicos MT – 8834 y Polímero Aniónico MT – 4835, además de Peróxido de Hidrogeno.- Con el fin de mejorar la calidad del efluente tratado en cuanto a su aspecto de turbiedad y color se ensayaron dosis de Peróxido de Hidrogeno (Agua oxigenada, en concentración de 40 volúmenes), aplicándose además la dosis optima que permitió obtener los parámetros que cumplan con los VMA, es decir para la dosis de 5.5. mL/L de MT – 8834 y MT – 4835, obteniéndose los siguientes resultados que se muestran en la Tabla N° 6.3. siguiente:

Tabla N° 6.3.
Valores promedio de las muestras sometidas al Protocolo de Pruebas de Jarras – con Dosis de Peróxido de Hidrogeno

Vasos		1	2	3	4	5	6
DOSIS (mL/L)	MT – 8834 (*)	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
	MT – 4885 (**)	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
	Peróxido de Hidrogeno	10	15	20	25	30	35
Turbiedad (NTU)		300	275	230	175	110	150

Fuente: Autoría propia.- El vaso #5 alcanzo un efluente con menor turbiedad residual, siendo este de 150 NTU, con una dosis de 30 mL/L de Peróxido de Hidrogeno, además de los 5.5. mL/L del Polímero Catiónico MT – 8834 y 5.5 mL/L del Polímero Anicónico MT 4835, para una Turbiedad inicial de 420 NTU.

(*): 1 mL/L de solución de MT – 8834 corresponde a 20 ppm;

(**): 1 mL/L de solución de MT – 4885 corresponde a 1 ppm.

Ver en apéndice la Figura N° 6.6. "Muestras del efluente tratadas con las dosis optimas de polímero catiónicos, aniónico y de Peróxido de Hidrogeno"

VII. DISCUSION

Los resultados mostrados a continuación son aquellos que se obtuvieron previos al tratamiento Físico – Químico y posteriormente a partir de la Pruebas de jarras en la que se simulo el tratamiento Físico - Químico de neutralización, coagulación, floculación y decantación en la que fueron tratados los efluentes, pruebas en la que se ha podido demostrar la capacidad del Tratamiento Físico – Químico para la disposición final de los efluentes generados en la Industria de Pinturas y de Barnices, según se muestra a continuación:

7.1. De los resultados de caracterización: De la revisión de la caracterización de cada uno de los efluentes provenientes de la industria de pinturas y de barnices, se tiene:

Con respecto a los valores que se hallan por debajo del VMA, o en el rango admisible, estuvieron:

- ◆ **Y₁:** Temperatura 15 °C comparados con los 35 °C del VMA;

En cuanto a los valores que se hallan por encima de los VMA o fuera del rango admisible, fueron:

- ◆ **Y₂:** El pH hallado fue de 4.7 unidades, mientras el VMA aceptado varía entre 6 – 9;
- ◆ **Y₃:** DBO₅ encontrada fue de 76,500 mg/L, muy por encima del VMA que asciende a 500 mg/L;
- ◆ **Y₄:** DQO encontrada fue de 234,060 mg/L, muy por encima del VMA que corresponde a 1000 mg/L;
- ◆ **Y₅:** El valor de los SST hallados fue de 4,962 mg/L mucho mayor al de los VMA que corresponde a 500 mg/L;
- ◆ **Y₆:** El valor de SS encontrado fue de 49 mL/L/h, mientras el VMA aceptado es de 8.5 mL/L/h;
- ◆ **Y₇:** Para el caso de los A y G se encontraron el valor de 240 mg/L, frente al VMA de 100 mg/L.

El valor de estos parámetros oblige a tener que aplicar el método de tratamiento Físico – Químico.

7.2. Resultados previos al tratamiento de los efluentes para las Pruebas

de Jarras: Se procedió a reducir la presencia de Grasas y Aceites y a la modificación del pH, para ello se sometieron volúmenes de muestras de 25 litros de efluentes a periodos de 15 minutos de aireación a fin de procurar que las grasas y aceites asciendan a la superficie adheridos a las burbujas de aire y estas a modo de espumas se retiraron de la superficie con ayuda de papel filtro de este modo se redujo las Grasas y aceites de 240 mg/L a 86 mg/L.

Por otro lado en cuanto al pH se utilizó solución de Soda Caustica al 1% (porcentaje en peso) utilizándose un gasto de 58 mL por cada 25 litros de muestra obteniéndose un pH final de 7 unidades.

7.3. De los resultados obtenidos durante las pruebas de jarras con adición del reactivo Polímero Catiónico y Aniónico, (Coagulación / Floculación/ Sedimentación).- En estas pruebas de Jarras se utilizó polielectrolito MT – 8834 y el MT – 4835, utilizando el siguiente protocolo para las PJ:

- a. Se llenaron los vasos de un litro con muestras homogéneas del efluente, a las que previamente se les extrajo algo de grasa y aceite y se modificó el pH, como lo explicáramos en el punto 6.2.
- b. Se programaron los tiempos de mezcla rápida y lenta, siendo estos respectivamente 1 minuto y 15 minutos.
- c. Se programaron las velocidades de mezcla rápida y de la mezcla lenta siendo estos respectivamente 100 rpm y 30 rpm.
- d. El tiempo de sedimentación antes de la extracción de la muestra para el análisis se tomó a los 15 minutos.

En la Tabla N° 7.3. "Valores obtenidos durante la prueba de jarras para la dosis optima del Coagulante/Floculante", se aprecia que para las dosis optima de 5.5 mL de MT MT – 8834 y 5.5. mL de MT – 4835, se encontraron los valores aceptables de los distintos indicadores por debajo de los VMA, que permitan la disposición final del efluente a la red pública, siendo estos valores siguientes:

- ◆ **Y₃:** DBO₅ encontrada fue de 386.40 mg/L, muy por debajo del VMA que asciende a 500 mg/L, logrando una reducción del orden de 99.49 %;

- ◆ Y₄: DQO encontrada fue de 845.32 mg/L, muy por debajo del VMA que corresponde a 1000 mg/L, logrando una reducción del orden de 99.63 %;
- ◆ Y₅: El valor de los SST hallados fue de 78.00 mg/L menor al de los VMA que corresponde a 500 mg/L, logrando una reducción del orden de 98.42 %;
- ◆ Y₆: El valor de SS encontrado fue de 6 mL/L/h, mientras el VMA aceptado es de 8.5 mL/L/h, logrando una reducción del orden de 87.8%;
- ◆ Y₇: Para el caso de los A y G se encontraron el valor de 86 mg/L, frente al VMA de 100 mg/L, logrando una reducción del orden de 64.17 %.

Tabla N° 7.3.
Valores obtenidos durante la prueba de jarras para la dosis óptima del Coagulante/Floculante

Calidad del Efluente	DOSIS mL/L	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇
Parámetro		Temp. °C	pH	DBO ₅ mg/L	DQO mg/L	SST mg/L	SS mL/L/h	A y G mg/L
Valores Máximos Admisible (****)	MT-8834 (*)	< 35	6 - 9	500	1000	500	8.5	100
	MT-4885 (**)							
Valores después de 15' min de Sedimentación (***)	-	15	4.7	76,500	234,060	4,962	49	240
	5.5 5.5	15	7	386.40	845.32	78.00	6.00	86

Fuente: Autoría propia.- (*) : 1 mL/L de solución de MT – 8834 corresponde a 20 ppm;
 (**): 1 mL/L de solución de MT – 4885 corresponde a 1 ppm.
 (***) Corresponde al sobrenadante después de 15 minutos de sedimentación;
 (****) Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residual no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario (Decreto Supremo N° 021-2009-Vivienda;

Como se explicó anteriormente, se efectuaron las pruebas utilizando jarras de un volumen de un litro con muestras del efluente, con el fin encontrar la dosis optima del coagulante/floculante, se dosificaron dosis distintas y crecientes, para un caso Polielectrolito MT – 8834 y MT - 4885, de modo que las muestras estuvieron sometidas al mismo protocolo de prueba, es decir manteniendo la agitación rápida de 100 Seg⁻¹ durante 01 minuto y periodo de floculación de 15

minutos, para luego durante un periodo de 15 minutos de sedimentación se trasvasa el sobrenadante a un cono de Imhoff, tras lo cual se procedió al análisis de la fase líquida para cada uno de los indicadores, obteniéndose los resultados en la que el pH se encontraba dentro del VMA. Con una dosis adicional de Peróxido de Hidrogeno de 30 mL/L, se logró reducir la Turbiedad Residual de 420 NTU a 110 NTU.

7.4. Prueba de reducción de turbiedad, utilizando dosis de Polielectrolitos Catiónico y Aniónico.- Previo al uso de peróxido de hidrogeno con el fin de reducir la turbiedad del efluente tratado, se evaluó este parámetro paralelamente a la selección de la dosis optima del coagulante catiónico MT – 8834 al 5% y al floculante aniónico MT – 4285 al 0.05%, después de aplicar las dosis durante el protocolo de la PJ, estos se muestran a continuación en la Tabla 7.4.

Tabla N° 7.4.
"Reducción de la Turbiedad por acción de la Dosis Combinada de Polielectrolito Catiónico y Aniónico"

Pruebas	Turbiedad Inicial NTU	Turbiedad Final NTU	Dosis MT-8834 al 5% (mL)	Dosis MT-4285 al 0.05% (mL)
1	11500	1100	1.5	1.5
2	11500	850	2.5	2.5
3	11500	650	3.5	3.5
4	11500	500	4.5	4.5
5	11500	420	5.5	5.5

Fuente: Autoría Propia

7.5. Resultados de otras experiencias en el tratamiento de efluentes provenientes de la Industria de los recubrimientos³⁸.- El mecanismo de floculación se halla actualmente ampliamente desarrollado, dada la importancia del mismo para la remoción de solidos coloidales y sustancias orgánicas disueltas en efluente industriales. La presencia de estos sólidos en aguas de desecho provenientes de industrias que fabrican látex interfieren en la etapa final del tratamiento biológico, que es indispensable para llegar a niveles de

³⁸ Tratamiento de Efluentes Líquidos Industriales Provenientes de la Industria de los Recubrimientos – Por Caprari Juan José y Baltazar José Luis del CIDEPINT- C de Inv. y Desarrollo en Tec. de Pinturas – LA PLATA ARGENTINA.

carga orgánica que pueden ser degradados en los cursos de aguas sin afectar la vida existente.

Para este proceso se utilizan polímeros catiónicos y aniónicos y no iónicos, cuyo PM es superior a 5×10^6 y cuya cadena polimérica es lineal, son las sustancias más comúnmente utilizadas como floculantes.

El propósito de este trabajo fue testear polímeros, catiónicos y aniónicos, con agregado de ácido sulfúrico e hidróxido de sodio para el tratamiento de aguas residuales que provienen de la fabricación de látex, a su nivel natural de pH, evaluando la combinación y la concentración óptima a través de la absorción (ABS), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos totales (ST), sólidos suspendidos (SS), sólidos disueltos (SD) y pH.

Materiales y Técnicas utilizadas.- Se simuló un efluente industrial preparado con látex blanco de composición conocida, comprobando el contenido de no volátiles según norma ASTM 2832. Posteriormente se obtuvo el efluente simulado, por dilución con agua, hasta llegar a un contenido de no volátiles de 0.5 % determinándose la absorbancia con un espectrofotómetro marca "Pharmacia" modelo LKS Ultropec.

Una muestra de agua bidestilada fue empleada como referencia en los ensayos a fin de establecer el cero.

A fin de caracterizar fisicoquímicamente el efluente también se determinaron la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), especies iónicas en solución (carbonatos, sulfatos, hierro y aluminio), sólidos totales (ST), oxígeno disuelto (OD), pH y conductividad.

El ensayo de Jar Test o Prueba de Jarras, se realizó, bajo norma ASTM D 2035 – 74, para determinar la dosis óptima de floculante y la mejor combinación de polielectrolito aniónico y catiónico. Los ensayos de floculación fueron realizados empleando únicamente dos vasos por vez, a fin de obtener una mejor observación del proceso de formación de flocs y sedimentación de los mismos. El volumen total usado para los ensayos fue de 1.5 L, sin incluir el volumen de los polielectrolitos, ácido sulfúrico e hidróxido de sodio. El test completo puede ser dividido en cinco partes que corresponden a diferentes etapas del proceso de floculación, que se detallan en la siguiente tabla:



Tabla N° 7.5. Etapas existentes en el proceso de floculación.

Etapa	Velocidad de agitación (rev/min)	Tiempo de agitación (min)	Producto Agregado	Proceso involucrado
1	120	2	Polímero catiónico	Mezcla rápida
2	120	2	Ácido sulfúrico	Ruptura de la emulsión
3	120	2	Hidróxido de sodio	Alcalinización
4	120	2	Polímero aniónico	Formación de flocs
5	60	0.5	--	Comienzo de la precipitación
6	0	10	--	Precipitación

Fuente: Tratamiento de Efluentes Líquidos Industriales Provenientes de la Industria de los Recubrimientos – Por Caprari Juan José y Baltazar José Luis del CIDEPINT- C de Inv. y Desarrollo en Tec. de Pinturas – LA PLATA ARGENTINA

En la etapa final de la formación de flocs se observó la interferencia entre los mismos que tienden agruparse conformando un floculo de mayor tamaño y gran estabilidad. Posteriormente se trató el efluente con polímero catiónico de alto peso molecular, ácido sulfúrico diluido, hidróxido de sodio en solución y finalmente un polímero aniónico. El polímero catiónico fue utilizado como floculante primario y el aniónico como secundario, ambos en una concentración de 1000 mg/L.

La solución alcalina fue preparada con hidróxido de sodio (p.a.), hasta una concentración de 50 % p/p y la solución ácida con ácido sulfúrico (p.a. al 98 %) hasta obtener una concentración de 5 % v/v. Las muestras, para analizar los distintos parámetros, fueron tomadas a los 10 minutos, a partir de finalizada la etapa de sedimentación, observándose un incremento en la clarificación a medida que transcurría el tiempo.

Las experiencias realizadas en jar test fueron llevadas a cabo en dos etapas. En la primera se fijó la concentración del polímero aniónico (PA), hidróxido de sodio y ácido sulfúrico agregándose concentraciones crecientes del polímero catiónico (PC). En la segunda, se fijó la concentración de PC y los auxiliares de floculación, agregando concentraciones crecientes de PA.

Resultados:

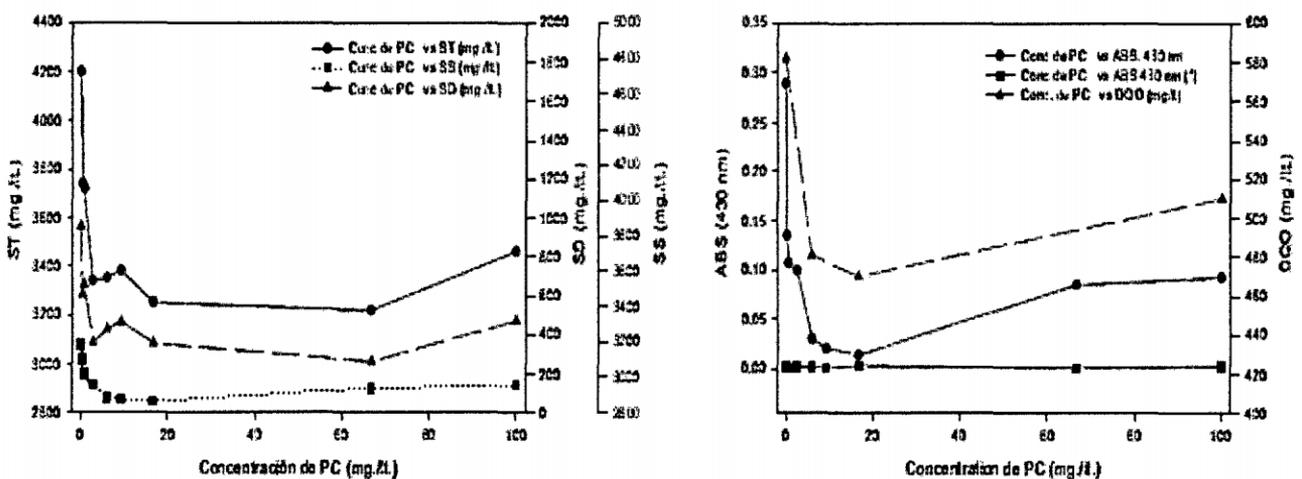
Influencia de la concentración de PC.- En una primera etapa la concentración del PA fue fijada en 5 mg/L variando la concentración del PC

desde una concentración nula hasta 100 mg/L obteniéndose excelentes niveles de reducción de absorbancia y sólidos totales.

La óptima desestabilización de los sólidos coloidales ocurre solo cuando una porción de los sitios disponibles de adsorción sobre la superficie de las partículas están cubiertas. Cuando la concentración de polímeros satura la superficie disponible de la fase dispersa produce una desestabilización del coloide, dado que no existen sitios disponibles para la formación de puentes poliméricos. En diversos trabajos se ha observado una reestabilización de las suspensiones coloidales debido al agregado de una concentración excesiva de polímeros orgánicos.

La concentración óptima en donde se determinó la mejor performance del proceso se obtuvo con 16.7 mg/L PC, encontrándose una reducción en absorbancia, demanda química de oxígeno y sólidos totales del 99.5, 64.8 y 36 % respectivamente, en relación a los valores determinados en el efluente crudo (Ver figura 1). A partir de 66 mg/L de polímero agregado pudo observarse que los flocs formados flotaban en vez de sedimentar, lo que provoco una disminución en la eficiencia del proceso, el cual pudo determinarse por un aumento en la absorbancia.

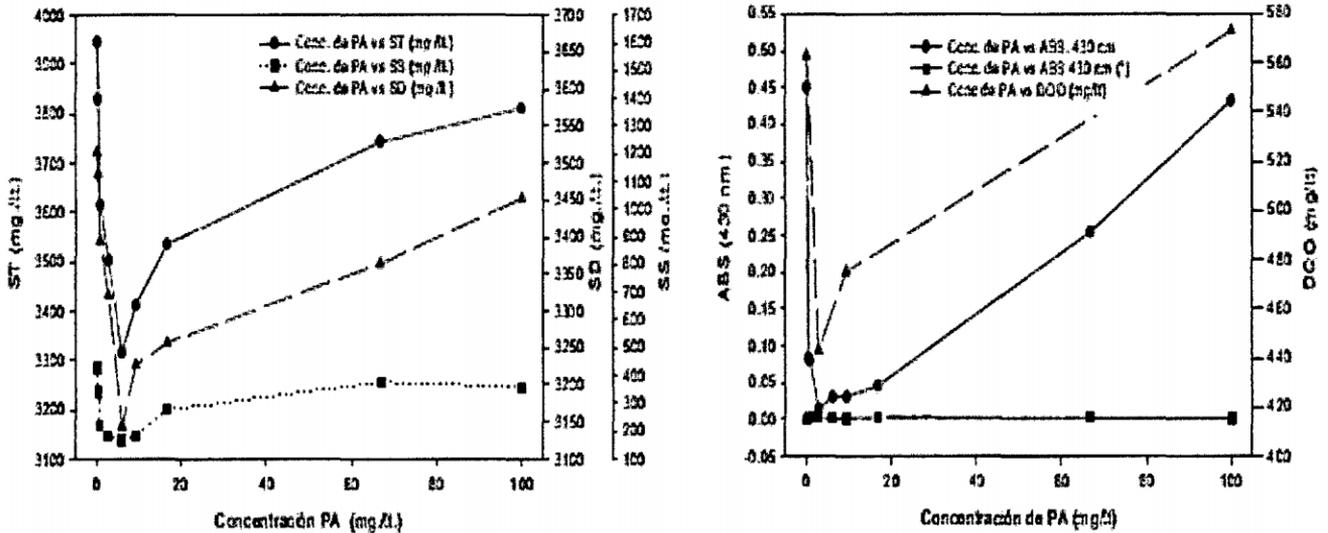
Figura 1



Influencia de la concentración de PA.- En una segunda fase la concentración del polímero PC fue fijada en 5 mg/L variando las concentraciones de polímero aniónico PA, obteniéndose buenos niveles de reducción de absorbancia y sólidos totales. En este ensayo la concentración óptima en donde se determinó

la mejor performance del proceso se obtuvo con 2.70 mg/L de PA con una reducción de absorbancia, demanda química de oxígeno y sólidos totales de 99.5, 68.1 y 32 % respectivamente (Ver fig. 2). Similar situación pudo observarse respecto a la flotabilidad de los flocs cuando se agregó altas concentraciones de polímeros.

Figura 2



Conclusiones:

2. El tratamiento de este tipo de efluentes industriales con polímeros orgánicos reduce los niveles de turbidez, sólidos coloidales y contaminantes orgánicos lo cual permite reciclar el agua e incorporarla nuevamente al proceso productivo.
3. El valor de pH inicial en el efluente crudo, medido en la descarga de distintas industrias, fue de 7, observándose pequeñas variaciones entre 6.5 y 7.5. El tratamiento con los PC y PA no produce variaciones en los pH.
4. Evaluando los valores de DQO, podemos concluir que la mejor performance se obtiene con el agregado de 2.7 mg/L de PA y 5 mg/L PC. Las reducciones de DQO y ST fueron superiores al 68 y 30 % respectivamente.
5. Comparando los resultados obtenidos con los límites establecidos en la legislación vigente en la Provincia de Buenos Aires (Resolución 389/98 de AGOSBA) el efluente tratado cumple con los límites legales para vuelco a colectora cloacal.

7.6. Confrontación de nuestros resultados con otras experiencias de tratamiento.- Las experiencias realizadas en el Tratamiento de Efluentes Líquidos Industriales Provenientes de la Industria de los Recubrimientos – experiencias realizadas por Caprari Juan José y Baltazar José Luis del CIDEPINT- Centro de Investigación y Desarrollo en Técnicas de Pinturas – en La Plata Argentina, experiencia en la que se simula a partir de pruebas de jarras el proceso de coagulación / floculación, utilizando Polímeros Catiónico y Aniónicos muestran resultados algo similares, pero utilizando para el caso de nuestra investigación efluente industrial, mientras el de la experiencia desarrollada en Argentina lo hacen de una efluente elaborado en laboratorio, como se aprecia en la Tabla N° 7.6.

**Tabla N° 7.6.
Valores Promedios del Efluente Industrial y los elaborados en laboratorio para simular el efluente industrial de Pinturas y Lacas**

Calidad del Efluente	-	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇
Parámetro	Caudal m ³ /h	Temp. °C	pH	DBO ₅ mg/L	DQO mg/L	SST mg/L	SS mL/L/h	A y G mg/L
Valores Máximos Admisible (*)	---	<35	6 - 9	500	1000	500	8.5	100
Muestra Efluente	0.087	15	4.7	76,500	234,060	4,962	49	240
Muestra Efluente Elaborado en Lab.	--	--	6.5 – 7.5	--	580	400	3,200	--

Fuente: Autoría propia: (*) Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residual No domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario (Decreto Supremo N° 021-2009-Vivienda).

Observando los valores de la muestra elaborada en laboratorio para simular al efluente industrial generados en una industria de pinturas y de barnices, estos parámetros cumplen con la VMA de la norma peruana por lo que pondría ponerse directamente al colector de aguas negras, a excepción de los SS que están en el orden de 3,200 mg/L y no se tiene información de la DBO, por lo que compararemos sus resultados después de proceso de pruebas de Jar Test con los de nuestra investigación, ver la Tabla N° 7.7.

Tabla N° 7.7.

Valores obtenidos durante la prueba de jarras para la dosis óptima del Coagulante/Floculante, aplicados a los efluentes industriales y a los elaborados en laboratorio

Calidad del Efluente	DOSIS mL/L	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇
Parámetro		Temp. °C	pH	DBO ₅ mg/L	DQO mg/L	SST mg/L	SS mL/L/h	A y G mg/L
Valores Máximos Admisible (****)	MT-8834 (*) MT-4885 (**)	< 35	6 - 9	500	1000	500	8.5	100
Valores del Efluente Industrial Crudo	-	15	7	76,500	234,060	4,962	49	240
Valores después de 15 min de Sedimentación	5.5 5.5	15	7	386.40	845.32	78.00	6.00	86
Valores del Efluente Elaborado en laboratorio	PC PA	-	6.5 - 7.5	--	580	4,000	-	--
Valores después de 15 min de Sedimentación	5 mg/l 2.7 mg/l	-	-	-	185.02	3,300	-	-

Fuente: Autoría Propia.

(*): 1 mL/L de solución de MT – 8834 corresponde a 20 ppm;

(**): 1 mL/L de solución de MT – 4885 corresponde a 1 ppm.

(***) Corresponde al sobrenadante después de 15 minutos de sedimentación;

(****) Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residual no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario (Decreto Supremo N° 021-2009-Vivienda);

7.7. Conclusiones:

7.7.1. Los efluentes generados por la Industria Pinturas y de Barnices, están constituidos por los residuos de pinturas y de barnices, además de las aguas y solventes que utilizan en el lavado de sus equipos de operaciones y procesos utilizados en cada una de las etapas de producción.

A lo largo de todo el proceso en la industria, el efluente residual varía en cuanto a su cantidad y composición.

De modo que las características de los efluentes generados en estas industrias se muestran en el Tabla N° 7.8. "Caracterización de los Efluentes Industriales de una Planta de Pinturas y de Barnices":

Tabla N° 7.8.
Caracterización de los Efluentes Industriales
de una Planta de Pinturas y de Barnices

Parámetros	Valores Máximos Admisibles	Valores de los efluentes de Pinturas y de Barnices
Caudal (M ³ /h)	-	0.087
Temp. °C	< 35	15
pH	6 - 9	4.7
DBO ₅ (mg/L)	500	76,500
DQO (mg/L)	1000	234,060
SST (mg/L)	500	4,492
SS (mL/L/h)	8.5	49
A y G (mg/L)	100	240

Fuente: Autoría Propia.

Nota: Los valores en rojo no se encuentran dentro del rango o rebasan los VMA.

7.7.2. Reducción de las Grasas y Aceites por la aireación y modificación de pH previos al tratamiento con la adición de polímeros Catiónicos y Aniónicos, luego de este tratamiento en la que se someten muestras de 25 litros a la aireación y posterior aplicación de solución de soda caustica al 1% (% en peso) se logró reducir el contenido de Grasas y Aceites de 240 mg/L a 86 mg/L y el pH de 4.7 unidades a 7.00 unidades, este último con 2.3 mL de solución de soda caustica al 1% por litro de solución de efluente industrial. De modo que las características del efluente industrial previas al tratamiento se muestran en la Tabla N° 7.9. "Caracterización de los Efluentes Industriales de una Planta de Pinturas y de Barnices, luego de la Aireación y Dosis de Soda Caustica":

Tabla N° 7.9.
Caracterización de los Efluentes Industriales de una Planta de Pinturas y de Barnices, luego de la Aireación y Dosis de Soda Caustica

Calidad del Efluente		Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇
Parámetro	DOSIS mL/L	Temp. °C	pH	DBO ₅ mg/L	DQO mg/L	SST mg/L	SS mL/L/h	A y G mg/L
Previos al tratamiento de Aireación y Neutralización (*)	--	15	4.7	76,500	234,060	4,962	49	240
Previos al tratamiento de Aireación y Neutralización (***)	2.3 mL/L (**)	15	7.0	76,500	234,060	4,962	49	86

Fuente: Autoría Propia

(*) Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residual no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario (Decreto Supremo N° 021-2009-Vivienda)

(**): Mililitros de Solución de Soda Caustica al 1% (% peso) por litro de solución de efluente industrial.

(***): Valores alcanzados del efluente tratado por aireación y dosis de soda caustica.

7.7.3. La características de los Efluentes Tratadas con Polímeros Catiónicos (Coagulante) y Aniónicos (Floculantes), durante el tratamiento en las Pruebas de Jarras, simulando el efecto del tratamiento Físico – Químico de los efluentes tratados, se obtuvieron los siguientes resultados que se muestran a continuación en la Tabla N° 7.10. "Caracterización de los Efluentes de las Industrias Pinturas y de Barnices, luego de ser sometidas al Protocolo de Pruebas de Jarras – para la dosis optima del Coagulante y Floculante", en la que observamos que los valores de cada uno de los parámetro evaluados en el efluente industrial tratado se encuentran por debajo de los Valores Máximos Admisible o en el rango admisible de la (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario (Decreto Supremo N° 021-2009-Vivienda;

Tabla N° 7.10.

“Caracterización de los Efluentes de las Industrias Pinturas y de Barnices, luego de ser sometidas al Protocolo de Pruebas de Jarras – para la dosis optima del Coagulante y Floculante”

Calidad del Efluente	DOSIS mL/L	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇
		Temp. °C	pH	DBO ₅ mg/L	DQO mg/L	SST mg/L	SS mL/L/h	A y G mg/L
Máximos Admisible (***)	MT-8834 (*) MT-4885 (**)	< 35	6 - 9	500	1000	500	8.5	100
Después del Acondicionamiento de pH y el de G y A (****)	--	15	7.0	76,500	234,060	4,962	49	86
Después de 15 minutos de Sedimentación (*****)	5.5 5.5	15	7	386.40	845.32	78.00	6.00	86

Fuente: Autoría propia.- (*): 1 mL/L de solución de MT – 8834 corresponde a 20 ppm;

(**): 1 mL/L de solución de MT – 4885 corresponde a 1 ppm.

(***): Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residual no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario (Decreto Supremo N° 021-2009-Vivienda);

(****): Valores después del Acondicionamiento de pH y el de G y A

(*****): Valores después de 15 minutos de Sedimentación

7.7.4. Determinación de la eficiencia (Porcentaje Remocional), del tratamiento físico – químico, obtenidas durante las PJ, se muestran en el tabla N° 7.11. “Determinación de la eficiencia remocional por parámetro contenido en el Efluente Industrial de Pinturas y de Barnices”

Tabla N° 7.11

Determinación de la eficiencia remocional por parámetros contenido en el Efluentes Industria de Pinturas y de Barnices”

Parámetros	Temp. °C	pH	DBO ₅ mg/L	DQO mg/L	SST mg/L	SS mL/L/h	A y G mg/L
VMA	< 15	6 - 9	500.00	1000.00	500.00	8.5	100
Inicial	15	4.7	76,500	234,060	4,962	49.00	240.00
Final	15	7	386.40	845.32	78.00	6.00	86.00
% Remocional	-	-	99.49	99.64	98.42	86.8	64.17

Fuente: Autoría Propia.- Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residual no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario (Decreto Supremo N° 021-2009-Vivienda); Los valores en rojo se encuentran fuera del rango de los VMA

7.8. Recomendaciones:

7.8.1. Se recomienda que los efluentes previos al tratamiento sean homogenizados, de modo que adquieran la mismas características, para ello se deberá implementar un tanque de Homogeneización con la capacidad de recepcionar los volúmenes que se generen durante las horas de operación de la planta, y a partir de este tanque y con ayuda de una electrobomba a caudal constante se obtenga el caudal de tratamiento, que coincidirá por cierto con la capacidad de la planta de tratamiento de los efluentes.

7.8.2. Por otro lado, se recomienda además que se eliminen de los efluentes la mayor concentración de las grasas y aceites, para ello, en las plantas deberán implementarse unidades del tipo DAF (Dissolved Air flotation, en castellano: Flotación por aire disuelto), logrando con ello que las grasas y aceite se encuentren dentro de los VMA.

7.8.3. De igual manera para la neutralización del pH, se recomienda en las plantas seguidos del DAF, instalar una unidad de neutralización constituido de cisterna y/o tanque con electro agitador, unidad que a su vez cuente con electro bombas dosificadoras para la solución neutralizante ya sea básica o ácida, que dependerá del pH del efluente, en lo posible estas deberán trabajar automáticamente, logrando con ello que el valor se halle dentro de los VMA.

7.8.4. La experiencia realizada durante las Pruebas de Jarras en la que se ensayo el tratamiento Físico – Químico para las muestras de efluentes proveniente de la industrias de pinturas y de barnices, en el cual se obtuvo como resultados del tratamiento un efluente que cumple con los VMA de calidad para la disposición final en el colector de SEDAPAL o alcantarillado, nos permite recomendar este tratamiento.

7.8.5. Se recomienda que el enfriamiento (reducción de temperatura), de los efluentes industriales, de ser necesario, y previos al tratamiento Físico – Químico, se realice a través de Torres de Enfriamiento, lo que reduce el tiempo de enfriamiento.

7.8.6. De acuerdo a los resultados obtenidos en el tratamiento de los efluentes provenientes de la industria de pinturas y de barnices, en la que se utilizaron muestras compuesta, de modo que se recomienda el tratamiento Físico – Químico, las unidades que constituirán las Planta de Tratamiento para estos efluentes estaría constituida de:

- a) Tanque de Hogeneización;
- b) Torre de enfriamiento, (de ser necesaria);
- c) Tanque de homogeneización;
- d) Unidad de mezcla, neutralización, coagulación y floculación;
- e) Sedimentador o Decantador

VIII. REFERENCIALES

- 8.1. ARBOLEDA VALENCIA, J. **Teoría, Diseño y Control de los Procesos de Clarificación del Agua**. Segunda Reimpresión, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Lima – Perú, 1981.
- 8.2. ATLAS AMBIENTAL DE LIMA, Gráfica Biblos – Año 2008
- 8.3. BANDALA, E., SÁNCHEZ, M., LEAL, M. Y CHACÓN, J. **Tratamiento del agua residual proveniente de la industria textil mediante fotocátalisis solar**. Documento presentado en el 28° Congreso Interamericano de ingeniería sanitaria y ambiental. Cancún, México. 2002, Octubre.
- 8.4. BRATBY, J. R. **Interpreting laboratory results for the design of rapid mixing and flocculation Systems**. Journal of the American Water Works Association, vol. 73, N° 6, junio, 1981, pp. 312–318
- 8.5. DEGREMONT. **Manual Técnico del Agua**. Cuarta edición, Artes Gráficas Grijelmo, S.A. Bilbao -España, 1979.
- 8.6. HERNÁNDEZ MUÑOZ A., HERNÁNDEZ LEHMANN A., GALAN P. **Manual de Depuración Uralita, Sistemas para Depuración de Aguas Residuales en Núcleos de hasta 20,000 habitantes**. Paraninfo, Madrid, 2000.
- 8.7. HERNÁNDEZ MUÑOZ A. **Depuración y Desinfección de Aguas Residuales**, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid 2001. Mansilla H. D., Lizama C., Gutarra A. y Rodríguez J. 2001.
- 8.8. HUERGA, E. **Desarrollo de alternativas de tratamiento de aguas residuales industriales mediante el uso de tecnologías limpias dirigidas al reciclaje y/o valoración de contaminantes**. Disertación Doctoral Publicada, Universidad de Valencia, Valencia, España. (2005).
- 8.9. ILANGO VAN K., **Impacto ambiental de la industria textil en México: Avances en la biodegradación anaerobia y precipitación de colorantes tipo Azo.**, Memorias del Segundo Mini Simposium Internacional sobre Aguas y Suelos. 2: 144-158; Año 1995.

- 8.10. KEMMER FRANK N, NALCO CHEMICAL COMPANY. **Manual del Agua: Su Naturaleza, Tratamiento y Aplicaciones**, 1ª Ed. McGraw Hill, Impreso en México, 1989.
- 8.11. MARTINEZ NAVARRO F. **Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional**. Tesis Doctoral para obtener el grado de Doctor en Ingeniería Química, Departamento de Ingeniería Química – Universidad de Castilla Ed. De la Universidad – La Mancha, Cuenca 2008.
- 8.12. MARTINEZ DELGADILLO S., RODRÍGUEZ ROSALES M., **Tratamiento de aguas residuales con MATLAB®** - Universidad Autónoma Metropolitana. Editorial Reverte, S.A. México - 2005
- 8.13. MELGOZA - ALEMÁN, R. Y DE LA CRUZ - GONZALES, R. **Tratamiento de un efluente textil por medio de un biofiltro discontinuo secuenciado anaerobio / aerobio**. Documento presentado en el Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Morelos, México. 2005, Octubre.
- 8.14. NORIEGA PISSANI RUDDY, **Manual de Tratamiento de Aguas Residuales – Tomo 1**, 1ª Ed. Editorial talleres de la Imprenta del Ejercito, Lima – Perú, 1989.
- 8.15. OROZCO BARRENECHEA C., PÉREZ SERRANO A. GONZALES DELGADO Mª N., RODRIGUEZ VIDAL F. y ALFAYATE BLANCO J. **Contaminación Ambiental, Una visión desde la química**. 1ra. Edición, 2ª reimpresión, Tompson Editores, Paraninfo, S.A. España. 2004.
- 8.16. RIGOLA LA PEÑA M., **Tratamiento de Aguas Industriales – Aguas de Proceso y Residuales.**, 1ª Ed. Editorial Alfa Omega Marcombo, 1989.
- 8.17. **STANDARD METHODS, 2005, For the examination of water and wastewater**. 21 st Edición. USA. – 2005.
- 8.18. **Tratamiento de residuos líquidos de la industria de celulosa y textil, en Eliminación de contaminantes por fotocatalisis heterogénea**. La Plata, Argentina: CYTED.

- 8.19. TCHOBANOGLIOUS, G., BURTON, F., y STENSEL, H. **Wastewater Engineering, Treatment and Reuse**; Metcalf & Eddy, Inc. - 3th ed. New York: McGraw Hill. 1993.
- 8.20. TCHOBANOGLIOUS, G., BURTON, F., y STENSEL, H. **Ingeniería de Aguas Residuales. Volumen 1 y 2, Tratamiento, vertido y reutilización**; Metcalf & Eddy. Traducido de la tercera edición en inglés. 2^a Ed. McGraw Hill. Impreso en España. 1998.
- 8.21. TCHOBANOGLIOUS, G., BURTON, F., y STENSEL, H. **Ingeniería de Aguas Residuales, Redes de Alcantarillado y Bombeo**, 2^a Ed., McGraw Hill. Impreso en España. 1998.

IX.- APÉNDICE:

MATRIZ DE CONSISTENCIAS

TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN: "EL USO DEL TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO PARA LA DEPURACIÓN DEL EFLUENTE GENERADO EN UNA INDUSTRIA DE PINTURAS Y DE BARNICES PREVIOS A SU DISPOSICIÓN FINAL, UBICADA EN EL DISTRITO DE CARABAYLLO - LIMA"						
Según la estructura de la codificación propuesta por la ANR - (Plan Nacional CTI). Además incluye el código del campo según UNESCO.						
ÁREA	SECTOR	SUBSECTOR	LÍNEA			CAMPO (UNESCO)
CÓDIGO: 03	CÓDIGO: 0302	CÓDIGO: 030200	CÓDIGO: 03020008			CÓDIGO: 33
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVOS	HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES			MÉTODO A EMPLEAR
			VARIABLE	INDICADOR	INDICE	
<p>Esta situación de disposición final de los efluentes industriales generado por las industrias pinturas y de barnices por sus características físico, químicas y biológicas, afectan al cuerpo receptor impactándolo de modo que contribuyen con la Contaminación Ambiental.</p> <p>¿En qué medida es posible depurar los efluentes generados en la industria de pinturas y barnices a través del tratamiento Físico - Químicos (Neutralización, Aireación, Coagulación, Floculación y Decantación), de modo que se cumpla con la normatividad vigente previo a su disposición final?</p>	<p>General.- Determinar el efecto del tratamiento físico-químico de neutralización, coagulación, floculación y decantación de los efluentes generados por la industria de pinturas y de barnices, para su disposición final.</p> <p>Específicos.-</p> <ul style="list-style-type: none"> • Caracterizar los efluentes generados por la industria de pinturas y de barnices. • Evaluar a nivel de laboratorio, el tratamiento físico químico (neutralización, aireación, coagulación, floculación y decantación) de muestras representativas de los efluentes generados por las industrias de pinturas y de barnices. • Caracterizar los efluentes 	<p>La aplicación del tratamiento físico-químico de neutralización, aireación, coagulación, floculación y decantación, permitirá mejorar la calidad del efluente generado por la industria de pinturas y de barnices y cumplir con la Norma de Calidad para la disposición final.</p>	<p>Independiente X: Tratamiento físico-químico de neutralización, aireación, coagulación, floculación y decantación.</p> <p>Dependiente Y: Calidad del efluentes generado por la industria de pinturas y de barnices para su disposición final</p>	<p>X₁: Volumen de ensayo, (V) X₂: Dosis de optima de neutralizante, (D_P) X₃: Tiempo de Mezcla, (T_M) X₄: Tiempo de Floculación, (T_F) X₅: Tiempo de decantación, (T_S) X₆: Gradiente de Mezcla, (G) X₇: Gradiente de Floculación, (G)</p> <p>Y₁: Temperatura, T Y₂: pH, (pH) Y₃: Demanda Bioquímica de Oxígeno, (DBO₅) Y₄: Demanda Química de Oxígeno, (DQO) Y₅: Sólidos Suspendidos</p>	<p>X₁ = 1 Litro X₂ = Dosis optima X₃ = Un min. X₄ = 15 min. X₅ = 15 min. X₆ = 100Seg⁻¹ X₇ = 15 Seg⁻¹</p> <p>Y₁: <35 °C Y₂: 6 – 9 uni Y₃: 500 mg/L Y₄: 1000 mg/L Y₅: 500 mg/L</p>	<p>Según el protocolo para las Pruebas de Jarras ó Jar test.</p> <p>2550 B- SMWW 4500 HB SMWW 5210 B- SMWW</p> <p>MNP APHA, AWWA, INDECOPI, 5520-D, por Extracción. 2540-D, SMWW</p>

"EL USO DEL TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO PARA LA DEPURACIÓN DEL EFLUENTE GENERADO EN UNA INDUSTRIA DE PINTURAS Y DE BARNICES PREVIOS A SU DISPOSICIÓN FINAL, UBICADA EN EL DISTRITO DE CARABAYLLO - LIMA"

	<p>generados por la industria de pinturas y de barnices una vez depurados a nivel de laboratorio por el tratamiento físico químico.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinación de la eficiencia del tratamiento físico químico. 			<p>Totales, (SST) Y₆: Sólidos en Suspensión, (SS) Y₇: Aceites y Grasas, (A y G)</p>	<p>Y₆: 8.5 mL/L/h Y₇: 100 mg/L</p>	<p>Gravimétrico 503 – A SMWW</p>
--	--	--	--	---	---	---

Fuente: Elaboración propia



Tablas:

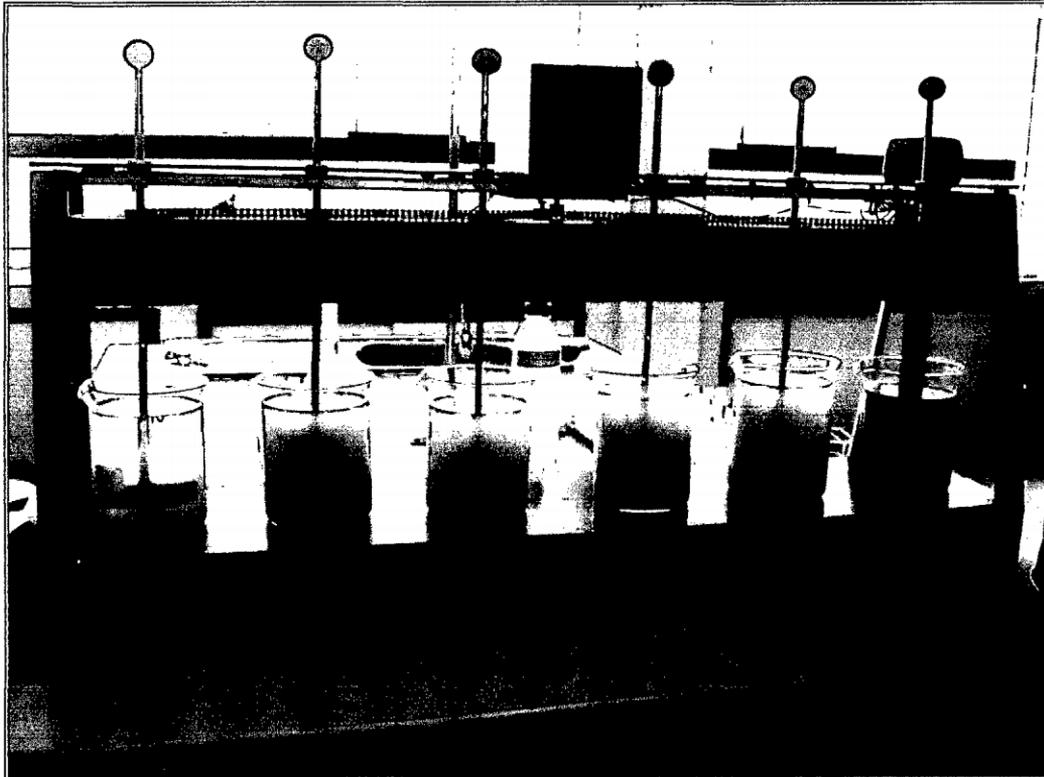
• **Tabla N° 5.1. "Métodos Normalizados y Equipos para Monitoreo de Aguas Residuales".**

PARAMETRO	TECNICA	METODO	UNIDADES
Caudal			
pH	Method 4500-H B - Standard Methods for the examination of water and wastewater - 18 th edition	Potencio métrico	Unidades de pH
Demanda Química de Oxígeno (DQO), reflujó abierto	Method 5220 B Standard Methods for the examination of water and wastewater - 18 th edition	Reflujó Titulo métrico	mg O ₂ /L
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	Method 5210 B - Standard Methods for the examination of water and wastewater - 18 th edition	Titulo métrico	mg DBO ₅ /L
Turbidez	Method 2130 B - Standard Methods for the examination of water and wastewater - 18 th edition - Calibración según especificación del equipo Turbidimeter (Sargent - Welch)	Turbidimétrico	NTU
Sólidos Sedimentables 2hs.	Method 2540 F - Standard Methods for the examination of water and wastewater - 18 th Edition - 18 th edition	Comparación visual	ml. Sól.Sed./L
Sólidos Suspendidos Totales (103-105°C)	Method 2540 D - Standard Methods for the examination of water and wastewater - 18 th edition	Gravimétrico	mg Sól.Susp./L
Cromo Cr ⁺⁶	Method 3500-Cr D - Standard Methods for the examination of water and wastewater - 18 th edition	Colorimétrico	mg Cr ⁺⁶ /L
Sulfuro (Colorimetría)	Method 4500-S D - Standard Methods for the examination of water and wastewater - 18 th edition	Colorimétrico	mg S/L
Aceites y Grasas	Method 503 A - Standard Methods for the examination of water and waste water - 16th edition.	Gravimétrico	mg Aceite y Grasas/L
Fenoles	Method 5330 B, C y D Standard Methods for the examination of water and wastewater - 18 th edition	Colorimétrico	mg Fenol/L
Color	Method 2120 B - Standard Methods for the examination of water and wastewater - 18 th edition	Colorimétrico	Unidades de Color
Temperatura	Method 2550 B - Standard Methods for the examination of water and wastewater - 18 th edition	Instrumental	°C

Fuente: Elaboración propia

Figuras:

- **Figura N° 5.1. "Equipo de Pruebas de Jarras"**



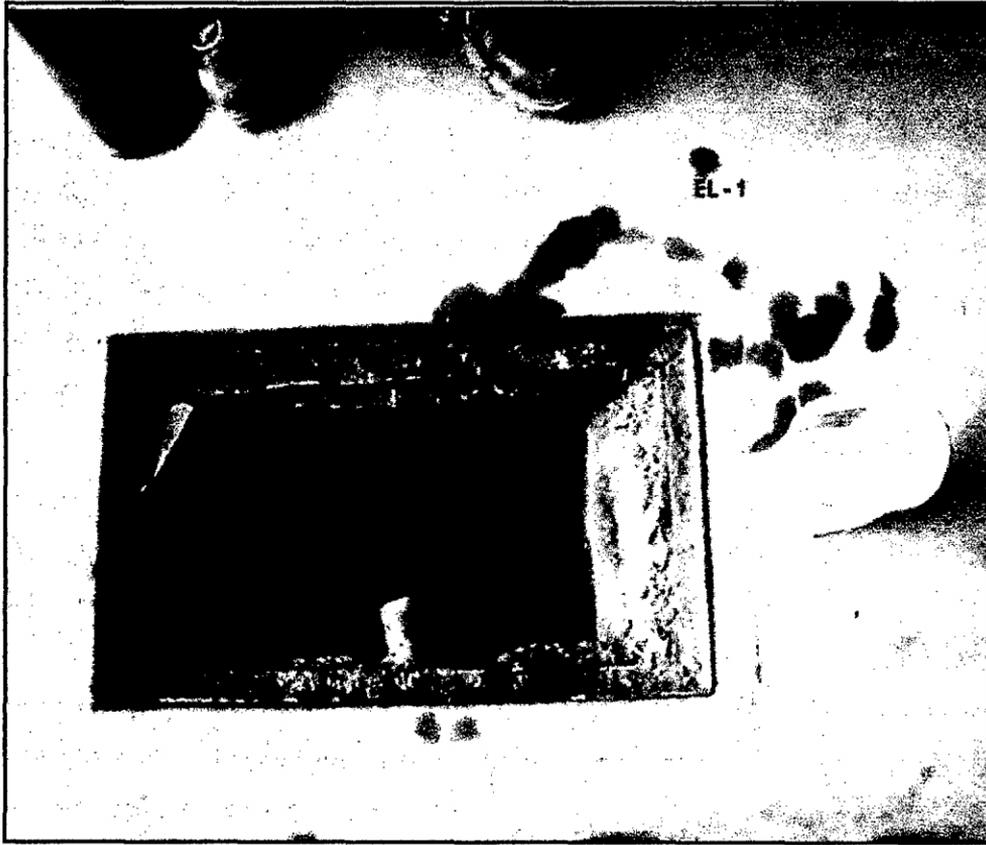
Fuente: Elaboración propia

- **Figura N° 5.2. "Elaboración de solución de polímero aniónico"**



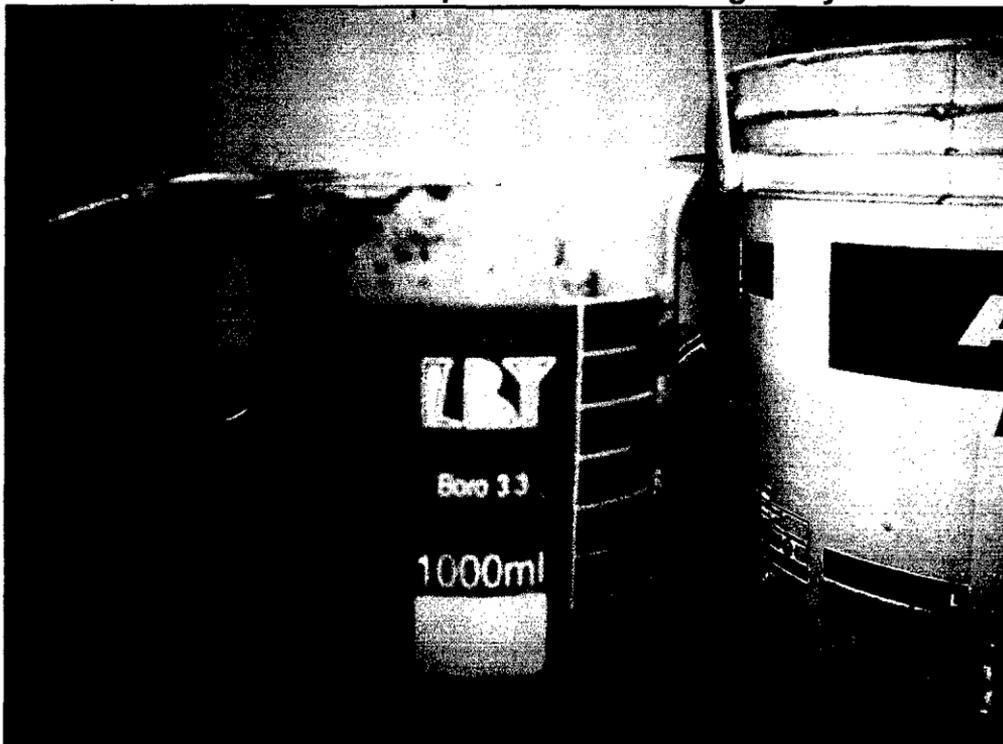
Fuente: Elaboración propia

- **Figura N° 6.2. "Cajas de Registro de los Efluentes al ingreso a Celdas de tratamiento existentes en una planta de pinturas y de barnices"**



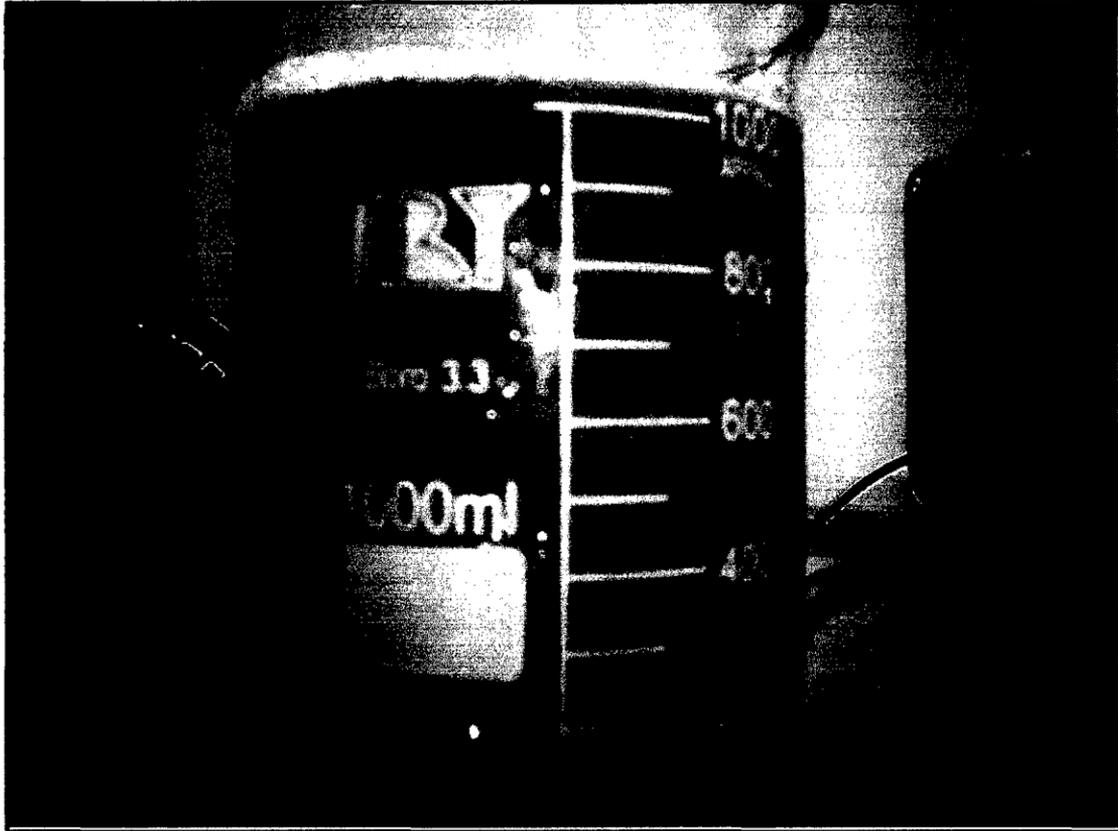
Fuente: Elaboración propia

- **Figura N° 6.3. "Muestra de efluente de la planta de pinturas y de barnices, durante la aireación para reducción de grasa y aceite"**



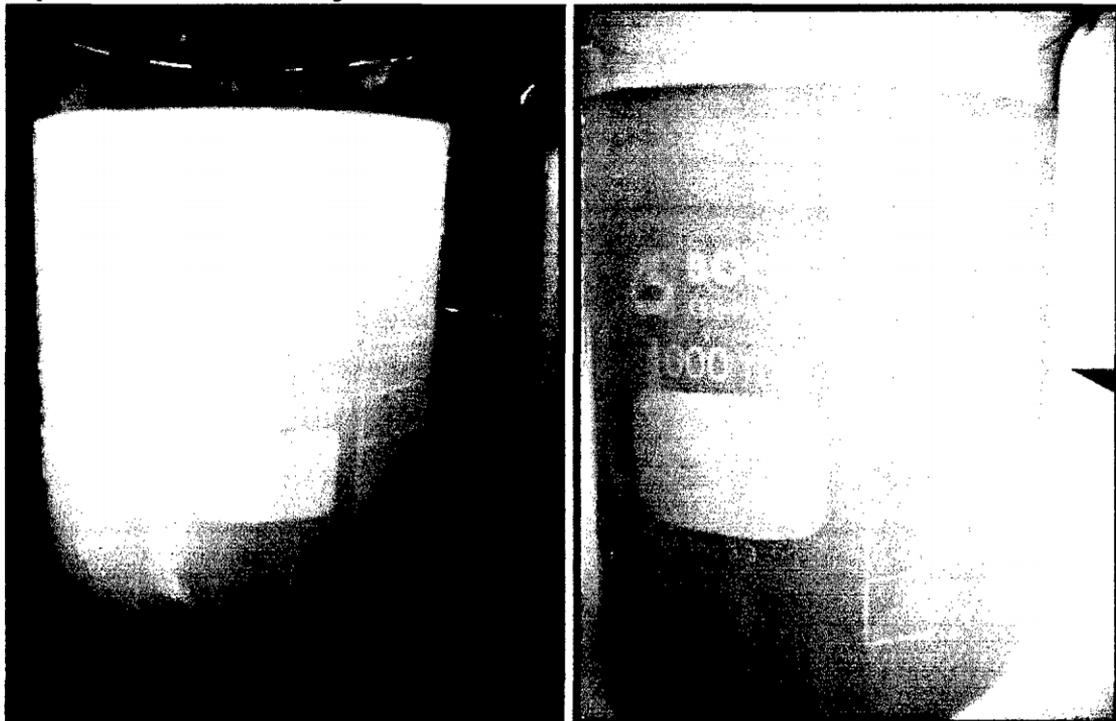
Fuente: Elaboración propia

- **Figura N° 6.4. "Muestra de efluente de la planta de pinturas y de barnices, luego de la reducción de grasa y aceite"**



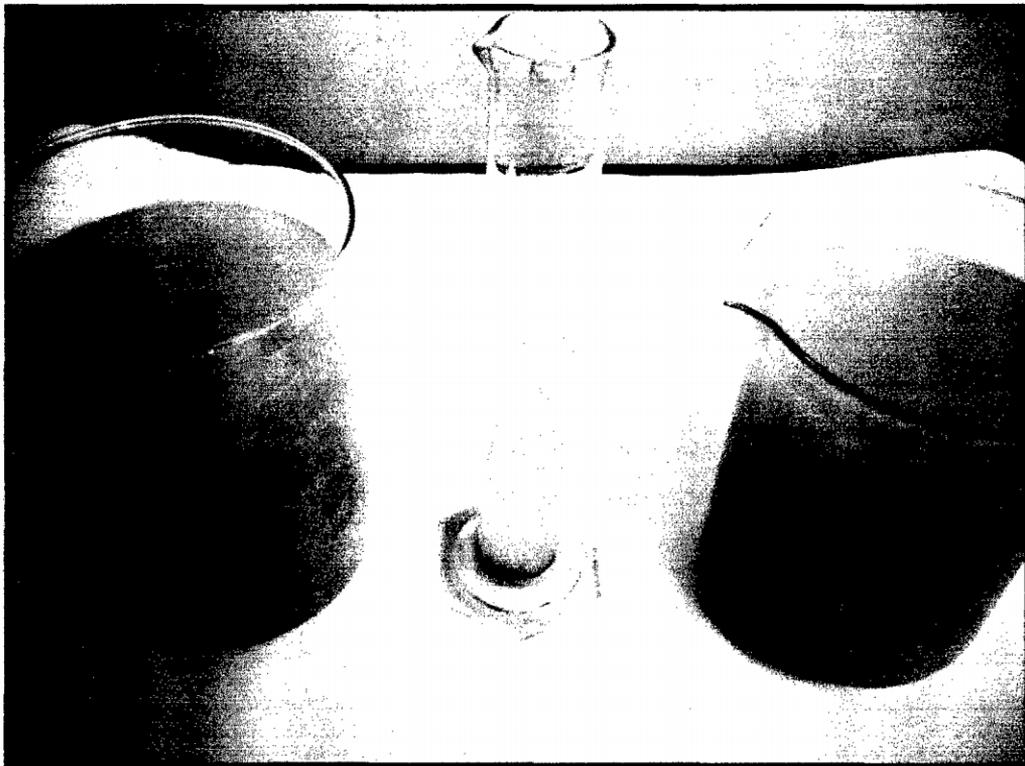
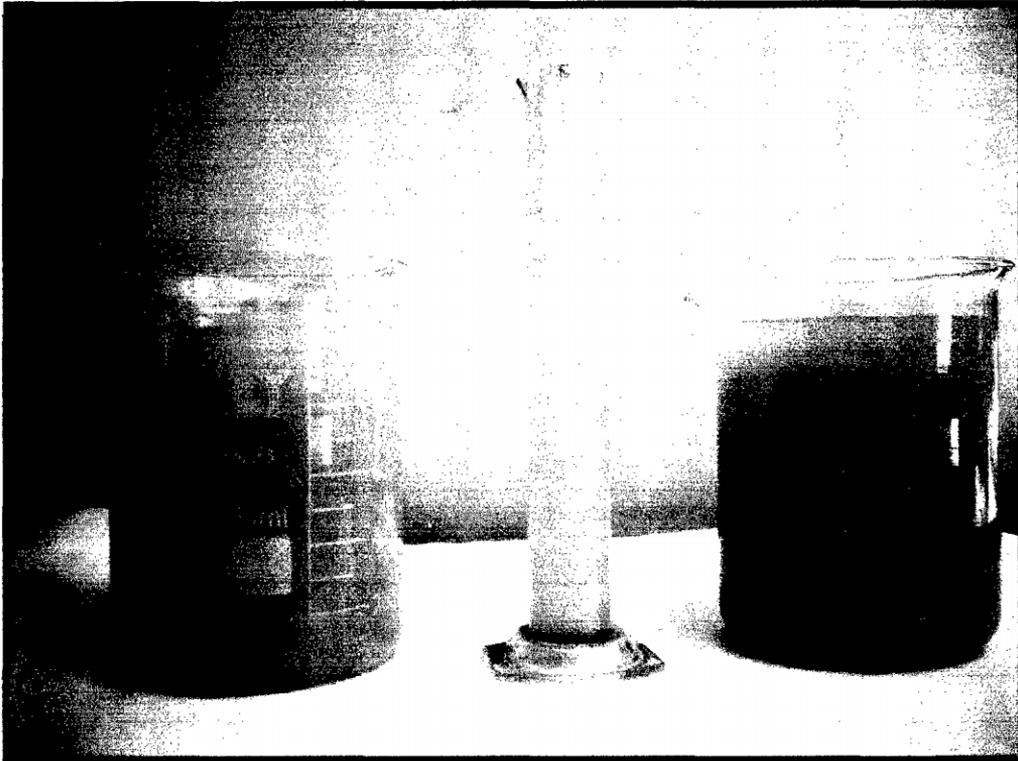
Fuente: Elaboración propia

- **Figura N° 6.5. "Muestras del efluente tratado con la dosis optima de polímero catiónico y aniónico"**



Fuente: Elaboración propia

- **Figura N° 6.6. "Comparación de muestras del efluente tratado con la dosis óptimas de polímero catiónicos, aniónico y la adición de peróxido de hidrogeno"**



Fuente: Elaboración propia

La probeta contiene la muestra tratada con la dosis óptima:

5.5 mL/L de solución de MT - 8834, (1 mL/L de solución de MT - 8834 corresponde a 20 ppm);

5.5 mL/L de solución de MT - 4885, (1 mL/L de solución de MT - 4885 corresponde a 1 ppm);

30 mL/L de Peróxido de Hidrogeno, (concentración en 40 volúmenes)

X.- ANEXO:

Tablas:

- **Tabla N° 4.1. "Componentes de un agua residual industrial que pueden ser eliminados por tratamiento físico - químico"**

Componentes	Tipo de residuo	Métodos de tratamiento
Aceites y Grasas	Aceites minerales, vegetales y sintéticos (emulsiones).	Centrifugación, Flotación con aire, Decantación, Adsorción (rotura de la emulsión).
Ácidos	Residuos con pH<6, requieren tratamiento.	Neutralización con álcalis, cal o sosa, normalmente.
Álcalis	Residuos con pH>9, requieren tratamiento.	Neutralización con ácidos, sulfúrico o clorhídrico, normalmente.
Amonio	Como amonio libre o en forma combinada.	Arrastre con aire (stripping), previa alcalinización. Oxidación química. Incineración.
Cianuros	Complejado con metales o en forma iónica.	Oxidación química a nitrógeno, Intercambio iónico. Electrolisis.
Cromo	En forma de Cr (VI), como cromato o dicromato.	Reducción a Cr (III) y precipitación. Intercambio iónico. Ósmosis inversa. Precipitación con sales de bario.
Disolventes orgánicos	Acetona, benceno, alcohol	Arrastre con aire o vapor (stripping). Destilación con recuperación. Incineración. Adsorción para bajas concentraciones.
Fenoles	En concentraciones muy variables.	Dependientes de la concentración: >500 ppm, extracción y recuperación. 5-500 ppm, tratamiento biológico. 0-10 ppm, oxidación, Adsorción con carbón activo.
Metales en medio ácidos.	En forma de sales solubles	Neutralización y adición de cal. Intercambio iónico. Electrolisis. Osmosis Inversa.
Metales en medio básicos.	Como complejos solubles	Precipitación del hidróxido con cal. Intercambio iónico. Electrolisis. Osmosis inversa.
Sólidos en suspensión.	Naturaleza muy variable	Sedimentación con o sin coagulante. Flotación con aire.

Fuente: CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Una visión desde la Química - Depuración de aguas residuales, Pág. 264.

- **Tabla N° 4.2. Tratamientos primarios empleados para aguas residuales industriales.**

Tratamiento	Contaminante a eliminar
Cribado	Elimina materias flotantes > 5 mm.
Homogeneización de efluentes	Neutraliza unos con otros. Caudales y concentraciones más homogéneas
Neutralización	Ácidos y bases. Precipitar metales pesados. Obtener pH apto para tratamientos biológicos.
Coagulación-floculación	Elimina coloides y aglomera partículas.
Separación de fases	Sólido-líquido: Sedimentación. Flotación. Filtración.
	Líquido-líquido: Flotación. Coagulación.

Fuente: CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Una visión desde la Química - Depuración de aguas residuales. Pag. 266

- Tabla N° 4.3: "Anexo N° 1: Valores Máximo Admisibles para disposición en el Alcantarillado"

PARAMETRO	UNIDAD	EXPRESIÓN	VMA PARA DESCARGAS
			AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	DBO ₅	500
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	DQO	1000
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	S.S.T.	500
Aceres y grasas	mg/L	Ay G	100

Fuente: Diario Oficial El Peruano – DS N° 021-2009-VIVIENDA (Viernes 20/11/2009)

- Tabla N° 4.4. : "Anexo N° 2"

Valores Máximos Admisibles (1)

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

- (1) La aplicación de estos parámetros a cada actividad económica por procesos productivos, será precisada en el reglamento de la presente norma tomando como referencia el código CIIU. Aquellas actividades que no estén incluidas en este código, deberán cumplir con los parámetros indicados en el presente Anexo.
- (2) Estos parámetros, serán tomadas de muestras puntuales. El valor de los demás parámetros, serán determinados a partir del análisis de una muestra compuesta.

• Tabla N° 4.5. "Zona de Vida"

Nº	Zona	Subzona	Nombre	Código	Altitud (m)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Precipitación (mm)	Características	Vegetación
1	DESIERTO	DESIERTO	desierto desecado	dd-S	0 - 500	18 - 23 °C	32 / 64	2,2 - 22,9 mm	desecado	Presencia escasa de plantas halófitas.
2			desierto superárido	ds-S	500 - 1 000	19 - 21 °C	16 / 32	30 - 50 mm	superárido	Gramíneas y en lugares más húmedos matorrales
3	MONTAÑO BAJO	DESIERTO	desierto perárido	dp-MBS	2 000 - 2 500	13 - 17 °C	8 / 16	60 - 105 mm	perárido	Arbustivo xerófito y hierbas estacionales
4			desierto perárido	dp-PT	1 000 - 2 000	20 - 24 °C	8 / 16	65 - 125 mm	perárido	Asociaciones de gramíneas estacionales y cactáceas.
5	MONTAÑO	MATORRAL DESIERTO	matorral desértico	md-PT	1 500 - 2 000	19 - 20 °C	4 / 8	100 - 260 mm	árido	Gramíneas estacionales, arbo. cactáceas gigantes del género (Neoraimondia sp.)
6			desierto perárido	dp-MBT	2 000 - 2 500	13 - 17 °C	8 / 16	62,5 - 120 mm	perárido	Hierbas efímeras, vegetación arbustiva y algunas cactáceas
7	MONTAÑO BAJO	MATORRAL DESIERTO	matorral desértico	md-MBT	2 500 - 3 000	12 - 17 °C	4 / 8	125 - 250 mm	árido	Herbácea temporal de verano asociada con los arbustos en forma permanente.
8			estepa espinosa	ee-MBT	2 000 - 3 000	12 - 17 °C	2 / 4	250 - 450 mm	semiárido	Vegetación herbácea, asociada a arbustos "chamana" (Dodonaea viscosa) y árboles como el "huayón" (Schinus molle) y cactáceas.
9	MONTAÑO	MATORRAL DESIERTO	matorral desértico	md-MT	3 000 - 4 000	6 - 12 °C	2 / 4	125 - 250 mm	semiárido	Gramíneas altoandinas de distribución dispersa y cactáceas
10			estepa	e-MT	3 000 - 4 000	7 - 12 °C	1 / 2	300 - 500 mm	subhúmedo	Gramíneas de pradera alta y cactáceas (Opuntia sp.)
11			bosque húmedo	bh-MT	3 500 - 3 900	6 - 10 °C	0,5 / 1	500 - 700 mm	húmedo	bosques relictos, resacas homogéneas "quina" (Polyplepis sp) y "mutun" (Cassia)
12	SUBALPINO	PÁRAMO	páramo húmedo	ph-SaT	3 900 - 4 200	3 - 6 °C	0,5 / 1	450 - 550 mm	húmedo	Gramínea mas o menos densa arbustos y especies arbóreas del género Polyplepis.
13			páramo muy húmedo	pnh-SaT	4 200 - 4 500	3,5 - 6 °C	0,25 / 0,5	600 - 800 mm	perhúmedo	Gramínea mas o menos densa arbustos y especies arbóreas del género Polyplepis.
14	ALPINO	TUNDRAS	tundra muy húmeda	tuh-AT	4 500 - 5 000	1,5 - 3 °C	--	500 - 1 000 mm	superhúmedo	Pastos naturales altoandinos especies arrosetadas y almohadilladas muy distantes (Calamagrotis vicunarium, Azorella yareta, algas y líquenes)
15			tundra pluvial	tp-AS	4 500 - 5 000	1,5 - 3,2 °C	0,125 / 0,25	600 - 1 100 mm	superhúmedo	Pastos naturales altoandinos especies arrosetadas y almohadilladas muy distantes (Calamagrotis vicunarium, Azorella yareta, algas y líquenes)
16	NIVAL		nival tropical	NT	mayor a 5 000	menor a 1,5 °C	--	500 - 800 mm	--	Algas y líquenes.

Fuente: Atlas Ambiental de Lima 2008

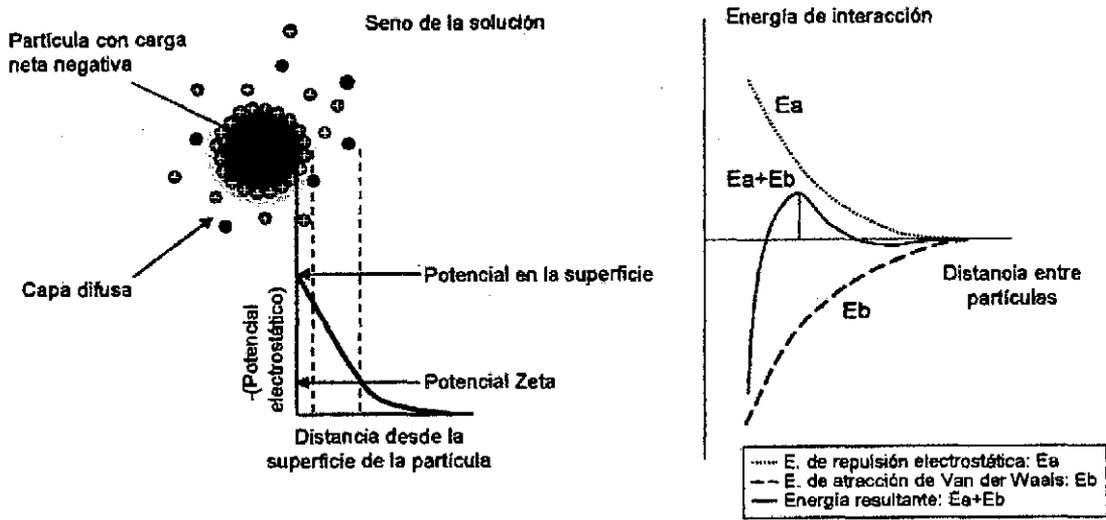
• Tabla N° 4.6. "Densidad Poblacional de Carabayllo y Distritos de Lima Norte al 2014"

Distrito	Sexo		Población Total	Población %	Superficie Km.²		Densidad Pobl./Km.²
	Hombre	Mujer			Abierto	%	
LIMA NORTE	1,288,487	1,357,752	2,646,239	100.00%	872.21	100.00%	3,033.9
Arcón	20,458	21,629	42,087	1.57%	299.22	34.31%	60.9
Carabayllo	143,481	146,828	290,311	10.97%	248.88	28.77%	836.9
Comas	255,219	267,543	522,760	19.75%	49.75	5.68%	10723.3
Independencia	108,243	10,521	21,764	0.81%	4.58	0.52%	4737.6
Los Olivos	175,278	80,643	365,921	13.83%	9.25	1.07%	2120.8
Puerto Piedra	198,092	90,682	330,774	12.50%	7.18	0.83%	4,731.3
Rimac	80,831	80,455	167,280	6.32%	1.87	0.22%	14,093.2
San Martín de Porres	332,950	353,753	696,703	26.32%	4	0.46%	10749.9
Santa Rosa	7,919	9,640	17,559	0.66%	2.15	0.25%	811.9
%	48.89	51.11	100.00%				

Fuente: INEI - Censos Nacionales 2007: XI de Población y V de Vivienda Elaboración de: J. Marco de Administración Científica

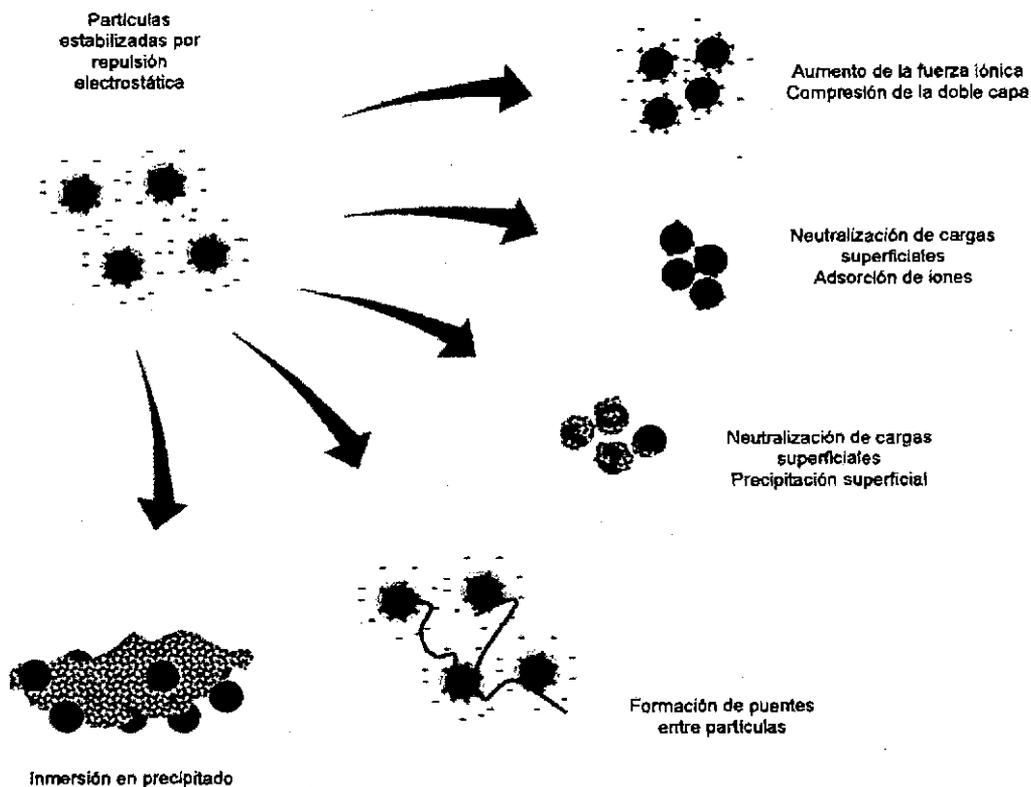
Figuras:

- **Figura N° 4.1. "Esquema de las fuerzas de interacción que actúan sobre una partícula en suspensión"**



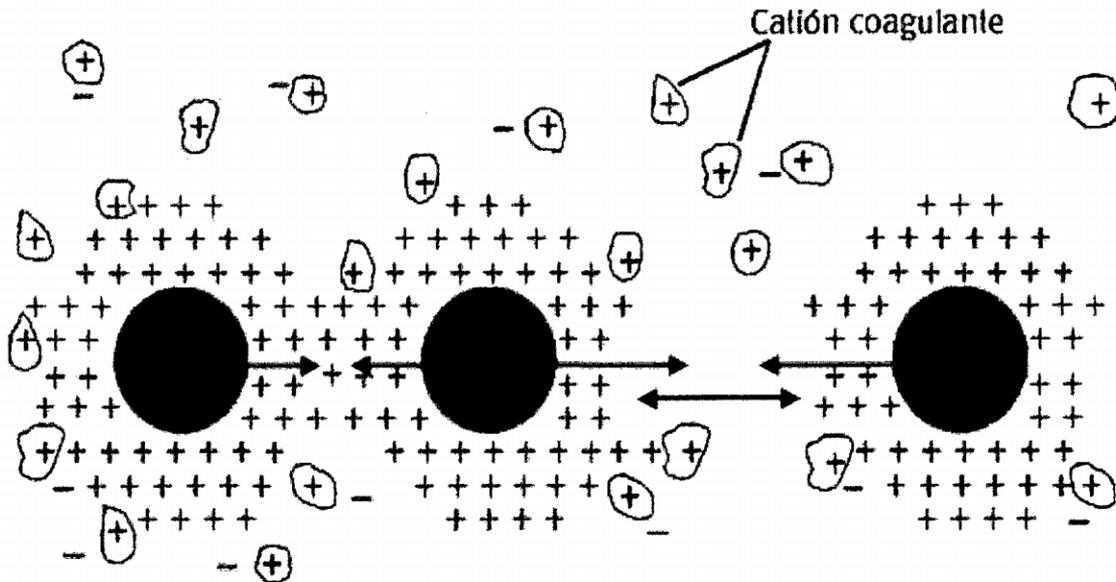
Fuente: MARTINEZ NAVARRO F. Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional. Tesis Doctoral para obtener el grado de Doctor en Ingeniería Química.

- **Figura N° 4.2. "Mecanismo de coagulación de partículas coloidales"**



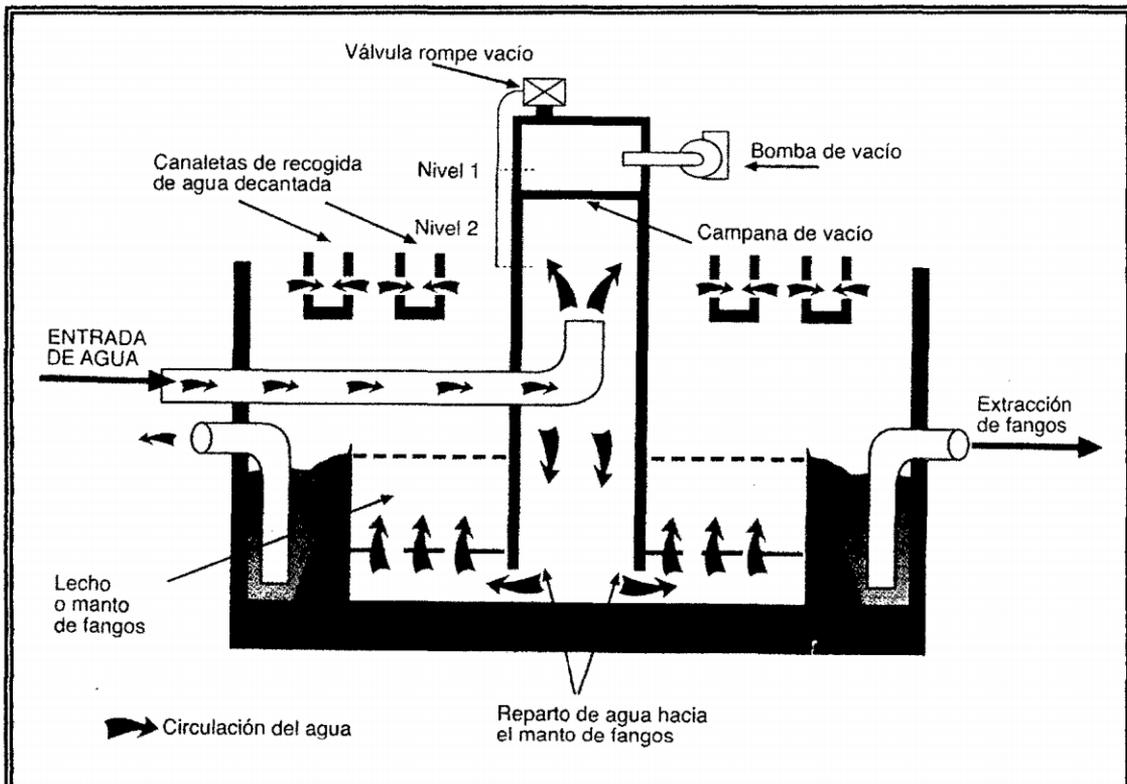
Fuente: MARTINEZ NAVARRO F. Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional. Tesis Doctoral para obtener el grado de Doctor en Ingeniería Química

- **Figura N° 4.3. "Mecanismo de formación de los Flóculos de partículas coloidales"**



Fuente: MARTINEZ NAVARRO F. Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional. Tesis Doctoral para obtener el grado de Doctor en Ingeniería Química

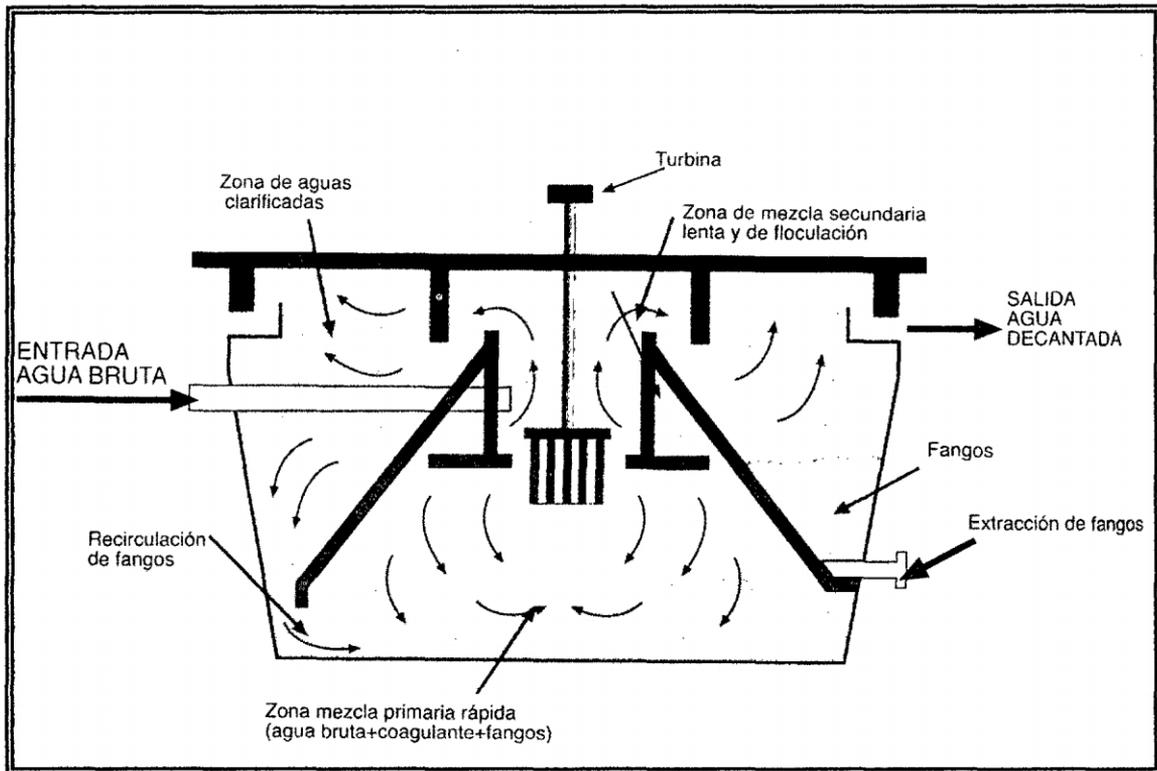
- **Figura N° 4.4. "Esquema de decantador de lecho de fangos, tipo PULSATOR"**



Fuente: OROZCO BARRENECHEA C., PÉREZ SERRANO A. GONZALES DELGADO M^a N., RODRIGUEZ VIDAL F. y ALFAYATE BLANCO J. Contaminación Ambiental, Una visión desde la química.

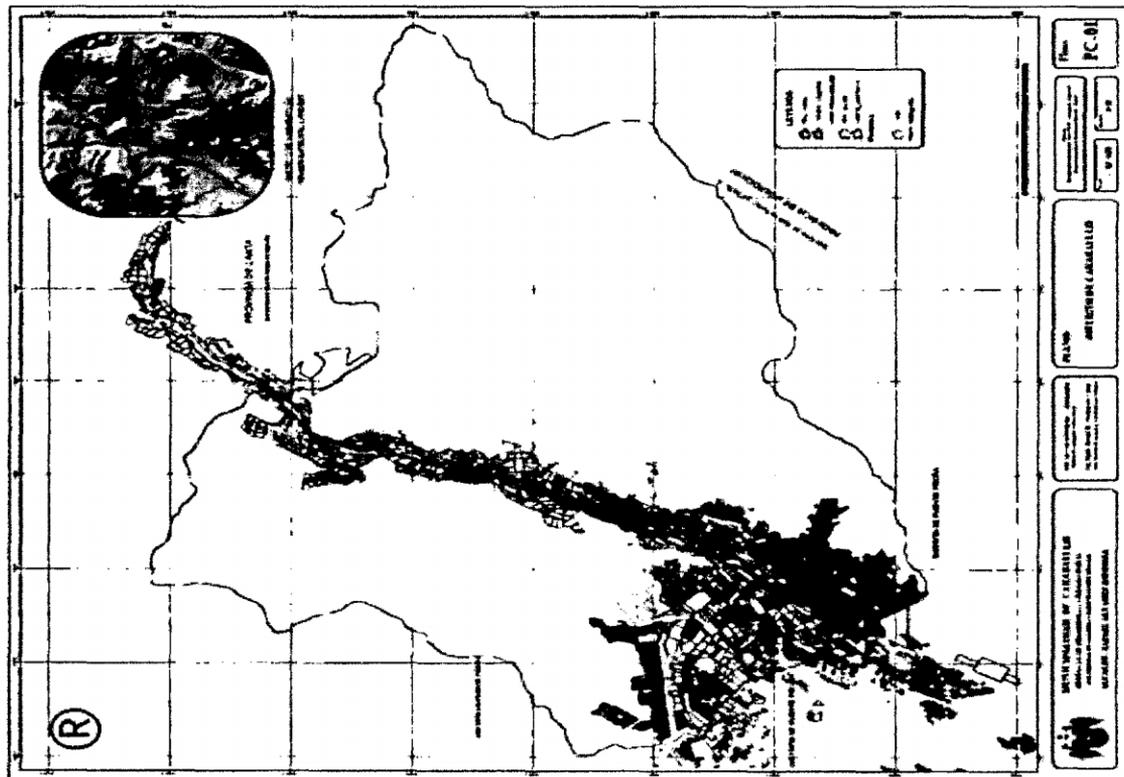
"EL USO DEL TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO PARA LA DEPURACIÓN DEL EFLUENTE GENERADO EN UNA INDUSTRIA DE PINTURAS Y DE BARNICES PREVIOS A SU DISPOSICIÓN FINAL, UBICADA EN EL DISTRITO DE CARABAYLLO - LIMA"

- **Figura N° 4.5. "Esquema de decantador dinámico, con recirculación de fangos tipo ACCELATOR NS"**



Fuente: OROZCO BARRENECHEA C., PÉREZ SERRANO A. GONZALES DELGADO M^a N., RODRIGUEZ VIDAL F. y ALFAYATE BLANCO J. Contaminación Ambiental, Una visión desde la química

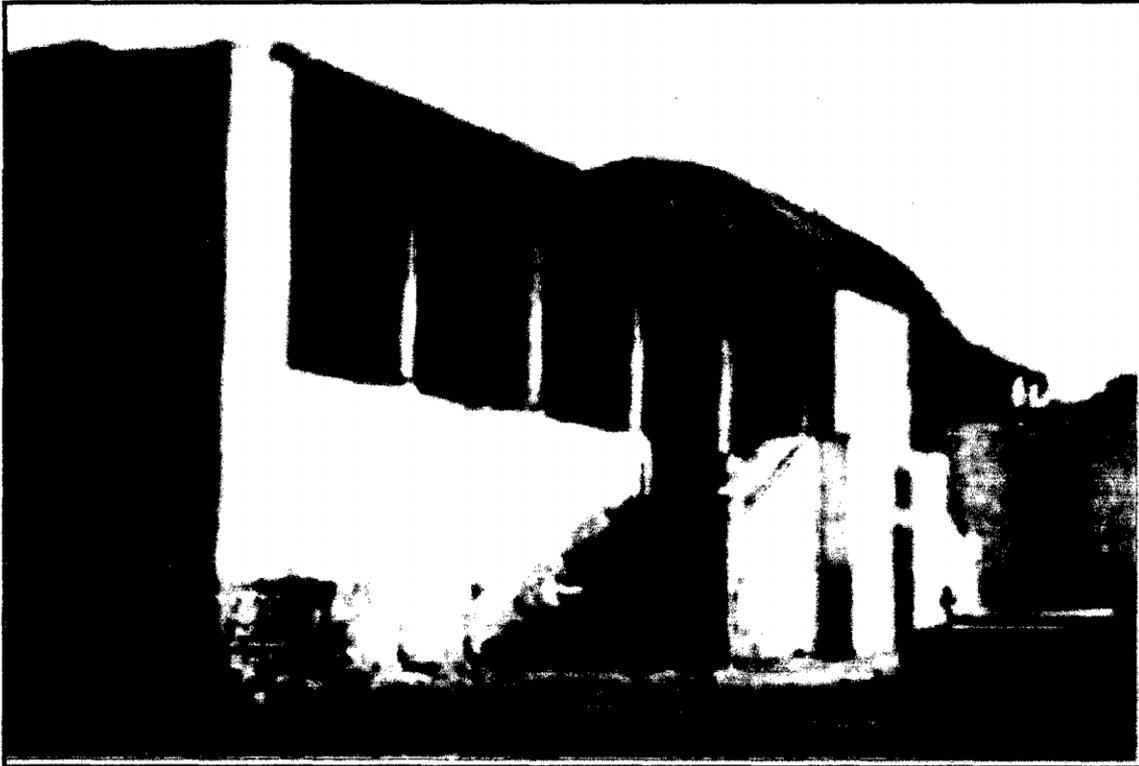
- **Figura N° 4.6. "Plano del distrito de Carabayllo"**



Fuente: Pag. Web Municipalidad de Distrital de Carabayllo - 2015

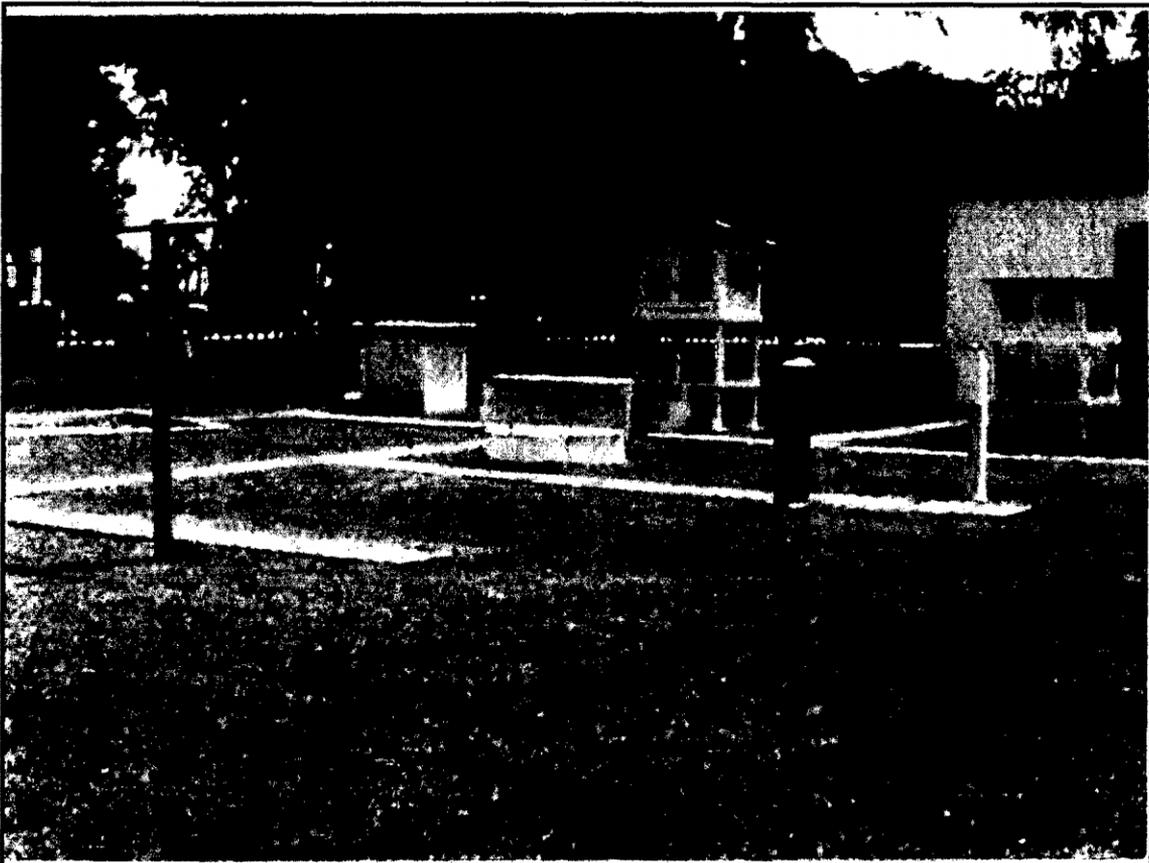
Handwritten signature

- **Figura N°4.7. "Casa hacienda de Punchauca"**



Fuente: Pag. Web Municipalidad de Distrital de Carabayllo - 2015

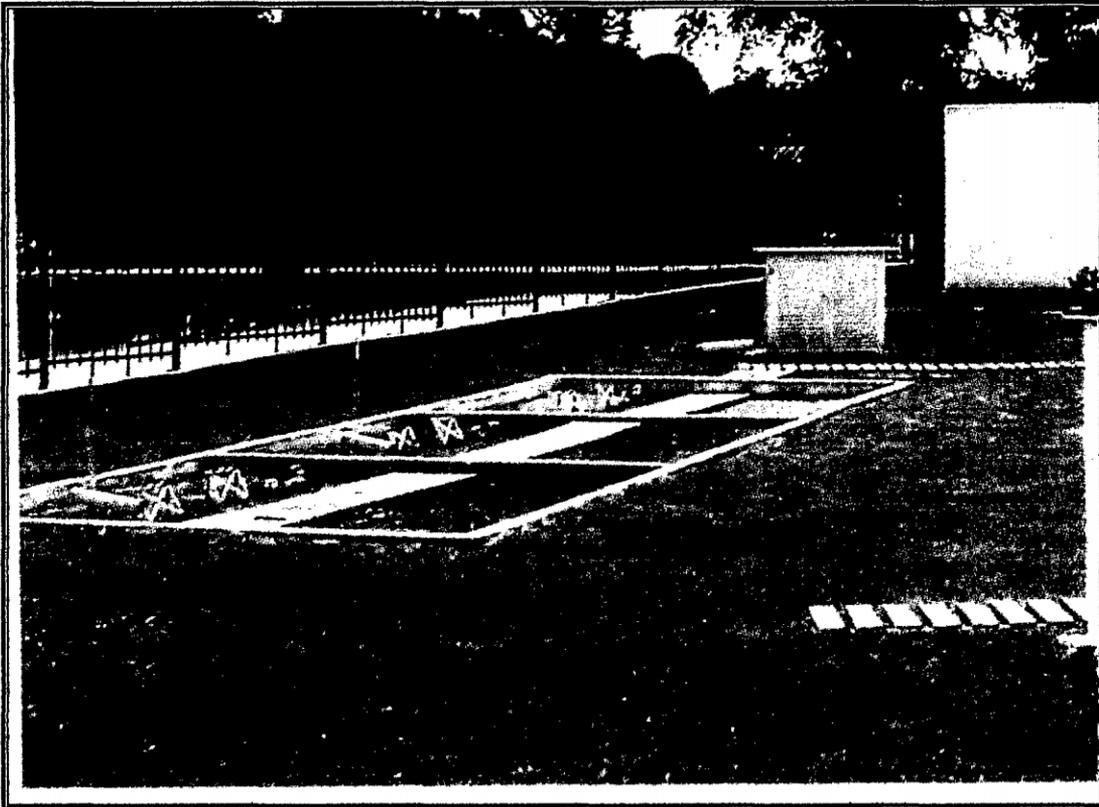
- **Figura N° 4.8. "Estación Meteorológica del Campo de Marte"**



Fuente: Atlas Ambiental de Lima 2008

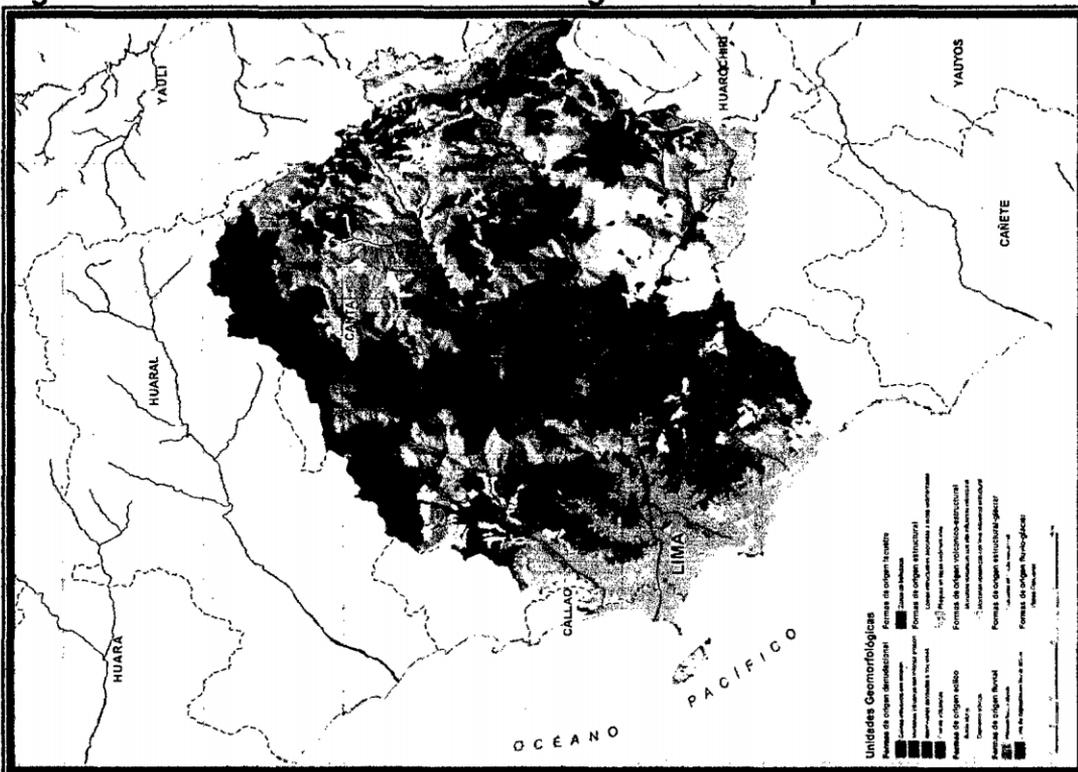
"EL USO DEL TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO PARA LA DEPURACIÓN DEL EFLUENTE GENERADO EN UNA INDUSTRIA DE PINTURAS Y DE BARNICES PREVIOS A SU DISPOSICIÓN FINAL, UBICADA EN EL DISTRITO DE CARABAYLLO - LIMA"

- **Figura N° 4.9. "Los geotermómetros miden la temperatura del suelo, SENAMHI"**



Fuente: Atlas Ambiental de Lima 2008

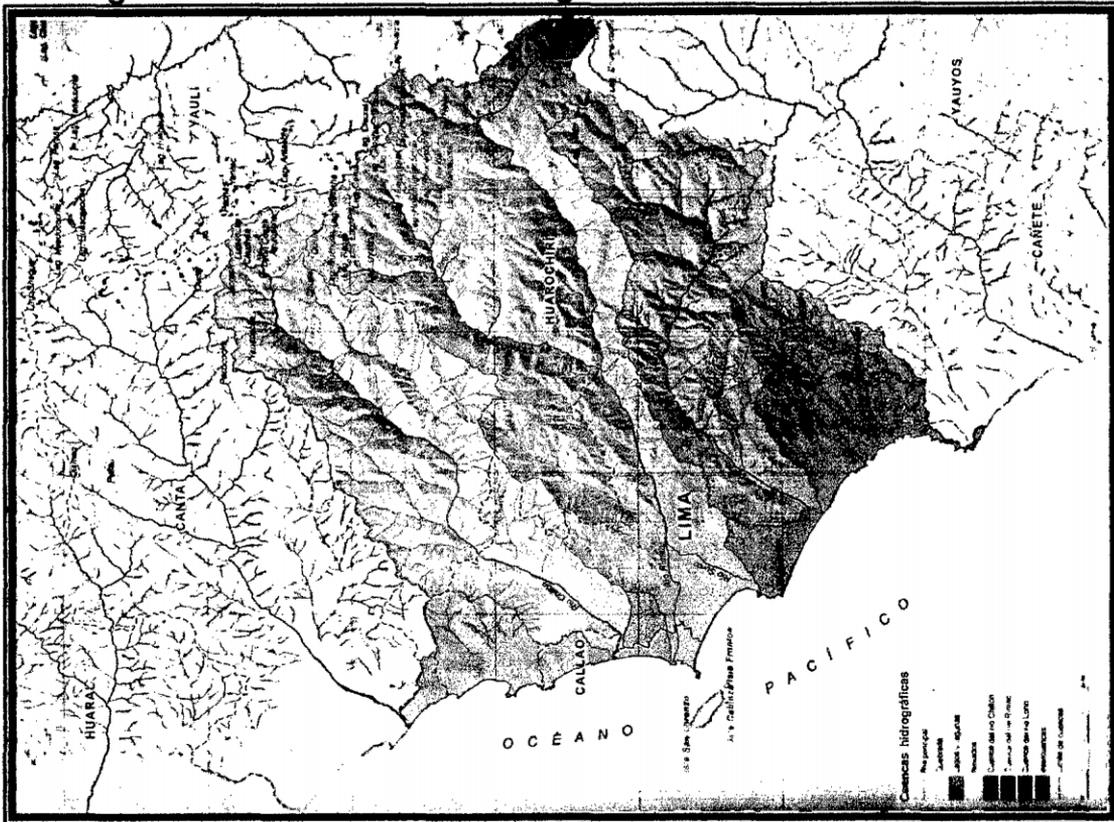
- **Figura N° 4.10. "Unidades Geomorfológicas de Lima provincia"**



Fuente: Atlas Ambiental de Lima 2008

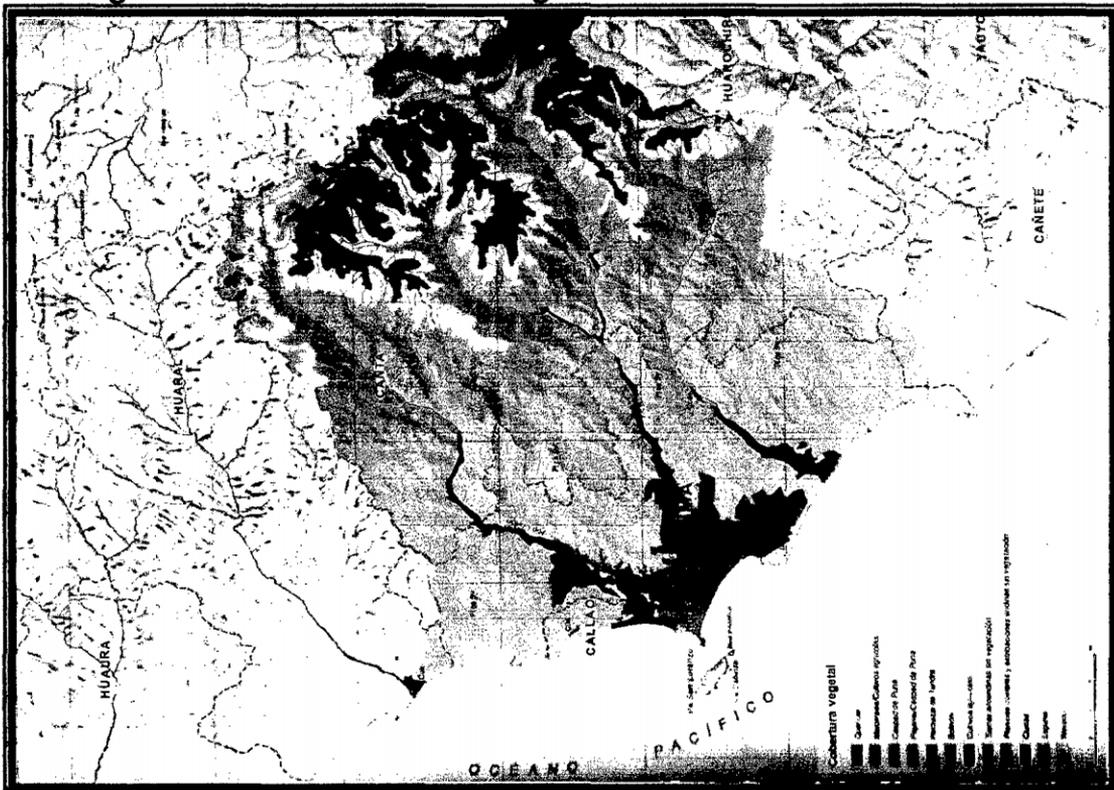
"EL USO DEL TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO PARA LA DEPURACIÓN DEL EFLUENTE GENERADO EN UNA INDUSTRIA DE PINTURAS Y DE BARNICES PREVIOS A SU DISPOSICIÓN FINAL, UBICADA EN EL DISTRITO DE CARABAYLLO - LIMA"

• **Figura N° 4.11. "Cuencas Hidrográficas"**



Fuente: Atlas Ambiental de Lima 2008

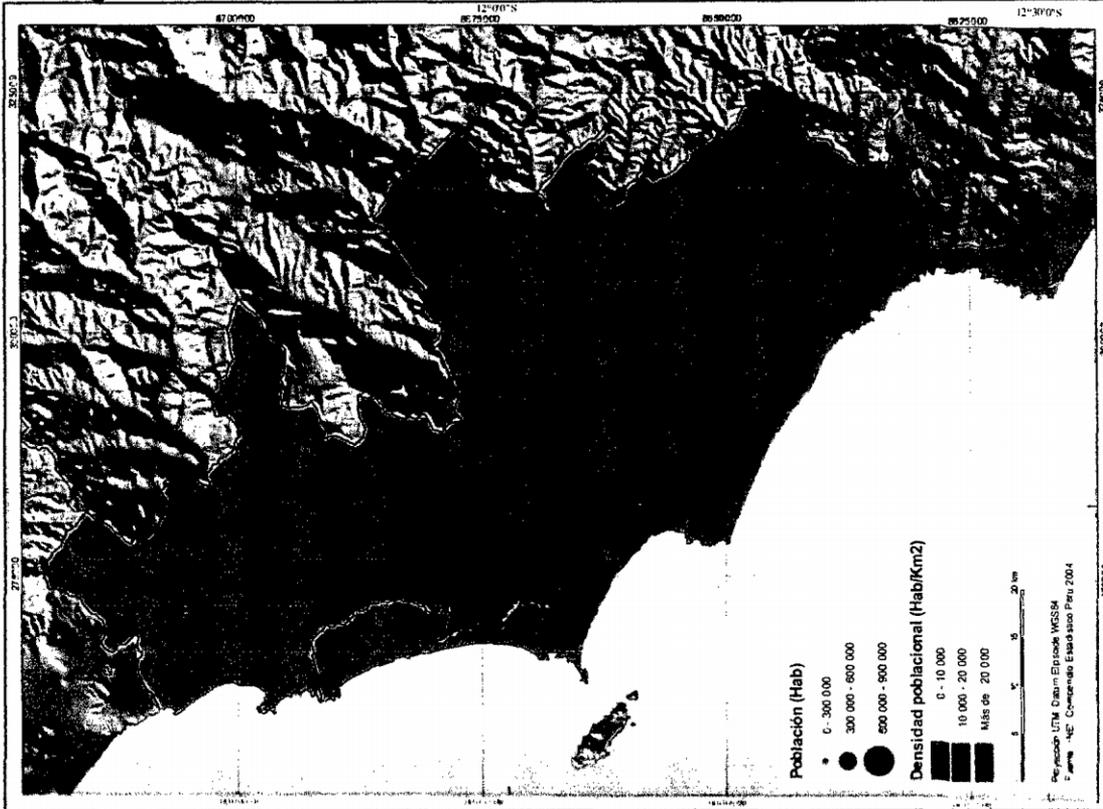
• **Figura N° 4.12. "Cobertura Vegetal"**



Fuente: Atlas Ambiental de Lima 2008

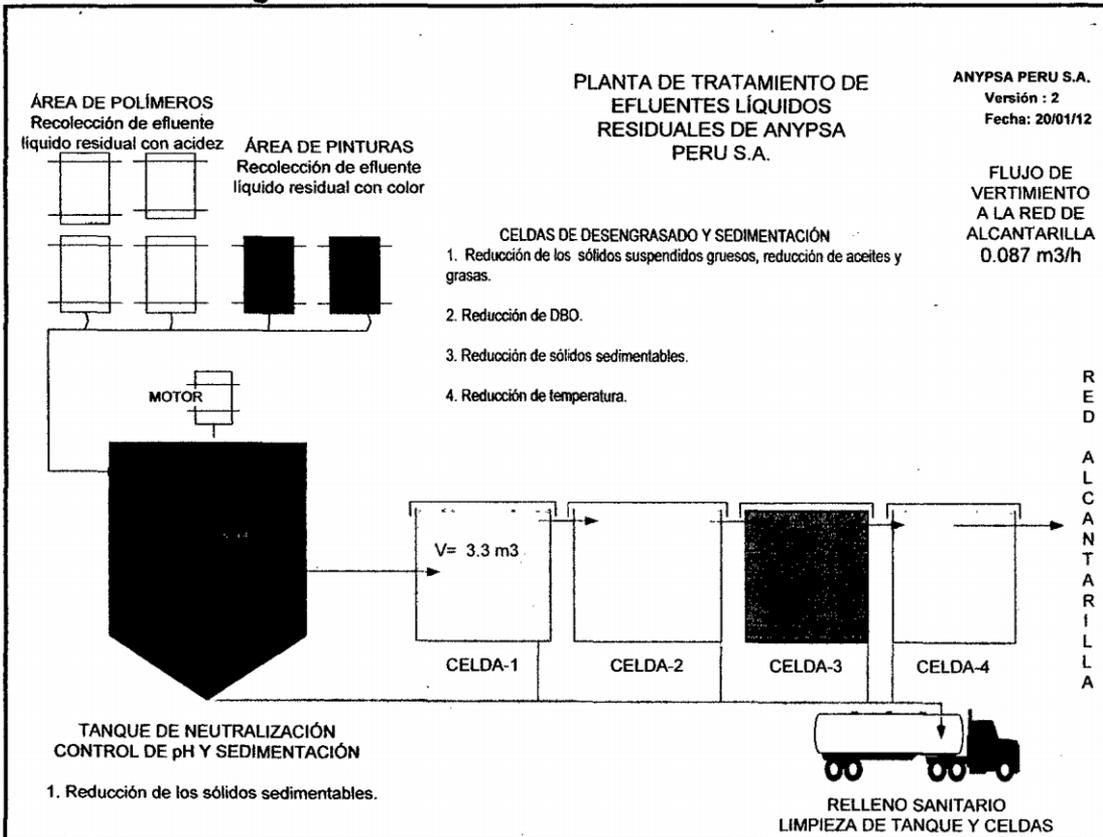
"EL USO DEL TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO PARA LA DEPURACIÓN DEL EFLUENTE GENERADO EN UNA INDUSTRIA DE PINTURAS Y DE BARNICES PREVIOS A SU DISPOSICIÓN FINAL, UBICADA EN EL DISTRITO DE CARABAYLLO - LIMA"

• **Figura N° 4.15. "Poblacional, Densidad poblacional (Hab./Km²)"**



Fuente: Atlas Ambiental de Lima 2008

• **Figura 6.1. "Diagrama de Flujo del Sistema de y tratamiento de los efluentes generados en la Fábrica de Pinturas y de Barnices"**



Fuente: Fabrica de pintura y de barnices en Carabayllo

B

"EL USO DEL TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO PARA LA DEPURACIÓN DEL EFLUENTE GENERADO EN UNA INDUSTRIA DE PINTURAS Y DE BARNICES PREVIOS A SU DISPOSICIÓN FINAL, UBICADA EN EL DISTRITO DE CARABAYLLO - LIMA"

Cuadros:

- **Cuadro N° 4.1. Caracterización de un efluente de la Industria de Pinturas y de Barnices**

Parámetro (mg/L)	Parámetro
DBO	11000
SST	25000
Aceites y grasas	12000
Titanio	19000
Cromo	3500
Cianuro cúprico	75
Plomo	6000
Mercurio	4000
Níquel	1700
Selenio	200
Zinc	95000
Benceno	1200
Fenol	500
Tolueno	6200

Fuente: Grupo Aqua Limpia Consultores.