



UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS

**DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE
TRANSFERENCIA DE OXIGENO Y EL
DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA
CONVENCIONAL DE AIREACION CON MATLAB
EN AGUAS RESIDUALES EN EL SECTOR
LETICIA DE LA PROVINCIA DE PISCO_2016**

PRESENTADO POR LA BACHILLER

SHANDDEL NAOMI CACERES ALVAREZ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO AMBIENTAL

PISCO - PERÚ

2017

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mis Padres, por su amor, trabajo, sacrificio, años de gran esfuerzo de brindarme el apoyo incondicional, la confianza y sus palabras alentadoras para conseguir mis objetivos; ya que gracias a ellos, he logrado convertirme en lo que soy.

AGRADECIMIENTO

Mis agradecimientos a la Alcaldía de la Provincia de
Pisco, por facilitarme la información necesaria, a mis
asesores por el apoyo brindado en mi proyecto de tesis.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se centra en la determinación y el estudio del coeficiente de transferencia de oxígeno y de la potencia del aireador en un reactor biológico, con la finalidad de determinar la potencia óptima a utilizar para proporcionar la cantidad de oxígeno necesaria para el crecimiento de los microorganismos responsables de la degradación biológica. Los Procesos Biológicos de Depuración Aerobia, es determinado por microorganismos principalmente bacterias y protozoos, que en presencia de oxígeno, actúan sobre la materia orgánica e inorgánica disuelta, suspendida y coloidal existente en el agua residual, transformándola en gases y materia celular, que puede separarse fácilmente mediante sedimentación.

Del sistema de aireación de superficie se determinó la potencia del sistema de aireación medido en Hp. y al desarrollar un sistema de aireación de superficie con aplicación de MATLAB® con la ecuación lineal de pendiente $K_{La,r}$ para poder determinar la variación de la concentración de saturación y concentración oxígeno en el líquido en cualquier tiempo t . Se logra corregir para $KLa T = KLa_{20^{\circ}C} (1.024^{T-20})$ en aguas residuales, permitiendo encontrar la velocidad de utilización de oxígeno de 03153 y con el desarrollo del programa para una carga másica de 600 KgO_2/d , con una potencia de 60 HP para los aireadores, obteniéndose la concentración de saturación de 7.39 mg/l, y se ha considerado el volumen del reactor biológico de 8000 m^3 , con el número de aireadores a lo largo del sistema de 4 y el número de aireadores a lo ancho de 3 y dando como resultado con el programa una potencia de 600 Hp de operación del sistema;

Palabras clave: *Coeficiente de transferencia de oxígeno, Concentración de saturación, potencia del aireador.*

ABSTRACT

The present research focuses on the determination and study of the oxygen transfer coefficient and the power of the aerator in a biological reactor, in order to determine the optimal power to be used to provide the amount of oxygen necessary for growth Of microorganisms responsible for biological degradation. In biological processes of aerobic purification, bacteria and protozoa are determined by microorganisms, which in the presence of oxygen, act on dissolved organic matter and dissolved inorganic, suspended and colloidal in the waste water, transforming it into gases and cellular matter, which can Easily separated by sedimentation.

From the surface aeration system the power of the aeration system measured in Hp was determined. And to develop a surface aeration system with MATLAB® application with the linear slope equation KLa_r to be able to determine the variation of the saturation concentration and oxygen concentration in the liquid at any time t . It is possible to correct for $KLa_T = KLa_{20} \cdot 1.024^{T-20}$ in wastewater, allowing to find the speed of oxygen utilization of 03153 and with the development of the program for a mass load of 600 KgO₂ / d, with a power of 60 HP for the aerators, obtaining the saturation concentration of 7.39 mg / l, and considering the volume of the biological reactor of 8000 m³, with the number of aerators along the system of 4 and the number of aerators across Of 3 and resulting in the program a power of 600 Hp of operation of the system;

Keywords: Oxygen transfer coefficient, saturation concentration, aerator power.

INTRODUCCION

En la actualidad es importante realizar estudios al agua residual por medio de procesos biológicos, un factor fundamental es la transferencia de oxígeno en el agua residual, que es una variable importante en los funcionamientos aerobios como es el caso de los lodos activados. Debido a la poca solubilidad del oxígeno en el agua y la baja velocidad de transferencia de oxígeno, suele ocurrir que la cantidad de oxígeno que se absorbe en el agua a través de la interfase aire-líquido es una limitante para satisfacer la demanda de oxígeno del tratamiento aerobio. El oxígeno se puede suministrar en forma de burbujas de aire o de oxígeno puro por la parte inferior del tanque reactor. La aireación se lleva a cabo mediante la dispersión de burbujas sumergidas a profundidades de varios metros y los diferentes sistemas de aireación incluyen placas y tubos porosos, tubos perforados.

Dado un volumen de agua a airear, el rendimiento de un aireador se valora en función de la cantidad de oxígeno transferida por unidad de aire inducida en el agua a condiciones equivalentes (composición química y temperatura del agua residual, profundidad a la que se introduce el aire) y por la energía real suministrada al sistema. En el sistema de lodos activados se puede determinar el oxígeno consumido por los microorganismos^[1].

Entre los factores principales que afectan la transferencia de oxígeno del aire al agua se pueden destacar: la temperatura, la presión, la naturaleza de los constituyentes inorgánicos y orgánicos disueltos en el agua, la intensidad del mezclado, la geometría del tanque de aireación^[2]. Dentro del campo de la investigación en el área del tratamiento de aguas residuales, surge el interés de evaluar el funcionamiento del sistema de aireación en el tanque de lodos activados de la PTAR-PISCO a través de la transferencia de oxígeno.

¹ Winkler MA (1994). Tratamiento Biológico de aguas de desecho. Edit. Limusa. España.

² Ramalho RS (1996). Tratamiento de aguas residuales. Edit. Reverté S. A. Barcelona, España.

**DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE OXIGENO Y EL
DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA CONVENCIONAL DE AIREACION CON
MATLAB EN AGUAS RESIDUALES EN EL SECTOR LETICIA DE LA PROVINCIA
DE PISCO_2016**

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
INTRODUCCION	vi
TABLA DE CONTENIDOS	vii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	1
1.1 Descripción de la Realidad Problemática	1
1.2 Delimitaciones y Definición del Problema	2
1.2.1 Delimitaciones	2
A. Delimitación Espacial.	2
B. Delimitación Temporal.	2
C. Delimitación Social.	3
D. Delimitación Conceptual	3
1. Tecnología de información.	3
2. Gestión del Proceso escogido	3
1.2.2 Definición del Problema	3
1.3 Formulación del Problema.	4
1.3.1 Problema principal.	4
1.4 Objetivo de la Investigación	4
1.5 Hipótesis de la investigación.	5
1.6 Variables e Indicadores	5
1.6.1 Variable Independiente	5
A. Indicadores	5
B. Índices.	5
1.6.2 Variable Dependiente	5
A. Indicadores	5
B. Índices	5
1.7 Viabilidad de la investigación.	5
1.7.1 Viabilidad técnica	5

1.7.2 Viabilidad operativa.	5
1.7.3 Viabilidad económica.	5
1.8 Justificación e Importancia de la Investigación.	6
1.8.1 Justificación.	6
1.8.2 Importancia.	7
1.9 Limitaciones de la Investigación.	8
1.10 Tipo y Nivel de la Investigación.	8
1.10.1 Tipo de investigación.	8
1.10.2 Nivel de investigación.	8
1.11 Método y Diseño de la investigación.	8
1.11.1 Método de la investigación.	8
1.11.2 Diseño de la investigación.	8
1.12 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información.	8
1.12.1 Técnicas.	8
1.12.2 Instrumentos.	8
1.13 Cobertura de Estudio.	9
1.13.1 Universo.	9
1.13.2 Muestra.	9
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.	10
2.1 Antecedentes de la Investigación.	10
2.2 Marco Histórico.	13
2.3 Bases Teóricas.	15
2.3.1 Generalidades.	15
2.3.2 Concentración de las aguas residuales.	20
2.3.3 Medición de la concentración de contaminantes en aguas residuales.	20
2.3.4 Demanda química del oxígeno.	21
2.3.5 Demanda bioquímica de oxígeno.	21
2.3.6 Sistema de tratamientos biológicos.	22
2.3.7 Lagunas de estabilización.	22
2.3.8 Sistema de crecimiento en suspensión.	23
2.3.9 Coeficientes de transferencia de oxígeno (K_{La}).	26
2.3.10 Teoría de la transferencia de oxígeno en el agua.	28
2.3.11 Equipos de aireación.	30
2.3.12 Requerimientos de oxígeno.	31
2.3.13 Factores de corrección de K_{La}	32
2.3.14 Reactores biológicos.	34
CAPÍTULO III: SOLUCION PROPUESTA.	39
3.1 Metodología: Coeficiente de transferencia de oxígeno y el dimensionamiento del sistema convencional de aireación.	39
3.1.1 Coeficiente de transferencia de oxígeno (K_{La}) del agua de llave.	39
3.1.2. Coeficiente de transferencia de oxígeno (K_{La_r}) del agua residual.	41
3.2 Variación del oxígeno disuelto en la fase de reariación y el coeficiente de transferencia de oxígeno (K_{La_r}).	44
3.3 Coeficiente de transferencia de oxígeno y el dimensionamiento de los aireadores.	45

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	
RESULTADOS	48
4.1. Resultados del coeficiente de transferencia de oxígeno (K_{La_r}).....	48
4.2 Resultado de la variación del oxígeno disuelto en la fase de reariación y el coeficiente de transferencia de oxígeno K_{La_r}	56
4.3 Resultados del coeficiente de transferencia de oxígeno y el dimensionamiento de los aireadores	63
4.4 Prueba de hipótesis.....	68
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	76
5.1 Conclusiones.....	76
5.2 Recomendaciones.....	77
FUENTES DE INFORMACION BIBLIOGRAFICA.....	78
ANEXO.....	80
GLOSARIO DE TERMINOS.....	82
INDICE DE FIGURAS	84
INDICE DE TABLAS	85

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1 Descripción de la Realidad Problemática

En la mayoría de los distritos de la Provincia de Pisco, se generan aguas residuales municipales y estas aún todavía no tienen implementados un sistema de tratamiento. Estas aguas residuales municipales son recolectadas en forma combinada y en algunos casos llegan a la laguna de oxidación ubicada en el sector Leticia de la Provincia de Pisco y por reboce fluyen por un cauce de riachuelo sin previo tratamiento a espacios donde se almacena el agua residual cerca de poblados. En algunos casos las aguas residuales municipales se utilizan en el regadío de campos de cultivo generando mayor contaminación.

Los problemas del tratamiento de las aguas residuales municipales se van agudizando, surgiendo la necesidad de realizarles un tratamiento. Para que esto se logre se recurre a muchos métodos de los cuales los más utilizados son los que involucran microorganismos debido a que son económicos, eficientes y no generan subproductos contaminantes.

Dada la importancia del tratamiento del agua residual, surge la necesidad de realizar estudios que sean de ayuda para mejorar este proceso. Muchos tratamientos biológicos se realizan en condiciones aeróbicas, en las cuales los microorganismos utilizan el oxígeno para degradar la materia orgánica, surgiendo la necesidad de suplir esta demanda de oxígeno por medio de aireadores^[3].

El propósito del presente trabajo es determinar el coeficiente de transferencia de oxígeno de la laguna de oxidación de aguas residuales, con la finalidad de determinar la potencia del aireador requerida para el proceso de aireación

³ Banu J. R.; Kaliappan S.; Yeom I. T., "Treatment of domestic wastewater using upflow anaerobic sludge blanket reactor", Journal Environmental Science Technology, 4 (3): 363-370, 2007.

utilizando un biorreactor que permita elaborar el lenguaje de programación Matlab al tratamiento de aguas residuales.

En los diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales, los ingenieros que trabajan en esas plantas buscan determinar parámetros básicos que se encuentran en bibliografías ya existente. Esta práctica, aunque muy frecuente, no necesariamente es la más correcta, ya que los valores de los parámetros reportados en la literatura son promedios de resultados referentes a aguas residuales de industrias en otros países, pese a que aparentemente podría tener valor universal, esto no es así dado que, aun para una misma rama de producción, los procesos varían de país en país, como también raramente o nunca se reportan valores al constituir esta una rama implantada solo en determinada área geográfica^[4].

Durante la remoción de contaminantes en un sistema biológico, se desarrollan diferentes reacciones de degradación, así como reacciones de producción de microorganismos, entre otras. Todo esto se lleva a cabo en el reactor biológico aireado. Por lo tanto la transferencia de masa durante el proceso es básica para la biodegradación aerobia de los contaminantes y el buen desempeño del sistema. Para la determinación del coeficiente de transferencia de oxígeno, es de suma importancia la aireación a las muestras, sin el debido oxígeno la concentración del contaminante sería mayor, por lo que los sistemas biológicos requieren del suministros de oxígeno para que los microorganismos puedan oxidar la materia orgánica CO_2 y H_2O , depurando las aguas residuales.

1.2 Delimitaciones y Definición del Problema

1.2.1 Delimitaciones

A. Delimitación Espacial.

El presente trabajo se desarrollara en las inmediaciones del sumidero de aguas residuales en el sector de Leticia de la provincia de Pisco.

B. Delimitación Temporal.

El estudio de manera integral tendrá una duración de 5 meses en el presente año 2016.

⁴ Sergio A Martínez & Miriam G. Rodríguez R., "Tratamiento de aguas residuales con MATLAB. Editorial Reverte.2005.

C. Delimitación Social.

El entorno social abarca a los pobladores del sector Leticia de Pisco playa, sin embargo este estudio tendrá un alcance a nivel provincial.

D. Delimitación Conceptual

El coeficiente de transferencia de oxígeno en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ciudad Pisco se determinará utilizando agua residual. Se determinará el coeficiente de transferencia de oxígeno para diferentes condiciones de agitación y cantidad de aire suministrado en un tanque de 10 litros en un modelo a escala de laboratorio.

1. Tecnología de información.

Para el presente estudio se cuenta con tecnología de información actualizada y el uso de software específicos.

2. Gestión del Proceso escogido.

El proceso seleccionado para la captación y tiempo de retención calculado será a nivel de laboratorio.

1.2.2 Definición del Problema

Los Principales Problemas Sociales son:

Actualmente los Municipios están implementando normas ambientales con el fin de prevenir la contaminación ambiental desmedida, esto hace que las industrias busquen estrategias para el control y tratamiento de sus efluentes líquidos, para así lograr que las aguas residuales antes de ser vertidas en alcantarillas o cauces de ríos cumplan con las normas técnicas ecológicas vigentes en lo que a efluentes líquidos se refiere.

Los Principales Problemas Técnicos son:

Las aguas residuales que son generadas por las actividades humanas, sólo en países desarrollados son tratadas antes de ser arrojadas a fuentes naturales. Sin embargo, en casi todos los países todavía las industrias arrojan las aguas de desecho a las alcantarillas o cauces de ríos, sin ningún tratamiento previo y en la mayoría de los países subdesarrollados son pocas las industrias que les dan algún tratamiento antes de desechar las descargas líquidas, esto hace que el problema de la generación de las aguas residuales aumente a medida que crece la población, la industria y las demás actividades humanas.

Los Principales Problemas Comerciales son:

En muchos proyectos de implantar plantas de tratamiento de aguas residuales es necesario comparar costos para hacer la selección de la alternativa de costos mínimo. Dicho costo depende, básicamente, del costo inicial de cada componente, de los costos de operación y mantenimiento y de la vida útil. Para la comparación de sistemas de tratamiento de aguas residuales se acostumbra utilizar dos técnicas de análisis: la técnica de valor presente o la de costos totales anuales.

Los Principales Problemas Legales son:

Se basa en uno o dos criterios: calidades de las aguas superficiales o norma de limitación de vertidos. Las normas de calidad de las aguas superficiales incluyen el establecimiento de calidad de aguas de los receptores, aguas abajo del punto de descarga. Mientras que las normas de limitación de vertidos establecen la calidad del agua residual en su punto de vertido mismo. Las normas de calidad seleccionadas dependen de los usos del agua: algunas de estas incluyen: Concentración de Oxígeno Disuelto (OD, mg/L), DBO, DQO, pH, Color Turbidez, Dureza (mg/L); Sólidos Disueltos Totales (TDS, mg/L); Sólidos en Suspensión (SS, mg/L), Concentración de Productos Tóxicos (mg/L), Olor, Temperatura.

1.3 Formulación del Problema.**1.3.1 Problema principal.**

¿En qué medida la determinación del coeficiente de transferencia de oxígeno permite una mejor eficiencia en el dimensionamiento de un sistema convencional de aireación con Matlab de aguas residuales en el sector Leticia de la Provincia de Pisco?

1.4 Objetivo de la Investigación

Realizar la determinación del coeficiente de transferencia de oxígeno permite una mejor eficiencia en el dimensionamiento de un sistema convencional de aireación con Matlab de aguas residuales en el sector Leticia de la Provincia de Pisco.

1.5 Hipótesis de la investigación.

La determinación del coeficiente de transferencia de oxígeno permite una mejor eficiencia en el dimensionamiento de un sistema convencional de aireación con Matlab de aguas residuales en el sector Leticia de la Provincia de Pisco

1.6 Variables e Indicadores

1.6.1 Variable Independiente

Determinación del coeficiente de transferencia de oxígeno

A. Indicadores

Velocidad del Consumo de oxígeno

B. Índices.

KgO_2/h

1.6.2 Variable Dependiente

Dimensionamiento de un sistema convencional de aireación

A. Indicadores

Potencia de los aireadores

B. Índices

Hp

1.7 Viabilidad de la investigación.

1.7.1 Viabilidad técnica

Si existen los medios tecnológicos y recursos necesarios para realizar el presente trabajo.

1.7.2 Viabilidad operativa.

Las muestras obtenidas serán procesadas en laboratorios con la participación y apoyo de técnicos de EMAPISCO.

1.7.3 Viabilidad económica.

El financiamiento para este estudio no es costoso por lo que se hace viable económicamente.

1.8 Justificación e Importancia de la Investigación.

1.8.1 Justificación

Los fenómenos de transferencia de masa que ocurren durante el crecimiento de microorganismos en medio líquido, implican disolución de nutrientes, transferencia de productos y uno de los más importantes corresponde a la transferencia de oxígeno. Este factor representa en algunos cultivos limitaciones debidas a la baja solubilidad del oxígeno en los medios de cultivo con sales disueltas y alta viscosidad^[5].

Los procesos y técnicas de fermentación en biotecnología son objeto de múltiples estudios con el fin de mejorar las condiciones de producción en cuanto a los mecanismos de transferencia de oxígeno, éstos normalmente se enfocan a idear configuraciones y reactores que llevan a la necesidad de disponer de instrumental específico.

El sistema de fermentación con aireador externo estudiado, se diferencia de los reactores reportados por la literatura como las columnas de burbujeo y Airlift, porque en este nuevo sistema inciden variables como la presión, los tiempos de residencia, la relación de flujos de líquido y de gas, en el contacto gas líquido. La configuración propuesta se constituye en un mecanismo versátil y eficiente para algunos cultivos aerobios, ya que provee alta tasa de transferencia de oxígeno en biorreactores.

El estudio sistemático del efecto de las velocidades de aireación y agitación sobre la transferencia de oxígeno, en el sistema convencional de tanque agitado y difusor interno, provee los valores base de comparación, a partir de los cuales se evalúa la capacidad del sistema propuesto. Los microburbujeadores en tanques agitados son recomendados para cultivos con microorganismos sensibles al estrés mecánico, ya que disminuyen los requerimientos en flujo de aire y velocidades de agitación^{[6],[7]}. Con estos dispositivos se reduce el tamaño de burbuja, incrementando el área superficial total y el área de contacto con la fase líquida. Adicionalmente, si se incrementa la presión del sistema, la solubilidad y la difusividad se promueven, aumentando la transferencia de oxígeno y disminuyendo la formación de espuma. El espumado en fermentadores en ocasiones constituye una limitación de los sistemas de aireación tradicionales de

⁵ Bandaiphet C., P.P., Effect of aeration and agitation rates and scale-up on oxygen transfer coefficient, k_La in exopolysaccharide production from *Enterobacter cloacae* WD7 Carbohydrate Polymers, 2006.

⁶ Weber J. and Agblevor F., Microbubble fermentation of *Trichoderma reesei* for cellulase production. Process Biochemistry 2005. 40: p. 669-676..

⁷ Czermak P., Weber C., and Nehring D., A ceramic microsparging aeration system for cell culture reactors. Publication Series of Institute of Biopharmaceutical Technology, 2005..

tanque agitado, donde ante la imposibilidad de aumentar las velocidades de agitación para no inducir estrés mecánico, se opta por aumentar los flujos de aire en pro de mantener disponible oxígeno para el cultivo.

Como el objetivo de esta investigación es la determinación del coeficiente de transferencia de oxígeno en el dimensionamiento de un sistema convencional de aireación es elaborar un programa con la herramienta matemática Matlab, éste servirá para uso académico en la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Alas Peruanas de Pisco; donde se pueda fundamentar los criterios de los sistemas biológicos aerobios que requieren suministro de oxígeno para que los microorganismos puedan oxidar la materia orgánica.

1.8.2 Importancia.

El agua es un recursos renovable que hace posible su tratamiento después de su uso razón por la cual se ha invertido recursos humanos y económicos con mira a su recuperación y reutilización. Además la producción creciente de energías alternativas permiten mirar más allá de los combustibles fósiles los cuales son recursos no renovables y su procesamiento ha repercutido en el medio ambiente, en esta instancia es una gran oportunidad el hecho de obtener energía limpia a partir de la aireación en sistemas de tratamiento de agua residuales porque proporciona dos beneficios inigualables para el ambiente y el ser humano, además de bases teóricas solidas que un futuro servirán para satisfacer la demanda de agua y energía.

La importancia de este tema radica en la creciente atención por la contaminación ambiental; las plantas de tratamiento serán la solución del futuro, que además serán capaces de generar energía eléctrica sino que permiten disminuir la carga orgánica presente en el agua residual, permitiendo realizar un tratamiento biológico a aguas contaminadas previo a su vertimiento en los distintos cuerpos de agua. Estas futuras plantas de tratamiento ayudaran a las lagunas de oxidación existentes y que permitirán captar la energía derivada del proceso de oxidación y reducción que realizan cierto tipo de bacterias sobre la materia orgánica contenida en el agua residual. Este proceso que se realiza en condiciones anaeróbicas, se constituye en una etapa de tratamiento biológico de aguas de residuales dicho anteriormente que ayuda a disminuir su contaminación.

1.9 Limitaciones de la Investigación

Como en toda investigación, siempre hay obstáculos ya sean teóricos, metodológicos o prácticos que dificultan y en marcan el desarrollo de la investigación. Las limitaciones de la presente investigación son las escasas investigaciones sobre la materia en estudio.

1.10 Tipo y Nivel de la Investigación

1.10.1 Tipo de investigación.

Por el tipo de investigación, el presente estudio reúne las condiciones metodológicas de una investigación aplicada, en razón, que se utilizaron conocimientos de la Ciencia de la Ingeniería Ambiental. A fin de aplicarlas en el tratamiento de aguas residuales con Matlab y predecir la transferencia de oxígeno que se lleva en la superficie del biorreactor, por lo que se calcula una concentración de saturación en la altura media del biorreactor.

1.10.2 Nivel de investigación.

De acuerdo a la naturaleza del estudio de la investigación, reúne por su nivel las características de un estudio explicativo buscando definir claramente el estado actual y futuro de la estimación de la velocidad de consumo e oxígeno disuelto.

1.11 Método y Diseño de la investigación

1.11.1 Método de la investigación.

En la presente investigación utilizaremos el método inductivo deductivo.

1.11.2 Diseño de la investigación.

El diseño a utilizarse será el diseño factorial 2^n

1.12 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información

1.12.1 Técnicas.

Las principales técnicas que utilizaremos en la investigación son:
Análisis y observación.

1.12.2 Instrumentos.

Guía de análisis documental
Legislación
Situación Ambiental

1.13 Cobertura de Estudio

1.13.1 Universo.

Se tomó en cuenta como población la laguna de oxidación ubicado en el sector Leticia de la Provincia de Pisco.

1.13.2 Muestra

La muestra considerada para los datos en el sistema de aireación es de 350 KgO₂/d, con un volumen de 3500 m³ y una concentración de oxígeno en el biorreactor de 2.2 mg/l.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la Investigación

2.1.1 Diseño de un Sistema de Aireación Para Una Planta de Lodos Activados en Zofranca Mamonal

Anibal Alviz Meza y David Camilo Cueto Ferreira

Resumen

En esta investigación se propone la modificación del sistema de aireación en el reactor biológico de la planta de lodos activados de Zona Franca-mamonal ubicada en la ciudad de Cartagena. Esta planta actualmente no cuenta con un sistema de aireación que permita llevar a cabo el proceso de digestión aerobia por parte de los microorganismos del reactor, dando como resultado el vertido de altos caudales de agua contaminados sobre los cuerpos de aguas de Cartagena y la destrucción continua de los ecosistemas aledaños. A la luz de esta creciente problemática se propuso diseñar y optimizar el sistema de aireación del sistema de lodos activados.

El sistema de aireación propuesto consiste en una serie de difusores tipo domo, dispuestos en malla en el fondo del reactor y a lo largo de una tubería de acero inoxidable, capaz de transferir el flujo a través de burbujas finas según los requerimientos del proceso. Uno de los objetivos para este diseño de difusores, consiste en aumentar la transferencia de oxígeno en los afluentes tratados en el sistema de lodos activados, de la mano de la variación del caudal de aire, como parámetros fundamentales en el proceso de transferencia de masa y optimizando al mismo tiempo su valor a través de un análisis de sensibilidad con los parámetros más importantes del proceso. A partir de los resultados arrojados por los análisis de sensibilidad y optimización del caudal de aire, se demostró que la tasa de transferencia de oxígeno a la fase líquida, se maximiza para pequeños valores del caudal y que se vuelve más pequeña a

medida que el caudal aumenta en el proceso. Por lo tanto la mejor elección que se pudo hacer para el valor del caudal fue el mínimo requerido por el proceso, para evitar de esta manera los gastos energéticos innecesarios y permitir de esta manera no solo la optimización del proceso, sino que también una correcta puesta en marcha que solucione los problemas de contaminación sobre los ecosistemas aledaños.

2.1.2 Evaluación de la transferencia de oxígeno en un biorreactor convencional con aireador externo

Evaluation of oxygen transfer in a conventional bioreactor with external aerator

Gustavo Buitrago H.*, Ángela M. Otálvaro A.**, Paola G. Duarte B.

Resumen

En el cultivo de microorganismos aerobios se ha observado que los biorreactores convencionales conducen a inconvenientes asociados a la limitación de oxígeno. Para dar solución a esta problemática se diseñó, construyó y evaluó un prototipo de biorreactor con aireador externo. Este sistema permitió incrementar la velocidad de transferencia del oxígeno desde la fase gaseosa a la fase líquida, superando la limitación de oxígeno. Sin embargo, esta nueva configuración carece de modelos empíricos o teóricos para predecir la transferencia de oxígeno a través del cálculo del coeficiente global de transferencia de oxígeno (KL_a). En ese sentido, en este trabajo se propuso el uso de análisis dimensional (Teorema Pi de Buckingham), como herramienta para evaluar el efecto sobre el KL_a de las diferentes variables involucradas en el proceso, como las de operación, las propiedades de los fluidos y dimensiones geométricas. Luego de desarrollar el análisis propuesto, se encontró una correlación de 0.89 entre los valores generados por el modelo y los datos experimentales disponibles. Se encontró que las variables con mayor incidencia sobre el coeficiente KL_a son el flujo de medio de cultivo que circula por el aireador externo denominado flujo de recirculación, la presión en el aireador externo y la velocidad de agitación.

Palabras clave: aireador externo, coeficiente volumétrico de transferencia de oxígeno (KL_a), Teorema Pi de Buckingham.

2.1.3 Determinación del Coeficiente de Transferencia de Oxígeno En Aguas Residuales Como Parámetro Para el Dimensionamiento Del Equipo De Aireación de un Biodigestor Aeróbico

Autor: María Paula Chávez Paredes

Resumen

En la actualidad, el tratamiento de las aguas residuales industriales ha adquirido mayor importancia, ya que el mismo permite que el impacto ambiental de las industrias se disminuya y que la contaminación producida se encuentre dentro de los límites aceptables. Sin embargo, los tratamientos también tienen diversos costos asociados, por lo cual las industrias se encuentran en la necesidad de optimizar este proceso, estudiando las posibilidades para utilizar el tratamiento de aguas residuales que se adapte mejor a sus necesidades y utilizar el equipo adecuado, de tal forma que el costo para el tratamiento de agua sea el menor posible.

El presente trabajo de graduación se centra en la determinación y el estudio del coeficiente de transferencia de oxígeno y de la potencia del aireador de una planta de tratamiento de aguas residuales provenientes de una industria guatemalteca de alimentos, con la finalidad de determinar la potencia óptima a utilizar para proporcionar la cantidad de oxígeno necesaria para el crecimiento de los microorganismos responsables de la degradación biológica.

Previo a la ejecución de la parte experimental, fue necesario contar con la información bibliográfica necesaria, la cual se encuentra recopilada en el marco teórico del presente trabajo. Dicho marco teórico está compuesto por 4 capítulos: en el primer capítulo se describe lo que son las aguas receptoras, mientras que en el segundo se describen las aguas residuales, sus principales constituyentes, los controles y tratamientos que deben de aplicárseles a esta agua para eliminar los residuos biológicos, los métodos de reutilización y manejo de biosólidos.

En el capítulo tres se abarcan algunos de los aspectos más importantes de la influencia de los microorganismos en el tratamiento aeróbico de aguas residuales, como lo son la cinética del crecimiento biológico, la tasa de crecimiento, los métodos de recuento de microorganismos y los factores que afectan el crecimiento microbiológico.

En el último capítulo del marco teórico se describen las diferentes teorías de la transferencia de oxígeno en el agua, así como los diferentes equipos de aireación que pueden utilizarse en el tratamiento de aguas residuales.

La parte experimental está basada en la determinación de la cantidad de oxígeno disuelto en el agua a diferentes intervalos de tiempo, después de haberle aplicado aireación, al interrumpir la misma y al reincorporársela de nuevo. Adicional, se realizó un recuento microbiológico, por medio del cual fue posible determinar las tendencias del crecimiento microbiológico al aplicar la aireación por diferentes intervalos de tiempo.

A partir del análisis de los resultados obtenidos en la parte experimental se determinó que el coeficiente máximo de transferencia de oxígeno de la planta de tratamiento de aguas residuales de la planta de alimentos estudiada es de 4.3kg/kg-min, tendiendo este coeficiente a disminuir al aumentar la cantidad de microorganismos presentes.

Se determinó a su vez el tiempo óptimo de aireación del agua residual de esta planta de tratamiento, siendo éste de 15 a 20 horas, debido a que en este punto la tasa específica de crecimiento de microorganismos se encuentra en su punto máximo. Para proveer la cantidad de oxígeno necesaria para el tratamiento de esta agua residual es necesario contar con una bomba cuya potencia sea de 2.5HP.

Palabras Clave: *Modelo, modelo de dispersión, contaminantes atmosféricos, emisiones, modelación, dispersión atmosférica, Antillana de Acero.*

2.2 Marco Histórico.

Al trabajar con biorreactores para el cultivo de microorganismos aerobios con altas demandas de oxígeno, una de las principales limitaciones está asociada a la transferencia de este sustrato al medio de cultivo. La transferencia de oxígeno constituye un factor muy importante en el crecimiento de los microorganismos y es variable fundamental para el escalado y la economía de los sistemas de biosíntesis aerobia. La concentración de oxígeno disuelto en un cultivo con microorganismos aerobios depende de la tasa de transferencia de oxígeno de la fase gas al líquido, de la velocidad de transporte del oxígeno hacia las células y

de la tasa de consumo de oxígeno por los microorganismos para el crecimiento, mantenimiento y producción de metabolitos y estructuras celulares^[8].

En el biorreactor, la transferencia de oxígeno está afectada por diferentes factores que intervienen sobre la hidrodinámica de éste, como: las propiedades físicas tanto del medio de cultivo como del gas utilizado para aportar el oxígeno, los parámetros geométricos del biorreactor, las condiciones de operación a las que se desarrolla el proceso y el tipo de microorganismo cultivado^[9]. Con el propósito de conocer el efecto de estos factores sobre la transferencia de oxígeno, se han desarrollado diferentes trabajos para evaluar la incidencia de cada factor buscando mejorar los procesos de transferencia de oxígeno, logrando en algunos casos superar las limitaciones a las que los microorganismos se encuentran expuestos en los diseños convencionales^[10].

El oxígeno disuelto es un nutriente limitante en cultivos con alta demanda de oxígeno, lo cual puede deberse a la velocidad de crecimiento del microorganismo, a una alta producción de biomasa o a que las propiedades geológicas de los medios de cultivo ofrezcan resistencia a la transferencia de masa^[11]. Sin embargo, una de las razones principales por las que la disponibilidad del oxígeno en el medio de cultivo es limitada, está relacionada con su baja solubilidad en soluciones acuosas de nutrientes. Para superar este inconveniente y evitar que la transferencia de oxígeno sea el paso controlador para el crecimiento microbiano, viéndose afectado el cultivo y el bioproceso^[12], se emplean como alternativas convencionales cambios en la velocidad de agitación o en el flujo de aireación o en los sistemas de distribución de aire^{[13],[14],[15],[16]}.

-
- 8 Galaction A., Cascaval D., Oniscu C., Turnea M. 2004. Prediction of oxygen mass transfer coefficients in stirred bioreactors for bacteria, yeasts and fungus broths. *Biochemical Engineering Journal*. 20(1): 85–94.
- 9 Deckwer W. D., Schumpe A. 1993. Improved Tools for bubble column reactor design and scale-up. *Chemical Engineering Process*.
- 10 García-Ochoa F., Gómez E. 2009. Bioreactor scale-up and oxygen transfer rate in microbial processes: An overview. *Biotechnology advances*.
- 11 Casas J. A., Santos V., García-Ochoa F. 2000. Xanthan gum production under several operational conditions: molecular structure and rheological properties. *Enzyme and Microbial Technology*.
- 12 García-Ochoa F., Gómez E. 2009. Bioreactor scale-up and oxygen transfer rate in microbial processes: An overview. *Biotechnology advances*.
- 13 Akita K., Yoshida F. 1973. Gas holdup and volumetric mass transfer coefficient in bubble columns. *Industrial & Engineering Chemistry Process Design and Development*.
- 14 Nikakhtari H., Hill G. 2005. Hydrodynamic and oxygen mass transfer in an external loop airlift bioreactor with a packed bed. *Biochemical Engineering Journal*.
- 15 Flores-Cotera L., García-Salas S. 2005. Gas holdup, foaming and oxygen transfer in a jet loop bioreactor with artificial foaming media and yeast culture. *Journal of Biotechnology*.
- 16 Yazdian F., Shojaosadati S.A., Nosrati M., Pesaran Hajiabbas M., Vasheghani-Farahani E. 2009. Investigation of gas properties, design, and operational parameters on hydrodynamic characteristics, mass transfer, and biomass production from natural gas in an external airlift loop bioreactor. *Chemical Engineering Science*.

2.3 Bases Teóricas

2.3.1 Generalidades

Las aguas residuales pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias^[17].

Según su origen, las aguas residuales resultan de la combinación de líquidos y residuos sólidos transportados por el agua que proviene de residencias, oficinas, edificios comerciales e instituciones, junto con los residuos de las industrias y de actividades agrícolas, así como de las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que también pueden agregarse eventualmente al agua residual^[18].

Así, de acuerdo con su origen, las aguas residuales pueden ser clasificadas como:

- **Domésticas:** Son aquellas utilizadas con fines higiénicos (baños, cocinas, lavanderías, etc.). Consisten básicamente en residuos humanos que llegan a las redes de alcantarillado por medio de descargas de instalaciones hidráulicas de la edificación, también en residuos originados en establecimientos comerciales, públicos y similares.
- **Industriales:** Son líquidos generados en los procesos industriales. Poseen características específicas, dependiendo del tipo de industria.
- **Infiltración y caudal adicionales:** Las aguas de infiltración penetran en el sistema de alcantarillado a través de los empalmes de las tuberías, paredes de las tuberías defectuosas, tuberías de inspección y limpieza, etc. Hay también aguas pluviales, que son descargadas por medio de varias fuentes, como canales, drenajes y colectores de aguas de lluvias.

¹⁷ Mara, D., (1976). Sewage treatment in hot climates. Jhon Wiley and Sons. Londres.

¹⁸ Mendonca, S., (2000). Sistema de lagunas de estabilización. McGraw-Hill Interamericana.

- **Pluviales:** Son aguas de lluvia, que descargan grandes cantidades de agua sobre el suelo. Parte de esta agua es drenada y otra escurre por la superficie, arrastrando arena, tierra, hojas y otros residuos que pueden estar sobre el suelo.

Cada persona genera 1,8 litros de material fecal diariamente, correspondiendo a 113,5 gramos de sólidos secos, incluidos 90 gramos de materia orgánica, 20 gramos de nitrógeno, más otros nutrientes, principalmente fósforo y potasio^[19].

Según la clasificación en la que se encuentre un efluente de agua se procederá a realizar su respectivo tratamiento, para luego poder ser vertidas en el ambiente biológico adecuado. Debido a que las sustancias presentes en estos efluentes son diferentes, se requieren de procedimientos diferentes para lograr la degradación de cada uno de ellos. Ante dicha problemática se hace necesario identificar cuáles son los contaminantes presentes en estos cuerpos de agua, sus concentraciones, sus propiedades físicas, químicas y sus respectivas repercusiones ambientales. En el caso de las aguas industriales, estos contaminantes pueden ser muy variados, dependiendo de cuál sea la labor realizada por la empresa y la forma de disponer los efluentes en el alcantarillado.

En cuanto a las aguas residuales domésticas, los contaminantes presentes se pueden caracterizar por el alto contenido de sólidos suspendidos, compuestos orgánicos, inorgánicos y condiciones (temperatura idónea, alimento y suficiente humedad) que proporcionan un medio adecuado para la supervivencia de microorganismos como las bacterias y protozoos, los cuales son útiles en los procesos biológicos para la transformación de la materia orgánica en otros productos estables.

La carga orgánica total en estas aguas es producto principalmente de los excrementos y la orina humana, los residuos de alimento, polvo y suciedades procedentes de los baños y el uso de los detergentes; estos compuestos se encuentran en alta cantidad y contienen en un 90% proteínas y carbohidratos.

¹⁹ Mara, D., (1976). Sewage treatment in hot climates. Jhon Wiley and Sons. Londres.

Los compuestos inorgánicos comunes en las aguas residuales son los siguientes:

- 1 Cloruros y sulfatos: presentes comúnmente en el agua con residuos generados por los seres humanos.
- 2 Nitrógeno y fósforo: estos se encuentran en sus dos formas, orgánica (residuos de los humanos) e inorgánica (como en el caso del fósforo proveniente de los detergentes).
- 3 Carbonatos y bicarbonatos: estos normalmente se encuentran presentes en las aguas con residuos de sales de calcio y magnesio.
- 4 Sustancias tóxicas: arsénico, cianuro y metales pesados como Cadmio, cromo, cobre, mercurio, plomo, zinc entre otros; estos se encuentran con frecuencia en residuos industriales. Los contaminantes y efectos causados por la aguas residuos industriales.

Los contaminantes y efectos causados por la aguas residuales se pueden observar en las Tablas 2.1 y 2.2, respectivamente ^[20].

TABLA 2.1: IMPORTANCIA DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES

CONTAMINANTES	MOTIVO DE SU IMPORTANCIA
Sólidos Suspendidos	Los sólidos suspendidos pueden llevar al desarrollo de depósitos de barro y condiciones anaerobias, cuando los residuos no tratados son volcados en el ambiente acuático
Materia Orgánica Biodegradable	Compuesta principalmente de proteínas, carbohidratos y grasas. Por lo general, se mide en términos de DBO y DQO. Si es descargada sin tratamiento al medio ambiente, su estabilización biológica puede llevar al consumo del oxígeno natural y al desarrollo de condiciones sépticas

²⁰ Mara, D., (1976). Sewage treatment in hot climates. Jhon Wiley and Sons. Londres.

Microorganismos Patógenos	Los organismos patógenos existentes en las aguas residuales pueden transmitir enfermedades
Nutrientes	Tanto el nitrógeno como el fósforo, junto con el carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando son lanzados en el ambiente acuático, pueden llevar al crecimiento de la vida acuática indeseable. Cuando son lanzados en cantidades excesiva en el suelo, pueden contaminar también el agua subterránea
Contaminantes Importantes	Compuestos orgánicos e inorgánicos seleccionados en función de su conocimiento o sospecha de carcinogenicidad, mutanogenicidad, teratogenicidad o elevada toxicidad. Muchos de estos compuestos se encuentran en las aguas residuales
Materia Orgánica Refractaria	Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales. Ejemplos típicos incluyen detergentes, pesticidas agrícolas, etc.
Metales Pesados	Los metales pesados son normalmente adicionados a los residuos de actividades comerciales e industriales, debiendo ser removidos si se va a usar nuevamente el agua residual.
Sólidos Inorgánicos Disueltos	Componentes inorgánicos como el calcio, sodio y sulfato son adicionados a los sistemas domésticos de abastecimiento de agua, debiendo ser removidos si se va a reutilizar el agua residual.

Fuente: Mara, 1976. Sewage treatment in hot climates. Jhon Wiley and Sons. Londres

TABLA 2.2: EFECTOS CAUSADOS POR AGUAS RESIDUALES

CONTAMINANTES	PARÁMETRO DE CARACTERIZACIÓN	TIPO DE EFLUENTES	CONSECUENCIAS
Sólidos Suspendidos	Sólidos suspendidos Totales	Domésticos Industriales	Problemas estéticos, depósitos de barros, adsorción de contaminantes, protección de patógenos.
Sólidos Flotantes	Aceites y grasas	Domésticos Industriales	Problemas estéticos
Materia Orgánica Biodegradable	DBO	Domésticos Industriales	Consumo de Oxígeno, mortalidad de peces, condiciones sépticas
Patógenos	Coliformes	Domésticos	Enfermedades transmitidas por el agua
Nutrientes	Nitrógeno Fósforo	Domésticos Industriales	Crecimiento excesivo de algas (eutrofización del cuerpo receptor), toxicidad para los peces (amonio), enfermedades en niños
Metales Pesados	Elementos específicos (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn.)	Industriales	Problemas con la disposición de los barros en la agricultura, contaminación del agua subterránea

Fuente: Mara, 1976. Sewage treatment in hot climates. Jhon Wiley and Sons. Londres

2.3.2 Concentración de las aguas residuales.

Cuanta más alta sea la cantidad de materia orgánica contenida en un agua residual, mayor será su concentración. El término materia orgánica se utiliza como indicativo de la cantidad de todas las sustancias orgánicas presentes en un agua residual.

Para cuantificar la masa de materia orgánica se utilizan las mediciones de DBO y de DQO. En general estos dos indicadores se expresan en mg/L o g/m³.

La concentración del agua residual de una población depende del consumo de agua. En Estados Unidos, donde el consumo es elevado (350 a 400 L/d/h) el agua residual es diluida (la DBO varía de 200 a 250 mg/L), mientras que en países en desarrollo, el agua residual es más concentrada (la DBO varía de 400 a 700 mg/L) y el consumo de agua es más bajo (40 a 100 L/h/d).

Otro factor que determina la concentración del agua residual doméstica es la DBO (cantidad de residuo orgánico) producida a diario por habitante. Datos obtenidos de los valores de las DBO per cápita en el estado de San Pablo, en función de las principales características de las ciudades, presentaron los siguientes resultados: 45 g/hab/día para ciudades pequeñas; 60 g/hab/día para ciudades intermedias y 75 g/hab/día para ciudades grandes^[21].

2.3.3 Medición de la concentración de contaminantes en aguas residuales.

Los contaminantes en las aguas residuales son normalmente una mezcla completa de compuestos orgánicos e inorgánicos. Los métodos analíticos para contaminantes orgánicos pueden clasificarse en dos grupos^[22].

Grupo 1: Métodos cuyo parámetro es el oxígeno

- Demanda teórica de oxígeno (DTeO)
- Demanda química de oxígeno (DQO)
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)
- Demanda total de oxígeno (DTO)

²¹ Mendonca, S., (2000). Sistema de lagunas de estabilización. McGraw-Hill Interamericana.

²² Ramalho, R., (1983). Introducción a los procesos de tratamiento de aguas residuales.

Grupo 2: Métodos cuyo parámetro es el Carbono:

- Carbono orgánico total (COT)
- Carbono orgánico teórico (COTe)

Los métodos más usados para medir la cantidad de compuestos orgánicos son la DQO (*Demanda Química de Oxígeno*) que mide la cantidad de oxígeno necesario para oxidar químicamente las sustancias orgánicas presentes y la DBO (*Demanda Bioquímica de Oxígeno*) que mide la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos aclimatados para degradar biológicamente la materia orgánica de las aguas residuales.

Para el tratamiento de aguas domésticas se utiliza como referencia la DBO, debido a que consisten generalmente en la aplicación de procesos biológicos aerobios. En base a los parámetros obtenidos a partir de la medición del DBO, se puede realizar el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales, tomando como referencia la cantidad de oxígeno necesaria, que permita alcanzar los límites establecidos en cuanto a la cantidad de materia orgánica presente en un efluente industrial^[23].

2.3.4 Demanda Química de Oxígeno

La DQO se obtiene por medio de la oxidación del agua residual en una solución ácida de permanganato o dicromato de Potasio ($K_2Cr_2O_7$). Este proceso oxida casi todos los compuestos orgánicos en gas carbónico (CO_2) y en agua. La reacción es completa en más de 95% de los casos. La ventaja de las mediciones de DQO es que los resultados se obtienen rápidamente (3 horas), pero tienen la desventaja de que no ofrecen ninguna información de la proporción del agua residual que puede ser oxidada por las bacterias ni de la velocidad del proceso de bio-oxidación.

2.3.5 Demanda Bioquímica de Oxígeno

La DBO es la cantidad de Oxígeno usada en la oxidación bioquímica de la materia orgánica, bajo condiciones determinadas en tiempo y temperatura. Es la principal prueba utilizada para la evaluación de la

²³ Clynn, H & Gary, H. (1999). Contaminación del agua. En Clynn, H & Gary, H. (Eds), Ingeniería Ambiental ,pp.421-428.Mexico.

naturaleza del agua residual. La DBO se determina generalmente a 20°C después de incubación durante 5 días; se mide el oxígeno consumido por las bacterias durante la oxidación de la materia orgánica presente en el agua residual, por cinco días a 20°C.

La demanda de Oxígeno de las aguas residuales se debe a tres clases de materiales:

- Materia orgánica Carbonosa usada como fuente de alimentación por los organismos aerobios.
- Nitrógeno oxidable derivado de nitritos, amoníaco y compuestos de nitrógeno orgánico, que sirven de sustrato para bacterias específicas del género Nitrosomonas y Nitrobacter, que oxidan el nitrógeno amoniacal en nitritos y nitratos.
- Compuestos reductores químicos, como sulfitos SO_3^{-2} , sulfuros S^{-2} y el ión ferroso Fe^{-2} que son oxidados por oxígeno disuelto.

Para aguas residuales domésticas, prácticamente toda la demanda de oxígeno se debe a la materia orgánica Carbonosa^[24].

2.3.6 Sistemas de tratamientos biológicos

Los componentes fundamentales de una planta convencional de tratamiento contiene: clarificadores, tratamiento biológico, desinfección y tratamiento de lodos. Este conjunto de etapas tienen como objetivo la eliminación de sólidos y, consecuente reducción de la DBO de los cuerpos de aguas.

Es importante resaltar que el método más adecuado para el tratamiento biológico, es un sistema de crecimiento en suspensión, el cual se ve altamente involucrado con los dispositivos de mezclado o de aireación que se utilicen en el reactor de lodos activados.

2.3.7 Lagunas de estabilización

Las lagunas de estabilización están constituidas por excavaciones poco profundas cercadas por taludes de tierra. Generalmente tiene forma rectangular o cuadrada. La eficiencia de la depuración del agua residual en lagunas de estabilización depende ampliamente de las condiciones

²⁴ Mara, D., (1976). Sewage treatment in hot climates. Jhon Wiley and Sons. Londres.

climáticas de la zona, temperatura, radiación solar, frecuencia, fuerza de los vientos locales y factores que afectan directamente a la biología del sistema.

Las lagunas de estabilización operan con concentraciones reducidas de biomasa que ejerce su acción a lo largo de periodos prolongados. La eliminación de la materia orgánica en las lagunas de estabilización es el resultado de una serie compleja de procesos físicos, químicos y biológicos, entre los cuales se pueden destacar dos grandes grupos:

- 1 Sedimentación de los sólidos en suspensión, que suelen representar una parte importante (40-60 % como DBO₅) de la materia orgánica contenida en el agua residual, produciendo una eliminación del 75-80 % de la DBO₅ del efluente.
- 2 Transformaciones biológicas que determinan la oxidación de la materia orgánica contenida en el agua residual.

2.3.8 Sistema de crecimiento en suspensión

Los sistemas de crecimiento en suspensión pueden ser muy variados, según las características en que se lleven a cabo los procesos aerobios:

- 1 ***Aireación prolongada:*** Este sistema consiste en prolongar la aireación hasta 24 horas, lo cual da estabilidad al proceso, pero aumenta el costo de operación. El tiempo de retención en los tanques finales es alrededor de dos veces que el de una planta convencional. La sencillez de este proceso promueve su uso en instalaciones pequeñas.
- 2 ***Estabilización por contacto:*** Este proceso también es llamado biosorción y consiste en que los lodos biológicos sufren una aireación prolongada. El proceso es ideal para residuos con una alta proporción de contaminantes orgánicos en forma de partículas, debido a que depende de la absorción de éstos por parte de los lodos estabilizados durante un periodo de contacto pequeño (*de 20 a 40 minutos*). Puesto que no existen tanques primarios, no se producen lodos primarios y la estabilización de los lodos residuales aerobios se ha llevado a cabo básicamente por la digestión aerobia.

Los altos costos energéticos limitan el uso de estos procesos a plantas pequeñas, con caudales menores a 4000 m³/día^[25].

- 3 Lodos activados convencionales:** Esta es la aplicación de uso más extensivo de crecimiento en suspensión, donde los microorganismos se mantienen en suspensión durante 4 u 8 horas en un tanque de aireación (*Reactores biológicos*) por medio de mezcladores mecánicos o aire difuso. Su concentración en el tanque se mantiene por el retorno continuo de flóculos biológicos sedimentados que provienen de un tanque de sedimentación secundario y luego se dirigen al tanque de aireación.

El contenido de los tanques de aireación se describe como el licor mixto y los sólidos se designan como: sólidos en suspensión en licor mixto (SSLM), donde estos últimos contienen material inerte y células microbianas muertas y vivas. Al igual que los tanques primarios, los tanques finales pueden ser rectangulares o circulares y en ocasiones cuadrados, pero proporcionan tiempos de retención más largos y regímenes de derrame más bajos.

De los flóculos biológicos que se sedimentan en los tanques finales (*también llamados clarificadores secundarios*) entre el 20 y 40% se devuelven al tanque de aireación, el resto (*llamado lodos activados por residuos*) debe recibir un tratamiento adicional.

En plantas pequeñas, estos lodos activados por residuos son devueltos a los tanques primarios para ser sedimentarlos con los lodos primarios. En plantas más grandes los lodos activados por residuos se espesan en los tanques finales por sedimentación gravitatoria o mediante flotación con aire disuelto antes de su digestión con los lodos activados^[26].

- 4 Sistema de aireación:** Es el proceso mediante el cual el agua se pone en contacto íntimo con el aire, para modificar las concentraciones de sustancias volátiles contenidas en ella. Su principal función en los procesos biológicos consiste en

²⁵ Romero, J. (2002). Aireación. Tratamiento de Aguas Residuales Teoría y Principios de Diseño. Bogota : Escuela Colombiana de Ingeniería, 375-401.

²⁶ Clynn, H & Gary, H. (1999). Contaminación del agua. En Clynn,H & Gary, H.(Eds), Ingeniería Ambiental ,pp.421-428.Mexico.

proporcionar oxígeno y mezclarlo con el agua residual, la cual está dirigida hacia la: transferencia de oxígeno disuelto, remoción de sustancias volátiles productoras de olores y sabores desagradables, dióxido de carbono, hidruro de azufre, hierro, magnesio, metano, cloro, amoníaco, y compuestos orgánicos volátiles. Los procesos de tratamientos biológicos aerobios, como el de lodos activados, requieren de concentraciones de determinadas cantidades de oxígeno disuelto, (*generalmente de 0,2 a 2,0 mg/L*) con el fin de asegurar un suministro adecuado de oxígeno para el consumo de los microorganismos responsables del tratamiento.

Los requerimientos de mezcla generalmente determinan la potencia requerida de los equipos de aireación. Los equipos de aireación empleados pueden ser de tres tipos:

Equipos de aireación difusa o de aire comprimido: El aire se rompe en burbujas y se dispersa a través del tanque.

Sistemas de turbina: Se dosifica aire debajo de las paletas de rotación de un impulsor sumergido.

Sistemas de aireación superficial: Un equipo colocado en la superficie del agua, ejecuta la transferencia de oxígeno mediante turbulencia superficial y aspersion de agua.

El uso de los difusores de aire permite la homogenización del oxígeno, lo cual a su vez permite que se disuelva el oxígeno de una manera más eficiente y que además se reduzca la cantidad de microorganismos presentes en las corrientes de aire tomadas del ambiente circundante. Estos dos aspectos particulares diferencian a los difusores de los aireadores mecánicos y las turbinas, transformándolo en la mejor opción a la hora de optimizar un proceso de aireación^[27].

- 5 **Aireación difusa:** se define como la inyección de gas, aire u oxígeno, bajo presión, por la parte inferior libre del fluido.

²⁷ Clynn, H & Gary, H. (1999). Contaminación del agua. En Clynn,H & Gary, H.(Eds), Ingeniería Ambiental ,pp.421-428.Mexico.

Estas inyecciones de gas lanzan a través del agua burbujas de aire provenientes de toberas o distribuidores, colocados en el fondo del tanque de aireación. El aire proveniente del fondo del tanque, es impulsado por un compresor con una presión que dependerá de la profundidad del agua en el mismo, de las pérdidas de presión en las tuberías, de la distribución y de la tasa de aplicación. En los casos de que se manejen presiones bajas (*del orden de 10 psi*) se usan sopladores directos o de presión positiva; que generalmente rotan a velocidad alta, para presiones altas es preferible utilizar compresores turbo.

El uso de los sistemas de aireación difusos es amplio en los sistemas de lodos activados. Los difusores producen pequeñas burbujas mediante poros. Los orificios preferidos son los de poro fino (*2 a 5 mm*), seguidos de los de poro semifino (*6 a 10 mm*) y los de burbuja gruesa (*>10 mm*). Los sistemas de aire difuso en general pueden transferir menos aire que los mecánicos, sin embargo la eficiencia de transferencia de oxígeno es más eficiente (*entre más pequeño sea el diámetro de burbujas*), dependiendo principalmente del diseño del difusor, de la burbuja producida, del caudal de aire y de la profundidad^[28].

2.3.9 Coeficiente de transferencia de oxígeno ($K_L a$)

El primer requerimiento para que se realice cualquier reacción química es la presencia de los reactivos en el sitio de reacción. En sistemas con multifases, las máximas tasas para el proceso de transporte son frecuentemente más bajas que las tasas máximas de reacción, lo cual significa que la tasa de reacción está limitada por el proceso de transporte. En reactores biológicos, el transporte de nutrientes hacia la superficie de la célula y la remoción de los residuos generados por el metabolismo desde la superficie de la célula al medio son procesos constantes que no deberían ser despreciados en el análisis de la transferencia de masa.

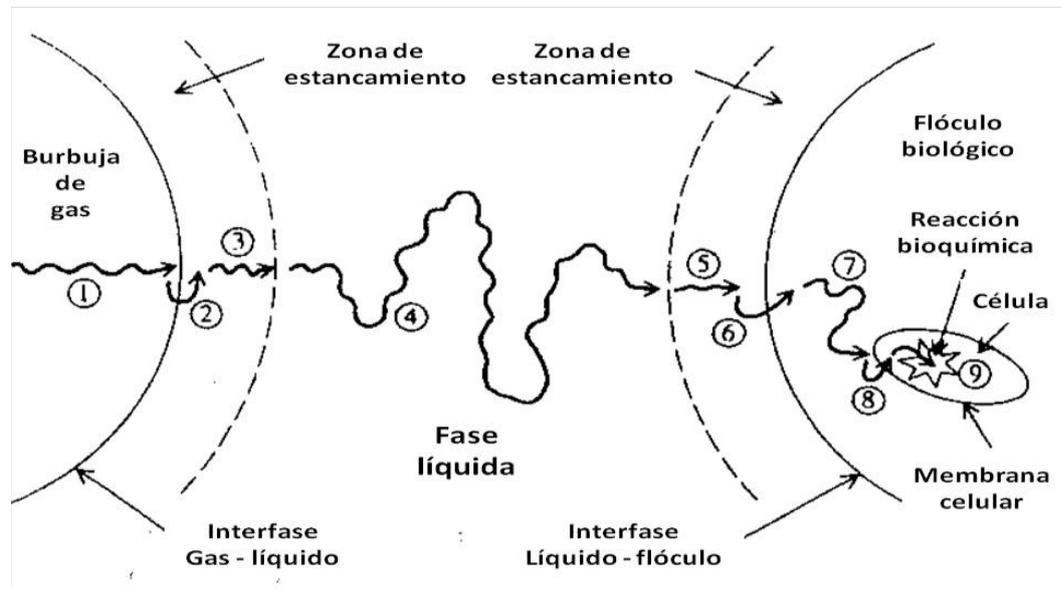
La transferencia de masa toma lugar por dos procesos básicos: difusión (gradiente de concentración) y convección (transporte por medio de la agitación). Si bien un proceso completo de transferencia de masa en

²⁸ Burton Franklin (1999). Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. McGraw-Hill.

principio requiere un completo conocimiento del campo de flujo, un tratamiento simplificado, como el que se esquematiza en la Figura 2.1, es la división a través de pasos individuales de transferencia de oxígeno de una burbuja de gas a la fase acuosa y, de ésta, al flóculo biológico como se ejemplifica a continuación^[29]:

1. La difusión del oxígeno del medio gas hacia la interfase líquida.
2. Transporte a través de la interfase gas – líquido.
3. Difusión del oxígeno a través de la región de estancamiento para una burbuja de gas.
4. Transporte de oxígeno en el cuerpo líquido a través de un mezclado, (convección) hacia un lugar no mezclado rodeado de células.
5. Difusión a través de la región de estancamiento de las células.
6. Transporte del líquido hacia el flóculo.
7. Transporte difusivo del oxígeno dentro del flóculo.
8. Transporte hacia la pared celular.
9. Transporte desde la pared celular para las reacciones intercelulares.

Figura 2.1: Pasos en la transferencia de oxígeno de una burbuja de gas hasta que es utilizada por la célula



Fuente: Nielsen J (2003). *Bioreaction Engineering Principles*. Edit. Kluwer Academic/Plenum Publisher.

2.3.10 Teoría de la transferencia de oxígeno en el agua

Existen varias teorías que han sido propuestas para el mecanismo de transferencia de oxígeno en el agua. Estas teorías son ampliamente utilizadas al modelar la cinética de la transferencia de oxígeno. De manera interesante, las formas más sencillas han probado ser efectivas en el diseño de aireación, cediendo resultados cercanos a modelos más complejos y que, por lo general, proporcionan predicciones equivalentes de transferencia de oxígeno.

La primera ley de Fick describe la tasa de movimiento de gas dentro de un líquido. Esta relación describe la tasa de transferencia de masa como directamente proporcional al gradiente de la concentración. Esto se expresa de la manera siguiente:

$$\frac{\partial m}{\partial t} = D_m A \cdot \frac{\partial C}{\partial t} \quad (2.1)$$

En la ecuación anterior:

$\frac{\partial m}{\partial t}$: Es la tasa de transferencia de masa en gramos por segundo (g/s),

D_m : Es el coeficiente de difusión molecular del gas en centímetros cuadrados por segundo (cm²/s),

A : Es el área a través de la cual ocurre la transferencia (cm²), y

$\frac{\partial C}{\partial t}$: Es el gradiente de concentración del gas.

Uno de los modelos iniciales para la transferencia de gas es el conocido modelo de dos películas, o modelo de **Lewis y Whitman**.

Este modelo sugiere que existen dos películas laminares de gas y líquido en la interfase, movilizándose el gas por difusión molecular a través de la película líquida y distribuyéndose por difusión turbulenta a través del líquido.

El modelo de dos películas para la transferencia de oxígeno describe la tasa de transferencia de la manera siguiente:

$$\frac{\partial m}{A \partial t} = D_m \cdot \frac{(C_s - C)}{L_f} \quad (2.2)$$

En esta ecuación:

- $\frac{\partial m}{A \partial t}$: Es la tasa de transferencia por unidad de área, C_s es la concentración de saturación de gas,
- L_f : Es el grosor de la película líquida, y
- C : Es la concentración de gas.

El modelo está basado en una película laminar estable en la interfase, requiriendo condiciones de flujo tranquilo. Estas condiciones rara vez se encuentran en el campo; aun así, la ecuación planteada ha sido ampliamente utilizada para describir efectivamente la transferencia de oxígeno y el diseño de aireación para muchas aplicaciones.

El modelo básico de transferencia de oxígeno, utilizado para determinar el tamaño de los sistemas de aireación, está basado en el **modelo de Lewis y Whitman**. Las siguientes ecuaciones presentan el modelo en formato diferencial.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = K_L a \cdot (C_s - C) \quad (2.3)$$

$$C = C_s - (C_s - C_o) \exp(-t \cdot K_L a) \quad (2.4)$$

En estas ecuaciones,

- C : Es la concentración de oxígeno disuelto (OD) en miligramos por litro (mg/L),
- C_s : Es la concentración de equilibrio de OD que se logra cuando el tiempo se acerca al infinito,
- C_o : Es la concentración de OD en el tiempo cero, y
- $K_L a$. Es el coeficiente de transferencia de masa definido como la tasa de transferencia de masa por unidad de volumen

dividida entre el gradiente diferencial de concentración ($C_s - C_o$), y

t : Es el tiempo en horas (h).

$\frac{\partial C}{\partial t}$: Capacidad de oxigenación $\frac{Kr O_2}{h \cdot m^2}$

Para el caso de aguas residuales, basta reemplazar C_s por C_{sr} .

Los datos recolectados a través de experimentos de transferencia de oxígeno pueden ser analizados a través del modelo de transferencia de masa, para calcular el coeficiente de transferencia de masa, $K_L a$ y la concentración de saturación, C_s .

El coeficiente de transferencia de oxígeno $K_L a$ es función de la naturaleza del agua (*agua limpia, agua residual con materias en suspensión o disueltas; presencia de materias tenso-activas*), del sistema de aeración empleado y de la forma geométrica del reactor.

2.3.11 Equipos de Aireación

Los dos métodos básicos para airear agua residual son

- Introducir aire u oxígeno puro por medio de difusores porosos sumergidos o boquillas.
- Agitar mecánicamente el agua residual de modo que se promueva la disolución del aire de la atmósfera.

Un sistema de aireación por difusores está formado por difusores sumergidos en el agua residual, brazos de aireación, conducciones de aire, y soplantes y accesorios a través de los cuales pasa el aire.

Los difusores más frecuentemente utilizados en los sistemas de aireación están diseñados de tal forma que produzcan burbujas pequeñas o relativamente grandes. Es esencial que el aire suministrado a los difusores porosos sea limpio y esté exento de partículas de polvo que puedan obstruirlo. Por ello, es muy frecuente el uso de filtros, como lo son el de aire y los filtros electrostáticos. El problema del polvo se reduce utilizando difusores con orificios grandes.

La cantidad de aire utilizada por kilogramo de DBO eliminado varía mucho de una a otra planta, existiendo cierto riesgo al comparar el uso del aire en distintas plantas, no sólo por los factores de diseño de cada una como lo son el tipo y porosidad del equipo de aireación (difusor), del tamaño de las burbujas producidas y de la profundidad de la submergencia, sino también por las diferentes cargas, criterios de control y procedimientos operatorios.

La aplicación de caudales de aire sumamente elevados a un lado del tanque puede disminuir la eficiencia de la transferencia de oxígeno e incluso reducir la transferencia neta de oxígeno al aumentar las velocidades de circulación.

2.3.12 Requerimientos de oxígeno

El fundamento principal en los sistemas de aireación es el de poner en contacto simultáneo el oxígeno, el agua residual y una población microbiana floculenta.

Los sistemas de aireación introducen aire dentro del líquido para transferir oxígeno molecular al medio acuoso para la oxidación biológica de materia orgánica. La aireación cumple con tres objetivos principales^[30].

1. Suministrar el oxígeno requerido para el metabolismo microbiano,
2. Proveer un mezclado dentro del reactor de tal forma que los microorganismos entren en contacto con la materia orgánica suspendida y disuelta.
3. Liberar del agua varios productos de desecho, resultantes del metabolismo de los microorganismos, como es el CO₂.

En la mayoría de los casos es la primera de las funciones, la que establece el requerimiento mínimo de aire comprimido o de energía mecánica a utilizarse.

El primer y tercer punto son procesos de transferencia de masa, que requieren para su correcto funcionamiento grandes superficies de

³⁰ WEF Manual of Practice No. 8 (1998). Desing of municipal wastewaters treatment. Rubio GR (1999). Aireación en el Proceso de lodos activados. Tesis de licenciatura. UNAM, México D.F. México

contacto entre el agua y el aire. El segundo requiere en cambio la suficiente energía mecánica suministrada al agua.

Los requerimientos de oxígeno en sistemas biológicos son resultado de cuatro demandas principales:

- Demanda bioquímica de oxígeno por remoción de materia orgánica carbonosa.
- Demanda bioquímica de oxígeno por respiración endógena de los microorganismos.
- Demanda bioquímica de oxígeno por remoción de compuestos nitrogenados.
- Demanda química de oxígeno por oxidación de materia inorgánica (como SO_4^{2-} y PO_4^{3-}).

Para determinar el requerimiento de oxígeno global se deben considerar las concentraciones de oxígeno disuelto, el régimen de flujo y el tiempo de residencia hidráulica.

2.3.13 Factores de corrección de K_La

Cuando se suministra oxígeno para los tratamientos biológicos aerobios, hay que definir los factores de corrección que relacionan la transferencia de oxígeno con la naturaleza del residuo tratado.

La relación que hay en la concentración de oxígeno disuelto en el agua corriente (C_s) y la concentración de oxígeno disuelto en un agua residual (C_{sr}), se le denomina factor de corrección β , que indica por medio de la solubilidad de oxígeno la tasa de transferencia debida a los constituyentes contenidos en el agua como sales, partículas y sustancias tensoactivas^[31], en condiciones de saturación está dada por la siguiente ecuación:

$$\beta = \frac{C_{sr}}{C_s} \quad (2.5)$$

³¹ Metcalf & Eddy (2003). Ingeniería de las aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. Edit. Mc Graw Hill. Nueva York, USA.

Para la mayoría de los casos, β , está en el intervalo de 0.92 – 0.98 o valores desde 0.7 – 0.98 siendo el valor más usado de 0.95.

El factor de corrección, α , que relaciona el coeficiente global de transferencia ($K_L a$) de las aguas residuales con el del agua corriente, viene dado por la siguiente ecuación:

$$\alpha = \frac{K_L a \text{ de Agua Residual}}{K_L a \text{ de Agua Corriente}} = \frac{K_L a_r 20^\circ\text{C}}{K_L a 20^\circ\text{C}} \quad (2.6)$$

Hay muchos factores que afectan a la magnitud α . Éstas incluyen: la temperatura del líquido, la naturaleza de los constituyentes orgánicos e inorgánicos disueltos, nivel de agitación o turbulencia del tanque de aireación, normalmente expresada en HP/m³ de volumen del tanque, características del equipo de aireación y profundidad del líquido así como las características geométricas del tanque^{[32], [33]}.

Normalmente este valor es inferior a la unidad y se espera que su valor aumente en el curso del proceso de oxidación^[34]. Valores típicos para difusores y aireadores mecánicos están dentro del rango de 0.4-0.8 y 0.6-1.2, respectivamente^[35]. Se menciona^[36] acerca del valor del factor de corrección, α , que tiende a empezar con un valor mayor de la unidad y baja hacia uno según progresa la purificación.

En la Tabla 2.3 se muestran algunos ejemplos de los valores de α para diferentes tipos de aguas residuales y con sistemas de aireación superficial.

³² Ramalho RS (1996). Tratamiento de aguas residuales. Edit. Reverté S. A. Barcelona, España.

³³ Metcalf & Eddy (2003). Ingeniería de las aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. Edit. Mc Graw Hill. Nueva York, USA.

³⁴ Ramalho RS (1996). Tratamiento de aguas residuales. Edit. Reverté S. A. Barcelona, España.

³⁵ Metcalf & Eddy (2003). Ingeniería de las aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. Edit. Mc Graw Hill. Nueva York, USA.

³⁶ Winkler MA (1994). Tratamiento Biológico de aguas de desecho. Edit. Limusa. España..

TABLA 2.3: VALORES TÍPICOS DEL FACTOR ALFA (α) PARA AIREADORES SUPERFICIALES PARA DIFERENTES TIPOS DE AGUAS RESIDUALES

TIPO DE AGUA RESIDUAL	DBO, mg/L		FACTOR α	
	INFLUENTE	EFLUENTE	INFLUENTE E	EFLUENTE
Aguas Residuales Urbanas	180	3	0.82	0.98
Papeleras	187	50	0.68	0.77
Papel Kraft	150-300	37-48	0.48-0.68	0.7-0.11
Papel Blanqueado	250	30	0.83-1.98	0.86-1.0
Industria Farmacéutica	4500	380	1.65-2.15	0.75-0.83
Industria de las Fibras Sintéticas	5400	585	1.88-3.25	1.04-2.65

Fuente: *Metcalf & Eddy (2003). Ingeniería de la las aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. Edit. Mc Graw Hill. Nueva York, US.*

La siguiente ecuación empírica para tener en cuenta el efecto de la temperatura, para agua corriente o agua residual propuesto es:^[37]:

$$(K_L a)_T = K_L a_{20^\circ C} * \theta^{T-20^\circ C}$$

Dónde:

$$\theta = 1.024$$

2.3.14 Reactores Biológicos

Se emplean reactores biológicos (birreactores) en el tratamiento de efluentes líquidos peligrosos, urbanos o industriales, para reducir los contaminantes que estos pueden acarrear dependiendo del tipo de proceso en que se generaron, reduciendo así la contaminación ambiental. El tipo de tratamiento que se da a cada efluente depende del tipo y concentración de los contaminantes, normalmente se elige el tratamiento biológico como tratamiento secundario de las aguas residuales.

³⁷ Eckenfelder WW (1995). Activated sludge treatment of industrial wastewater. Technomic Publishing Company, Inc. Lancaster, Pennsylvania, USA.

El uso de biorreactores procura generar un ambiente propicio para que la actividad biológica pueda ser realizada a gran escala, cumplir con los requisitos de calidad y carga contaminante impuestos por los municipios para el agua tratada y vertida.

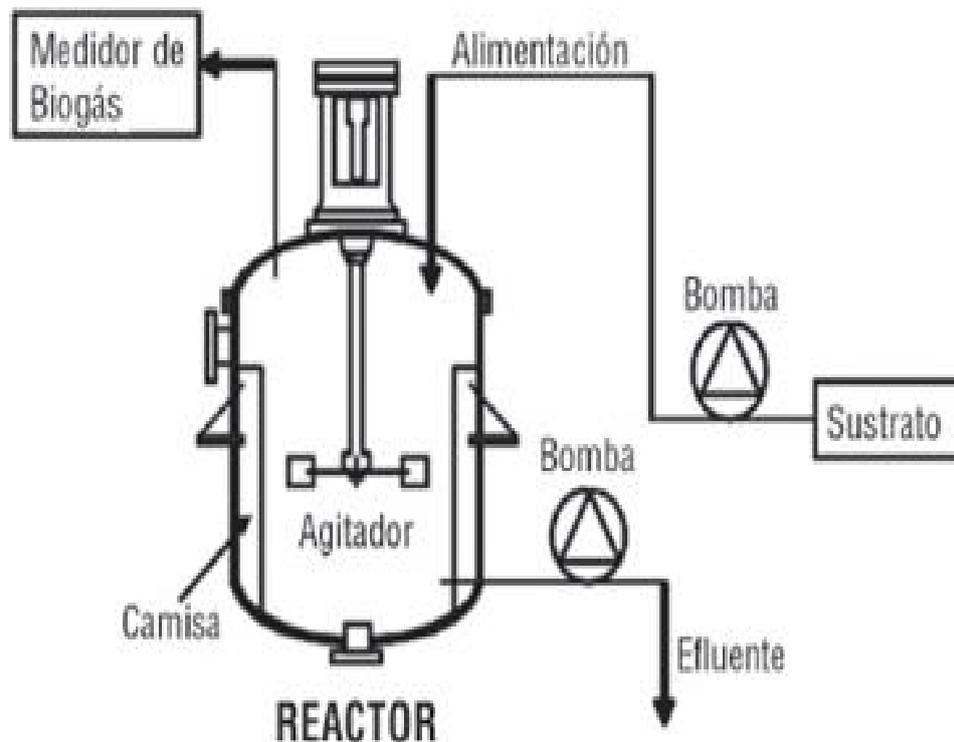
2.3.14.1 Clasificación de los retores biológicos

Reactores anaerobios.

En estos reactores se excluye el oxígeno del sistema, ya que este podría interferir con el metabolismo anaerobio. Requieren un mayor tiempo de residencia del residuo en el reactor, necesitando un reactor de alto volumen.

Ver Figura 2.2.

Figura 2.2. Reactor Anaerobio^[38]



³⁸ https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcR6_m2lleEWwgWh1quFKQFPxoda_7we3oKXuVGuFdH1a-wGaQmg.

Estos reactores son capaces de tolerar velocidades de carga altas, no requieren alto gasto de energía y generan menos biomasa.

Reactores aerobios.

Requieren siempre sistemas de aireación o difusores para dotar de oxígeno a los microorganismos. Una deficiencia de este reactor es la baja solubilidad del oxígeno en el agua, lo que hace pertinente la generación de una interfase aire-agua para suministrar el oxígeno suficiente al sistema.

Son más utilizados debido a la estabilidad que presenta el proceso y la facilidad de su control; también por la capacidad para eliminar la DBO₅, el nitrógeno y fósforo. Un inconveniente del uso de estos reactores es la alta producción volumétrica de biomasa (generalmente en el proceso de fangos activos)

Reactores continuos

La mayoría de tratamientos a gran escala se operan en modo continuo, especialmente si los residuos son generados en forma continua. Una variable importante considerada en este reactor es el tiempo de residencia, que es el tiempo medio que el efluente permanece en el reactor.

En un sistema continuo la concentración de contaminantes, biomasa o nutrientes, debe ser constante en todo el sistema y no variar en función del tiempo.

El problema que presentan estos sistemas es que si se produce una parada en el proceso que no puede ser corregida satisfactoriamente, se descarga un fluido que no cumplirá con los requisitos deseados. Los biorreactores continuos se pueden diseñar y operar como reactores de mezcla completa, flujo pistón ó una combinación de ambos.

Reactores discontinuos.

Generalmente son sistemas más sencillos, requieren mínimo equipo de apoyo.

Adecuado para tratar cantidades pequeñas de residuos, usados también cuando la reacción de descontaminación es

extremadamente larga ó en el tratamiento de sólidos (compostaje).

Figura 2.3. Reactor Discontinuo^[39]



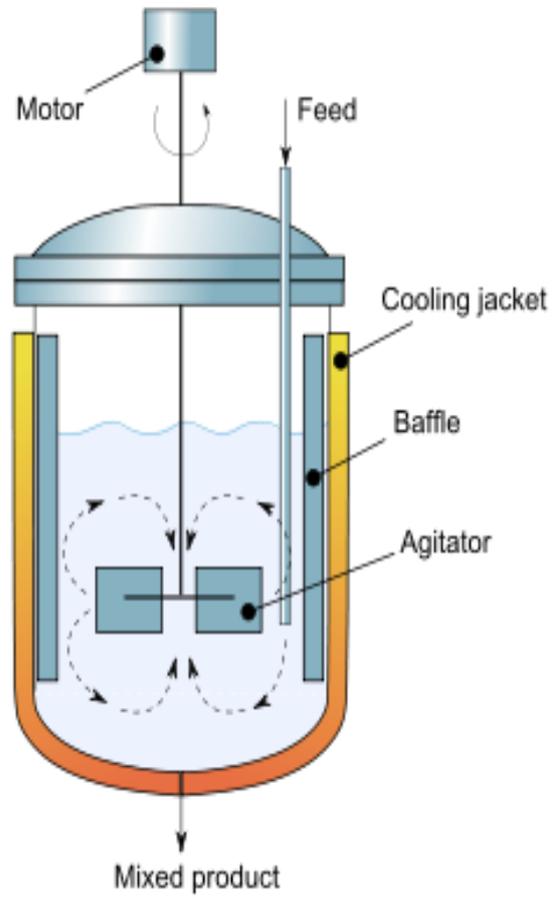
Los procesos discontinuos requieren de mayor personal y de instalaciones de almacenamiento para los residuos reentrantes hasta que se realice el tratamiento en el reactor, siendo poco práctico en operaciones a gran escala.

Reactores de mezcla completa.-

Para que el contenido en el reactor sea homogéneo se utiliza aparatos de tipos y calibres específicos los que deben lograr que el flujo que sale del reactor tenga la misma composición que el contenido en el mismo, homogeneizándose la mezcla. Se lo conoce frecuentemente como reactor de agitación continua ó CSTR (por sus siglas en inglés).

³⁹ https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcR6_m2lleEWwgWh1quFKQFPxoda_7we3oKXuVGuFdH1a-wGaQmg.

Figura 2.4. Reactor de Mezcla Completa^[40]



A este reactor también se le conoce como reactor de agitación continua.

⁴⁰ https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/be/Agitated_vessel.svg/300px-Agitated_vessel.svg.png.

CAPÍTULO III

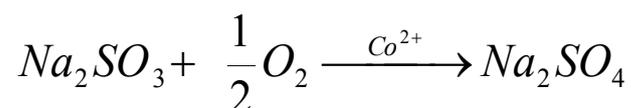
SOLUCIÓN PROPUESTA

3.1. METODOLOGIA : COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE OXÍGENO Y EL DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA CONVENCIONAL DE AIREACIÓN

3.1.1. COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE OXÍGENO (K_{ia}) DEL AGUA DE LLAVE

Esta prueba, consiste en eliminar (desoxigenación) el oxígeno disuelto (mediante nitrógeno o bisulfito) de un volumen conocido de agua de la llave, para después reaerarlo mediante el equipo de aireación a evaluar, incrementando paulatinamente la concentración de oxígeno disuelto, desde concentraciones de 0.0 mgO₂/L hasta valores cercanos a la saturación. Para la desoxigenación se utiliza el sulfito en presencia de un catalizador de Co²⁺ de la siguiente manera:

Desoxigenación:



Relación estequiometria:

$$\frac{Na_2SO_3}{\frac{1}{2}O_2} = \frac{126}{16} = 7.9$$

Es decir, por cada mg O₂ disuelto/L, se tiene que adicionar 7.9 mg de Na₂SO₃/L más un exceso del 20%. El CoCl₂ se debe adicionar para mantener una concentración mínima de 1.5 mg/L de Co²⁺. Después de

adicionar los reactivos en las concentraciones deseadas, se espera que la concentración de oxígeno disuelto baje hasta 0.0 mg/L.

Se inicia la aireación y se mide el incremento en la concentración de O_2 disuelto, a ciertos intervalos de tiempo, hasta la saturación. Se toman las lecturas pertinentes y se obtienen resultados presentados en la Tabla 3.1. Para evaluar el $k_L a$, se integra la ecuación (2.3),

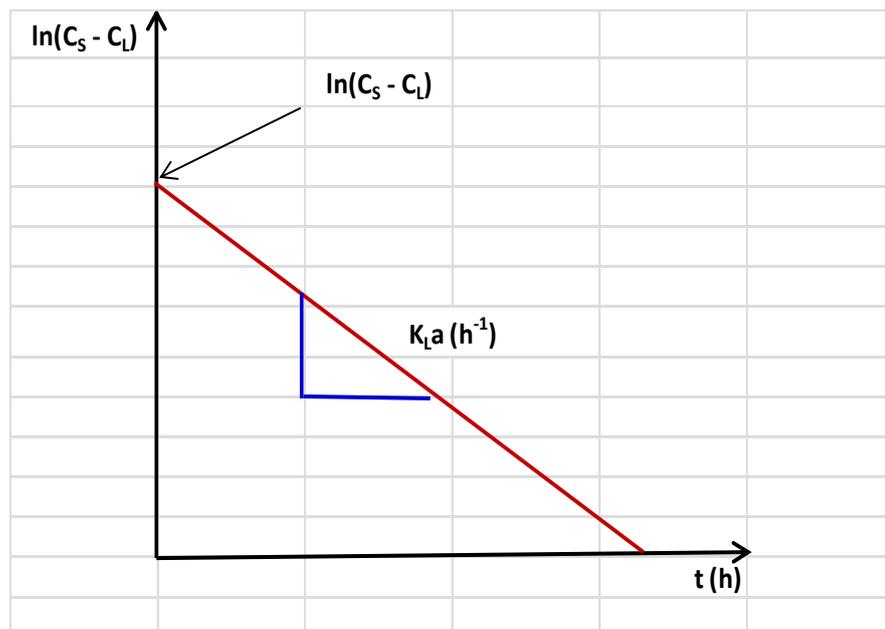
$$\frac{\partial C_{O_2}}{\partial t} = k_L a (C_s - C_{LO_2}) , \quad \left(\frac{kg}{m^3 h} \right)$$

$$\ln(C_s - C_L) = k_L a * t + \ln(C_s - C_0)$$

(3.1)

Obteniéndose la ecuación (3.1), que es la ecuación de una recta (véase la figura 3.1), donde la pendiente es $k_L a$. La C_s Puede ser obtenida a partir de tablas para las condiciones en que se realizan las pruebas.

Figura 3.1: Obtención del Coeficiente de Transferencia de Oxígeno ($k_L a$), al suspender la aireación



Fuente: Sergio & Miriam. (2005). Tratamiento de Aguas Residuales con MATLAB. Editorial Reverte. S.A. de C.V

TABLA 3.1: DATOS EXPERIMENTALES OXIGENO DISUELTO EN FUNCION DEL TIEMPO PARA AGUA DE LA LLAVE

TIEMPO (minutos)	C_L (mg/L)
0	0.1
1	0.92
2	1.24
3	3.04
4	4.38
5	5.16
6	5.62
7	5.99
8	6.29
9	6.48
10	6.56

Fuente: Propia

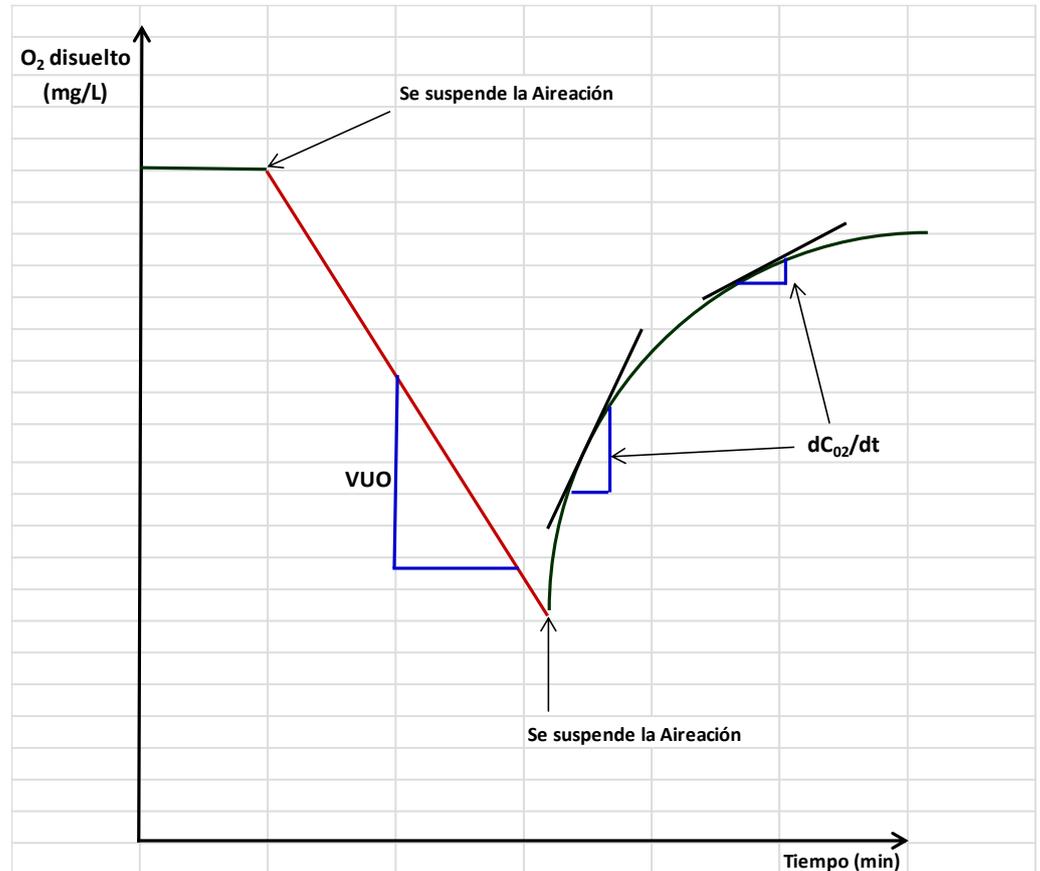
3.1.2. COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE OXÍGENO ($K_{La,r}$) DEL AGUA RESIDUAL

La prueba se realiza en un reactor aireado de lodos activados suspendidos en agua residual. Consiste en suspender la aireación en el sistema, permitiendo que la concentración de oxígeno disuelto disminuya debido al consumo de microorganismos. Esto nos permita evaluar la velocidad de utilización o consumo de oxígeno (VUO), ya que se mide la caída en la concentración de O_2 disuelto, en función del tiempo. Inmediatamente después, se restablece la aireación.

Permitiendo que se alcance de nuevo la concentración de oxígeno disuelto de operación, midiendo el incremento en la concentración de O_2 disuelto en función del tiempo.

Los resultados del comportamiento del oxígeno disuelto en función del tiempo para la fase de suspensión de la aireación, así como la fase de reaireación, se muestran la figura 3.2.

Figura 3.2: Variación de la Concentración de Oxígeno Disuelto en Reactor de Lodos Activados, al Suspender u Restablecer la Aireación



Fuente: Sergio & Miriam. (2005). Tratamiento de Aguas Residuales con MATLAB. Editorial Reverte. S.A. de C.V.

Como se muestra, la VUO es la pendiente que se obtiene en la fase de suspensión de la aireación. La variación de oxígeno, disuelto en la reaireación, está dada, por el suministro de oxígeno (el que se transfiere al seno del líquido) menos el consumo del mismo por los microorganismos (VUO). El modelo dinámico para describir el proceso es:

$$\frac{\partial C_{O_2}}{\partial t} = \underbrace{K_L a_r (C_{Sr} - C_L)}_{\text{Suministro } O_2} - \underbrace{VUO}_{\text{Consumo de } O_2} \quad (3.2)$$

Suministro O_2

Consumo de O_2

Dónde:

C_{Sr} = Concentración de saturación de O_2 (mg O_2/L), en el agua residual.

VUO = Velocidad de utilización o consumo de oxígeno (mg O_2/Lh)

A partir de la ecuación (3.2), se obtiene la siguiente ecuación:

$$\frac{\partial C_{O_2}}{\partial t} = (K_L a_r * C_{Sr} - VUO) - K_L a_r * C_L \quad (3.3)$$

La cual es la ecuación de la recta que se obtiene al graficar la pendiente de la tangente en diferentes puntos de la curva de la fase de reaireación:

$$\frac{\partial C_{O_2}}{\partial t}, \text{ en función de } C_L, \text{ mostrado en la figura 3.3.}$$

Observamos que puede $\frac{\partial C_{O_2}}{\partial t}$, ser evaluado de la siguiente manera:

$$\frac{\partial C_{O_2(n+\frac{1}{2})}}{\partial t} = \frac{C_n - C_{n+1}}{\Delta t} \quad (3.4)$$

Es decir, para una concentración de oxígeno media de:

$$C_{O_2} = \frac{C_n + C_{n+1}}{2} \quad (3.5)$$

Con el cálculo de la ordenada (b), y con el $K_L a_r$ ya calculado, podemos obtener la concentración de saturación en el agua residual (C_{Sr}) de la siguiente manera:

$$C_{Sr} = \frac{b + VUO}{K_L a_r} \quad (3.6)$$

Para luego calcular $\alpha_{20^\circ C}$ & β . El coeficiente de transferencia de oxígeno $K_L a$ se afecta por la temperatura, por lo que es necesario corregirlo según las condiciones de operación del sistema real, como se indica en las ecuaciones (3.7) y (3.8).

Para el Agua de la Llave:

$$K_L a_T = K_L a_{20^\circ C} * (1.024^{T-20^\circ C}) \quad (3.7)$$

Para el Agua Residual:

$$K_L a_{r,T} = K_L a_{r,20^\circ C} * (1.024^{T-20^\circ C}) \quad (3.8)$$

Dónde:

$K_L a_T$ o $K_L a_{r,T}$ = $K_L a$ en el agua limpia o residual, a la temperatura de la prueba T

$K_L a_{20}$ o $K_L a_{r,20}$ = $K_L a$ en el agua limpia o residual, a la temperatura de 20°C

T = Temperatura de Operación (°C)

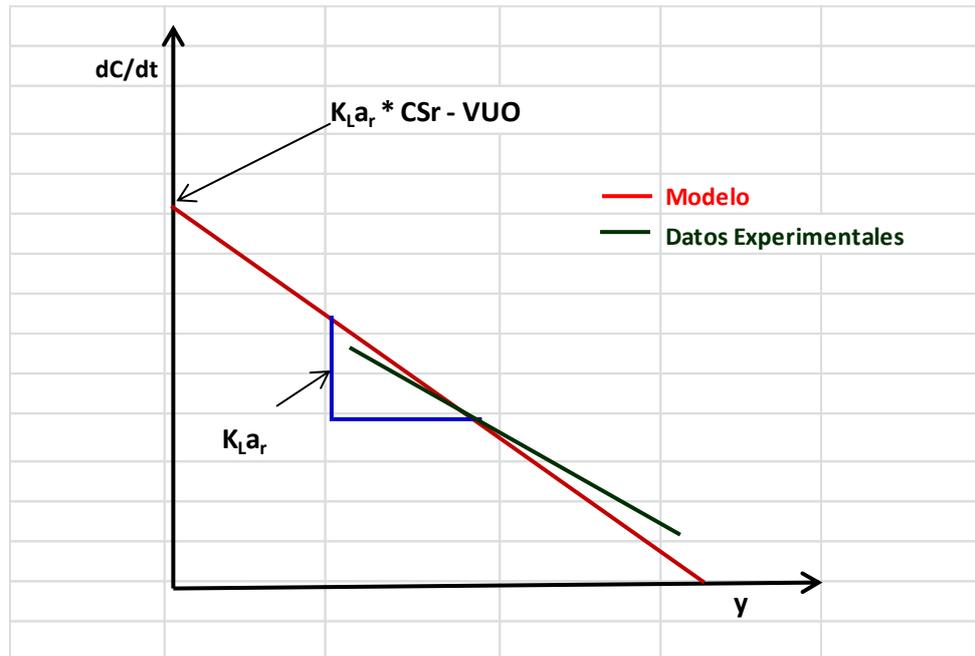
3.2. VARIACION DEL OXIGENO DISUELTO EN LA FASE DE REARIACION Y EL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE OXIGENO $k_L a_r$

Es posible calcular β & α para el agua residual, a la temperatura corregida de 20°C, siendo necesario considerar $\beta_{18^\circ C}$ & $\alpha_{18^\circ C}$, obtenidos con los datos de experimentación a 18.2°C y a una y a una presión barométrica equivalente a 700mmHg.

Por tal razón, se requiere hacer las correcciones por temperatura y presión, para ajustar la concentración de saturación, para ello se considera los parámetros de concentración bioquímica a la temperatura de prueba se utiliza la siguiente ecuación:

$$C_S = C_{S,760} \frac{P - P_v}{760 - P_v} \quad (3.9)$$

Figura 3.3: Variación de la Concentración de Oxígeno Disuelto en la face de reareación



Para ello se realizó una evaluación de la ecuación, verificando si coinciden con las condiciones de operación, teniendo como precedente que las características de funcionamiento del reactor de lodos activados están relacionados con la composición de los efluentes a tratar, el sistema de aireación y la cantidad de lodos que deben ser recirculados; por lo tanto, se requieren la concentración de oxígeno disuelto del efluente y el tiempo de retención hidráulica en el reactor, teniendo en cuenta que se trata de aireación extendida.

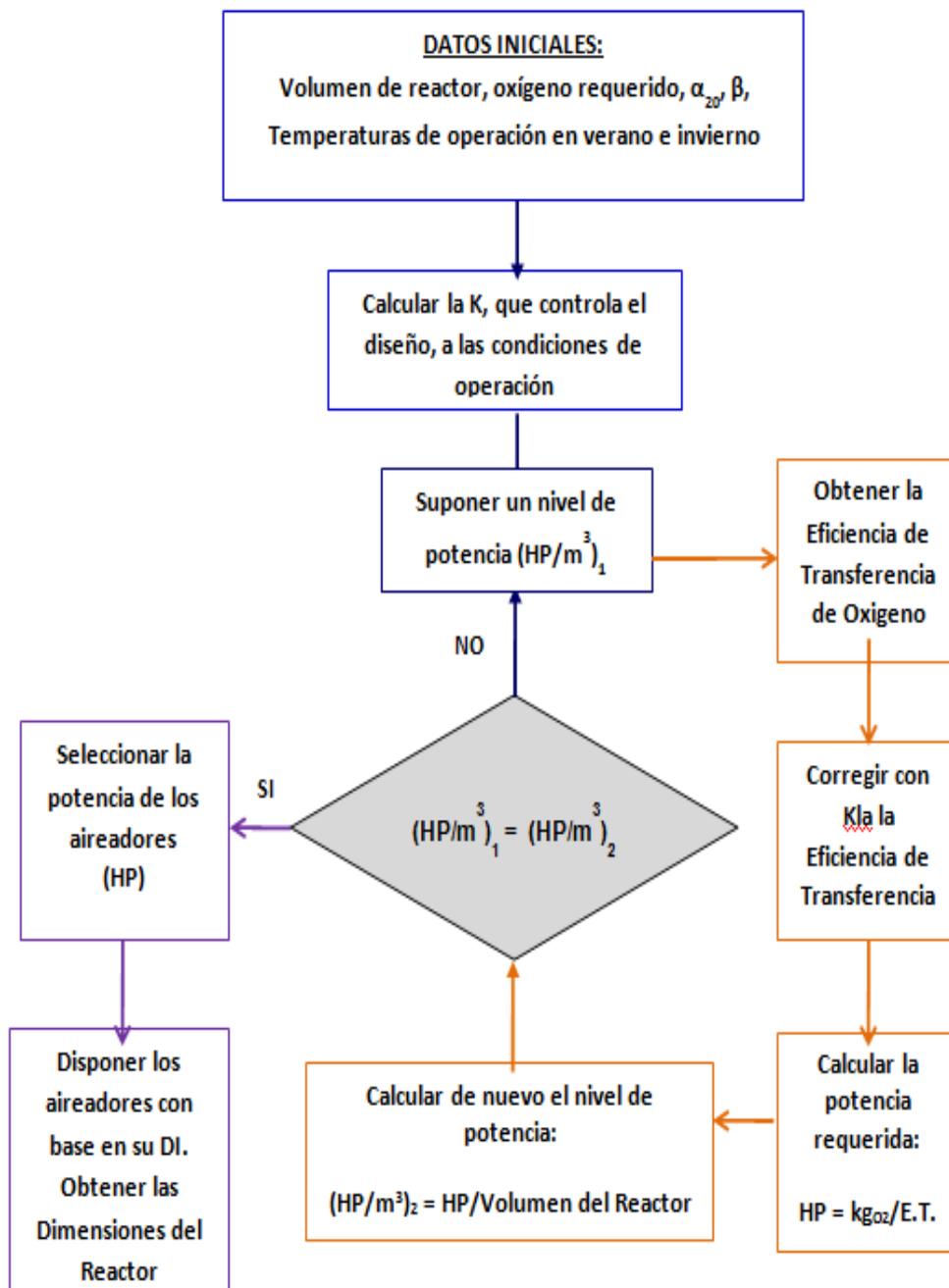
3.3. EL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE OXÍGENO Y LA POTENCIA DE LOS AIREADORES

Se desarrolla en base a los resultados experimentales de $\alpha_{20^{\circ}C}$ & $\beta_{20^{\circ}C}$, que me va a permitir la cantidad másica de oxígeno KgO_2/h , además el volumen de operación del reactor, necesarios para reducir la carga de contaminantes hasta niveles deseados así como los calculados para obtener los KgO_2/h y el volumen

de operación del reactor, necesario para reducir la carga del contaminante hasta niveles deseados.

También es importante que la especificación de transferencia (ET) del aireador se reporta de pruebas realizadas con agua limpia a condiciones estándar, es decir a 20°C y a 1.0 atmosfera de presión de operación.

Figura N° 3.4: Algoritmo del Sistema de Aireación



Por lo que se requiere hacer la corrección para obtener la ET a las condiciones reales de operación, esto es, a la presión atmosférica de operación con el agua residual real y a las temperaturas de operación extremas en el reactor, se debe considerar con datos tomados en la estación de verano, como datos tomados en la estación de invierno.

Se ha elaborado un programa *diseño.m* (M-File), que nos va a permitir diseñar un sistema de aireación con aireadores de superficie. Para tal efecto se ha considerado el diagrama lógico de programación.

Los resultados de este análisis a través de la herramienta Matlab lo mostraremos en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1 RESULTADOS DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE OXÍGENO (K_{La})

Con los datos de laboratorio, de aguas residuales en el sector Leticia vamos a obtener los coeficientes de transferencia de oxígeno.

- a) aguas de llave mediante el método del sulfito y
- b) agua residual obtenido de una planta de tratamiento de aguas residuales domesticas mediante el método dinámico; con los resultados obtenidos se realizaron simulaciones utilizando Matlab®.

K_{La} DEL AGUA DE LA LLAVE

Se realizaron pruebas en un reactor con condiciones especificadas en la Tabla 4.1

TABLA 4.1: DATOS EXPERIMENTALES PARA EVALUAR EL K_{La} , AGUA DE LLAVE
CONDICIONES DE OPERACIÓN

Temperatura	18.2	°C
Volumen del Liquido	25	L
Flujo de Aire	250	L/h
Presión de Operación	760	mmHg

Con los siguientes datos de la Tabla 3.1, se realizó una prueba con agua limpia para evaluar el K_{La} , con las condiciones de operación de la Tabla 4.1, obteniéndose los siguientes resultados, como se muestra en la Tabla 4.2.

De los cuales se desprende dos graficas una que es la Figura 4.1, en la que se aprecia la gráfica con todos los puntos, donde los primeros datos no se toma en cuenta, debido a que es el inicio de la prueba y en este caso al observar no se ha terminado de agotar el sulfito de adicionado.

En la Figura 4.2, se observa, con los datos uniformes, como lo indica la línea de tendencia, permitiendo obtener la pendiente de la recta que es el K_{La} .

TABLA 4.2: RESULTADOS DE LOS DATOS EXPERIMENTALES OXIGENO DISUELTO EN FUNCION DEL TIEMPO PARA AGUA DE LA LLAVE

$$C_s = 7.3801 \text{ mg/L}$$

TIEMPO (minutos)	C_L (mg/L)	$(C_s - C_L)$	$\ln(C_s - C_L)$
0	0.15	7.23	1.978253
1	0.97	6.41	1.857875
2	1.29	6.09	1.806665
3	3.09	4.29	1.456310
4	4.43	2.95	1.081839
5	5.21	2.17	0.774773
6	5.67	1.71	0.536552
7	6.04	1.34	0.292744
8	6.34	1.04	0.039317
9	6.53	0.85	-0.162401
10	6.61	0.77	-0.261235

Figura 4.1: Grafica de $\ln(C_s - C_L)$, en función del tiempo para evaluar el K_{La}

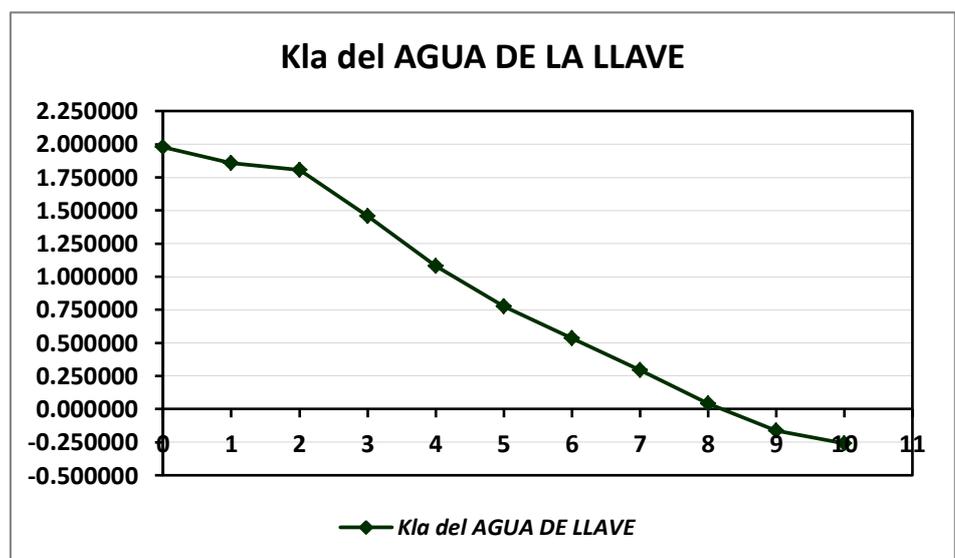
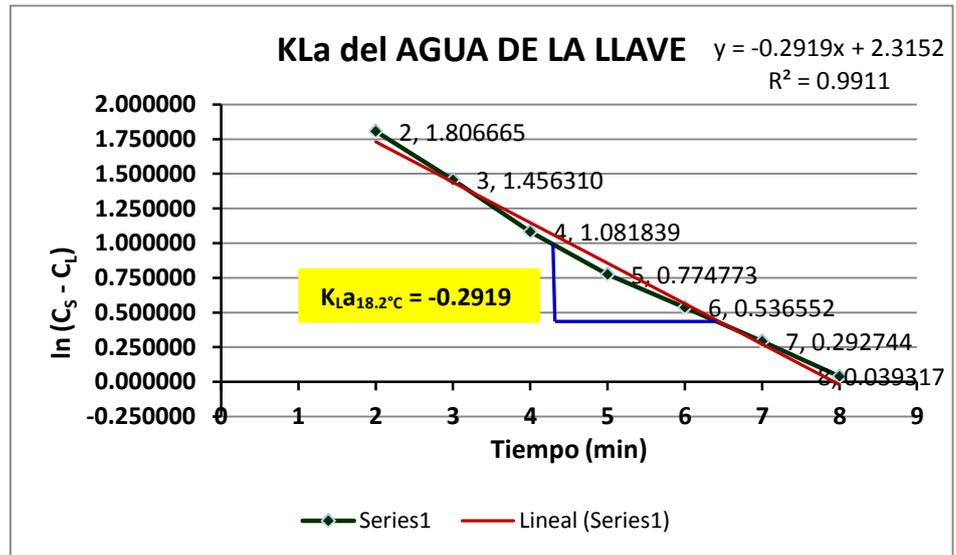


Figura 4.2: Se observa la Línea de Tendencia que permite obtener la pendiente de la recta que es el K_{La}



Como se observa en la Figura 4.2, la pendiente de la recta que es el $K_{La} = 0.2919$ a 18.2°C , que expresado en diferentes unidades y corregido a la temperatura de 20°C . Según ecuación (4.1) se tienen los siguientes resultados:

Para el K_{La} a 18.2°C en agua de la llave

$$K_{La_{18.2^\circ C, \text{AGUA DE LA LLAVE}}} = 0.2919 \text{ min}^{-1}$$

Luego, al corregirlo a 20°C , se obtiene

$$K_{La_{T_2}} = K_{La_{T_1}} * 1.024^{(T_2 - T_1)}$$

Datos: $T_1 = 18.2^\circ\text{C}$, $T_2 = 20^\circ\text{C}$ y $K_{La_{18.2^\circ C}} = 0.2919 \text{ min}^{-1}$.

$$K_{La_{20^\circ C}} = (0.2919 \text{ min}^{-1}) * 1.024^{(20 - 18.2)}$$

$$K_{La_{20^\circ C, \text{AGUA DE LA LLAVE}}} = 0.3046 \text{ min}^{-1}$$

K_La DEL AGUA RESIDUAL

Para evaluar el K_La_r, se utilizó agua de un reactor biológico muestreada de la laguna de oxidación de aguas residuales en el sector Leticia y el mismo equipo de la prueba anterior. No se adicióno sulfito por no ser necesario debido a que el oxígeno lo consumen los microorganismos presentes.

Se usaron el método dinámico ya descrito y como se indica la ecuación (3.3). Los resultados obtenidos al suspender y restablecer la aireación se muestran en la Tabla 4.3, para graficar los datos se crean los vectores de tiempo (t) y de oxígeno disuelto -OD- representado por la letra (y):

TABLA 4.3: DATOS EXPERIMENTALES OXIGENO DISUELTO EN FUNCION DEL TIEMPO PARA OBTENER SUSPENDER LA AIREACION Y AL RESTABLECERLA LA AIREACION

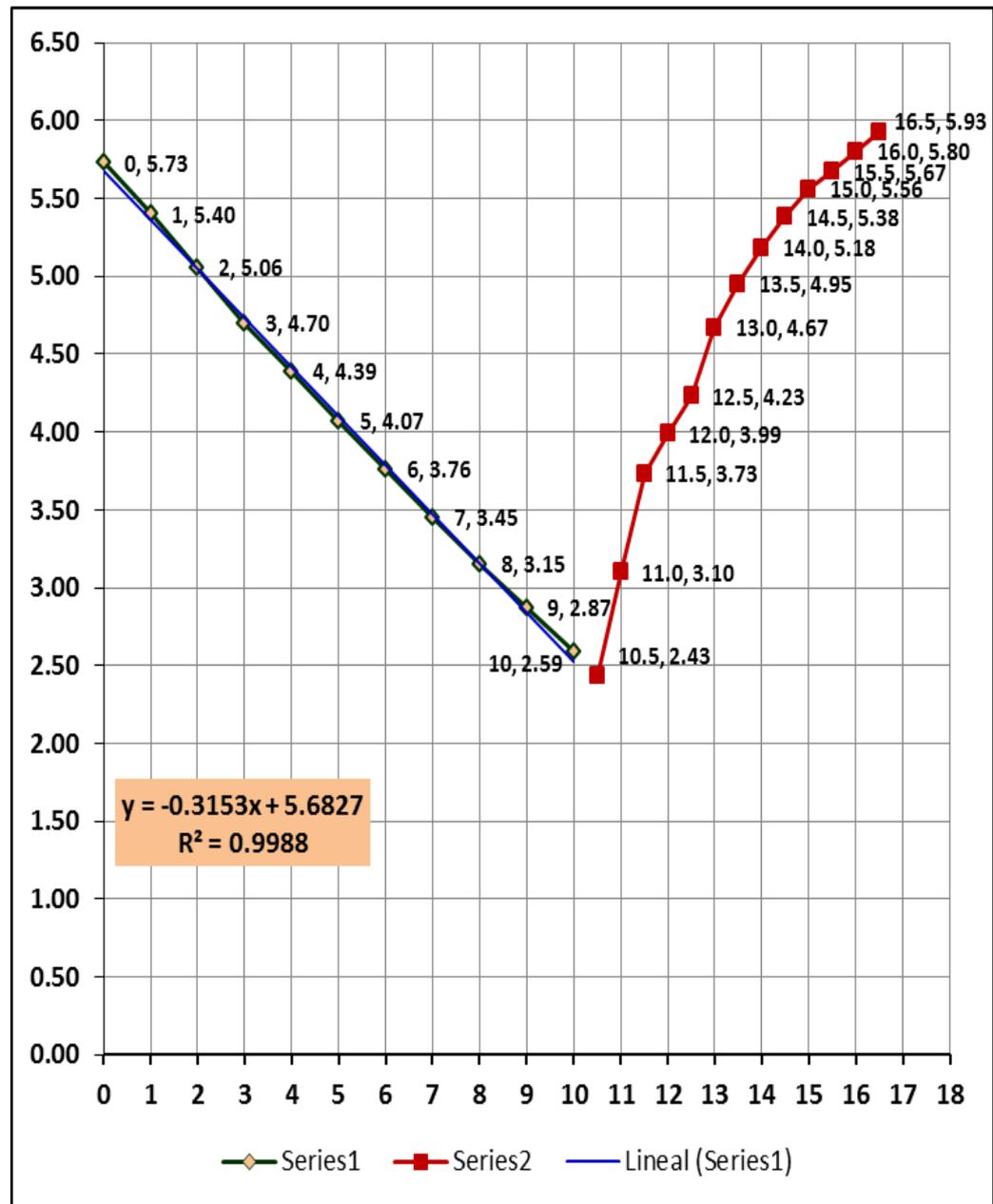
SIN AIREACION		RESTABLECIMIENTO DE LA AIREACION	
t (min)	C _L (mg/L)	t (min)	C _L (mg/L)
0	5.73	10.5	2.43
1	5.40	11.0	3.10
2	5.06	11.5	3.73
3	4.70	12.0	3.99
4	4.39	12.5	4.23
5	4.07	13.0	4.67
6	3.76	13.5	4.95
7	3.45	14.0	5.18
8	3.15	14.5	5.38
9	2.87	15.0	5.56
10	2.59	15.5	5.67
		16.0	5.80
		16.5	5.93

Fuente: Propia

Como se observa en la figura 4.3, el tiempo (t) de los datos suministrados a la fase de restablecimiento de la aireación, se ha considerado intervalos de 10-10.5, 10.5-12 hasta 16-16.5, que indica en intervalos de 0.5. Para los datos de oxígeno disuelto se ha considerado intervalos de 1.0.

Para obtener la figura 4.3, sea considerado el desarrollo analítico utilizando los datos experimentales sin aireación y restablecimiento de la aireación en el Excel.

Figura 4.3: Para medir el KLa del Agua Residual a 18.2°C, mediante el Método Dinámico



Para encontrar la Velocidad de Utilización del Oxígeno (VUO) a 18.2°C, mediante el Método Dinámico, en el **archivo: Shand1.m**, que permite evaluar la pendiente con los datos de la suspensión y restablecer la aireación en base al tiempo (t) y la concentración del oxígeno disuelto (y), para obtener el VUO, se

aplicó la función **polyfit(t,y,1)**, con la finalidad de ajustar los datos de la tabla 4.3, considerando de grado uno.

Además se ha usado el lenguaje de programación MATLAB, con la finalidad de graficar los resultados como se muestran en la Figura 4.4, se introdujo el comando **plot** con las variables del tiempo (**t**) y del oxígeno disuelto (**y**), así como del tipo de punto que aparece entre los signos **'.'**. De la siguiente manera:

```
>> plot(t,y, '.')
>> title('Coeficiente de Transferencia de Oxígeno')
>> xlabel('Tiempo (min)')
>> ylabel('Oxígeno disuelto (mg/L)')
```

Lenguaje de Programación de la Velocidad de Utilización de Oxígeno (VUO), que es la pendiente, del tiempo de retención (t) y concentración de oxígeno disuelto (y).

Resultados de la aplicación:

```
clc
disp('          UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS          ')
disp('          FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA          ')
disp(' ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL ')
disp('DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE OXIGENO Y ')
disp(' EL')
disp(' DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA CONVENCIONAL DE AIREACION ')
disp(' CON ')
disp('  MATLAB DE AGUAS RESIDUALES EN EL SECTOR LETICIA DE LA ')
disp('          PROVINCIA DE PISCO-2016          ')
disp('          PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO AMBIENTAL          ')
disp(' PRESENTADO POR:          ')
disp('          SHANDEL NAOMI CACERES ALVAREZ          ')
disp('Programacion:          ')
disp('          Shand1.m          ')
```

Se realizo primeramente una prueba con agua limpia para el evaluar el KLa en esa condiciones.

% Para el KLa en agua de la llave

KLa18 = 0.2919 % min⁻¹

% Luego, al corregir a 20°C, se obtiene

T = 20 % °C

KLa20 = KLa18*1.024^(T-18.2)

% se obtiene un KLa20 = 0.3046 min⁻¹ de agua de la llave

KLa20 = 0.30463 % min⁻¹ (corregido de agua de la llave)

% Calculando el VUO

t = [0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 10.5, 11:0.5:16.5];

y = [5.73 5.40 5.06 4.70 4.39 4.07 3.76 3.45 3.15 2.87 2.59 2.43 3.10...

3.73 3.99 4.23 4.67 4.95 5.18 5.38 5.56 5.67 5.80 5.93];

grid

plot (t,y,'-*)

title('Velocidad de Utilizacion del Oxigeno')

ylabel('Oxigeno Disuelto (mg/L)')

xlabel('Tiempo (min)')

% Para obtener la Velocidad de utilizacion del Oxigeno (VUO), se

% evalua la % pendiente de la recta correspondiente obtenida después

% de suspender % la aireacion.

t = [0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10];

y = [5.73 5.40 5.06 4.70 4.39 4.07 3.76 3.45 3.15 2.87 2.59];

% Para obtener la pendiente y la ordenada al origen (polinomio de

% primer grado), se digita:

polyfit(t,y,1)

% Como se observa los coeficientes estan ordenados en orden

% decreciente, por lo tanto la pendiente sera VUO, es decir:

% VUO = -0.3153 (mg O₂/L min)

VUO = -0.3153 % mg O₂/L.min

Obteniendo la Velocidad de Utilización de Oxígeno (VUO) de **0.3153**, en base al programa, **archivo: Shand1.m**. Como se muestra en la Figura 4.4.

.....

UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE OXIGENO
Y EL DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA CONVENCIONAL DE
AIREACION
CON MATLAB DE AGUAS RESIDUALES EN EL SECTOR LETICIA DE LA
PROVINCIA DE PISCO-2016

PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO AMBIENTAL
PRESENTADO POR:

SHANDDEL NAOMI CACERES ALVAREZ

Programacion:

Shand1.m

.....

KLa18 = 0.2919

T = 20

KLa20 = 0.3046

KLa20 = 0.3046

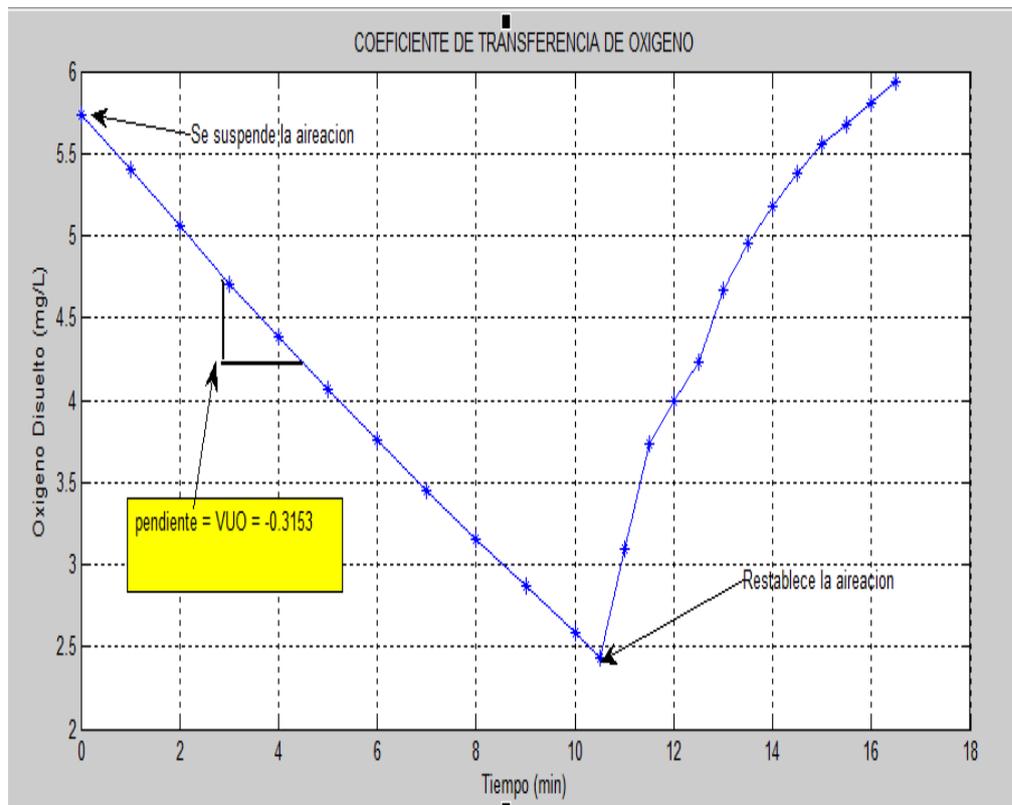
ans = -0.31527 5.6827

VUO = -0.3153

>>

.....

Figura 4.4: Velocidad de Utilización del Oxígeno a 18.2°C, mediante el Método Dinámico



4.2 RESULTADO DE LA VARIACION DEL OXIGENO DISUELTO EN LA FASE DE REARIACION Y EL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE OXIGENO $k_{La,r}$

Con la aplicación del lenguaje de programación MATLAB, se tiene el **archivo: Shand2.m**, permite obtener la variación del oxígeno disuelto en la fase de reaireación en función de tiempo (dC_{O_2}/t), con la media de la Concentración de oxígeno disuelto del agua residual ($C_{O_2,r}$) para obtener la pendiente del coeficiente de transferencia de oxígeno disuelto ($K_{La,r}$), que nos va a permitir obtener la concentración de saturación de oxígeno en el agua residual (C_{Sr})

Resultado de aplicación:

```

clc
disp('          UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS          ')
disp('          FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA          ')
disp(' ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL ')
disp('          ')
disp('DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE OXIGENO Y
EL')
disp(' DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA CONVENCIONAL DE AIREACION
CON ')
disp('  MATLAB DE AGUAS RESIDUALES EN EL SECTOR LETICIA DE LA ')
disp('          PROVINCIA DE PISCO-2016          ')
disp('          PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO AMBIENTAL          ')
disp(' PRESENTADO POR:          ')
disp('          SHANDEL NAOMI CACERES ALVAREZ          ')
disp('Programacion:          ')
disp('          Shand2.m

```

VUO = -0.3015 %(mg O₂/L min)

% Calculando el KLar

CL1=3.10; % mgO₂/L

CL2=3.73; % mgO₂/L

t1=11; % min

t2=11.5; % min

% Intervalo = $I = dCO_2(n+1/2)/dt$

$I = (CL2-CL1)/(t2-t1)$

% Para una Concentracion de Oxigeno Media

% media= $m = CO_2(n+1/2) = (CL2+CL1)/2$

$m = (CL2+CL1)/2$

% Con los datos obtenidos se construye la siguiente Tabla 4.4

$cx = [2.765 \ 3.415 \ 3.860 \ 4.110 \ 4.450 \ 4.000 \ 4.000 \ 5.280 \ 5.470 \ 5.615 \ 5.735 \dots$
 $5.815];$

$yx = [1.340 \ 1.260 \ 0.520 \ 0.480 \ 0.880 \ 0.560 \ 0.460 \ 0.400 \ 0.360 \ 0.220 \ 0.260 \dots$
 $0.260];$

% Para el vector yx se aplica el mismo procedimiento que se utilizo

% para obtener la VUO; entonces, utilizando polyfit(yx,cx,1), se

% obtiene:

```

plot(cx,yx,'o')
title('KLa del Agua Residual')
ylabel('dC/dt (mg/L.min)')
xlabel('Concentracion (mg/L)')
grid
text( 0.5,0.4, 'o Datos Experimentales')
hold on
pause
polyfit(cx,yx,1)
% KLar = 0.3101 min^-1
KLar = 0.3101 % min^-1
ezplot('-0.3101*y+1.9921',[0 6.0])
text(0.5,0.5,'-- Modelo')

% Con estos datos tambien se puede obtener la concentracion de saturacion
% de Oxigeno en el agua residual (CSr), despejando la ordenada al
% origen.
% Sustituyendo valores tenemos.
% b = KLa*CSr - VUO = 1.9921

disp('Es el intercepto en la ordenada, b=(KLa,r*CS,r - VUO)')
b = 1.9921

disp('La Concentracion de Saturacion del Oxigeno en el Agua Residual, CSr=(b-
VUO)/KLar')

CSr = (b-VUO)/KLar
% CSr = 7.3963 mg/L

```

Obteniéndose los resultados empleando el lenguaje de programación con MATLAB, el **archivo: Shand2.m** para obtener la pendiente del Coeficiente de transferencia de Oxígeno ($K_{La,r}$) de **0.3101**, del agua residual a 18°C. Con los datos alimentados también se puede obtener la concentración de oxígeno disuelto saturado de **7.3963**, como se muestra en la Figura 4.4.

.....
 UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE OXIGENO Y EL
 DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA CONVENCIONAL DE AIREACION
 CON MATLAB DE AGUAS RESIDUALES EN EL SECTOR LETICIA DE LA
 PROVINCIA DE PISCO-2016

PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO AMBIENTAL
 PRESENTADO POR:
 SHANDDEL NAOMI CACERES ALVAREZ

Programacion:

Shand2.m

.....

VUO = -0.3015

I = 1.2600

m = 3.4150

ans = -0.3101 1.9921

KLar = 0.3101

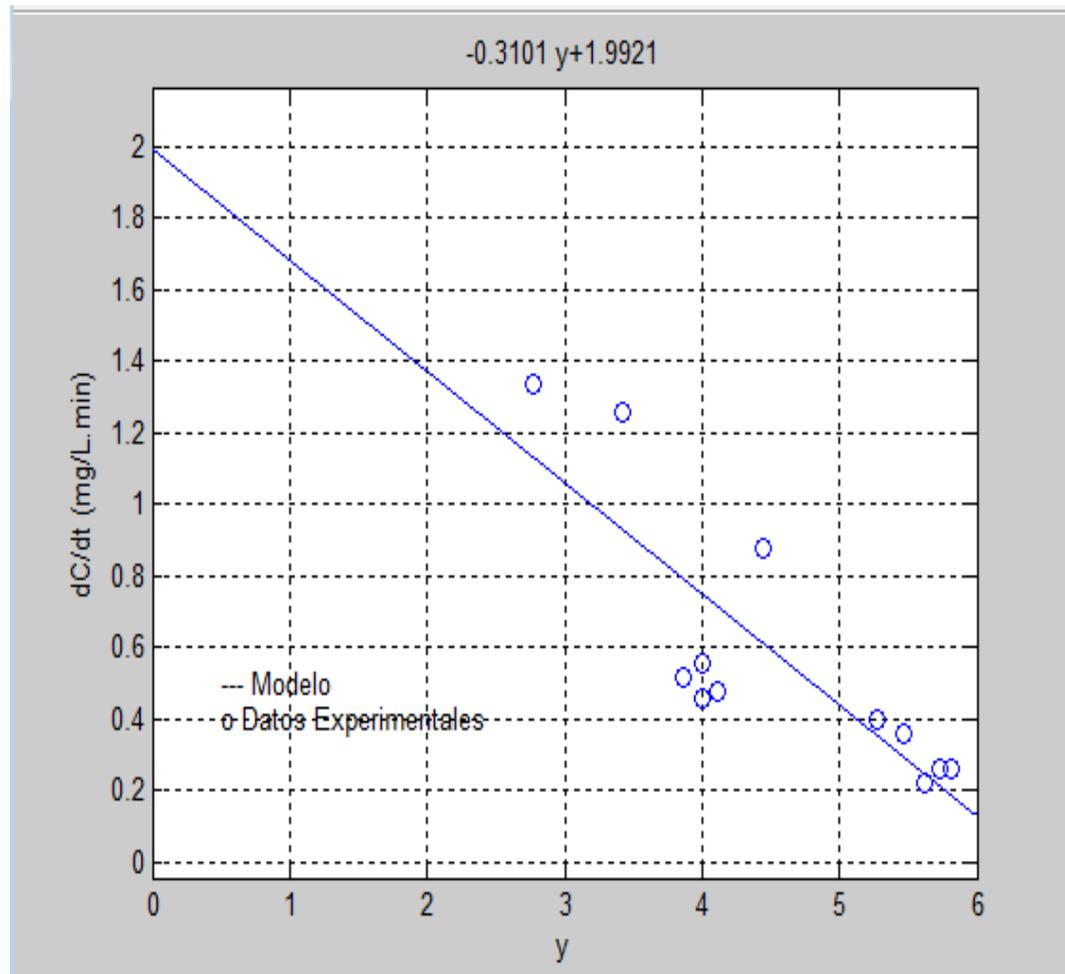
Es el intercepto en la ordenada, $b=(K_{La,r}*C_{S,r} - VUO)$

b = 1.9921

La Concentración de Saturación del Oxígeno en el Agua Residual, $CSr=(b-VUO)/KLar$

$$CSr = 7.3963$$

Figura 4.5: Para medir el K_{La} del Agua Residual a $18.2^{\circ}C$, mediante el Método Dinámico



También, con el lenguaje de programación MATLAB, se tiene el siguiente **archivo: Shand3.m**, permite obtener α y β , con los datos de la concentración de oxígeno disuelto, a las condiciones de operación de 18°C, además para obtener α_{20} , es importante conocer el coeficiente de transferencia de oxígeno residual ($K_L a_r$), como se muestra en el programa adjunto:

```

clc
disp('          UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS          ')
disp('          FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA          ')
disp(' ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL ')
disp('DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE OXIGENO Y
EL')
disp(' DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA CONVENCIONAL DE AIREACION
CON ')
disp('  MATLAB DE AGUAS RESIDUALES EN EL SECTOR LETICIA DE LA ')
disp('          PROVINCIA DE PISCO-2016          ')
disp('          PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO AMBIENTAL          ')
disp(' PRESENTADO POR:          ')
disp('          SHANDEL NAOMI CACERES ALVAREZ          ')
disp('Programacion:          ')
disp('          Shand3.m          ')

% CSr = 7.3963 mg/L
CSr = 7.3963 % mg/L
% KLa20 = 0.3132 min^-1
KLa20 = 0.3132 % min^-1 (corregido de agua de la llave)
% KLar18 = 0.3101 % min^-1
KLar18 = 0.3101 % min^-1
% La concentracion de saturacion en el agua limpia a18°C se obtiene
% mediante interpolacion con el comando interpI
% Metodo dinamico
% Para el Oxigeno
% dCO2/dt ==KLar*(CSr-CL)-VUO
x = [0:5:40];
y = [13.9 12.1 10.6 9.5 8.5 7.7 6.9 6.4 5.9];

```

```

COD18=interp1(x,y,18)
% Para corregir esta concentracion por efecto de Presion, se obtiene
% tambien la PVapor de las tablas de la misma manera que se interpola
% anteriormente, para obtener la concentracion de Oxigeno a 18°C.
y1 = [4.590 6.543 9.209 12.788 17.535 23.756 31.824 42.175 55.324];
PVapor18=interp1(x,y1,18)
% A partir de estos datos, se obtiene CS a las condiciones de operaciones
% (18°C y 660 mmHg)
P = 660 % mmHg
CS=COD18*(P-PVapor18)/(760-PVapor18)
% Calculando B
B = CSr/CS
% Para obtener alfa20 se requiere corregir el KLaT por temperatura,
% ajustando esta a 20°C
T = 20; %°C
KLar20= KLar18*1.024^(T-18)
% KLar20 = 0.3252 min^-1
% Por lo tanto
alfa20=KLar20/KLa20

```

Se obtiene el siguiente resultado de programación con MATLAB, del **archivo: Shand3.m**, con un α_{20} de **1.0382**, y β de **0.9600** del agua residual, como se muestra los resultados del programa adjunto.

UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE OXIGENO Y EL
DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA CONVENCIONAL DE AIREACION
CON MATLAB DE AGUAS RESIDUALES EN EL SECTOR LETICIA DE LA
PROVINCIA DE PISCO- 2016

PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO AMBIENTAL
PRESENTADO POR:
SHANDEL NAOMI CACERES ALVAREZ

Programacion:
Shand3.m

.....

CSr = 7.3963

KLa20 = 0.3132

KLar18 = 0.3101

COD18 = 8.9000

PVapor18 = 15.6362

P = 660

CS = 7.7043

B = 0.9600

KLar20 = 0.3252

alfa20 = 1.0382

>>

4.3 RESULTADO DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE OXÍGENO Y EL DIMENSIONAMIENTO DE LOS AIREADORES

Una vez obtenido α & β , como el coeficiente de transferencia de oxígeno residual ($K_{La,r}$), la concentración de oxígeno disuelto, el volumen de operación del reactor biológico, con la finalidad de reducir la carga de contaminantes hasta niveles deseados por la norma peruana. Las condiciones de operación de Reactor es de 20°C y 1 atm de presión, para evaluar la eficiencia de transferencia de oxígeno real (ET_{Real}), en condiciones reales de operación, del agua residual real.

El programa, siendo el **archivo: aireación.m**, me va a permitir elaborar la simulación en base a la programación el diseño del reactor biológico, aireación de superficie.

```

clc
disp('          UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS          ')
disp('          FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA          ')
disp(' ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL ')
disp('DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE OXIGENO Y
EL')
disp(' DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA CONVENCIONAL DE AIREACION
CON ')
disp('  MATLAB DE AGUAS RESIDUALES EN EL SECTOR LETICIA DE LA ')
disp('          PROVINCIA DE PISCO-2016          ')
disp('          PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO AMBIENTAL          ')
disp(' PRESENTADO POR: ')
disp('          SHANDEL NAOMI CACERES ALVAREZ          ')
disp('Programacion: ')
disp('          aireacion.m          ')

```

```
% Diseño de un sistema de aireación mediante aireadores.
```

```
% de superficie(sistemaireación)
```

```
% Parámetros iniciales:
```

```
kgo = 600; %kgO2/d
```

```
V = 8000; % Volumen del reactor (m3)
```

```
CL = 2.50; % Concentración de O2 en el reactor(mg/L)
```

```
alfa20 = 1.0382;
```

```
beta= 0.9600;
```

```
Pop = 760 % Presión de Operación (mmHg)
```

```
% Condiciones en Verano
```

```
Tv = 28; % temperatura de Verano (oC)
```

```
% Datos de tablas de la concentración de oxígeno en función de la temperatura:
```

```
Tsint = [0:5:40];
```

```
Csatint = [13.9 12.1 10.6 9.5 8.5 7.7 6.9 6.4 5.9];
```

```
% Interpolación para obtener concentración de saturación de tablas
```

```
% en función de la temperatura
```

```
cO2satvst = interp1(Tsint,Csatint,Tv, 'spline');
```

```

% Interpolacion para obtener la Presión de vapor en tablas
% en función a la temperatura
Pvapint = [4.579, 6.543 9.209 12.788 17.535 23.756 31.824 42.175 55.324]
Pvapv = interp1(Tsint, Pvpaint, Tv, 'spline');
Csv = cO2satvst*(Pop-Pvapv)/(760-Pvapv);
Csvg = beta*Csv;
% Calculo de Kv
Kv = alfa20*(1.024^(Tv-20))*(Csvg-CL)/9.2;
% Condiciones en Invierno
Ti = 15; % temperatura de invierno (oC)
% Interpolación para obtener Concentración de saturación de tablas
% en función de la Temperatura
cO2satis = interp1(Tsint, Csatint, Ti, 'spline');
% cO2satis = -0.00005*Ti + 0.0067*Ti^2 - 0.383*Ti + 14.576
% Interpolación para obtener la Presión de vapor de tablas
% en función de la Temperatura

Pvapi = interp1(Tsint, Pvpaint, Ti, 'spline');

% Pvapi = 0,0005*Ti^3+ 0.0035*Ti^2 + 0.393*Ti + 4.5197
Csi = cO2satis*(Pop-Pvapi)/(760-Pvapi);
Cssi = beta*Csi;

% Calculo de Ki
Ki = alfa20*(1.024^(Ti-20))*(Cssi-CL)/9.2;
if Kv>Ki
    Kdiseno = Ki
else
    Kdiseno = Kv
end

RfPV = inline('solve('(kgo/(Kdiseno*(6.2*x+1.2)*V))-x = 0)')
format short g;
disp('Nivel de potencia (HP/m3)')
PV=RfPV(Kdiseno,V,kgo)
disp('Potencia (HP)')
Pot = PV*V
disp('Eficiencia de transferencia real (kgO2/HP h)')

```

% Características del aireador

ETreal = Kdiseno*(6.2*PV+1.2)

% Disposición de los aireadores

disp('NOTA:')

disp('Los resultados con signo negativo NO se toman en cuenta')

disp('ya que no tienen significado físico por lo tanto,')

Potv = input (' seleccione la potencia verdadera:')

Largoair = input (' Introduzca el numero de aireadores a lo largo:')

Largo = dinf*Largoair

Ancho = dinf*Anchoair

Potencia total = Numair*Potair

En el programa **archivo: aireacion.m**, una vez introducido todo los datos, como los comentarios precedidos por el signo porcentaje (%), como los parámetros de diseño obtenidos de la laguna de oxidación Leticia y a las condiciones donde operara el sistema de aireación tanto en verano como en invierno, se ha introducido los siguientes datos como es el el número de aireadores a lo largo del sistema que es 4 y a lo ancho del sistema que es de 3, se selecciona la potencia de los aireadores de 50 HP, con un diámetro (d_{inf}) es de 15.667 pulg, Área es de 2945.3, Altura es de 2.7162 m, dando como resultado de una potencia 600 HP, se adjunta los resultados de la programación.

.....
 UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE OXIGENO Y EL
 DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA CONVENCIONAL DE AIREACION
 CON MATLAB DE AGUAS RESIDUALES EN EL SECTOR LETICIA DE LA
 PROVINCIA DE PISCO-2016

PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO AMBIENTAL
 PRESENTADO POR:
 SHANDDEL NAOMI CACERES ALVAREZ

. Programacion:
 aireacion.m

.....

Pop = 760

cO2satvst = 7.2

Pvapint = Columns 1 through 6

4.579 6.543 9.209 12.788 17.535 23.756

Columns 7 through 9

31.824 42.175 55.324

Kdiseno = 0.60191

PV = -0.26842 0.074873

Potencia (HP)

Pot = -2147.4 598.98

Eficiencia de transferencia real (kgO2/HP h)

ETreal = -0.27941 1.0017

NOTA:

Los resultados con signo negativo NO se toman en cuenta ya que no tienen significado físico por lo tanto, seleccione la potencia verdadera:500

Potv = 500

Introduzca el numero de aireadores a lo largo:4

Largoair = 4

Introduzca el numero de aireadores a lo ancho:3

Anchoair = 3

Numair = 12

seleccione la potencia de los aireadores:50

Potair = 50

dinf = 15.667

Area = 2945.3

.....
 Altura = 2.7162

Largo = 62.667

Ancho = 47

Potencia total = 600

>>

4.4 PRUEBA DE HIPOTESIS

4.4.1 Etapa 1: Definición del Sistema

Se quiere investigar el grado de influencia de la velocidad de utilización de oxígeno y el dimensionamiento de un sistema convencional de aireación con MATLAB.

El sistema queda definido de la siguiente manera:

- Factores : Velocidad de Utilización de Oxígeno (X_1)
 Concentración de Saturación del Oxígeno Disuelto (X_2)
- Respuesta : Dimensionamiento del sistema convencional
- Unidad central de proceso : Reactor Biológico

4.4.2 Etapa 2: Elección de los Niveles de los Factores

Los niveles de los factores superior, inferior, medio y la notación para cada factor se muestran en la siguiente tabla 4.6:

TABLA 4.4: NIVELES DE FACTORES

NIVELES Y DISTANCIA	NOTACION	FACTORES	
		X ₁	X ₂
Nivel Medio	0	0.3148	7.18
Distancia del nivel medio		0.0005	0.205
Nivel Inferior	-1	0.3143	6.98
Nivel Superior	+1	0.3153	7.39

Fuente: Elaborado por la Tesista

4.4.3 Etapa 3: Formulación de Hipótesis

Las hipótesis estadísticas que se formulan para investigación de la influencia de los factores en el proceso de aguas residuales en el sector Leticia de la provincia de Pisco.

TABLA 4.5: HIPOTESIS NULA E HIPOTESIS ALTERNATIVA

Hipótesis	Para la influencia directa de los factores en la determinación del coeficiente de transferencia de oxígeno	Para la influencia de interacción de los factores en la determinación del coeficiente de transferencia de oxígeno
H ₀	“Los efectos directos de los factores en la determinación del coeficiente de transferencia de oxígeno no son significativos”	“Los efectos de interacción de los factores en la determinación del coeficiente de transferencia de oxígeno no son significativos”
H ₁	“Los efectos directos de los factores en la determinación del coeficiente de transferencia de oxígeno son significativos”	“Los efectos de interacción de los factores en la determinación del coeficiente de transferencia de oxígeno son significativos”

Fuente: Elaborado por la Tesista

4.4.4 Etapa 4: Diseño de Experimentos

El sistema considera dos factores X₁ y X₂, por lo tanto el número de combinaciones básicas en 2² = 4 experimentos. Las combinaciones básicas son las que se presentan en la Tabla 4.8.

Para completar el diseño de experimentos factorial se hallan combinaciones adicionales. Estas combinaciones adicionales se dan en la Tabla 4.9.

TABLA 4.6: DISEÑO DE EXPERIMENTOS FACTORIAL 2²: DISEÑO BASICO

Numero de Combinación Experimental	Identificación de la Combinación	Factores	
		X ₁	X ₂
1	I	-1(0.3143)	-1(6.98)
2	X ₁	+1(0.3153)	-1(6.98)
3	X ₂	-1(0.3143)	+1(7.39)
4	X ₁ X ₂	+1(0.3153)	+1(7.39)

Fuente: Elaborado por la Tesista

TABLA 4.7: DISEÑO DE EXPERIMENTOS FACTORIAL 2²: COMBINACIONES ADICIONALES

Numero de Combinación Adicionales	Factores	
	X ₁	X ₂
5	0 (0.3148)	0 (7.18)
6	0 (0.3148)	-1(6.96)
7	0 (0.3148)	+1(7.39)
8	-1(0.3143)	0 (7.18)
9	+1(0.3053)	0 (7.18)

Fuente: Elaborado por la Tesista

4.4.5 Etapa 5: Evaluación

De acuerdo a la evaluación realizada por las autoridades de la municipalidad de la ciudad de Pisco, se puede señalar que la velocidad de utilización de oxígeno (VUO) es de 0.3153 consecuencia del aporte del proceso de tratamiento de aguas residuales desarrollados con un lenguaje de programación MATLAB.

4.4.6 Etapa 6: Análisis y Discusión de Resultados

a) Análisis de Resultados

a.1) Resultados de la Experimentación

El porcentaje de recuperación de la potencia, Y , para cada combinación experimental de la velocidad de utilización del oxígeno y la concentración de oxígeno disuelto, como se observa en la tabla 4.10.

TABLA 4.8: RESULTADOS DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS FACTORIAL 2^2

Numero de Combinación Experimental	Identificación de la Combinación	Factores		Y (%)
		X_1	X_2	
1	I	0.3143	6.98	62
2	X_1	0.3153	6.98	80
3	X_2	0.3143	7.39	75
4	$X_1 X_2$	0.3153	7.39	87
5		0.3148	7.18	74
6		0.3148	6.98	72
7		0.3148	7.39	79
8		0.3143	7.18	74
9		0.3153	7.18	81

Fuente: Elaborado por la Tesista

a.2) Análisis Estadístico

El Algoritmo de Yates

La evaluación preliminar de los efectos directos y de interacción de los factores y la suma de cuadrados S_1^2 se obtiene por medio del Algoritmo de Yates, los datos se registran en la tabla 4.11:

TABLA 4.9: ALGORITMO DE YATES

N° Combinación Experimental (Diseño Básico)	Identificación de la Combinación	Y (%)	(1)	(2)	Efectos	S ₁ ²
1	I	62	142	104	152	----
2	x ₁	80	164	30	15	225.00
3	x ₂	75	18	20	10	100.00
4	x ₁ x ₂	87	12	-6	-3	9.00
Efectos = (2)/2					Σ =	334.00
S ₁ ² = (Efectos) ² /4						

Fuente: Elaborado por la Tesista

Análisis de Varianza

Para el análisis de varianza primero se halla la varianza del error experimental e interacciones, S_e², a partir de los resultados de las combinaciones experimentales adicionales; los datos respectivos se dan la tabla 4.12.

TABLA 4.10: CUADRADOS DE LAS DESVIACIONES DE LA RESPUESTA

N° de Combinación Adicional (n)	Y (%)	(Y - \bar{Y})	(Y - \bar{Y}) ²	
5	74	-3.2	10.24	
6	72	-5.2	27.04	
7	79	1.8	3.24	
8	74	-3.2	10.24	
9	81	3.8	14.44	
n = 5	Σ =	386	Σ =	65.20
	\bar{Y} =	77.20		

Fuente: Elaborado por la Tesista

Promedio:

$$\sum_{n=1}^5 Y(\%) = Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 = 386$$

También:
$$\bar{Y} = \frac{\sum Y(\%)}{n} = 77.20$$

Varianza del Error e Interacción:

$$S_e^2 = \frac{\sum (Y - \bar{Y})^2}{n-1} = 16.30$$

Luego usando el F-test se lleva a cabo el análisis de varianza por comparación de las varianzas S_1^2 y S_e^2 . Estos resultados se dan en la Tabla 4.13.

TABLA 4.11: ANALISIS DE VARIANZA Y F-test

Identificación de Combinaciones	S_1^2	ϕ_1	F-test(ϕ_1, ϕ_2)
I	----	----	----
x ₁	225.00	1	13.8037
x ₂	100.00	1	6.1350
x ₁ x ₂	9.00	1	0.5521

ϕ_1 : Grados de Libertad del Numerado

ϕ_2 : Grados de Libertad del Denominador

Fuente: Elaborado por la Tesista

Prueba de Hipótesis

Primero se denominan los valores críticos de F, F_c , de acuerdo con las tablas estadísticas del **Anexo A**.

TABLA 4.12: VALORES DE F, F_c

α (Nivel de Significación)	Grados de Confianza (%)	$F_c(\phi_1, \phi_2)$
0.10	90	4.54
0.05	95	7.71
0.01	99	21.20

Fuente: Elaborado por la Tesista

Después, se comparan los valores de F-test y F_c para probar las hipótesis formuladas. Los cuadros comparativos de estos datos y el grado de influencia de los factores, que se determina como consecuencia de la prueba de hipótesis se muestran en la siguiente tabla 4.15.

TABLA 4.13: CUADOR COMPARATIVO DE F

Grado de Confianza	$F_c(\phi_1, \phi_2)$	F-test(ϕ_1, ϕ_2)	Identificación de la Combinación	Grado de Influencia del factor o Interacción
90	4.54	13.8037	X_1	Muy Influyente
		6.1350	X_2	Influyente
		0.5521	X_1X_2	No Influyente
95	7.71	13.8037	X_1	Muy Influyente
		6.1350	X_2	Influyente
		0.5521	X_1X_2	No Influyente
99	21.20	13.8037	X_1	Ligeramente Influyente
		6.1350	X_2	No Influyente
		0.5521	X_1X_2	No Influyente

Fuente: Elaborado por la Tesista

a.3) **Discusión de Resultados**

En principio, los resultados experimentales del diseño se muestran que el porcentaje de recuperación, Y , depende de la distancia en la dirección del viento, X_1 , y de la concentración de saturación de oxígeno disuelto, X_2 , pero no aclaran si la influencia de estos dos factores es igual, o uno de ellos es más influyente que el otro. Para resolver esto, el análisis estadístico es la alternativa esencial; así, el Algoritmo de Yates pone en evidencia que el efecto del factor de la velocidad de utilización de oxígeno es superior al efecto del factor de la concentración de saturación de oxígeno disuelto, asimismo indica que el efecto de la interacción de estos dos factores no es significativo en la respuesta. Tales resultados se corroboran con el análisis de varianza y F-test de la Tabla 4.13.

Finalmente la prueba de hipótesis demuestra que la velocidad de utilización de oxígeno es más influyente que la concentración de saturación de oxígeno disuelto, y que la interacción de estos dos factores no es influyente en la respuesta. En este sentido:

- ✓ Para la influencia directa de los factores, se aceptan la hipótesis alternativa y se rechazan la hipótesis nula, al 90% y 95% de confianza.
- ✓ Para la influencia de interacción de factores, se aceptan la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa, al 90% y 95% de confianza.

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

La determinación del coeficiente de transferencia de oxígeno ($K_{La,r}$) utilizando el programa se realizó a través de la medición de OD para agua corriente y agua residual proveniente de la laguna de oxidación Leticia-Pisco, por los métodos y condiciones de operación propuestas, temperatura, volumen del líquido, flujo de aire y presión de operación, dieron como resultado los coeficientes de transferencia de oxígeno ($K_{La,r}$) que se pueden observar en las $K_{La,w} = 0.2919$ a 18.2°C para agua corriente; y, $K_{La,w} = 0.3101$ a 18.2°C para agua residual. Analizando los valores obtenidos el valor $K_{La,r}$ del agua residual es mayor, igual o menor que el K_{La} del agua corriente, se puede apreciar que si se deja el flujo constante entonces esta disminuye conforme se disminuye el grado de agitación mecánica; esto significa que la transferencia de oxígeno al agua es adecuada. Si se varía el flujo entonces tiende a aumentar el factor K_L mientras se disminuye el grado de agitación. Es decir, que no hay una repartición suficiente de oxígeno y hace que el valor de K_L aumente considerablemente provocando que no se satisfaga la transferencia necesaria de oxígeno.

La potencia seleccionada se obtiene en base al programa **aireación.m**, con un número de aireadores a lo largo del sistema que es 4 y a lo ancho del sistema que es de 3, se selecciona la potencia de los aireadores de 50 HP, con un diámetro de influencia (d_{inf}) de 15.667 pulg, un área del biorreactor biológico de 2945.3 m^2 , la altura es de 2.7162 m, dando como resultado de operación la potencia 600 HP.

En consecuencia por la prueba de Hipótesis en base al algoritmo de Yates tenemos lo siguiente, que: El factor más influyente es la velocidad de utilización de oxígeno disuelto e influyente la concentración de saturación de oxígeno disuelto, por lo tanto no se descarta. La interacción de la velocidad de utilización de oxígeno y la concentración de saturación de oxígeno disuelto no es influyente, por lo tanto puede descartarse.

Esta determinación si permite una mejor eficiencia en el dimensionamiento de un sistema convencional de aireación con Matlab en las aguas residuales del sector Leticia de Pisco.

RECOMENDACIONES

- Utilizar los valores del coeficiente de transferencia de oxígeno calculados en el presente trabajo como base para el diseño de plantas de tratamiento aeróbico de aguas residuales con diferentes dimensiones.

- Realizar otras simulaciones de programación con concentración de 3.5 mg/L, si se instala en un lugar de 2000 metros de altura sobre el nivel del mar y como se mejoraría el programa con MATLAB al realizar el escalonamiento a nivel de planta.

- Que la Universidad Alas Peruanas, realice cursos de actualidad, en tratamiento de Aguas Residuales, permitiendo integrar a otros egresados a la realidad de la ciudad de Pisco, ahora que ya se cuenta con doble vía de Pisco a Lima y viceversa, el terminal Marítimo y el Aeropuerto Internacional de Pisco, donde el tratamiento de aguas será uno de los pilares fundamentales en cuanto a la sanidad de no contaminar el medio en que vivimos.

FUENTES DE INFORMACIÓN BIBLIOGRAFICA

1. Azimi A. and Zamanzadeh M. (2004). "Determination of design criteria for UASB reactors as a wastewater pretreatment system in tropical small communities", *Journal Environmental Science Technology*, Vol. 1, No. 1, pp. 51-57.
2. Huamán García F. T. (1998). "Efecto del Calcio sobre la Demanda Bioquímica de Oxígeno de las aguas servidas de la Universidad de Trujillo en un bioreactor UASB". Tesis para optar el título de biólogo – microbiólogo; Facultad de ciencias biológicas, escuela académica profesional de microbiología y parasitología Universidad Nacional de la Libertad.
3. Azimi A. and Zamanzadeh M. (2004). "Determination of design criteria for UASB reactors as a wastewater pretreatment system in tropical small communities", *Journal Environmental Science Technology*, Vol. 1, No. 1, pp. 51-57.
4. Huamán García F. T. (1998). "Efecto del Calcio sobre la Demanda Bioquímica de Oxígeno de las aguas servidas de la Universidad de Trujillo en un bioreactor UASB". Tesis para optar el título de biólogo – microbiólogo; Facultad de ciencias biológicas, escuela académica profesional de microbiología y parasitología Universidad Nacional de la Libertad.
5. Gutiérrez P., H.; De la Vara S., R. (2008) . *Análisis y Diseño de Experimentos*. México. Segunda Edición. Editorial MC Graw Hill Interamericana Editores S.A. 545p.
6. Cavalcanti P. F. F., Van Haandel A. and Lettinga G. (2008). "Influence of the phase separator design on the performance of the UASB reactor and on excess sludge production", Federal University of Campina Grande, Brazil.
7. Colli Badino Júnior, Alberto y Antonio José Gonçalves da Cruz. (2002). *Agitação e aeração em tanque cilíndrico em sistema automatizado*. Brasil, São Paulo: Depto de Ingeniería Química de la Universidad de São Carlos.
8. Crites, Ron y George Tchobanoglous. 2000). *Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados*. Tr.: Miller Camargo y otros. Colombia: Editorial McGraw-Hill.
9. Davis, Mackenzie y David A. Cornwell. (1991). *Introduction to Environmental Engineering*. Estados Unidos de Norte América: Editorial McGraw-Hill, Inc.
10. Departamento de la Producción agraria, Universidad Pública de Unavarra, Grupo de investigación de microbiología y genética. *Microbiología*. <http://www.unavarra.es/genmic/micind-2.htm>
11. EPA (1989). *Desing Manual. Fine pore aeration systems*. EPA/625(1- 89/023. Environmental Protection Agency. USA

12. FAIR, Gordon, Hohn Charles Geyer y Daniel Alexander Okun. (1984). Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales. (Volumen 2). México: Editorial LIMUSA, S.A.
13. Geankoplis CJ (1998). Procesos de transporte y operaciones unitarias. Edit. CECSA 3ª edición. 3: 162 – 165.
14. Hernández CA (2000). Transferencia de masa gas – líquido y consumo de potencia en fluidos newtonianos agitados con impulsor mixto turbina de disco y hojas planas rectas y listón helicoidal. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios superiores Cuautitlan México Edo. De México.
15. Henze, Mogens y otros. (1997). Wastewater Treatment: Biological and Chemical Proceses. 2a ed. Alemania: Editorial Springer Verlag Berlin Heidelberg.
16. Martínez D, Sergio (2005); Rodríguez R Miriam. Tratamiento de Aguas residuales con MATLAB ED. Reverte, S.A México.
17. Metcalf & Eddy (2003). Ingeniería de la las aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. Edit. Mc Graw Hill. Nueva York, USA.
18. Segura MJ (2007). Efecto de la variación de oxígeno disuelto en la velocidad específica de nitrificación de agua y agua residual enriquecida con amonio. Tesis de licenciatura. UNAM, México D.F. México.
19. Romero, J. (2002). Aireación. Tratamiento de Aguas Residuales Teoría y Principios de Diseño. Bogota : Escuela Colombiana de Ingeniería
20. Tratamiento de agua (2002). http://www.aguamarket.com/temas_interes/027.asp 8 de diciembre del 2002
21. Universidad de Salamanca. (2003). Centro de investigación y desarrollo tecnológico del agua. Pretratamientos. http://cidta.usal.es/Unidad_H/ETAP/unidades/documentos/MTDA/caphtm/cap3-1.htm 17 de enero del 2003.
22. Yang, s. s., Guo, W. Q., Zhou, X. J., Meng, Z. H., Liu, B., Ren, N. Q. (2011). Optimization of operating parameters for sludge process reduction under alternating aerobic/oxygen-limited conditions by response surface methodology. *Bioresource Technology*.
23. Yuliwati, E & Ismail, A. F. (2011). Effects of process conditions in submerged ultrafiltration for refinery wastewater treatment: Optimization of operating process by response surface methodology.

ANEXOS

(Anexo A) Factores criticos parametricos.

F crítico $-\alpha = 0,10$ (90% de confianza)

$\varnothing_1 \backslash \varnothing_2$	1	2	3	4	5	6	7	8...
1	39,86	49,50	53,59	55,83	57,24	58,20	58,91	59,44
2	8,53	9,00	9,16	9,24	9,29	9,33	9,35	9,37
3	5,54	5,46	5,39	5,34	5,31	5,28	5,27	5,25
4	4,54	4,32	4,19	4,11	4,05	4,01	3,98	3,95
5	4,06	3,78	3,62	3,52	3,45	3,40	3,37	3,34
6	3,78	3,46	3,29	3,18	3,11	3,05	3,01	2,98
7	3,59	3,26	3,07	2,96	2,88	2,83	2,78	2,75
8	3,46	3,11	2,92	2,81	2,73	2,67	2,62	2,59
9	3,36	3,01	2,81	2,69	2,61	2,55	2,51	2,47
10	3,28	2,92	2,73	2,61	2,52	2,46	2,41	2,38

\varnothing_1 : Grados de libertad del numerador

\varnothing_2 : Grados de libertad del denominador

Fuente: MILLER, I and FREUND, J.E. *Probability and statistics for engineers*. Nueva Jersey, Prentice Hall Inc., 1993.

F crítico $-\alpha = 0,05$ (95% de confianza)

$\varnothing_1 \backslash \varnothing_2$	1	2	3	4	5	6	7	8...
1	161,45	199,50	215,71	224,58	230,16	233,99	236,77	238,88
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85

4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07

\emptyset_1 : Grados de libertad del numerador

\emptyset_2 : Grados de libertad del denominador

F crítico – $\alpha = 0,01$ (99% de confianza)

\emptyset_1	1	2	3	4	5	6	7	8...
\emptyset_1								
1	4052,2	4999,5	5403,3	5624,6	5763,7	5859,0	5928,3	5981,6
2	98,50	99,00	99,17	99,25	99,30	99,33	99,36	99,37
3	34,12	30,82	29,46	28,71	28,24	27,91	27,67	27,49
4	21,20	18,00	16,69	15,98	15,52	15,21	14,98	14,80
5	16,26	13,27	12,06	11,39	10,97	10,67	10,46	10,29
6	13,74	10,92	9,78	9,15	8,75	8,47	8,26	8,10
7	12,25	9,55	8,45	7,85	7,46	7,19	6,99	6,84
8	11,26	8,65	7,59	7,01	6,63	6,37	6,18	6,03
9	10,56	8,02	6,99	6,42	6,06	5,80	5,61	5,47
10	10,04	7,56	6,55	5,99	5,64	5,39	5,20	5,06

\emptyset_1 : Grados de libertad del numerador

\emptyset_2 : Grados de libertad del denominador

Fuente: MILLER, I and FREUND, J.E. *Probability and statistics for engineers*. Nueva Jersey, Prentice Hall Inc., 1993.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Aireación: La remoción del metano, sulfuro de hidrogeno y otros compuestos orgánicos volátiles responsables de conferirle al agua olor y sabor.

Aguas residuales: Aguas resultantes de actividades industriales que se vierten como efluentes.

Aguas negras: Son las aguas provenientes del servicio sanitario.

Ambiente: Conjunto de elementos bióticos y abióticos, y fenómenos físicos, químicos y biológicos que condicionan la vida, el crecimiento y la actividad de los organismos vivos. Generalmente se le llama medio ambiente.

Antropogénico: Material o contaminante que resulta de la actividad humana. Los contaminantes antropogénicos son el resultado de vertidos o derrames, más que de sucesos naturales tales como el fuego en los bosques.

Área de influencia directa: Comprende el ámbito espacial en donde se manifiesta de manera evidente, durante la realización de los trabajos, los impactos socio-ambientales.

Bioreactor : es un recipiente o sistema que mantiene un ambiente biológicamente activo. En algunos casos, un biorreactor es un recipiente en el que se lleva a cabo un proceso químico que involucra organismos o sustancias bioquímicamente activas derivadas de dichos organismos. Este proceso puede ser aeróbico o anaeróbico. Estos biorreactores son comúnmente cilíndricos, variando en tamaño desde algunos mililitros hasta metros cúbicos y son usualmente fabricados en acero inoxidable.

Cuerpo de agua: Acumulación de agua corriente o quieta, que en su conjunto forma la hidrósfera; son los charcos temporales, esteros, manantiales, marismas, lagunas, lagos, mares, océanos, ríos, arroyos, reservas subterráneas, pantanos y cualquier otra acumulación de agua.

Descarga: Vertido de agua residual o de líquidos contaminantes al ambiente durante un periodo determinado o permanente.

Desecho: Denominación genérica de cualquier tipo de productos residuales o basuras procedentes de las actividades humanas o bien producto que no cumple especificaciones. Sinónimo de residuo.

Disposición final: Forma y/o sitio de almacenamiento definitivo o bien forma de destrucción de desechos.

Efluente: Que fluye al exterior, descargado como desecho con o sin tratamiento previo; por lo general se refiere a descargas líquidas hacia cuerpos de aguas superficiales.

Emisión: Descarga de contaminantes hacia la atmósfera.

Geomorfología: Estudia las formas superficiales de la tierra, describiéndolas (morfología), ordenándolas e investigando su origen y desarrollo (morfogénesis).

Límite permisible: Valor máximo de concentración de elemento(s) o sustancia(s) en los diferentes componentes del ambiente, determinado a través de métodos estandarizados, y reglamentado a través de instrumentos legales.

Matlab: Es un entorno con un lenguaje de alto nivel (aunque no demasiado complejo) en el cual se puede resolver problemas técnicos de toda clase en el campo de la ingeniería, matemática, biología, etc. Se trata de una herramienta realmente completa y extensible para la resolución de problemas. Común en entornos científicos y universitarios.

Monitoreo ambiental: Seguimiento permanente y sistemático mediante registros continuos, observaciones y/o mediciones, así como por evaluación de los datos que tengan incidencia sobre la salud y el medio ambiente, efectuado por la propia empresa.

Sedimentación: Es el proceso en donde los floculo se trasladan a un tanque, donde por su propio peso se precipitan.

Sustrato: Compuesto que puede ser empleado como fuente de carbono, energía o nutrientes para el metabolismo microbiano.

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 2.1 Pasos en la transferencia de oxígeno de una burbuja de gas hasta que es utilizada por la célula	.....	27
Figura N° 2.2 Reactor Anaerobio	.....	35
Figura N° 2.3 Reactor Discontinuo	.....	37
Figura N° 2.4 Reactor de Mezcla Completa	.....	38
Figura N° 3.1 Grafico de obtención del coeficiente de transferencia de oxígeno (kla), Al suspender la aireación	.....	40
Figura N° 3.2 Variación de la concentración de oxígeno disuelto en reactor de lodos activados, al suspender u restablecer la aireación	.....	42
Figura N° 3.3 Comportamiento de los 6 tipos de plumas bajo diversas condiciones de estabilidad atmosférica.	.....	45
Figura N° 3.4 Algoritmo del Sistema de Aireación	.....	46
Figura N° 4.1 Grafica de $la(C_s - C_L)$, en función del tiempo para evaluar el K_{La}	.....	49
Figura N° 4.2 Línea de tendencia que permite obtener la pendiente de la recta K_{La}	.....	50
Figura N° 4.3 Medición del K_{La} del agua residual a 18.2 °C, mediante el metodo dinámico	.....	52
Figura N° 4.4 Velocidad de utilización del oxígeno a 18.2°C, mediante el metodo dinámico	.....	56
Figura N° 4.5 Medición del K_{La} del agua residual, mediante el metodo dinámico	.....	60

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Importancia de contaminantes en aguas residuales	17
Tabla 2.2	Efectos causados por aguas residuales	19
Tabla 2.3	Valores típicos del factor Alfa para aireadores superficiales para diferentes tipos de aguas residuales	34
Tabla 3.1	Datos experimentales de oxígeno disuelto en función Del tiempo para agua de la llave	41
Tabla 4.1	Datos experimentales para evaluar el K_{La} , agua de llave	48
Tabla 4.2	Resultados de los datos experimentales oxígeno disuelto en función del tiempo para agua de la llave	49
Tabla 4.3	Datos experimentales de oxígeno disuelto en función del tiempo para obtener suspender la aireación y al Establecer la aireación	51
Tabla 4.4	Niveles de factores	69
Tabla 4.5	Hipótesis nula e hipótesis alternativa	69
Tabla 4.6	Diseño de experimentos factorial 2^2 : Diseño básico	70
Tabla 4.7	Diseño de experimentos factorial 2^2 : Combinaciones adicionales	70
Tabla 4.8	Resultados del diseño de experimentos factorial 2^2	71
Tabla 4.9	Algoritmos de Yates	72
Tabla 4.10	Cuadros de la desviación de la respuesta	72
Tabla 4.11	Análisis de varianza y F- test	73
Tabla 4.12	Valores de F, F_c	73
Tabla 4.13	Cuadro comparativo de F	74

OTROS ANEXOS

DIPOSITIVAS DE SUSTENTACION



UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS

DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE OXIGENO Y EL
DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA CONVENCIONAL DE AIREACION CON
MATLAB EN AGUAS RESIDUALES EN EL SECTOR LETICIA DE LA PROVINCIA DE
PISCO_2016

PRESENTADO POR LA BACHILLER: CACERES ALVAREZ, SHANDEL NAOMI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

Descripción de la Realidad Problemática

En la mayoría de los distritos de la Provincia de Pisco, se generan aguas residuales municipales y estas aún todavía no tienen implementados un sistema de tratamiento. Estas aguas residuales municipales son recolectadas en forma combinada y en algunos casos llegan a la laguna de oxidación ubicada en el sector Leticia de la Provincia de Pisco y por reboce fluyen por un cauce de riachuelo sin previo tratamiento a espacios donde se almacena el agua residual cerca de poblados. En algunos casos las aguas residuales municipales se utilizan en el regadío de campos de cultivo generando mayor contaminación.

Los problemas del tratamiento de las aguas residuales municipales se van agudizando, surgiendo la necesidad de realizarles un tratamiento. Para que esto se logre se recurre a muchos métodos de los cuales los más utilizados son los que involucran microorganismos debido a que son económicos, eficientes y no generan subproductos contaminantes.

Problema principal

¿En qué medida la determinación del coeficiente de transferencia de oxígeno permite una mejor eficiencia en el dimensionamiento de un sistema convencional de aireación con Matlab de aguas residuales en el sector Leticia de la Provincia de Pisco?

Objetivo de la Investigación

Realizar la determinación del coeficiente de transferencia de oxígeno permite una mejor eficiencia en el dimensionamiento de un sistema convencional de aireación con Matlab de aguas residuales en el sector Leticia de la Provincia de Pisco.

Hipótesis de la investigación.

La determinación del coeficiente de transferencia de oxígeno permite una mejor eficiencia en el dimensionamiento de un sistema convencional de aireación con Matlab de aguas residuales en el sector Leticia de la Provincia de Pisco

Variables e Indicadores

Variable Independiente

Determinación del coeficiente de transferencia de oxígeno

Indicadores

Velocidad del Consumo de oxígeno

Índices.

KgO_2/h

Variable Dependiente

Dimensionamiento de un sistema convencional de aireación

Indicadores

Potencia de los aireadores

Índices

Hp

Método , Diseño y Técnicas en la investigación

Método de la investigación.

En la presente investigación utilizaremos el método inductivo deductivo.

Diseño de la investigación.

El diseño a utilizarse será el diseño factorial 2n

Técnicas.

Las principales técnicas que utilizaremos en la investigación son:
Análisis y observación.

Instrumentos.

Guía de análisis documental
Legislación
Situación Ambiental

Cobertura de Estudio

Universo.

Se tomó en cuenta como población la laguna de oxidación ubicado en el sector Leticia de la Provincia de Pisco.

Muestra

La muestra considerada para los datos en el sistema de aireación es de 350 KgO₂/d, con un volumen de 3500 m³ y una concentración de oxígeno en el biorreactor de 2.2 mg/l.

Viabilidad de la investigación.

Viabilidad técnica

Si existen los medios tecnológicos y recursos necesarios para realizar el presente trabajo.

Viabilidad operativa.

Las muestras obtenidas serán procesadas en laboratorios con la participación y apoyo de técnicos de EMAPISCO.

Viabilidad económica.

El financiamiento para este estudio no es costoso por lo que se hace viable económicamente.

IMPORTANCIA DEL ESTUDIO

La importancia de este tema radica en la creciente atención por la contaminación ambiental; las plantas de tratamiento serán la solución del futuro, que además serán capaces de generar energía eléctrica sino que permiten disminuir la carga orgánica presente en el agua residual, permitiendo realizar un tratamiento biológico a aguas contaminadas previo a su vertimiento en los distintos cuerpos de agua.

Además la producción creciente de energías alternativas permiten mirar más allá de los combustibles fósiles los cuales son recursos no renovables y su procesamiento ha repercutido en el medio ambiente, en esta instancia es una gran oportunidad el hecho de obtener energía limpia a partir de la aireación en sistemas de tratamiento de agua residuales porque proporciona dos beneficios inigualables para el ambiente y el ser humano, además de bases teóricas sólidas que un futuro servirán para satisfacer la demanda de agua y energía.

MARCO TEORICO

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

Según su origen, las aguas residuales resultan de la combinación de líquidos y residuos sólidos transportados por el agua que proviene de residencias, oficinas, edificios comerciales e instituciones, junto con los residuos de las industrias y de actividades agrícolas, así como de las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que también pueden agregarse eventualmente al agua residual.

El oxígeno disuelto es un nutriente limitante en cultivos con alta demanda de oxígeno, lo cual puede deberse a la velocidad de crecimiento del microorganismo, a una alta producción de biomasa o a que las propiedades geológicas de los medios de cultivo ofrezcan resistencia a la transferencia de masa. Sin embargo, una de las razones principales por las que la disponibilidad del oxígeno en el medio de cultivo es limitada, está relacionada con su baja solubilidad en soluciones acuosas de nutrientes. Para superar este inconveniente y evitar que la transferencia de oxígeno sea el paso controlador para el crecimiento microbiano, viéndose afectado el cultivo y el bioproceso se emplean como alternativas convencionales cambios en la velocidad de agitación o en el flujo de aireación o en los sistemas de distribución de aire.

Al trabajar con biorreactores para el cultivo de microorganismos aerobios con altas demandas de oxígeno, una de las principales limitaciones está asociada a la transferencia de este sustrato al medio de cultivo. La transferencia de oxígeno constituye un factor muy importante en el crecimiento de los microorganismos y es variable fundamental para el escalado y la economía de los sistemas de biosíntesis aerobia. La concentración de oxígeno disuelto en un cultivo con microorganismos aerobios depende de la tasa de transferencia de oxígeno de la fase gas al líquido, de la velocidad de transporte del oxígeno hacia las células y de la tasa de consumo de oxígeno por los microorganismos para el crecimiento, mantenimiento y producción de metabolitos y estructuras celulares

TABLA 2.1: IMPORTANCIA DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES

CONTAMINANTES	MOTIVO DE SU IMPORTANCIA
Sólidos Suspendidos	Los sólidos suspendidos pueden llevar al desarrollo de depósitos de barro y condiciones anaerobias, cuando los residuos no tratados son volcados en el ambiente acuático
Matena Orgánica Biodegradable	Compuesta principalmente de proteínas, carbohidratos y grasas. Por lo general, se mide en términos de DBO y DQO. Si es descargada sin tratamiento al medio ambiente, su estabilización biológica puede llevar al consumo del oxígeno natural y al desarrollo de condiciones sépticas
Microorganismos Patógenos	Los organismos patógenos existentes en las aguas residuales pueden transmitir enfermedades
Nutrientes	Tanto el nitrógeno como el fósforo, junto con el carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando son lanzados en el ambiente acuático, pueden llevar al crecimiento de la vida acuática indeseable. Cuando son lanzados en cantidades excesiva en el suelo, pueden contaminar también el agua subterránea
Contaminantes Importantes	Compuestos orgánicos e inorgánicos seleccionados en función de su conocimiento o sospecha de carcinogenicidad, mutanogenicidad, teratogenicidad o elevada toxicidad. Muchos de estos compuestos se encuentran en las aguas residuales

Materia Orgánica Refractaria	Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales. Ejemplos típicos incluyen detergentes, pesticidas agrícolas, etc.
Metales Pesados	Los metales pesados son normalmente adicionados a los residuos de actividades comerciales e industriales, debiendo ser removidos si se va a usar nuevamente el agua residual.
Sólidos Inorgánicos Disueltos	Componentes inorgánicos como el calcio, sodio y sulfato son adicionados a los sistemas domésticos de abastecimiento de agua, debiendo ser removidos si se va a reutilizar el agua residual.

SOLUCIÓN PROPUESTA

DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE OXÍGENO ($K_L a$) DEL AGUA DE LLAVE

Esta prueba, consiste en eliminar (desoxigenación) el oxígeno disuelto (mediante nitrógeno o bisulfito) de un volumen conocido de agua de la llave, para después reairearlo mediante el equipo de aireación a evaluar, incrementando paulatinamente la concentración de oxígeno disuelto, desde concentraciones de $0.0 \text{ mgO}_2/\text{L}$ hasta valores cercanos a la saturación.

DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE OXÍGENO ($K_L a_r$) DEL AGUA RESIDUAL

La prueba se realiza en un reactor aireado de lodos activados suspendidos en agua residual. Consiste en suspender la aireación en el sistema, permitiendo que la concentración de oxígeno disuelto disminuya debido al consumo de microorganismos. Esto nos permita evaluar la velocidad de utilización o consumo de oxígeno (VUO), ya que se mide la caída en la concentración de O_2 disuelto, en función del tiempo. Inmediatamente después, se restablece la aireación.

DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE OXÍGENO Y LA POTENCIA DE LOS AIREADORES

Se desarrolla en base a los resultados experimentales, que determinará la cantidad másica de oxígeno KgO_2/h , además el volumen de operación del reactor, necesarios para reducir la carga de contaminantes hasta niveles deseados así como los calculados para obtener los KgO_2/h y el volumen de operación del reactor, necesario para reducir la carga del contaminante hasta niveles deseados.

También es importante que la especificación de transferencia (ET) del aireador se reporta de pruebas realizadas con agua limpia a condiciones estándar, es decir a 20°C y a 1.0 atmósfera de presión de operación.

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

RESULTADOS DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE OXÍGENO ($K_L a$)

Con los datos de laboratorio, de aguas residuales en el sector Leticia vamos a obtener los coeficientes de transferencia de oxígeno.

- a) aguas de llave mediante el método del sulfito y
- b) agua residual obtenido de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante el método dinámico; con los resultados obtenidos se realizaron simulaciones utilizando Matlab®.

$K_L a$ DEL AGUA RESIDUAL

Para evaluar el $K_L a$, se utilizó agua de un reactor biológico muestreada de la laguna de oxidación de aguas residuales en el sector Leticia y el mismo equipo de la prueba anterior. No se adicionó sulfito por no ser necesario debido a que el oxígeno lo consumen los microorganismos presentes.

RESULTADO DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE OXÍGENO Y EL DIMENSIONAMIENTO DE LOS AIREADORES

Una vez obtenido el coeficiente de transferencia de oxígeno residual ($K_L a_r$), la concentración de oxígeno disuelto, el volumen de operación del reactor biológico, con la finalidad de reducir la carga de contaminantes hasta niveles deseados por la norma peruana. Las condiciones de operación de Reactor es de 20°C y 1 atm de presión, para evaluar la eficiencia de transferencia de oxígeno real (ET_{Real}), en condiciones reales de operación, del agua residual real. Se utiliza el programa, Matlab siendo el **archivo: aireación.m**, que va a permitir elaborar la simulación en base a la programación del diseño del reactor biológico, aireación de superficie.

CONCLUSIONES

La determinación del coeficiente de transferencia de oxígeno ($K_L a_r$) utilizando el programa

se realizó a través de la medición de OD para agua corriente y agua residual proveniente de la laguna de oxidación Leticia-Pisco, por los métodos y condiciones de operación propuestas, temperatura, volumen del líquido, flujo de aire y presión de operación, dieron como resultado los coeficientes de transferencia de oxígeno ($K_L a_r$) que se pueden observar en las $K_L a_w = 0.2919$ a 18.2°C para agua corriente; y, $K_L a_w = 0.3101$ a 18.2°C para agua residual. Analizando los valores obtenidos el valor $K_L a_r$ del agua residual es mayor, igual o menor que el $K_L a$ del agua corriente, se puede apreciar que si se deja el flujo constante entonces esta disminuye conforme se disminuye el grado de agitación mecánica; esto significa que la transferencia de oxígeno al agua es adecuada. Si se varía el flujo entonces tiende a aumentar el factor K_L mientras se disminuye el grado de agitación. Es decir, que no hay una repartición suficiente de oxígeno y hace que el valor de K_L aumente considerablemente provocando que no se satisfaga la transferencia necesaria de oxígeno.

La determinación de la potencia de los aireadores.

La potencia seleccionada se obtiene en base al programa **aireación.m**, con un número de aireadores a lo largo del sistema que es 4 y a lo ancho del sistema que es de 3, se selecciona la potencia de los aireadores de 50 HP, con un diámetro de influencia (dinf) de 15.667 pulg, un área del biorreactor biológico de 2945.3 m^2 , la altura es de 2.7162 m, dando como resultado de operación la potencia 600 HP.

RECOMENDACIONES

Utilizar los valores del coeficiente de transferencia de oxígeno calculados en el presente trabajo como base para el diseño de plantas de tratamiento aeróbico de aguas residuales con diferentes dimensiones.

Realizar otras simulaciones de programación con concentración de 3.5 mg/L , si se instala en un lugar de 2000 metros de altura sobre el nivel del mar y como se mejoraría el programa con MATLAB al realizar el escalonamiento a nivel de planta.

- Que la Universidad Alas Peruanas, realice cursos de actualidad, en tratamiento de Aguas Residuales, permitiendo integrar a otros egresados a la realidad de la ciudad de Pisco, ahora que ya se cuenta con doble vía de Pisco a Lima y viceversa, el terminal Marítimo y el Aeropuerto Internacional de Pisco, donde el tratamiento de aguas será uno de los pilares fundamentales en cuanto a la sanidad de no contaminar el medio en que vivimos.

¡Gracias!