



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
UNIDAD DE POSGRADO INVESTIGACIÓN Y
DESARROLLO

TRABAJO DE TITULACIÓN ESPECIAL PARA OBTENCIÓN DEL
GRADO MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

TEMA:

DISEÑO DE UN SISTEMA DE AIREACIÓN PARA MEJORAR LA OPERACIÓN DE LAS
LAGUNAS DE OXIDACIÓN DEL CANTÓN PLAYAS

AUTOR: ING. JOSÉ GIL HAZ CHAVARRÍA.

TUTOR: MSC. ING. CARLOS MUÑOZ CAJIAO.

SEPTIEMBRE 2016

REPOSITARIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS

TÍTULO Y SUBTÍTULO: DISEÑO DE UN SISTEMA DE AIREACIÓN PARA MEJORAR LA OPERACIÓN DE LAS LAGUNAS DE OXIDACIÓN DEL CANTÓN PLAYAS

AUTOR/ES: ING. JOSÉ GIL HAZ CHAVARRÍA	REVISORES: MSC. JOSÉ GUILLERMO CÁRDENAS MURILLO
---	---

INSTITUCIÓN: Universidad de Guayaquil	FACULTAD: Facultad de Ingeniería Química
---	--

CARRERA: Maestría en Gestión Ambiental

FECHA DE PUBLICACIÓN: Octubre de 2016	N. DE PAGS:
---	--------------------

ÁREAS TEMÁTICAS: Medio Ambiente

PALABRAS CLAVE:

Lagunas facultativas, lagunas de maduración, cuerpo receptor

RESUMEN: El sistema de tratamiento de aguas residuales del cantón Playas está constituido por dos lagunas facultativas dispuestas en paralelo, seguidas de una tercera, de maduración, cuyo efluente se descarga a un cuerpo receptor que es el río Arenas. La ausencia de un tratamiento preliminar, determina que el sistema está sobrecargado debido a la presencia exagerada de lodos, que impide la mezcla del afluente con el contenido de las lagunas. Lo que sugiere la remoción urgente de los lodos existentes. El objetivo de este trabajo es el diseño de un sistema de aireación, cuya finalidad es optimizar la estabilidad del sistema de las lagunas de oxidación y prolongar su tiempo de vida útil. La metodología empleada se fundamenta en el cálculo de la potencia requerida, a partir de la tasa real de transferencia de oxígeno,

N. DE REGISTRO (en base de datos):	N. DE CLASIFICACIÓN:
------------------------------------	----------------------

DIRECCIÓN URL (tesis en la web):

ADJUNTO URL (tesis en la web):

ADJUNTO PDF:	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
--------------	-----------------------------	-----------------------------

CONTACTO CON AUTORES/ES: Ing. José Haz Chavarría	Teléfono:	E-mail:
---	-----------	---------

CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:	Nombre:
	Teléfono:
	E-mail:

CERTIFICACIÓN DEL TOTUR

En mi calidad de tutor del estudiante JOSÉ GIL HAZ CHAVARRÍA del programa de Maestría en Gestión Ambiental nombrado por el Comité de Titulación de Posgrado, de la Facultad Ingeniería Química CERTIFICO: que el estudio de titulación especial titulado “DISEÑO DE UN SISTEMA DE AIREACIÓN PARA MEJORAR LA OPERACIÓN DE LAS LAGUNAS DE OXIDACIÓN DEL CANTÓN PLAYAS” para optar para el grado de Magister en Gestión Ambiental, cumple con los requisitos académicos, científicos y formales que establece el reglamento de posgrado.

Atentamente

Ing. Carlos Muñoz Cajiao. Msc

SEPTIEMBRE 2016.

AGRADECIMIENTO:

Agradezco a Dios y a los Ings. Carlos Muñoz, e Iván Ortega por su apoyo incondicional y valioso aporte en la ejecución del presente trabajo de investigación.

A los funcionarios y compañeros que forman parte de Hidroplayas EP, empresa pública responsable de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento del cantón Playas, por otorgar las facilidades para que la presente investigación se desarrolle con éxito.

DEDICATORIA.

Dedico la presente investigación a mi esposa e hijos por el tiempo no compartido con ellos; a mis padres y hermanos por su apoyo y motivación en el transcurso de mi vida para lograr mis objetivos.

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este trabajo de titulación especial, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL”

FIRMA

Ing. Qco. José Gil Haz Chavarría.

ABREVIATURAS

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

TULSMA: Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente.

SENPLADES: Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo

DBO: Demanda Biológica de Oxígeno

DBOU: Demanda Última Biológica de Oxígeno

TRH: Tiempo de Residencia Hidráulica

Hab. equiv: Habitante Equivalente

CSM: Carga Superficial Máxima

AAPP: Agua Potable

AARR: Agua Residual

INDICE DE CONTENIDO

Contenido

INTRODUCCIÓN	13
Delimitación del problema	16
Formulación del problema	16
El objeto de estudio	17
Objetivo general	17
Objetivos específicos	17
La novedad científica	18
CAPITULO I	19
1.-MARCO TEÓRICO	19
1.1.-TEORÍAS GENERALES	19
1.1.1.-Lagunas anaerobias	19
1.1.2.-Lagunas facultativas	19
1.1.2.1.-Requerimientos energéticos en el proceso de fotosíntesis	20
1.1.3.-Transferencia de oxígeno en el agua	21
1.1.4.-Breves aspectos bioquímicos	23
1.2.- Teoría Sustantivas	26
1.2.1.-Diseño de sistemas de aireación	26
1.2.2.-Lagunas aireadas facultativas	28
1.2.3.-Cálculo de la tasa máxima de oxígeno requerido	29
1.2.4.-Cálculo de potencia requerida en el eje	29
1.3.-Referentes empíricos	29
CAPITULO II	32
2.1.-MARCO METODOLÓGICO	32
2.1.1.-Metodología	32
2.2.- Métodos teóricos y empíricos	32
2.3.-Premisas	33
2.4 Cuadro de categorías	34
2.5.-Gestión de datos	34
2.5.1.-Determinación de parámetros de calidad de agua residuales a ser evaluados	34
2.5.3.-Elaboración de los formatos	34
2.5.3.-Recopilación de información	34
2.5.4.-Procesamiento de datos	34
2.5.5.-Obtención del valor de K y DBOU	35
2.5.6.-Estimación de cobertura de servicio de alcantarillado	35
2.5.7.-Estimación de la tasa de transferencia de oxígeno	35
2.5.8.-Tiempo de residencia hidráulico requerido	35
2.5.9.-Determinación de los valores de DBO efluente de diseño	36
2.5.10.-Determinación de caudales per-cápita	36
2.6.-Criterios éticos de la investigación	36

CAPITULO III.....	39
3.-RESULTADOS	39
3.1 Antecedentes de la unidad de análisis o población	39
3.2 Diagnóstico o estudio de campo:	44
CAPÍTULO IV.....	48
DISCUSIÓN	48
4.1.- Contratación empírica	48
4.2.-Limitaciones del proyecto de investigación.....	51
4.3.- Líneas de investigación:.....	52
4.4.-Aspectos más novedosos e importantes del estudio y las diferencias con los referentes empíricos.	53
CAPÍTULO V.....	55
5.1.-PROPUESTA	55
CONCLUSIONES	57
RECOMENDACIONES	58
Bibliografía	59
ANEXOS	60

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfica # 2 Linealización de datos por el método de Thomas.....	36
Gráfica # 3 DBO ejercida y remanente vs t.....	38
Gráfica # 4 Proyección DBO de diseño	40
Gráfica # 5 DBO efluente vs TRH en el período de diseño.....	43
Gráfica # 6 Potencia requerida vs tasa de transferencia real de oxígeno.....	46
Gráfica # 7 Concentración de O ₂ vs Potencia requerida.....	47

RESUMEN

El sistema de tratamiento de aguas residuales del cantón Playas está constituido por dos lagunas facultativas dispuestas en paralelo, seguidas de una tercera, de maduración, cuyo efluente se descarga a un cuerpo receptor que es el río Arenas. La observación de aspectos constructivos, como la ausencia de un tratamiento preliminar, permitió establecer que el sistema antes descrito está sobrecargado, condición que está dada por la presencia exagerada de lodos, que impide la mezcla del afluente con el contenido de las lagunas. La recopilación de información, basada en resultados de análisis de laboratorio, corroboró lo antes señalado y sugiere la remoción urgente de los lodos existentes. El objetivo de este trabajo es el diseño de un sistema de aireación, cuya finalidad es optimizar la estabilidad del sistema de las lagunas de oxidación y prolongar su tiempo de vida útil. La metodología empleada se fundamenta en el cálculo de la potencia requerida, a partir de la tasa real de transferencia de oxígeno, resultado que fue adoptado, en virtud que sirvió para el cálculo de la potencia aparente, que permite determinar el consumo de energía y su costo mensual. Entre los resultados obtenidos desprende que la potencia requerida es de 255 KW, que será distribuida a través de cinco aireadores superficiales para el área de las dos lagunas facultativas; la presente propuesta constituirá una alternativa técnicamente viable para la empresa HIDROPLAYAS EP, que permitirá mejorar la sostenibilidad del servicio de saneamiento del cantón Playas.

Palabras clave: lagunas facultativas, lagunas de maduración, cuerpo receptor

Abstract

The system wastewater treatment Canton Playas is constituted by two facultative lagoons arranged in parallel, followed by a maturation, which effluent is discharged into a receiving body which is the river sands. The observation of constructive aspects, the absence of preliminary treatment, established that the system described above is overloaded condition is given by the excessive presence of sludge, which prevents mixing of the influent to the content of the gaps. The collection of information, based on laboratory test results confirmed the above points and suggests the urgent removal of existing sludge. The aim of this work is the design of an aeration system which aims to optimize the stability of the system of oxidation ponds and prolong their useful life. The methodology is based on the calculation of the power required from the actual rate of oxygen transfer, a result which was adopted under that served to calculate the apparent power, which determines energy consumption and cost monthly. Among the results obtained has the required power is 255 KW will be distributed through five surface to the area of the two facultative lagoons, this proposal aerators will constitute a technically viable alternative for the company HIDROPLAYAS EP, which will improve sustainability of sanitation services canton Playas.

Palabras clave: facultative lagoons, maturation lagoons, receiving body,

INTRODUCCIÓN

Toda actividad humana implica el uso de recursos naturales cuya disponibilidad es cada vez más escasa; se piensa comúnmente que el agua es un recurso renovable inagotable, sin embargo la sobreexplotación, la falta de medidas de conservación y la deforestación son factores que han disminuido su presencia con el tiempo. El ser humano dispone de limitadas fuentes de agua dulce con la finalidad de satisfacer sus necesidades fisiológicas básicas como son beber, la preparación de alimentos, el aseo personal, el desecho de excretas, y fomentar su crecimiento económico a través de actividades como la agricultura, la generación de energía, el transporte, la manufactura de bienes, etc.

El efecto neto de dichos usos es la incorporación de impurezas de naturaleza orgánica e inorgánica, a los cuerpos receptores como son ríos, lagos, lagunas, que representan el 0,01 % del agua dulce disponible, alterando la condición natural de los ecosistemas acuáticos. El origen de la alteración de la calidad del agua se debe al crecimiento poblacional y a la industrialización acompañados de una deficiente gestión a nivel mundial, sobre todo en países en vías de desarrollo de las aguas residuales generadas de las diferentes actividades del ser humano.

Dentro de la ejecución del proyecto regional “SISTEMA INTEGRADO DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL EN AMÉRICA LATINA: REALIDAD Y POTENCIAL, en el que participaron el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo, (IDRC) de Canadá, el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS), se publicó en Lima 2004 AVANCES DEL INVENTARIO REGIONAL DE LA SITUACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN AMÉRICA LATINA, cuya finalidad fue, entre otras, formular estrategias conducentes a mejorar el manejo de aguas residuales en la región.

En dicho inventario se informó que el número de plantas existentes para el tratamiento y disposición de aguas residuales en algunos países de América Latina fue de 1251, de las cuales 553 (44,2%), están constituidas por lagunas facultativas/estabilización, 371 (29,65%) por tratamientos primarios, 40 (3,19%) por lagunas aireadas, 233(18,6%) por sistemas de lodos activados, 28(2,23%) por lagunas combinadas y 15 (1,19 %) por lagunas anaerobias, principalmente. Los países incluidos para levantar la información fueron: Argentina, Bolivia, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, México, Nicaragua, Paraguay, Perú y República Dominicana.

Actualmente, la mayoría de los sistemas de tratamiento de aguas residuales de las ciudades en crecimiento no cuenta con una infraestructura apropiada, lo que las convierte en obsoletas y deficientes por lo que el impacto que generan está en desproporción con la capacidad del cuerpo receptor para autodepurarse. Dentro de este contexto, se ha estimado que el 80% de las aguas residuales generadas a nivel mundial no recibe tratamiento adecuado que permita descargarlas, sin ocasionar impactos negativos al medio ambiente y la salud, convirtiendo a los ríos, lagos y lagunas en sumideros naturales de los desechos provenientes de las actividades domésticas, industriales y comerciales de las poblaciones que, principalmente, han consolidado su núcleo urbanístico a orillas de los mismos, por la importancia que el agua representa para la vida y el desarrollo económico.

En Ecuador la situación es análoga, ya que la cobertura de agua potable a nivel nacional es de 74% y de alcantarillado del 55,4%; el porcentaje de tratamientos de aguas residuales en población urbana y periurbana es del 24%. La Secretaría Nacional de Planificación, la Secretaría Técnica para la Erradicación de la Pobreza, la Secretaría Nacional del Agua y el Banco del Estado, publicaron en el año 2014, las coberturas de los servicios de agua y saneamiento a nivel nacional, con la finalidad de impulsar la realización de proyectos que permitan el acceso a estos servicios fundamentales para el Buen Vivir.

En la mencionada publicación se detalló que al 2013, las provincias que presentan mayor cobertura de agua potable por red pública son: Pichincha, Santa Elena y el Oro; y, en contraste, las de menor cobertura son Chimborazo y Bolívar. Así mismo, se indicó que las provincias que presentan mayor cobertura de alcantarillado sanitario al 2013 son: Pichincha, seguida de Carchi, Imbabura, Tungurahua y Azuay mientras que las de menor cobertura fueron Los Ríos y Bolívar. A pesar de que en el mencionado documento no se reportan datos de sistemas de tratamiento de aguas residuales, las lagunas de oxidación se han constituido en una alternativa de tratamiento de aguas residuales, generalmente adoptada por los municipios en el Ecuador, ya que implica bajos costos de operación y mantenimiento, pero requiere de la disponibilidad de extensiones significativas de terreno a bajo costo.

En el cantón Playas, según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial elaborado por el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Playas 2014-2022, en base a los datos de proyección de la población cantonal emitido por el INEC, cuenta con una población de 52607 habitantes, distribuida de tal manera, que el 70% está consolidada en la cabecera cantonal, el 20% en sus comunas que son Engabao y San Antonio, y el 10 % en sus recintos. El documento señala que Playas posee un importante patrimonio de áreas naturales del Ecuador, que abarca sus 14 Km de playas lineales bajo la categoría de Área Nacional de Recreación Playas de Villamil, por declaración del Ministerio del Ambiente.

Según informe del SENPLADES del 2013, la cobertura de agua potable por red pública del cantón Playas es de 82.6%, mientras que la cobertura de alcantarillado sanitario es del 25,6 %.

De la información facilitada por HIDROPLAYAS EP, el agua para el consumo humano es captada de una fuente de agua superficial, consistente de un embalse ubicado en el recinto San Juan, desde donde se bombea el agua cruda gracias al desempeño de dos grupos

de motor-bomba, cuya capacidad es de 250 lps a una altura dinámica total de 90 m; el agua cruda es conducida a través de una tubería de hierro dúctil, con un diámetro de 450 mm y una longitud de 7,57 Km y sometida a un proceso de potabilización tipo convencional. Luego es suministrada a través de una red de distribución a la población de Playas, incluyendo las comunas de San Antonio y Engabao; y los recintos Positos, San Miguel, Data de Playas y el Arenal.

El servicio de agua potable también se extiende hasta la parroquia Posorja de Guayaquil, por convenio suscrito con EMAPAG, que feneció el 30 de septiembre del 2016. El agua residual generada tiene un caudal promedio de aproximadamente 1500 m³/día, que es conducido al complejo de lagunas de oxidación, compuesto por dos lagunas facultativas instaladas en paralelo y una laguna de maduración.

Delimitación del problema

El problema de las lagunas facultativas del cantón Playas, se basa en que están construidas actualmente pero no han sido mantenidas para su funcionamiento adecuado, por tal motivo el trabajo de las mismas no alcanza el cumplimiento de la normativa ambiental ecuatoriana.

Formulación del problema

¿La adecuada aireación de las lagunas facultativas incide en el incremento de la eficiencia de las mismas por una suficiente tasa de transferencia de oxígeno, requerido para estabilizar la materia orgánica presente en el agua residual?

Justificación.

Mediante esta investigación se pretende optimizar la tasa de transferencia de oxígeno en las lagunas facultativas, por medio de la aplicación de métodos mecánicos que ayuden al proceso aeróbico de tratamiento de aguas residuales.

El objeto de estudio

Constituye mejorar los procesos de degradación de los contaminantes de las lagunas facultativas del cantón Playas; este proceso reduce la carga orgánica del efluente, el cual desemboca en un cuerpo receptor que es el río Arenas.

El campo de acción consiste en probar el efecto del ingreso de oxígeno a las lagunas recolectoras de aguas residuales, de tal manera que deje de ser un factor limitante que nos permita degradar la carga contaminante a menores tiempos de residencia hidráulica.

Objetivo general

El diseño de un sistema de aireación, para mejorar la operación de las lagunas de oxidación del cantón Playas, se ha concebido para eliminar o disminuir la carga orgánica contaminante a valores que se encuentren dentro de la tabla # 10 del anexo 1 del libro VI del texto unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente, que establece los límites de descarga a cuerpos de agua dulce en nuestro país.

Objetivos específicos

- Determinar el volumen de descarga de aguas residuales, basado en el crecimiento poblacional del cantón Playas para obtener un caudal tentativo de ingreso de agua al sistema.
- Determinar la tasa real de transferencia de oxígeno teórico, convirtiendo la tasa de transferencia nominal para condiciones estándar, a través de la aplicación de

constantes empíricas α y β , tomados de otros estudios, estimar la constante de velocidad de degradación K del agua residual doméstica del cantón Playas.

- Estimar la DBO efluente del sistema de lagunas primarias en base a los tiempos de residencia hidráulico y el valor de K adoptado.

La novedad científica

La novedad científica del presente trabajo se sustenta en la determinación de la constante K y de la DBOU del agua residual, a partir de datos obtenidos en el experimento realizado en el laboratorio de HIDROPLAYAS EP, para medir la DBO estándar.

CAPITULO I

1.-MARCO TEÓRICO.

1.1.-TEORÍAS GENERALES

1.1.1.-Lagunas anaerobias

Son estanques de 3 a 5 m de profundidad donde se requiere que en la columna de agua gobiernen condiciones anaerobias. Se diseñan de manera que no ocupan mucho espacio y su tiempo de residencia hidráulico es de 1 a 5 días, factores que favorecen la ausencia de oxígeno, nutriente que inicialmente es provisto por reaireación y es consumido por altas cargas orgánicas; la presencia de sulfato genera la formación de sulfuro de hidrógeno que resulta ser tóxico para las algas. Se proyectan generalmente para aguas residuales con alta carga orgánica biodegradable, es decir, sobrepasan la composición típica de aguas residuales de uso doméstico, $DBO_5 > 400$ mg/L. La presencia de natas en la superficie es un factor que impide la reaireación, que limita la tasa de transferencia del oxígeno en la masa superficial de la laguna y mantiene un perfil de temperaturas que acelera las reacciones de fermentación.

1.1.2.-Lagunas facultativas

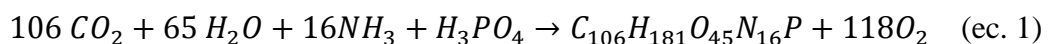
El principio de operación del sistema de lagunas facultativas se fundamenta en la relación de simbiosis que existe entre la biocenosis presente, constituida por algas y bacterias, donde las algas gracias al proceso de fotosíntesis proveen de oxígeno molecular a las bacterias aerobias heterótrofas presentes en la superficie para la oxidación de la materia orgánica del agua residual. A una profundidad de 0,3-0,5 metros de las lagunas facultativas se genera un ambiente donde predominan bacterias cuyo metabolismo es facultativo, es decir que la oxidación de la materia orgánica se lleva a cabo mediante la transferencia de los electrones a los nitratos para dar como producto final nitrógeno molecular N_2 .

En el fondo de toda laguna facultativa predomina un ambiente anaerobio donde los electrones se transfieren en forma de átomos de hidrógeno a los aceptores finales que en este caso son exclusivamente el CO₂, los sulfatos y compuestos orgánicos. Gracias a estos tres ambientes se logra la estabilización de la materia orgánica en las lagunas facultativas, donde el suministro de energía emitida a través de la radiación solar, aumenta la tasa de mortalidad de patógenos y la sedimentación de huevos de helmintos, favorecida por su prolongado tiempo de residencia hidráulico y por el aumento del pH debido a la actividad de las algas.

En efecto, el tratamiento de aguas residuales por el sistema de lagunas de oxidación posibilita el reúso del recurso, en actividades de mantenimiento de parques y cultivos de productos agrícolas como cereales, praderas, forrajeros y árboles considerados por la Organización mundial de la Salud, categorías B y C. Otra ventaja es que se requiere de un nivel de operación y mantenimiento básico, que implica bajos costos; no obstante, su principal desventaja es que se requiere disponibilidad de terreno con bajo costo.

1.1.2.1.-Requerimientos energéticos en el proceso de fotosíntesis

Las algas, al ser organismos fotoautótrofos, utilizan la energía solar para cubrir sus requerimientos de crecimiento, lo que se expresa a través de la siguiente ecuación:



Lo que significa que 1Kg de algas produce 1,55 Kg de O₂

Por otra parte, el requerimiento energético de radiación solar, para sintetizar un Kg de celdas de algas, es de 24000 Kilo Joule (KJ); la eficiencia de esta conversión varía en un rango comprendido entre el 2 al 7 %, dependiendo de la especie de las algas.

Al combinar la información dada por la ecuación de síntesis, con la energía requerida para la síntesis de algas y la eficiencia de conversión, se obtiene la siguiente igualdad:

$$CS_M = \frac{(Radiación\ solar; KJ/Ha-día) \cdot (Eficiencia\ de\ conversión) \cdot (1,55\ Kg\ de\ O_2/Kg\ de\ algas)}{24000\ KJ/Kg\ de\ algas\ producidas} \quad (\text{ec. 2})$$

Donde $CS_M = \text{Carga superficial máxima orgánica (KgO}_2) / (\text{Ha} - \text{día})$

Considerando que el porcentaje de eficiencia de conversión es del 3%, la expresión anterior se reduce a:

$$CS_M = (1,937E - 06). (RS) \quad (\text{ec.3})$$

Donde RS es la radiación solar mínima diaria del año, expresada como el promedio del mes, KJ/ha-día. Datos obtenidos mediante el sitio web de la NASA (D.) lo antes explicado constituye las relaciones básicas para el cálculo de la carga orgánica superficial por el método de radiación solar.

1.1.3.-Transferencia de oxígeno en el agua.

La transferencia de oxígeno es una operación unitaria, cuya fuerza impulsora es la diferencia de concentración y de presiones parciales del gas entre las dos fases implicadas, donde la interfase es una película de gas y una película de líquido, a través de la cual se transfiere el gas por difusión molecular, debido al movimiento browniano. Lo antes mencionado se sustenta en el modelo de Lewis y Whitman para la transferencia de gases. La cantidad másica de gas transferida se calcula con base en la teoría de Fick, para describir el fenómeno de difusión que se representa por medio de la siguiente ecuación:

$$N = \frac{dm}{dt} = KA(C_S - C) \quad (\text{ec.4})$$

$$\frac{N}{V} = \frac{dm}{dt} = K \frac{A}{V} (C_S - C) \quad (\text{ec.5})$$

Cuyos términos obedecen a la siguiente nomenclatura.

$N = \frac{dm}{dt}$ = tasa másica de transferencia del gas por difusión, g/s

K = Coeficiente de difusión del gas o velocidad de transferencia m/s

A = Área a través de la cual se difunde el gas, m^2

C_S = Concentración de saturación del gas en la solución, g/m^3

C = Concentración de gas en la fase líquida para el tiempo t , g/m^3

$v =$ volumen de la fase líquida, m^3

$\frac{dc}{dt} =$ Tasa de cambio en la concentración del gas, $g/m^3 \cdot s$

Debido a la imposibilidad matemática de estimar el valor del área superficial específica surge la conveniencia de calcular el término K_{La} , que representa el coeficiente global de transferencia de masa del gas en el líquido que esta dado por las siguientes ecuaciones:

$$K_{La} = K \frac{A}{V} \quad (\text{ec.6})$$

$$\frac{dc}{dt} = K_{La} (C_s - C) \quad (\text{ec.7})$$

Ecuación que al ser integrada da como resultado la siguiente expresión:

$$\ln \left(\frac{C_s - C_0}{C_s - C} \right) = K_{La} t \quad (\text{ec.8})$$

Que es la expresión cuyos puntos, al ser graficados en un papel semi-log, permiten determinar el valor de K_{La} por medio de la pendiente de la recta.

Lo que sugiere el cambio a logaritmo decimal, con lo que la expresión anterior quedaría modificada de la siguiente manera:

$$\lg \left(\frac{C_s - C_0}{C_s - C} \right) = \frac{K_{La} \cdot t}{2,3} \quad (\text{ec.9})$$

Los datos, a ser graficados en el eje de las “y”, son obtenidos a través de una prueba de laboratorio que consiste en desoxigenar la muestra que en nuestro caso será agua potable y luego agua residual. Luego de la desoxigenación con sulfito de sodio, catalizada con cloruro de cobalto, se procede a airear el agua de tal forma que la concentración de oxígeno se vea incrementada hasta el punto de saturación. Es importante anotar la temperatura real a la que se realiza la prueba, tratando de que se cumpla a 20 °C.

La concentración de saturación del oxígeno en el agua, esta dada por la ley de Henry, cuya ecuación es la siguiente:

$$P = HX \quad (\text{ec.10})$$

De acuerdo a lo citado por Jairo Alberto Romero Rojas, *la teoría de aireación se fundamenta, usualmente, en que la tasa másica de transferencia del gas está gobernada por la fase líquida, debido a que posee una difusividad inferior; además, la movilidad de las moléculas en la fase gaseosa es mucho mayor que la movilidad de las moléculas en la fase líquida, lo cual hace que el espesor de la película gaseosa sea mucho más pequeño que el de la película líquida. Para gases de solubilidad alta en la fase líquida, la película gaseosa ofrece la resistencia mayor a la absorción. Para gases de solubilidad baja en la fase líquida, por ejemplo: O₂, N₂, CO₂ y CH₄, la mayor resistencia se encuentra en la película líquida. Para gases de solubilidad intermedia, ambas películas ofrecen resistencia apreciable.* (Romero Rojas, 2010)

1.1.4.-Breves aspectos bioquímicos

En términos generales, la DBO₅ que mayoritariamente es demanda bioquímica carbonácea, constituye el 60% de la DBO total, que al sumarse a la demanda biológica de oxígeno nitrogenácea constituyen el 95 al 99% de la total.

Las principales reacciones bioquímicas que se cumplen en el interior de las células de las bacterias, tienen como objetivo básico la obtención de la energía disponible en los enlaces químicos presentes en el sustrato, por medio de los procesos de glucólisis, ciclo de Krebs, cadena de transporte de electrones y fosforilización oxidativa. Dos tercios de la energía adquirida a través del proceso explicado son utilizados en la síntesis celular, que dentro de un proceso de tratamiento de aguas residuales, significa producción de lodos biológicos, por lo que la materia orgánica presente en el agua residual es metabolizada y transformada a CO₂ y lodo biológico.

La demanda biológica de oxígeno generada por los compuestos de nitrógeno es metabolizada por bacterias nitrificantes quimio-autótrofas, obligadas a utilizar compuestos de nitrógeno (NH₄⁺) como fuentes de energía y carbono inorgánico como fuente de carbono

celular. El proceso de respiración anaerobio tiene las mismas etapas explicadas para la respiración aerobia, es decir en el citosol se producen la glucólisis y el ciclo de Krebs, mientras que la cadena de transporte de electrones se produce en la mitocondria, para las eucariotas, la única diferencia que marca estos dos procesos es que en la respiración aerobia el aceptor final es el oxígeno molecular O_2 , mientras que en los procesos anóxicos y anaerobios el aceptor final de electrones son iones tales como NO_3^- , NO_2^- y SO_4^{2-} .

La fermentación celular es el proceso donde solo se cumple la glucólisis para generar el ion piruvato, dando lugar a la fosforilización solamente a nivel de sustrato con bajo rendimiento energético, y no se encuentran implicadas las reacciones del ciclo de Krebs, ni las de cadena de transporte; todo el proceso ocurrirá en el citosol sin importar si el organismo es eucariota o procariota, el aceptor final del movimiento de electrones que se provoca va a ser una molécula orgánica, a diferencia de la respiración donde el aceptor final era una especie inorgánica. Cuando la fermentación es alcohólica, lo que sucede es que el piruvato sufre una descarboxilación produciéndose CO_2 y acetaldehído, que se comporta como el aceptor final de electrones al unirse con un átomo de hidrógeno proveniente del NADH reducido en la etapa de la glucólisis, gracias a una enzima denominada alcohol deshidrogenasa.

El proceso de tratamiento anaerobio de aguas residuales se compone de las siguientes etapas:

Hidrólisis

Fermentativa o Acidogénesis

Acetogénica

Metanogénica.

Su principal característica radica en que la oxidación de la materia orgánica se realiza en ausencia de O_2 , por lo que su rendimiento energético va ser menor que los procesos aerobios, debido a que la energía bioquímicamente disponible se encuentra almacenada en compuestos reducidos como es el metano, y, por consiguiente, se genera menor cantidad de

lodos, ya que no existe disponibilidad de energía para sintetizar células nuevas. Las especies bacterianas, que se encuentran involucradas en el proceso anaerobio de tratamiento de aguas residuales, están representadas por las que son responsables de la hidrólisis y la acidogénesis que son procesos de fermentación; las etapas acetogénica y metanogénica son estrictamente anaerobias y su velocidad depende de la concentración de sulfato.

Los productos de la hidrólisis de macromoléculas son generados por procesos de fermentación que producen ácidos orgánicos de cadena corta tales como propiónico, butírico y alcoholes, a partir de las cuales se genera ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono; el proceso continúa con la intervención de las bacterias consumidoras de hidrógeno que reducen el CO₂ y lo transforman en CH₄.

Al considerar que la conversión completa del metano en CO₂ y H₂O requiere oxígeno, lo que se denota en la siguiente ecuación:



Lo que permite establecer que en la estabilización anaerobia por cada Kg de DBOU que ingresa 0,25 Kg se transforma en metano y son liberados a la atmósfera. Existe una condición que limita el rendimiento de esta reacción, que es dada por la presencia de las bacterias sulfato reductoras que respiran el ión sulfato y compiten con las bacterias involucradas en cada una de las etapas del proceso anaerobio descrito.

Las bacterias sulfato reductoras compiten con las bacterias acidogénicas por los productos de la hidrólisis, con las bacterias acetogénicas por los productos intermediarios como son los ácidos volátiles grasos y alcoholes y con las metanogénicas por sustratos menos complejos, como el H₂, CO₂ y acetato. En esta competencia las bacterias sulfato reductoras resultan termodinámicamente favorecidas, debido a que el sulfato tiene mayor potencial de reducción que el requerido en el proceso de metanogénesis por las bacterias acetoclásticas que generan el 70% del metano producido en el proceso anaerobio.

El proceso de reducción del sulfato constituye un problema para que los procesos de acetogénesis y metanogénesis se cumplan, porque la producción de sulfuro de hidrógeno resulta ser tóxica para las bacterias metanogénicas, que requieren un $\text{pH} < 6.2$.

1.2.- Teoría Sustantivas

1.2.1.-Diseño de sistemas de aireación

Los equipos de aireación para oxigenación se nominan para condiciones estándar que corresponden a agua limpia o potable, temperatura de 20°C , presión atmosférica de 760 mm de Hg y concentración de oxígeno disuelto igual a 0. Para tratamiento de aguas residuales y condiciones reales de operación es necesario hacer las correcciones pertinentes en el valor de K_{La} para la temperatura del agua residual, presión diferente de la estándar y concentración de OD permanente igual a C_L

La transferencia de oxígeno, en un sistema dispersador de gas en un líquido, se establece en que solo una parte del oxígeno transferido de la fase gaseosa a la fase líquida es utilizada por las bacterias, lo que se denomina tasa de utilización de oxígeno. Dependiendo del mecanismo adoptado, las burbujas de aire se crean mediante aire comprimido a través de un difusor o por medio de aireadores mecánicos, los cuales introducen aire al líquido mediante mezcla turbulenta.

Lo antes señalado se puede resumir mediante la siguiente relación:

Tasa de cambio en la concentración del gas

$$= \{\text{coeficiente global de transferencia del gas}\}\{\text{Fuerza Impulsora}\}$$

Por tanto, la tasa o capacidad de oxigenación está dada por la ecuación:

$$N = K_{La}(C_S - C_L) \quad (\text{ec.12})$$

Para condiciones estándar, 20°C , 0 msnm y agua potable:

$$N = K_{La(20)} \times C_{S(20)} \quad (\text{ec.13})$$

Para el agua residual, en condiciones reales:

$$N = K_{La(w,T)}(C_{sw} - C_L) \quad (\text{ec.14})$$

Donde:

C_{sw} = Concentración de saturación de oxígeno para el agua residual a su temperatura y altitud, mg/L.

C_L = Concentración de operación de oxígeno disuelto, mg/L.

$C_{s(20)}$ = Concentración de saturación en agua potable en condiciones estándar, 20°C, nivel del mar, mg/L.

N_0 = Tasa nominal de transferencia de oxígeno del aireador Kg/KWh o Kg/h o Kg/min.

N = Tasa de transferencia de oxígeno en condiciones de operación, Kg/KWh o Kg/h o Kg/min.

$K_{La(20)}$ = Coeficiente de transferencia de oxígeno, h⁻¹.

$K_{La(w,t)}$ = Coeficiente de transferencia de oxígeno en el agua residual, a la temperatura T°C, h⁻¹.

La relación de las capacidades de oxigenación según las dos ecuaciones anteriores:

$$\left(\frac{N}{N_0}\right) = \frac{K_{La(w,T)}(C_{sw}-C_L)}{K_{La(20)} \times C_{s(20)}} \quad (\text{ec.15})$$

Transformando:

$$N = \frac{N_0 K_{La(w,T)}(C_{sw}-C_L)}{K_{La(20)} \times C_{s(20)}} \quad (\text{ec.16})$$

Sabiendo que:

$$\alpha = \frac{K_{La \text{ del agua residual}}}{K_{La \text{ del agua limpia}}} \quad (\text{ec.17})$$

$$\beta = \frac{C_s(\text{agua residual})}{C_s(\text{agua limpia})} = \frac{C_{sw}}{C_s} \quad (\text{ec.18})$$

$$K_{La(T)} = K_{La(20)} \times \theta^{T-20} \quad (\text{ec.19})$$

Y reemplazar, Obtenemos la siguiente relación:

$$N = N_0 \alpha \cdot 1,024^{T-20} \left[\frac{\beta C_{s(T,A)} - C_L}{C_{s(20,0)}} \right] \quad (\text{ec.20})$$

Fuente (Alberto, 2010).

1.2.2.-Lagunas aireadas facultativas

Las lagunas aireadas facultativas son una alternativa tecnológica que ha surgido desde 1950, como sustituto de lagunas primarias tipo facultativas que se encuentran sobrecargadas.

Este procedimiento se fundamenta en la transferencia de oxígeno a la fase líquida, operación unitaria que depende de la diferencia de concentración del gas, en este caso oxígeno, entre el agua y el aire, con la finalidad de obtener cierto grado de saturación que nos permite mantener estable la tasa de consumo de sustrato por las bacterias.

El gas se mueve espontáneamente de una zona de alta a otra de baja concentración, y a medida que esta diferencia aumenta la tasa de difusión también.

Las lagunas aireadas facultativas mantienen la biomasa en suspensión parcial, con una densidad de energía mecánica instalada (de 1 W/m³ a 4 W/m³, recomendable 2 W/m³).

Este tipo de lagunas presenta signos de acumulación de lodos, observándose frecuentemente la aparición de burbujas de gas de gran tamaño en la superficie, debido a los procesos de estabilización anaerobia en el fondo.

Así mismo, el valor de la DBO efluente puede ser obtenido de la siguiente relación:

$$S = \frac{S_0}{1+Kt} \quad (\text{ec.21})$$

Donde:

t = tiempo de retención hidráulico de la laguna aireada facultativa, días.

K = tasa de constante de primer orden de remoción del sustrato, 1/día.

S₀ = Concentración de materia biodegradable en el afluente (DBO₅, DQO, COT).

S_e = Concentración de materia biodegradable en el efluente ((DBO₅, DQO, COT).

Lo óptimo es determinar experimentalmente el valor de K

La formula utilizada para la determinación de la constante K, en función de la temperatura es la siguiente:

$$K_t = K_{20} * \theta^{T-20} \quad (\text{ec.22})$$

1.2.3.-Cálculo de la tasa máxima de oxígeno requerido

Para lagunas aireadas facultativas, la tasa máxima de oxígeno requerido (Kg/Hora) se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$OR = 4,17 \times 10^{-5} AB \quad (\text{ec.23})$$

Donde A: es el área del fondo de la laguna.

B: Es la demanda bental de oxígeno en g/m²-día, que se determina con la siguiente relación:

$$B = 60 (1,05)^{T-20} \quad (\text{ec.24})$$

T: Es la temperatura media de la laguna.

1.2.4.-Cálculo de potencia requerida en el eje

Valor que representa la potencia para mover los impulsores en los aireadores superficiales de velocidad baja, con montaje flotante, sin tubo de aspiración.

La potencia requerida es dada por la siguiente relación:

$$PR = \frac{OR}{N} \quad (\text{ec.25})$$

Donde:

OR = Oxígeno requerido. (Kg/Hora).

N = Tasa real de transferencia de oxígeno, Kg O₂/KWh.

1.3.-Referentes empíricos.

La investigación realizada en lagunas de estabilización de Honduras, por Stewart M. Oakley, describió la influencia del valor numérico de la DBO₅ en el afluente, sobre el diseño de

lagunas de oxidación con cargas superficiales que funciona en climas tropicales y subtropicales cálidos, de tal manera que estableció lo siguiente:

La DBO5 del afluente es muy significativa en el diseño de una laguna facultativa: si la DBO5 es 200 mg/L, un tiempo de retención de 10 días sería dentro del rango aceptable de la carga superficial máxima; pero, si DBO5 del afluente es 300 mg/L, la laguna facultativa necesitaría un TRH de, por lo mínimo, 16 días para poder estar dentro de los rangos aceptables de cargas superficiales. Se concluye que es fundamental monitorear los caudales y la DBO5 del afluente antes de diseñar una laguna facultativa para no cometer los errores del pasado. (Oakley, 2005)

La tasa de remoción de DBO es un parámetro cinético que obedece a un comportamiento de primer orden, por lo que es proporcional a la concentración remanente de DBO presente en el agua residual en un tiempo determinado; en virtud de lo expuesto se puede establecer una analogía con el comportamiento observado experimentalmente al realizar la determinación de la constante K y la DBOU.

El caudal de agua residual generado es estimado en base al crecimiento poblacional proveniente de la información disponible en el INEC, que al ser multiplicada por DBO5 (360 mg/L), se obtiene la carga orgánica de diseño, para el período comprendido desde el 2016 al 2030.

Se adoptan los valores de las constantes α , β implicadas en el cálculo de la tasa real de la transferencia de oxígeno en base a otros autores como Mara (1976); adicionalmente se adoptaron los métodos numéricos de Thomas y de los mínimos cuadrados para calcular los valores de K y DBOU, para lo cual se aplicaron las siguientes ecuaciones:

$$K=6.01 \cdot \left(\frac{b}{a}\right) \text{ y } L_0 = \frac{1}{K \cdot a^3}; \text{ donde } a \text{ y } b \text{ son las constantes obtenidas por el método de Thomas}$$

y representan el valor del intercepto y la pendiente de la recta.

Análogamente, al aplicar el método de los mínimos cuadrados se tienen las siguientes ecuaciones: $b = -K$ y $L=a/K$; donde b es la pendiente y a es el intercepto. La K se refiere al valor de la constante en base e y K se refiere al valor en base e .

CAPITULO II

2.1.-MARCO METODOLÓGICO

2.1.1.-Metodología

La ubicación geográfica de las lagunas de oxidación facultativas el cantón Playas, se detalla en la tabla # 1 de Anexo 2

2.2.- Métodos teóricos y empíricos

Entre los métodos aplicados tenemos el muestreo al azar simple, la toma, manejo, manipulación y gestión de muestras mediante la norma NTE INEN 169:98 realizada en junio y septiembre del 2015, estuvo a cargo del Grupo Químico Marcos, con número de acreditación OAE LE 2C 05-001, siguiendo la norma técnica de muestreo en afluente y efluente de la laguna secundaria, cuyos resultados sirvieron para establecer el grado de eficiencia del sistema actual. El muestro realizado por el autor consistió en tomar muestras en intervalo de una hora desde las 11:10 am del 13 de septiembre hasta las 09:06 del 14 de septiembre del 2016, se midió 100 cc de cada una y se mezcló para obtener la muestra compuesta representativa.

Se evaluaron mediante pruebas de laboratorio parámetros como son DBO₅ con el método INEN 12102, sólidos suspendidos, fósforo total, nitratos, nitritos, DQO, sulfatos con el método gravimétrico 426 A del Standard Methods, las muestras microbiológicas fueron preservadas en recipientes esterilizados y se mantuvieron a una temperatura ligeramente menor a 15°C durante el transporte de las mismas, hasta el laboratorio de ensayo; entre estos parámetros se incluyen los coliformes totales y coliformes fecales en donde se aplicó la

técnica 908 C Standard Methods, por el laboratorio ASOQUIM en los años 2012 y 2013, y por Grupo Químico Marcos en el año 2015. Los laboratorios citados siguieron las recomendaciones de los métodos estándares para análisis de aguas residuales Edición N° 19,1995 (APHA, AWWA, WPCF).

Se determinó el caudal del agua cruda, mediante el método indirecto del tiempo de operación del equipo de bombeo # 1, de tal manera que al sumar el tiempo total de bombeo en segundos y multiplicarlo por el caudal promedio (120 lps), se obtiene el caudal total diario de agua residual.

Los trabajos de topografía se realizaron para establecer las áreas y volúmenes de las lagunas existentes, para lo cual se realizaron mediciones con una estación total para obtener distancias y ángulos tomando como referencia un punto principal, con los datos obtenidos se calculó el área y volumen de cada laguna facultativa, así como los volúmenes de lodos que se encuentran en las mismas. La batimetría se realizó utilizando una pequeña embarcación, con capacidad para tres personas, que recopilaron datos de la profundidad de los sólidos existentes a lo largo de la laguna.

2.3.-Premisas

El diseño del sistema de aireación propuesto implica que el oxígeno deja de ser un factor limitante, por lo que permite aumentar las cargas orgánicas y disminuir el TRH del sistema. La tasa nominal de transferencia de oxígeno será corregida a través de la aplicación de los factores α y β , adoptados de la bibliografía consultada y de los parámetros reales de operación como son la temperatura °C y la concentración de oxígeno presente en el agua residual.

2.4 Cuadro de categorías

Las categorías de la presente investigación representan la estimación de los valores de K y de la tasa de transferencia real de oxígeno, lo que se encuentra descrito en la tabla # 2 de anexo 2.

2.5.-Gestión de datos

2.5.1.-Determinación de parámetros de calidad de agua residuales a ser evaluados

El parámetro seleccionado fue la DBO y la concentración de coliformes fecales presentes en los afluentes y efluentes del sistema.

2.5.3.-Elaboración de los formatos

Se seleccionó el formato titulado programa de aforo de flujo de bombeo con el cual se recopilaron los datos del tiempo de funcionamiento del equipo de bombeo # 1, que se desempeña en la estación de bombeo Torbay para conducir el afluente a través de una tubería de 4 Km hasta el complejo de lagunas de oxidación.

Los datos de DBO ejercida fueron tomados durante 5 días consecutivos

2.5.3.-Recopilación de información

Con la finalidad de obtener información actualizada el día 13 de septiembre de 2016 a partir de las 10:40 am hasta las 11:28 del 14 de septiembre, sostuvieron los valores de los tiempos de trabajo de la bomba #1, simultáneamente se tomaron 23 muestras de agua residual en recipientes de plástico de 500ml considerando la gestión de las mismas como lo establece la norma.

2.5.4.-Procesamiento de datos

Los datos obtenidos dentro del formato programa de aforo de flujo de bombas permitieron establecer, en forma indirecta, el caudal de agua residual multiplicando los tiempos parciales

de funcionamiento de la bomba #1 por el caudal del equipo de bombeo que es de 120 lps, la sumatoria total de los valores parciales obtenidos nos dieron el volumen total de agua residual producido, que al ser dividido por el tiempo total tabulado nos da el caudal de agua residual neto durante un día; las muestras de agua residual recolectadas fueron homogenizadas para obtener una muestra compuesta representativa.

2.5.5.-Obtención del valor de K y DBOU.

Con los resultados de la DBO ejercida durante 5 días por el método manométrico en intervalos de 24 horas se calculó la constante de velocidad de reacción K (base e), y la DBOU (demanda biológica de oxígeno última) por el método de Thomas y el de los mínimos cuadrados.

2.5.6.-Estimación de cobertura de servicio de alcantarillado.

Con el dato obtenido de caudal de agua residual cruda, al ser dividido por el caudal de agua potable, se obtuvo la cobertura actualizada del sistema de alcantarillado

2.5.7.-Estimación de la tasa de transferencia de oxígeno.

Para lo cual se adoptaron los valores de las constantes empíricas detalladas en la tabla # 3 de anexo 2

2.5.8.-Tiempo de residencia hidráulico requerido.

Se adoptó el valor obtenido en la tabla 4 de anexo 2, para el período comprendido entre el año 2016-2030, donde se encuentran contenidos los caudales de agua residual y del volumen útil del sistema asumiendo que se trata de un prismoide; los valores de caudales de agua residual para el período citado se obtuvieron en base a la proyección del crecimiento poblacional, según datos obtenidos del INEC.

2.5.9.-Determinación de los valores de DBO efluente de diseño.

Los valores de DBO efluente de diseño se obtuvieron a partir de la ecuación # 5, aplicando el software computacional MATLAB, para cada uno de los años comprendidos en el período (2016-2030)

2.5.10.-Determinación de caudales per-cápita

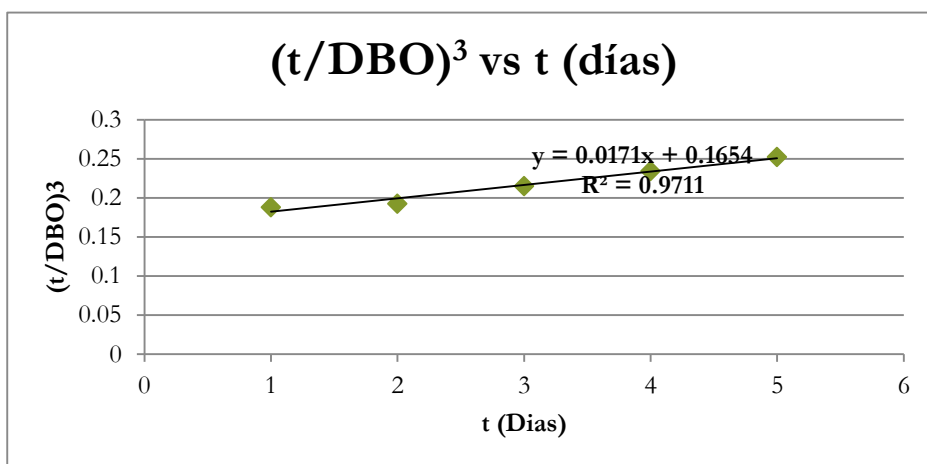
La determinación de los caudales per cápita se estimaron en base al caudal real de AARR considerando la cobertura del servicio de alcantarillado para el período de diseño; lo que se encuentra detallado en la tabla # 5 de anexo 2

2.6.-Criterios éticos de la investigación.

Los resultados de la investigación reportan que los valores de K y DBOU fueron obtenidos a partir de los datos reportados en la tabla # 6 de anexo 2 y que se presentan en la gráfica 1 de anexo 1

La información anterior es procesada de acuerdo a la teoría explicada en el capítulo anterior y sus datos se registran en la tabla # 7 de anexo 2

Los resultados se reportan como DBO y no como DBOC, en virtud que no se utilizó inhibidor de DBON, y conducen a obtener la siguiente gráfica:



Gráfica # 2 Linealización de datos por el método de Thomas

La ecuación: $y = 0,0171x + 0,1654$, nos indica la relación entre las variables graficadas, con lo que se tiene que “a” es el valor del intercepto y “b” es el valor de la pendiente.

Al reemplazar los valores de a y b, que representan el valor del intercepto y la pendiente del gráfico en la siguiente igualdad:

$$K = 6,01 \cdot \left(\frac{b}{a}\right).$$

Obtenemos el valor de la constante de velocidad de reacción y la DBOU:

$K = 0,6177 \text{ días}^{-1}$ (base e), y $0,2685 \text{ días}^{-1}$ (base 10)

Y el valor de la DBOU por medio de la ecuación $L_0 = \frac{1}{K \cdot a^3}$, obteniendo como resultado

DBOU = 357,77 mg/L

Al aplicar el método de los mínimos cuadrados se elabora una tabla de cálculo cuyos datos se encuentran en la tabla # 8 de anexo 2.

Se resuelven las ecuaciones normalizadas:

$$4a + 1350b - 235 = 0$$

$$1350a + 28700b - 48050 = 0$$

$$b = -0,7861$$

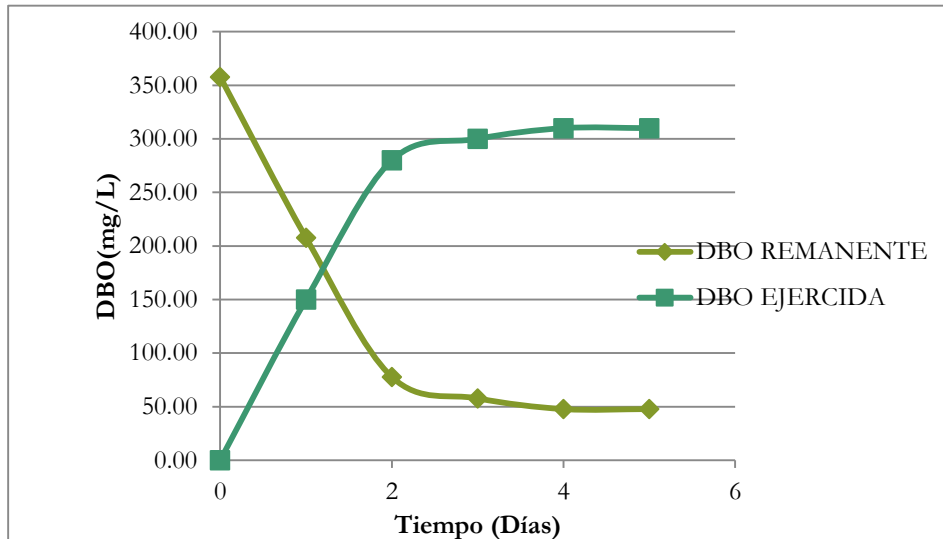
$$a = 263,36$$

Con lo que se obtiene:

$$K = -b = 0,7861 \text{ d}^{-1} \text{ (base e); } k = \frac{0,7861}{2,3} = 0,3391 \text{ d}^{-1} \text{ (base 10)}$$

$$DBOU = \frac{-a}{b} = \frac{263,136}{0,7861} = \mathbf{334,73 \text{ mg/L}}$$

Los valores de la DBO ejercida y remanente del experimento realizado en el laboratorio de HIDROPLAYAS EP. Por el método manométrico reportados en la tabla # 9 de anexo 2, permitieron graficar la DBO consumida del AARR objeto de estudio, y se genera la siguiente gráfica representativa del proceso experimental realizado:



Gráfica # 3 DBO ejercida y remanente vs t

Con el valor K se procede al cálculo de la DBO efluente de diseño por medio del el software computacional MATLAB, para un período comprendido entre los años (2016-2030), donde los tiempos de residencia hidráulico fueron determinados en base al caudal de agua residual generado por el crecimiento poblacional.

CAPITULO III

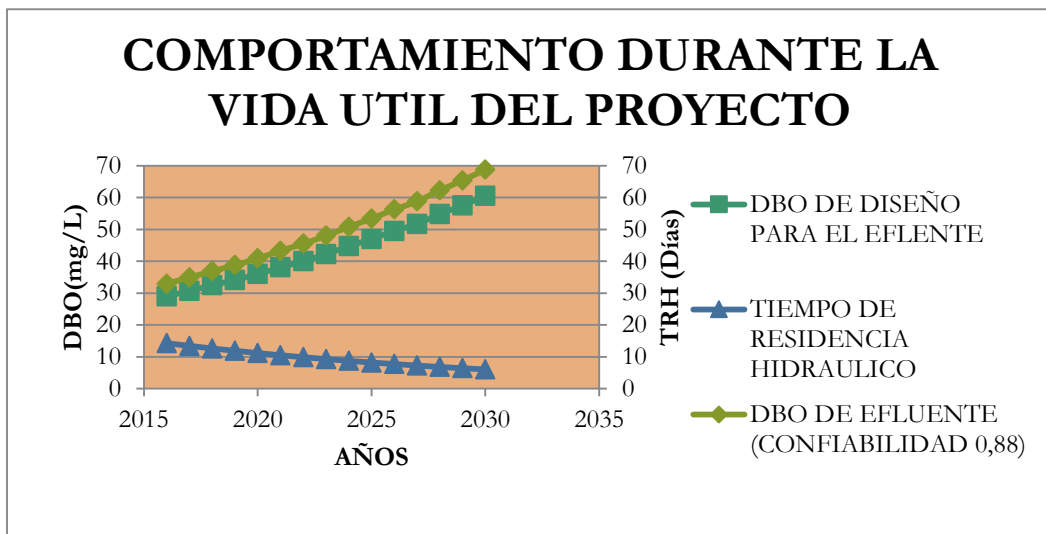
3.-RESULTADOS

3.1 Antecedentes de la unidad de análisis o población

Con la finalidad de cumplir lo establecido en el marco legal vigente para límites máximos permisibles de descarga de efluentes de aguas residuales de origen público o privado, se programaron monitoreos con la finalidad de evaluar la eficiencia de los sistemas de lagunas de oxidación del cantón Playas; los resultados obtenidos por grupo químico Marcos en el año 2015 se detalla en la tabla # 10 de anexo 2. La DBO afluente se encuentra con valores mayores a 300mg/L y los valores de coliformes fecales en el efluente se encuentran en el orden de magnitud de 6.83×10^5 . La constante de biodegradación procedente del método de Thomas dio un valor igual a $0,6177 \text{ d}^{-1}$; los TRH obtenidos en base al caudal per cápita actual son menores a 16 días lo que se detalla en la tabla # 11 de anexo 2, donde se considera la carga superficial realmente aplicada.

Los valores de carga orgánica superficial, resultaron de la aplicación del método de radiación solar para el diseño y construcción de lagunas facultativas y se encuentran tabulados en la tabla # 12 de anexo 2 basados en que 1,55 Kg de DBO son producidos por un Kg de celdas de algas y que la energía requerida para producir un Kg de celda de algas es de 24000 Kilo Joule (tabla # 13 de anexo 2)

Los resultados de aplicar el software computacional MATLAB para determinar el valor de la DBO efluente de diseño se detallan en la tabla # 14 de anexo 2; que son graficados en el siguiente diagrama:



Grafica # 4 Proyección DBO de diseño

A continuación se presenta el algoritmo en lenguaje MATLAB con el que realiza el cálculo de la DBO efluente de diseño, aplicando un coeficiente de confiabilidad de 88%, la constante $K = 0,6177 \text{ días}^{-1}$. El valor de DBO afluente igual a 285 mg/L.

%programa para calcular el sf%

%ingreso de variables%

$k = \text{input}(\text{'ingrese k'});$

$n = \text{input}(\text{'cuantos datos son'});$

$\text{TRH} = [];$

for $i = 1:n$

%ingreso de los valores del TRH%

$x = \text{input}(\text{'valor de trh'});$

$\text{TRH} = [\text{TRH}, x];$

end

$\text{Sf} = [];$

for $i = 1:n$

%calcula del Sf mediante la función calculasf%


```

y=calculasf(TRH(i),k);
Sf=[Sf,y];
end
sfd=[];
for i=1:n
    %calculo del sf de diseño%
    z=0.88*Sf(i);
    sfd=[sfd,z];
end
%salida de los resultados%
display(TRH);
display(Sf);
display(sfd);
%grafica de los resultados%
TRH=5:1:14;
p=(0.88*((TRH*k)+1));
Sf=285./p;
plot(TRH,Sf);
grid on

%funcion para calcular el sf%
function Sf=calculasf(TRH,k)
Sf=(285/(0.88*((TRH*k)+1)));
end

```

Obteniéndose los siguientes resultados:

programacalcula

ingrese k0.6177

cuantos datos son15

valor de trh14.3

valor de trh13.4

valor de trh12.6

valor de trh11.9

valor de trh11.2

valor de trh10.5

valor de trh9.9

valor de trh9.3

valor de trh8.7

valor de trh8.2

valor de trh7.7

valor de trh7.3

valor de trh6.8

valor de trh6.4

valor de trh6.0

TRH =

Columns 1 through 11

14.3000 13.4000 12.6000 11.9000 11.2000 10.5000 9.9000 9.3000 8.7000
8.2000 7.7000

Columns 12 through 15

7.3000 6.8000 6.4000 6.0000

Sf =

Columns 1 through 11

32.9360 34.9097 36.8738 38.7831 40.9010 43.2634 45.5170 48.0181 50.8102
53.3976 56.2626

Columns 12 through 15

58.7859 62.2772 65.3837 68.8164

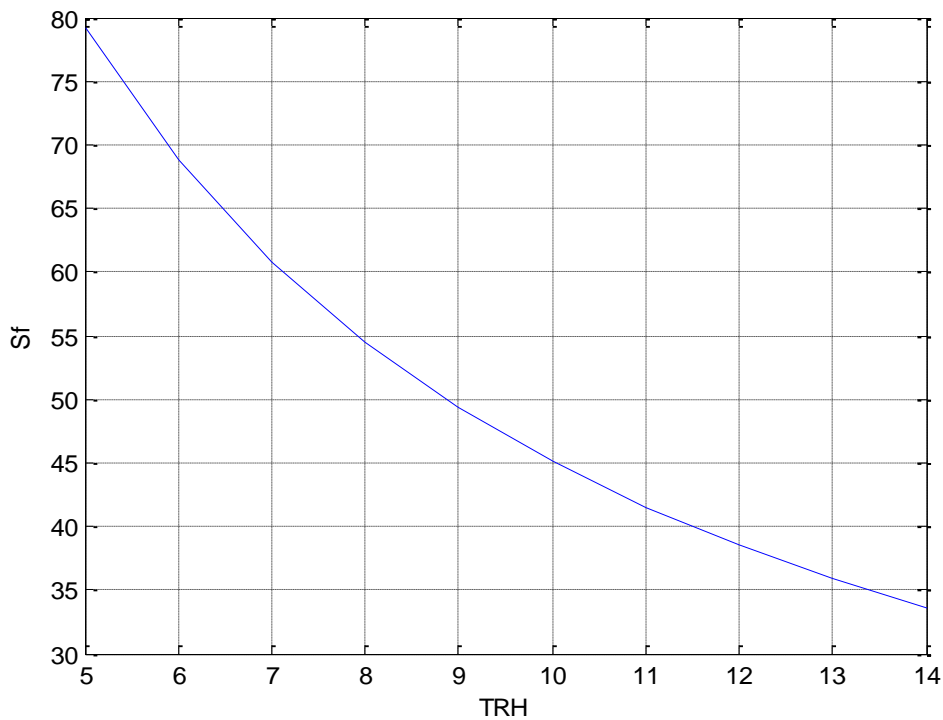
sfd =

Columns 1 through 11

28.9837 30.7205 32.4490 34.1292 35.9928 38.0718 40.0549 42.2560 44.7130
46.9898 49.5111

Columns 12 through 15

51.7316 54.8039 57.5376 60.5584



Gráfica # 5 DBO efluente vs TRH en el período de diseño

Con esto se obtuvo la gráfica que describe la relación de la DBO total del efluente vs TRH correspondiente al intervalo de tiempo comprendido entre los años 2016 a 2030.

3.2 Diagnóstico o estudio de campo:

El coeficiente cobertura actualizado (33,22%) fue obtenido en base a los datos registrados el 13 de septiembre de 2016 y que se detalla en las tablas 15 y 16 de anexo 2, que corresponden al caudal promedio de agua potable entregado y al caudal promedio de agua residual generado durante ese día. Los valores de la tasa de transferencia de oxígeno correspondientes a diferentes concentraciones de oxígeno disuelto, comprendidos entre (0,4 a 2) mg/L fueron obtenidos con el software computacional MATLAB que nos permitió, a su vez, establecer el valor de la potencia requerida correspondiente a dicha concentración de saturación; los resultados son reportados de la siguiente forma:

```
function z=calculapr(N)
z=180/N;
end
function z=calulan(cl,T,b,a)
z=((1.024)^(T-20))*a*2*((7.63*b)-cl)/9.1;
end
T=input('ingrese valor de temperatura');
a=input('ingrese valor de alfa');
b=0.9;
j=0.2;
Cl=[];
for i=1:9
    x=j+0.2;
    Cl=[Cl,x];
    j=j+0.2;
end
```

```
N=[];
for i=1:9
    y=calculan(Cl(i),T,b,a);
    N=[N,y];
end
```

```
Pr=[];
```

```
for i=1:9
    z=calculapr(N(i));
    Pr=[Pr,z];
end
```

```
end
```

```
display(N);
```

```
display(Pr);
```

```
%grafica de la potencia%
```

```
N=0.5:0.1:1.3;
```

```
Pr=180./N;
```

```
plot(N,Pr);
```

```
grid on
```

```
>> potencia
```

```
ingrese valor de temperatura30
```

```
ingrese valor de alfa0.7
```

Con lo que se obtuvieron diferentes valores de N (Tasa real de transferencia de oxígeno, Kg O₂/KW-h), a partir de considerar un rango de valores de C_L, que es la concentración de oxígeno en el sistema lagunar, que se estima en un intervalo comprendido entre encuentran entre (0,4 a 2) mg/L.

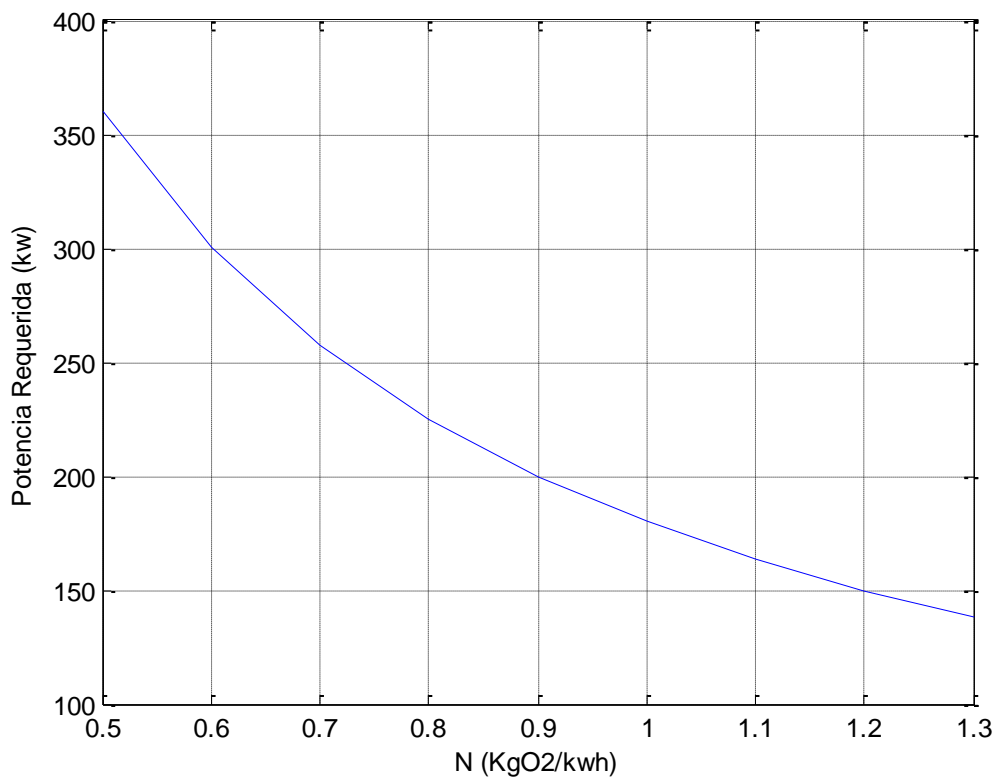
```
N =
```

1.2612 1.2222 1.1832 1.1442 1.1052 1.0662 1.0272 0.9882 0.9492

Pr =

142.7195 147.2742 152.1291 157.3150 162.8670 168.8252 175.2359 182.1526

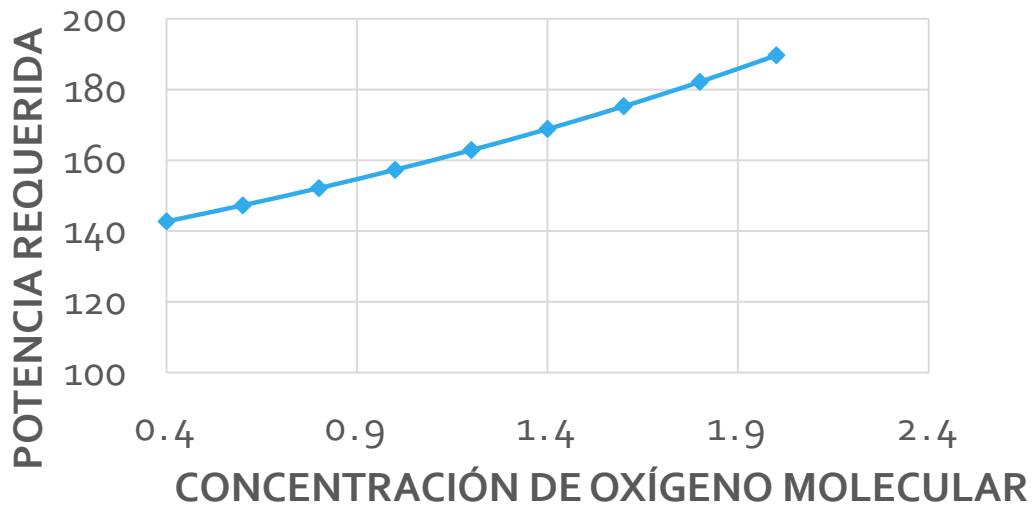
189.6378



Gráfica # 6 Potencia requerida vs tasa de transferencia real de oxígeno

Lo que indica que la tasa real de transferencia de oxígeno, es directamente proporcional a la potencia suministrada al sistema de aireación propuesto.

CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO MOLECULAR VS POTENCIA REQUERIDA



Gráfica # 7 Concentración de O₂ vs Potencia requerida

Los datos obtenidos del software MATLAB donde se modela la relación de la concentración de oxígeno de operación con la potencia requerida del sistema de aireación se encuentran detallados en la tabla # 17 de anexo 2

Los resultados señalados se resumen en la tabla 18 de anexo 2, e indican la relación directa que existe entre la concentración de oxígeno en las lagunas y la potencia suministrada en el sistema.

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN

4.1.- Contrastación empírica

De acuerdo a lo confirmado por el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial elaborado por el Gobierno Autónomo Descentralizado de Playas, el tipo de clima de nuestra área de estudio es tropical cálido, lo que permite establecer una analogía con los resultados obtenidos por Stewart M. Oakley y, por consiguiente, considerar que a valores de cargas superficiales máximas (304-414) Kg DBO/Ha-día, con valores de DBO₅ en el afluyente mayores a 300 mg/L, el sistema requiere de un tiempo de residencia hidráulico mayor a 16 días.

Lo antes señalado se evidencia en el gráfico # 8 de anexo 1

Los resultados obtenidos para el valor de K (base natural), por el método de Thomas nos permiten determinar que el agua residual del cantón Playas presenta una alta velocidad de degradación, por lo que fue adoptado para estimar, la concentración de diseño de la DBO del efluente requerida desde el 2016 hasta el año 2030 de acuerdo con el crecimiento poblacional proyectado.

Para el mencionado cálculo se consideró que $S = \frac{S_0}{1+K\theta}$, donde θ , representa los tiempos de residencia hidráulicos en días, proyectados para los años 2016 al 2030, en base al caudal de agua residual cruda generado por la población proyectada de la cabecera cantonal de Playas, en este período de tiempo gráfico 9 de anexo 1. De los resultados obtenidos se

comprueba que el valor de K, permite obtener un rendimiento satisfactorio de remoción de DBO que dan cumplimiento a la norma establecida en el TULSMA.

Actualmente se ha logrado aumentar la cobertura del servicio de alcantarillado a un valor promedio de 33,22 %, no obstante este valor indica que existe un alto porcentaje de la población que dispone las aguas residuales domésticas en pozos sépticos o los descarga en forma inadecuada, produciendo una contaminación difusa sobre el río Arenas.

En épocas de feriado y temporada, se ha comprobado que el valor de agua residual fácilmente se incrementa, tal es el caso de lo registrado el 31 de Diciembre del 2010 donde se generó 3159,6 m³/día detallado en la tabla # 19 de anexo 2 y en la gráfica # 10 de anexo 1.

El caudal per cápita de aguas residuales varía entre 140 a 211 litros por habitante día, valor que corresponde a una población conectada de 14685 habitantes, en la tabla de estimaciones de demandas actuales y futuras para año horizonte 2030 se describe por factor de seguridad un porcentaje de cobertura de 40%, el mismo que se irá incrementado hasta el año 2030, con la finalidad de evitar que el aporte per cápita real no resulte más alto que el considerado durante la vida útil del presente diseño. El valor asumido incluye a futuro los desperdicios de agua por parte de la población, las conexiones de maquiladoras o futuras industrias.

El tiempo de residencia hidráulico tabulado indica que es afectado por el valor de la DBO₅ del afluente (360 mg/L), donde a pesar de que la carga orgánica aplicada es de 156,1 Kg DBO₅/Ha-día, dada por la baja cobertura ya señalada; requiere de un TRH mayor a 16 días, resultado que considera el volumen útil real del sistema que se encuentra desplazado por la cantidad de lodos que actualmente ocupan del (30 al 36) % del volumen total de la laguna. Tabla # 11 de anexo 2

Los resultados de los análisis microbiológicos realizados el 23 de junio del 2015, detallados en la tabla # 20 de anexo 2 se sometieron a la siguiente discusión

Si la tasa de mortalidad de coliformes fecales obedece a una cinética de primer orden entonces se debe aplicar la siguiente ecuación:

$$N = N_0 e^{-k.t} \quad (\text{ec.26})$$

$$\text{Ln} \left[\frac{N}{N_0} \right] = -k.t \quad (\text{ec.27})$$

Donde:

N_0 Es la concentración inicial de coliformes fecales (NMP/100 ml).

N Es la concentración final de coliformes fecales (NMP/100 ml).

k Es la constante de mortalidad de primera orden dada en d^{-1}

t Es el tiempo de reacción en días

El objetivo de las lagunas facultativas es realizar una remoción de coliformes fecales equivalente a un porcentaje de 99 a 99,5%, que va de 2,0 hasta 2,5 ciclos \log_{10} .

El sistema de tratamiento analizado, refleja que el porcentaje de remoción de coliformes fecales para la laguna facultativa No 1 es de 91,49% y para la facultativa No 2 es de 98,94%.

Las lagunas facultativas No 1 cumplen con una remoción de 1,03 ciclos \log_{10} , mientras que la laguna facultativa No 2 lo realiza en 1,9 ciclos \log_{10} .

Al calcular el tiempo de reacción correspondiente a los porcentajes de remoción reportados en el sistema primario, tenemos como resultado un tiempo de 0,987 días para la laguna facultativa No 1 y para la laguna facultativa No 2 de 1,078 días.

El tiempo de reacción fue estimado adoptando como valor k el que se encuentra dado por la ecuación propuesta por León y Moscoso (1996)

$$k = 0,477(1.18)^{t-20} \quad (\text{ec.28})$$

$$k = 4,2163$$

Donde el valor de t es la temperatura del agua, que es igual a 30°C , medida en el sitio al momento de tomar la muestra, valor que es alto debido a la presencia de lodos que ocasiona el incremento de temperatura del agua y, por consiguiente, la disminución de la solubilidad del oxígeno.

4.2.-Limitaciones del proyecto de investigación.

Las limitaciones del presente proyecto, cuyo objeto es el diseño de un sistema de aireación para mejorar la operación de las lagunas de oxidación del cantón Playas, consistieron en la falta de valores experimentales para α y β , en virtud que no se dispone en el laboratorio de HIDROPLAYAS EP, de los reactivos y equipos requeridos para realizar las pruebas de desoxigenación y oxigenación al agua residual y potable a una misma temperatura, por cuya razón el valor de la tasa de transferencia real de oxígeno se calculó en base a valores de α y β adoptados de otros autores, tales como Mara. Por lo antes mencionado se considera que el sistema de lagunas aireadas tendrá un comportamiento entre un sistema de lagunas facultativas y un sistema de lodos activados por aireación prolongada.

En el procedimiento experimental, el mecanismo de absorción del CO_2 tiende a fundir y por consiguiente a aumentar el pH del sistema durante el experimento de medición de la DBO. El incremento de pH genera la inhibición de las reacciones involucradas en virtud que no se usa una solución buffer tal como fosfato anhidro de sodio, y el experimento termina a los 5 días.

Otra limitante de la presente investigación es que presupone la existencia de un sistema preliminar, cuyo objetivo es evitar el desgaste de equipos por la presencia de sólidos gruesos; lo que hasta la presente fecha no ha sido ejecutado debido a la falta de recursos económicos, lo que conduce a interpretar que la viabilidad del presente estudio depende de la

inmediata instalación de las unidades de tratamiento preliminar acompañadas de la remoción de lodos existentes.

El diseño de un sistema de aireación superficial implica la dosificación del oxígeno requerido para las reacciones de estabilización de la materia orgánica, pero no del suficiente para generar una mezcla completa lo que provocaría zonas con diferente potencial REDOX, lo que inhibe el crecimiento de las especies que generan la degradación de la materia orgánica en forma óptima.

4.3.- Líneas de investigación:

La obtención de los valores de velocidad de reacción K y DBOU indican que la materia orgánica presente en el agua residual es altamente biodegradable y que el tiempo requerido para eliminar el 80% de la carga orgánica se cumple en 5 días; lo que implica la necesidad de obtener más datos que nos permitan estadísticamente establecer un valor de tiempo de residencia hidráulico para seleccionar en forma más adecuada los componentes del sistema de tratamiento.

Por otra parte la estimación de la tasa real de transferencia de oxígeno a través de un sistema de aireación superficial sugiere que la relación entre los coeficientes globales de la transferencia de oxígeno de agua residual a agua potable, así como la relación de las concentraciones de saturación de agua residual a agua potable deben ser obtenidas experimentalmente en diferentes épocas del año para lograr un mejor resultado.

Otra línea de investigación implica establecer la relación existente entre la concentración de oxígeno molecular disuelto presente en el sistema, con el valor de la potencia requerido manteniendo constante la temperatura y los coeficientes α y β .

Es necesario considerar, a través del modelo de Streeter-Phelps, el impacto del vertido de aguas residuales en el río Arenas, para lo cual se abre la línea de investigación donde se

evaluaría la difusibilidad del oxígeno del agua, la constante de desoxigenación, el déficit inicial, la velocidad del río, la capacidad de dispersión del contaminante, el coeficiente de descomposición de materia orgánica para lo cual se deberá esquematizar y luego medir las concentraciones a diferentes distancias del punto de vertido.

4.4.-Aspectos más novedosos e importantes del estudio y las diferencias con los referentes empíricos.

El valor de la DBO₅ del afluente (360mg/L), recopilada de los resultados de análisis emitidos por Grupo Químico Marcos, fueron considerados para establecer la carga superficial máxima y el área superficial requerida por las lagunas facultativas cuyos resultados corroboraron que el valor real del sistema (5.0 Ha) resulta insuficiente a partir del año 2022; por lo que con el presente proyecto se pretende abatir la materia orgánica con TRH menores a 10 días hasta el año 2030. En contraste con lo señalado por Oakley en el manual de diseño, construcción, operación, mantenimiento de lagunas de oxidación derivado de sus investigaciones realizadas en Honduras donde se esquematiza la relación existente entre las cargas superficiales máximas correspondientes a climas subtropicales cálidos, con el valor de la DBO₅, donde se requieren TRH mayores a 16 días cuando el valor de la DBO es mayor a 300 mg/L.

La estimación del valor K (base e) y la DBOU por medio de los métodos de Thomas y de los mínimos cuadrados en base a datos experimentales obtenidos por el método manométrico indican que la tasa de eliminación de sustrato es potencialmente alta (0,6177 d⁻¹); por lo que los resultados de la DBO efluente evidencian problemas en el desempeño de las lagunas facultativas producido por la presencia de lodos que ocupan el 30% del volumen total de las lagunas, provocando una demanda adicional de oxígeno y así mismo un problema en la concentración de oxígeno presente en el sistema; ya que interfiere en la tasa de reaireación y de fotosíntesis al producir un incremento de la temperatura promedio, disminuyendo el valor.

El valor de la tasa nominal de transferencia oxígeno asumido (2 Kg/KWh) al ser corregido por medio del cálculo de la tasa de transferencia de oxígeno en condiciones de operación disminuye a (0,95 Kg/KWh), debido a que fue adoptado el valor de $\alpha=0,7$ y de $\beta=0,9$; como factor de seguridad que nos permite estimar la potencia requerida por el equipo de aireación y, a su vez, se asegura una concentración de oxígeno molecular igual a 2 mg/L donde la temperatura adoptada fue de 30°C (valor obtenido de las mediciones en el situ por Grupo Químico Marcos), es decir que este valor representa condiciones de operación críticas durante el periodo de diseño contemplado.

El valor de la constante K (base e), obtenido por el método de Thomas (0,6177 d-1) no tiene una diferencia significativa con el valor obtenido por medio de la ecuación:

$$K_T = K_{20}\theta^{T-20}$$

Ecuación que permite calcular el valor de K en lagunas aireadas para agua residual doméstica cuyo resultado fue de 0,6240 d⁻¹. No obstante, para la presente investigación se adoptó el valor experimental de 0,6177 d⁻¹, a partir del cual se calculó el valor de DBO efluente de diseño utilizando el software MATLAB.

CAPÍTULO V

5.1.-PROPUESTA

La ventaja de la presente investigación, como se citó anteriormente es que al ser implementada permitirá abatir mayores cargas orgánicas, en menores tiempo de residencia hidráulico, debido a que el oxígeno deja de ser un factor limitante; sin embargo, como el régimen hidráulico adoptado corresponde a un tipo de mezcla incompleta se generan zonas con diferentes condiciones de óxido-reducción, que deberán ser evaluadas durante el funcionamiento.

La presente propuesta establece que el sistema de tratamiento de AARR domésticas del cantón Playas deberá ser estructurado de los elementos detallados en la tabla # 21 de anexo 2, en este caso la laguna que actualmente se desempeña como laguna de maduración se propone que funcionará laguna facultativa.

La constante K propuesta es de $0,6177 \text{ d}^{-1}$, valor que permite obtener valores de DBO_5 efluente de las lagunas facultativas que cumplen con la norma vigente.

La disposición de los aireadores superficiales en el espacio de las lagunas será a lo largo del eje longitudinal, se instalarán en boyas flotantes en un número de 5 para cada laguna facultativa.

La potencia aparente es de 255 KW, que fue estimada al considerar, la eficiencia del motor 0,9 y el valor del factor de potencia (0,82) para motores asíncronos inductivos, con lo que se obtiene un consumo de energía mensual de 148996 KW- hora, que equivalen a una tarifa de 5952 USD.

Es necesario sugerir que el presente proyecto será factible si se incorpora a la tarifa del cobro de servicio de alcantarillado los costos mensuales de operación y mantenimiento, considerando además la sostenibilidad del sistema en el sentido que un

desecho genera un recurso que puede sustituir usos de agua potable, que son destinados al mantenimiento de parques, limpieza de calles, etc; sin dejar de mencionar el potencial beneficio que representa para las actividades de riego.

CONCLUSIONES

La presente investigación permite establecer las siguientes conclusiones:

- El caudal de agua residual en base a la proyección del crecimiento poblacional de la cabecera cantonal de Playas hasta el año 2030 fue de: 13.907m³/día.
- Se calculó el valor de la tasa real de transferencia de oxígeno (0,95 Kg/KW-hora), convirtiendo la tasa nominal estándar (2,0 Kg/KW-hora), por medio de los valores de α y β adoptados de Mara. El valor K (base natural), es igual 0,6177 días⁻¹, para el agua residual muestreada.
- La DBO₅ de diseño del efluente de las lagunas facultativas fue calculado por medio del algoritmo expresado en el lenguaje de MATLAB, que nos permitió obtener los siguientes resultados desde el año 2016 al 2030: (28.9837 30.7205 32.4490 34.1292 35.9928 38.0718 40.0549 42.2560 44.7130 46.9898 49.5111 51.7316 54.8039 57.5376 60.5584).

RECOMENDACIONES

Se recomienda lo siguiente:

- La remoción de lodos existentes que se encuentran colmatando el actual sistema.
- Instalar tratamiento preliminar básico.
- Evaluar el valor de la tasas de transferencia de oxígeno a partir de datos experimentales de α y β , con la finalidad de obtener resultados más precisos.
- Realizar los cálculos propuestos en el punto anterior para diferentes épocas del año y tener la oportunidad de calibrarlos.
- Evaluar la capacidad de autodepuración del cuerpo receptor, considerando el modelo matemático para vertidos de aguas residuales de Streeter-Phelps.
- Determinar en futuras investigaciones los valores de coeficiente global de transferencia de oxígeno para el agua residual doméstica objeto de estudio.
- Continuar con las investigaciones que permitan considerar otras alternativas de diseño más versátiles y seguras.

Bibliografía

Tratamiento de Aguas residuales Teoría y principios de Diseño Jairo Alberto Romero Rojas.

Teoría básica sobre el tratamiento biológico Profesor Alberto Jácome Burgos.

Lagunas aireadas Mecanicamente Ing Sergio Rollin Mendonca Msc. Asesor en Salud y Ambiente de OPS/OMS.

Sistema de Manejo de Aguas Residuales para Núcleos Pequeños y Descentralizados.

Tesis de Grado Modelación Dinámica de Lagunas de Oxidación de la ciudad de Portoviejo elaborada por el Ing. Químico José Guillermo Cárdenas.

Lagunas de estabilización en Honduras Manual de Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento, Monitoreo y sostenibilidad por Stewart M. Oakley, PhD.

Metcalf & Eddy, Inc. Wastewater Engineering Treatment Reuse cuarta Edición.

Código de Práctica Ecuatoriano CPE-INEN 5, Código ecuatoriano de la construcción C.E.C, Normas para estudios y diseños de Sistemas de agua Potable y Disposición de aguas residuales para Poblaciones mayores a 1000 habitantes.

Microbiología General Hans G. Schlengel.

Pliego Tarifario según resolución Nro ARCONEL – 049/15 (29 de Junio del 2015)

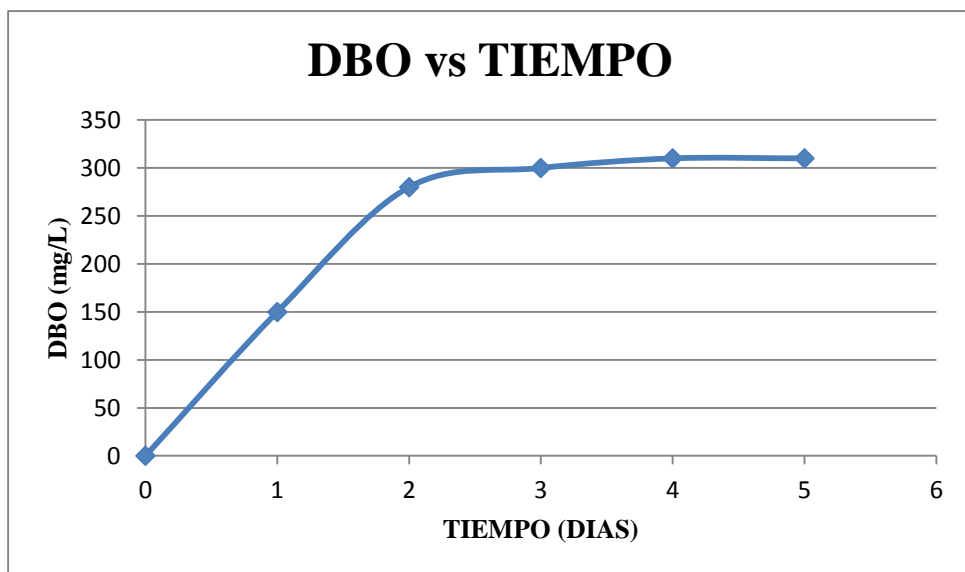
Proyección de la población ecuatoriana según cantones por años calendarios desde el 2010 al 2020, según <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/proyecciones-poblacionales/>

Informe SENPLADES - Secretaría Técnica para la Erradicación de la Pobreza - Secretaría Técnica del Agua - Banco del Estado - Agua Potable y Alcantarillado para Erradicar la Pobreza en el Ecuador, acerca de la situación de cobertura de agua potable y alcantarillado del canton Playas.

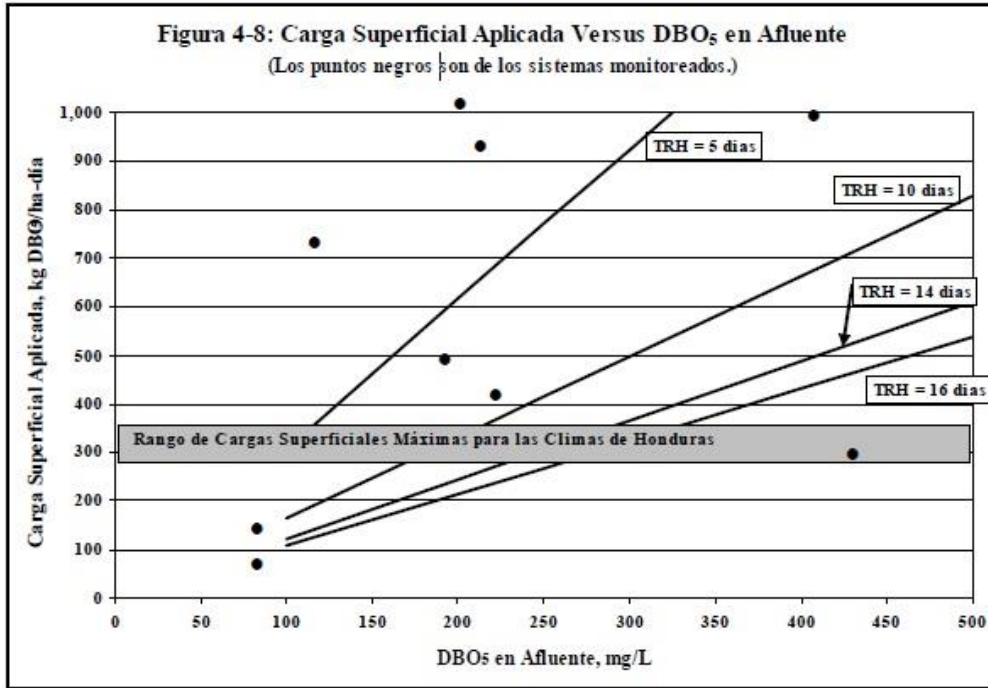
<http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/09/FOLLETO-Agua-SENPLADES.pdf>

ANEXOS

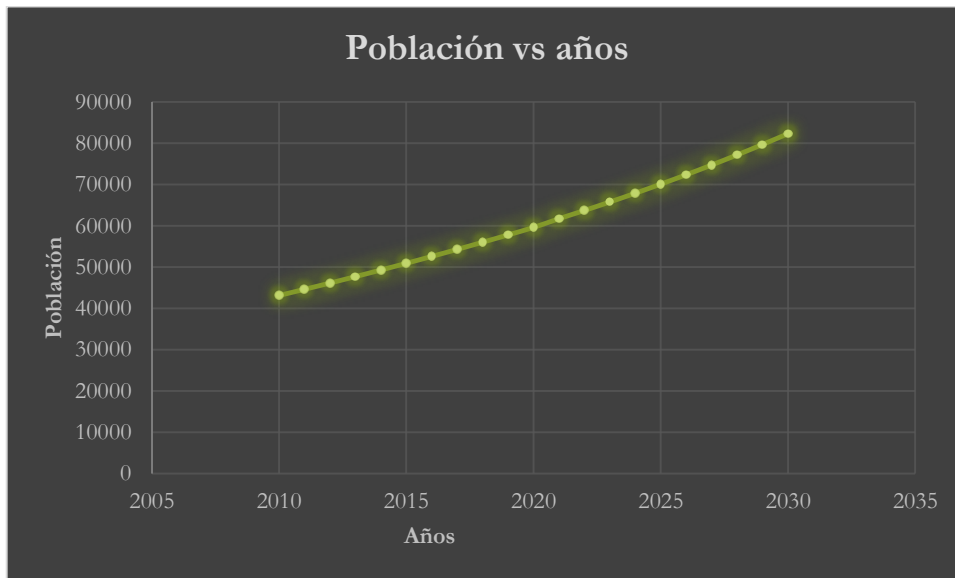
ANEXO 1 GRAFICAS



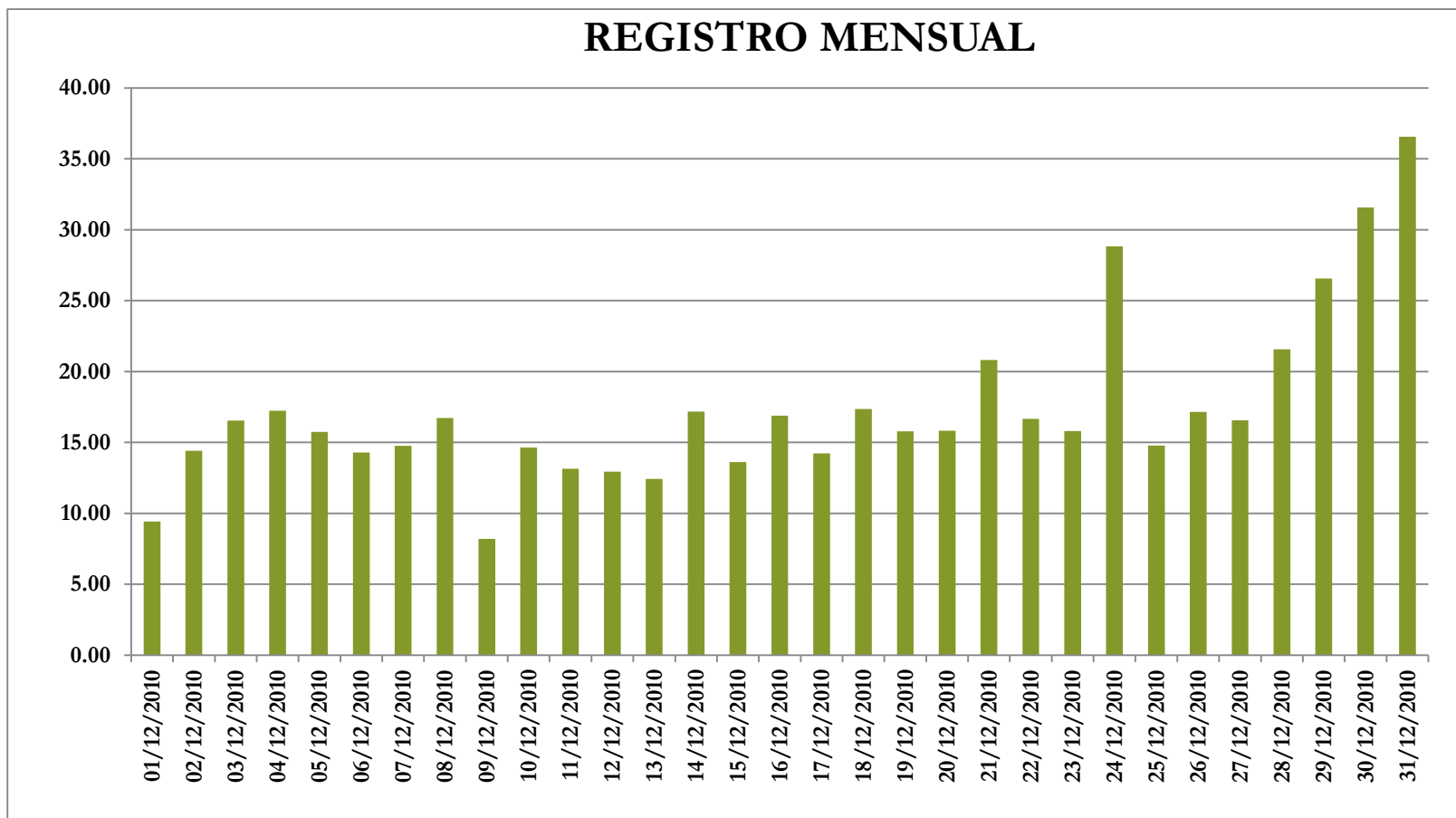
Gráfica # 1 Relación DBO experimental vs t



Gráfica # 8 fuente Stewart Oakley



Gráfica # 9 Crecimiento poblacional del cantón Playas



Gráfica # 10 Descripción de AARR, Diciembre 2010

ANEXO 2 TABLAS

Tabla # 1 Coordenadas de ubicación de las lagunas facultativas

COORDENADAS	NORTE	ESTE	COTA
LAGUNA FACULTATIVA 1	9711147,392	572033,097	10,20
LAGUNA FACULTATIVA 2	9711081,066	571827,29	10.21
LAGUNA DE MADURACION	9711385,093	571967,262	9,85

Fuente: Autor

Tabla # 2 Cuadro de categorías

CATEGORÍA	CONCEPTUALIZACIÓN	INSTRUMENTOS	UNIDAD DE ANALISIS
Tasa real de transferencia de Oxígeno requerido para la estabilización del afluente	La velocidad o facilidad de difusión de oxígeno molecular en el agua residual del Cantón Playas.	Se aplican parámetros empíricos tales como $\alpha=0.7$, $\beta=0.9$; Tasa Nominal de transferencia, Concentración de operación de oxígeno molecular presente en el agua y la temperatura real del agua.	Caracterización en base a resultados de análisis realizados por Grupo Químico Marcos y a valores adoptados de otros autores.
Velocidad de reacción de primer orden	Nos permite establecer en forma experimental la velocidad de eliminación del sustrato siguiendo una cinética de primer orden.	Datos resultados de laboratorio obtenido mediante la técnica del método manométrico, y cuando el método matemático de Thomas.	Definir que tipo de tratamiento es pertinente y el tiempo de residencia hidráulico para conseguir un % de remoción hasta el año 2030 que nos permita cumplir con la normativa vigente.

Fuente: autor

Tabla #3 Valores de constantes empíricas

Valores de Constantes Empíricas Adoptadas:		
Nomenclatura:	Valores	Significado:
No	2	(Tasa Nominal de transferencia de oxígeno en condiciones normales)
β	0,9	Según Mara (1976); referencia de Ing. Sergio Rolim Mendonca, M.Sc.
α	0,7	Según Mara (1976); referencia de Ing. Sergio Rolim Mendonca, M.Sc.
Cs(T,A)	7,63	Concentración de saturación de oxígeno disuelto en agua potable, a la temperatura T=30 °C y altitud A (0 msnm) del lugar, mg/L, por lo que es igual a Cs(T,0), (Apendice C, PAGINA 1029 del libro Tratamiento de aguas residuales de Ing. Jairo Romero Rojas).
Cs(20,0)	9,17	Concentración de saturación de oxígeno disuelto en agua destilada a 20° y al nivel del mar.
Cl	2	Concentración de OD que se debe mantener en la laguna.
Constante	1,024	Valor constante de la ecuación.

Fuente: Jairo Alberto Romero Rojas

Cuadro # 4 Caudal de agua residual proyectado.

AÑO	Caudal de agua cruda (Días)	Volumen de Lagunas Facultativas (m³)	TRH (DÍAS)
2016	5875	83866	14,3
2017	6247	83866	13,4
2018	6640	83866	12,6
2019	7056	83866	11,9
2020	7495	83866	11,2
2021	7994	83866	10,5
2022	8499	83866	9,9
2023	9037	83866	9,3
2024	9608	83866	8,7
2025	10217	83866	8,2
2026	10865	83866	7,7
2027	11556	83866	7,3
2028	12291	83866	6,8
2029	13074	83866	6,4
2030	13907	83866	6,0

Fuente: autor

Tabla # 5, Caudales Percapita de aguas residuales en el período comprendido entre el 2016 al 2030.

Año	Pob.	Pob. (Cabecera Cantonal)	Interv.	Dotación (L/ppd)	Q _{medio} AAPP (m ³ /d)	Q _{medio} AARR (m ³ /d)	Prom (DBO ₅) (mg/L)	Carga orgánica (Kg DBO ₅ /d)	Contribución percapita (g DBO ₅ /ppd)	Caudal percapita de aguas Residuales	Cobertura de Alcant - sanitario	Area superficial Lagunas Facultat. (m ²)	Hab-equiv
2016	52607	42086		175	7344	5875	360	2115	50	140	0,26	18089	35251
2017	54308	43446	1	180	7809	6247	360	2249	52	144	0,3	22194	37483
2018	56044	44835	2	185	8300	6640	360	2390	53	148	0,34	26736	39841
2019	57817	46254	3	191	8820	7056	360	2540	55	153	0,36	30080	42335
2020	59628	47702	4	196	9369	7495	360	2698	57	157	0,38	33728	44971
2021	61745	49396	5	202	9993	7994	360	2878	58	162	0,4	37867	47964
2022	63736	50989	6	208	10624	8499	360	3060	60	167	0,44	44286	50996
2023	65792	52634	7	215	11296	9037	360	3253	62	172	0,46	49227	54221
2024	67916	54333	8	221	12010	9608	360	3459	64	177	0,48	54616	57650
2025	70115	56092	9	228	12771	10217	360	3678	66	182	0,5	60496	61302
2026	72391	57913	10	235	13581	10865	360	3911	68	188	0,54	69480	65191
2027	74749	59799	11	242	14445	11556	360	4160	70	193	0,58	79369	69334
2028	77191	61753	12	249	15364	12291	360	4425	72	199	0,62	90243	73747
2029	79718	63774	13	256	16343	13074	360	4707	74	205	0,64	99090	78446
2030	82324	65859	14	264	17383	13907	360	5006	76	211	0,66	108693	83441

Fuente: autor

Tabla # 6 Resultado experimental (prueba DBO)

Fecha	Días	Valores de DBO
14-09-2016	0	0
15-09-2016	1	150
16-09-2016	2	280
17-09-2016	3	300
18-09-2016	4	310
19-09-2016	5	310

Fuente: autor

Tabla # 7 Resultado experimental (prueba DBO)

TIEMPO t(DIAS)	VALORES DE DBO	(t/DBO)	(t/DBO) ³
0	0		
1	150	0,00666667	0,18820721
2	280	0,00714286	0,19258568
3	300	0,01	0,21544347
4	310	0,01290323	0,23454856
5	310	0,01612903	0,25265977

Fuente: autor

Tabla #8 Conversión de variables

TIEMPO t(DIAS)	Δt	y	y'	y*y'	y ²
0		0			
1	1	150	140	21000	22500
2	1	280	75	21000	78400
3	1	300	15	4500	90000
4	1	310	5	1550	96100
5	1	310*			
SUMA:		1040	235	48050	287000

Fuente: autor

Tabla # 9 Valores generados de DBO

TIEMPO	DBO REMANENTE	DBO EJERCIDA
0	357,77	0
1	208	150
2	78	280
3	58	300
4	48	310
5	48	310

Fuente: autor

Tabla # 10 Resultados de monitoreos realizados en lagunas de oxidación de Playas

Parámetros medidos	Unidad	Lugar de toma de muestras				
		Entrada laguna facultativa No1	Entrada laguna facultativa No2	Salida laguna facultativa	Entrada laguna maduración	Salida laguna de maduración
Sólidos suspendidos totales	mg/l	142	131	136	136	152
Nitrógeno total	mg/l	67,49	74,51	50,12	50,12	43,9
Potencial de hidrógeno		7,46	7,38	8,1	8,1	7,79
Sulfatos	mg/l	281	507	54,8	54,8	267
Tensoactivo-detergentes	mg/l	7,1	10,3	4,9	4,9	2,3
Aceites y grasas	mg/l	17,5	15	8,8	8,8	6
DBO	mgO2/l	362	463	232	232	199
DQO	mgO2/l	715	966	580	580	430
Coliformes fecales-NMP(1)	NMP/100ml	683000	5,46 E+ 6	325500	325500	58100
Coliformes fecales-NMP	NMP/100ml	1,78E+06	1,37 E+ 7	686700	686700	172300
Temperatura insitu	oC	29,2	30,2	30,6	30,6	28,2

Fuente: Grupo Quimico Marcos

Tabla # 11 Carga superficial aplicada en lagunas de oxidación

Sistema	Caudal Medio (m ³ /día)	Población Reportado Conectada	Caudal Percapita (lppd)	Area de Laguna Primaria (Ha)	Volumen útil de laguna Primaria (m ³)	DBO ₅ Promedio Afluente (mg/L)	Carga Superficial CS (Kg DBO ₅ / Ha-día)	TRH Nominal
Lagunas de Oxidación cantón Playas (septiembre 2016)	2198,26	14685	150	5,07	30824	360	156,1	14

Fuente: autor

Tabla # 12 Valores de carga superficial durante todo el año

MES	KWH/ m ² -día	KJ/Ha-día	EFICIENCIA	CSm
			DE ALGAS	(KgO ₂ /Ha-día)
Enero	5,94	2,14E+08	0,03	414
Febrero	5,73	2,06E+08	0,03	400
Marzo	6,07	2,19E+08	0,03	423
Abril	6,17	2,22E+08	0,03	430
Mayo	5,74	2,07E+08	0,03	400
Junio	4,93	1,77E+08	0,03	344
Julio	4,36	1,57E+08	0,03	304
Agosto	4,51	1,62E+08	0,03	315
Septiembre	5,08	1,83E+08	0,03	354
Octubre	5,09	1,83E+08	0,03	355
Noviembre	5,68	2,04E+08	0,03	396
Diciembre	5,94	2,14E+08	0,03	414

Fuente: autor

Cuadro # 13 Constante considerada

Kg DBO/Kg DE celdas de algas	1,55
Energía requerida para producir un kg de celdas de algas	24000 Kilo Joule
FACTOR DE CONVERSION:1 kW-hrs/m²-día = 0.359999E⁺⁰⁸ kJ/ha-día	
Coordenadas: latitud:-2,613 N longitud -80.401 E	

Fuente: Oakley M. Stewart

Tabla # 14 DBO en efluente de lagunas aireadas

DBO EN EFLUENTE DE LAGUNAS AIREADAS				
AÑOS	Caudal AARR cruda (m3/día)	TRH (DIAS)	DBO (EFLUENTE) mg/L	DBO efluente de diseño (mg/L)
2016	5875	14,3	32,936	28,98368
2017	6247	13,4	34,9097	30,720536
2018	6640	12,6	36,87831	32,4529128
2019	7056	11,9	38,7831	34,129128
2020	7495	11,2	40,901	35,99288
2021	7994	10,5	43,2634	38,071792
2022	8499	9,9	45,517	40,05496
2023	9037	9,3	48,0181	42,255928
2024	9608	8,7	50,8102	44,712976
2025	10217	8,2	53,3976	46,989888
2026	10865	7,7	56,2626	49,511088
2027	11556	7,3	58,7859	51,731592
2028	12291	6,8	62,2772	54,803936
2029	13074	6,4	65,3837	57,537656
2030	13907	6,0	68,8164	60,558432

Fuente: autor

Tabla # 15 Aforo de caudal de AAPP

CAUDAL DE AGUA POTABLE ENTREGADO EL 13 DE SEPTIEMBRE DEL 2016.				
Δt	ΔH (cm)	$A_{s,tanque}$ (m ²)	Q_{ent} (m ³ /h)	Q (L/s)
12:00-13:00	30	1000	300	83,3
13:00-14:00	34	1000	340	94,4
14:00-15:00	28	1000	280	77,8
15:00-16:00	25	1000	250	69,4
16:00-17:00	23	1000	230	63,9
17:00-18:00	23	1000	230	63,9
18:00-19:00	30	1000	300	83,3
PROMEDIO:			275,7	76,6
Total (m³/día)				6617,1
Total de AARR (m³/día) estimado; asumiendo un porcentaje de retorno de 0,8 :				5293,7

Fuente: autor

Tabla # 16 Aforo de bombas en estación Torbay
PROGRAMA DE AFORO DE FLUJO DE BOMBAS

BOMBA 1				
No de DATOS	FECHA	HORA INICIO	CRONOMETRO mm:ss,oo	TOTAL MINUTOS
0	13/09/2016	10:40	30:33.92	30:33.92
1	13/09/2016	11:59	30:30.50	061:04.42
2	13/09/2016	13:15	30:32.8	091:37.18
3	13/09/2016	14:37	31:01.2	122:38.40
4	13/09/2016	15:57	30:01.8	152:40.20
5	13/09/2016	17:25	30:32.5	183:12.71
6	13/09/2016	18:59	28:08.4	211:21.15
7	13/09/2016	20:32	27:56.8	239:17.98
8	13/09/2016	22:06	28:27.3	267:45.28
9	13/09/2016	23:44	25:05.2	292:50.47
10	14/09/2016	1:47	27:55.6	320:46.10
11	14/09/2016	3:43	28:01.3	348:47.36
12	14/09/2016	7:09	27:15.1	376:02.45
13	14/09/2016	8:32	28:35.8	404:38.29
14	14/09/2016	9:52	31:31.5	436:09.77
SUMA(SEG)				26169,77
Caudal Promedio de bombeo:				120
Volumen total de AARR (litros)				3140372,4
Volumen total de AARR(m³)				3140,37
Afluente real considerando el 30% de retorno por sello deficiente en válvula cheque instalada en la línea de descarga de bomba sumergible:				2198,26
% de cobertura:				33,22

Fuente: autor

Tabla # 17 Parámetros de operación de sistema de aireación

C_L (mg/L	PR
0,4	142,7196
0,6	147,2742
0,8	152,129
1	157,315
1,2	162,867
1,4	168,825
1,6	175,2359
1,8	182,1526
2	189,6378

Fuente: autor

Tabla # 18 Principal resultado de la investigación

PRINCIPALES RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN				
Parámetro	Símbolo / Ecuación	unidad	Valor	Unidad de análisis
Carga máxima superficial	$CSm = (1,937E-06).(RS)$	Kg DBO ₅ /Ha-día	304,000	Depende de la cantidad de O ₂ producido por las algas.
Área proyectada de lagunas facultativas	$AF=10*LA*Qmed/CSM$	m ²	92488	El área superficial proyectada y requerida por las lagunas facultativas para el año horizonte 2030.
Área real de lagunas facultativas del cantón Playas	Area= L*a	m ²	50726	El área superficial real de las lagunas facultativas, que evidencia el subdimensionamiento para el año 2030.

Longitud de cada laguna facultativa	L	m	239	Longitud real de cada laguna facultativa
Ancho de cada laguna facultativa	a	m	105,17	Lo recomendable es una relación de largo ancho de 3/1 para modelar flujo pistón
Profundidad de laguna facultativa	P	m	1,8	Profundidad adoptada para el presente diseño
Volumen de lagunas facultativas	$V_F = (P/6) * \{ (L \cdot a) + (L - 2iP)(a - 2iP) + 4 \cdot (L - iP)(a - iP) \}$	m ³	83866	La ecuación aplicada es el volumen de un prismoide
TRH actual (2016)	TRH=VF/Qmed	días	14	El TRH para el presente año es de 14 días una vez retirado los sedimentos
Carga orgánica superficial real aplicada	CS= DBO*Q/(Area de lagunas *1000)	Kg de DBO/Ha-día	156,1	Se calculo en base al caudal de AARR
DBO₅ promedio del afluente al sistema	Medidos en laboratorios AZOQUIM y GRUPO QUÌMICO MARCOS.	mg/L	360	Se realizan con la finalidad de evaluar la eficiencia del sistema.
Sólidos suspendidos promedio	Medidos por laboratorio AZOQUIM SST	mg/L	237,000	Se realiza con la finalidad de evaluar el nivel de lodos generados.
Volumen de acumulación de lodos	VL-a= 0.00156*Qmed*SS	m ³ /año	652,59	Se realizó el calculo con el valor de caudal medio que corresponde a una cobertura de 33%
Área de cada laguna facultativa No 1	AF1 = L*a	m ²	25446,43	Incluye borde libre.
Área de cada laguna facultativa No 2	AF2 = L*a	m ²	25279,58	Incluye borde libre

Para diseño de Sistema de aireación				
Población Actual	Metodo del INEC, basada en tasa de nacimiento, de defunciones y de migración	Hab.	42807	Valor adquirido de la `Proyección de la población de la cabecera cantonal de Playas publicado por INEC.
Población del año horizonte (2030)	Método Excel	Hab	65869	Valor adquirido por hoja de cálculo
Dotación de agua Potable	$D_t = D_o(1 + \alpha)^t$	L/hab-día	Anexo 3	Valor requerido para establecer el consumo de agua potable.
Coefficiente de retorno de agua residual.	-	-	0,8	Valor que permite calcular el caudal de AARR, doméstica generada en base al caudal de agua potable.
Valor de DBO5 afluente adoptado para el diseño	-	mg/L	285	Valor que sirve para determinar la DBO de diseño del efluente.
Constante de remoción teórica de sustrato	$K_T = K_{20}\theta^{T-20}$	d ⁻¹	0,6240	Calculado en base al valor del coeficiente de actividad para la temperatura.
Constante de velocidad de degradación (cinética de primer orden)	$K = \frac{6b}{a}$	Días ⁻¹	0,6177	Obtenido por el método, numérico de Thomas, para determinar el Valor de K (base e)
DBOU	$L = \frac{1}{Ka^3}$	mg/L	357,77	Obtenido por el método numérico de Thomas, para determinar

				el Valor de DBOU
Tiempo de residencia hidráulico	$TRH = \frac{S_o - S_F}{KS_F}$	días	6,03	Calculado para obtener un porcentaje de remoción de DBO ₅ de 76%
Tasa real de transferencia de Oxígeno	$N = N_0 \alpha \cdot 1,024^{T-20} \left[\frac{\beta C_{S(T,A)} - C_L}{C_{S(20,0)}} \right]$	$\frac{Kg O_2}{(KW - hora)}$	0.95	Nos permitirá calcular la potencia real del sistema de aireación.
Potencia requerida	$PR = \frac{O_R}{N}$	KW	190	Valor calculado en base a la consideración de las condiciones más eficientes dentro del proceso.

Fuente: autor

Tabla # 19 Datos retrospectivos de aforo de bombas

PROGRAMA DE AFORO DE FLUJO DE BOMBEO						
Aguas Residuales Crudas						
FECHA	BOMBA1	BOMBA2	TOTAL DIA B1+B2	B1+B2 (SEG)	Caudal nominal	litros/seg
01/12/2010	088:43.21	073:37.17	162:20.38	6782.00	120	9.42
02/12/2010	102:53.65	070:08.32	173:01.97	10382.00	120	14.42
03/12/2010	198:33.04	000:00.00	198:33.04	11913.04	120	16.55
04/12/2010	017:50.16	188:58.25	206:48.41	12408.41	120	17.23
05/12/2010	159:52.02	029:08.00	189:00.02	11340.02	120	15.75
06/12/2010	054:55.62	116:34.08	171:29.70	10289.70	120	14.29
07/12/2010	113:26.03	063:39.31	177:05.34	10625.34	120	14.76
08/12/2010	117:21.79	083:15.36	200:37.15	12037.15	120	16.72
09/12/2010	098:20.22	000:00.00	098:20.22	5900.00	120	8.19
10/12/2010	096:47.58	078:52.98	175:40.56	10540.56	120	14.64
11/12/2010	043:45.82	114:00.22	157:46.04	9466.04	120	13.15
12/12/2010	155:24.21	000:00.00	155:24.21	9324.21	120	12.95
13/12/2010	033:00.13	116:16.98	149:17.11	8957.11	120	12.44
14/12/2010	147:40.00	058:31.42	206:11.42	12371.42	120	17.18
15/12/2010	034:33.23	128:58.80	163:32.03	9812.03	120	13.63
16/12/2010	170:12.35	032:27.15	202:39.50	12159.50	120	16.89
17/12/2010	032:54.15	137:45.75	170:39.90	10239.90	120	14.22
18/12/2010	179:19.07	029:06.53	208:25.60	12505.60	120	17.37
19/12/2010	014:30.56	174:50.32	189:20.88	11360.88	120	15.78
20/12/2010	173:32.34	016:22.59	189:54.93	11394.93	120	15.83
21/12/2010	038:03.39	146:57.65	185:01.04	14994.93	120	20.83
22/12/2010	155:49.85	044:06.13	199:55.98	11995.98	120	16.66
23/12/2010	041:19.31	148:24.43	189:43.74	11383.74	120	15.81
24/12/2010	317:36.51	028:28.45	346:04.96	20764.96	120	28.84
25/12/2010	045:10.60	132:20.57	177:31.17	10651.17	120	14.79
26/12/2010	149:50.03	056:00.78	205:50.81	12350.81	120	17.15
27/12/2010	044:29.82	154:20.50	198:50.32	11930.32	120	16.57
28/12/2010	128:05.13	028:14.45	156:19.58	15530.32	120	21.57
29/12/2010	071:50.21	123:05.19	194:55.40	19130.32	120	26.57
30/12/2010	179:49.80	000:00.00	179:49.80	22730.32	120	31.57
31/12/2010	037:15.09	178:29.54	215:44.63	26330.32	120	36.57

Fuente: Ing. Ivan Ortega

Tabla # 20 Resultado de análisis

PARAMETROS:	RESULTADOS (DE LAS LAGUNAS PRIMARIAS) (NMP/100ml)			% DE REMOCIÓN	
	AFLUENTE DE FAC 1	AFLUENTE DE FAC 2	EFLUENTE DE FACULTATIVAS	FAC 1	FAC 2
Coliformes totales	1.78E+06	1.37.E+07	172300	90.32	98.74
Coliformes fecales	683000	5.46E+06	58100	91.49	98.94

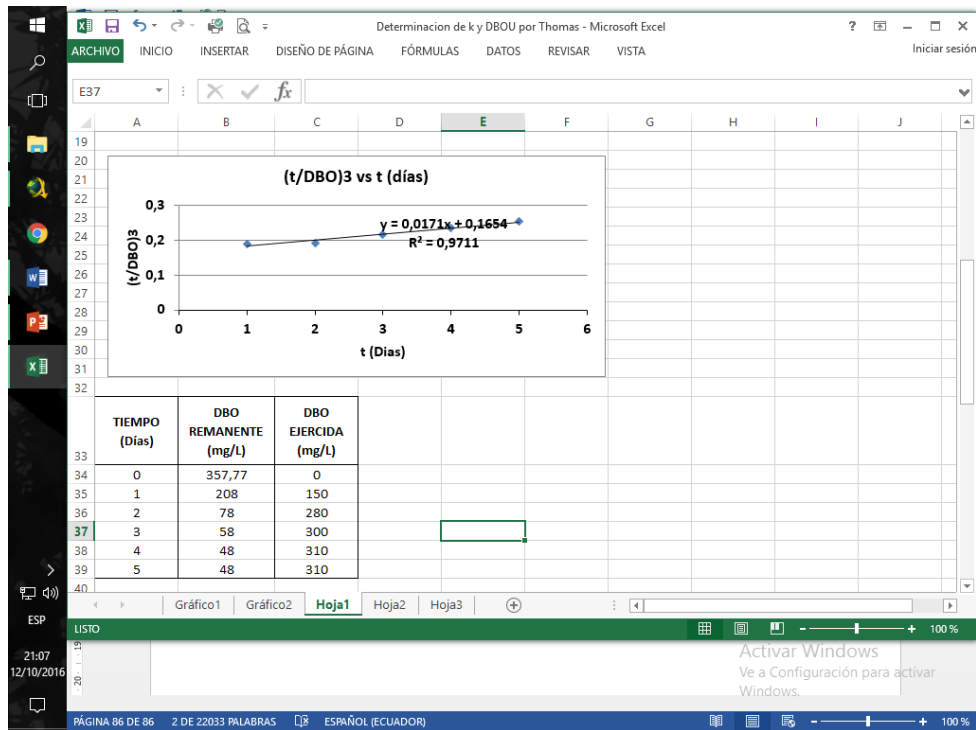
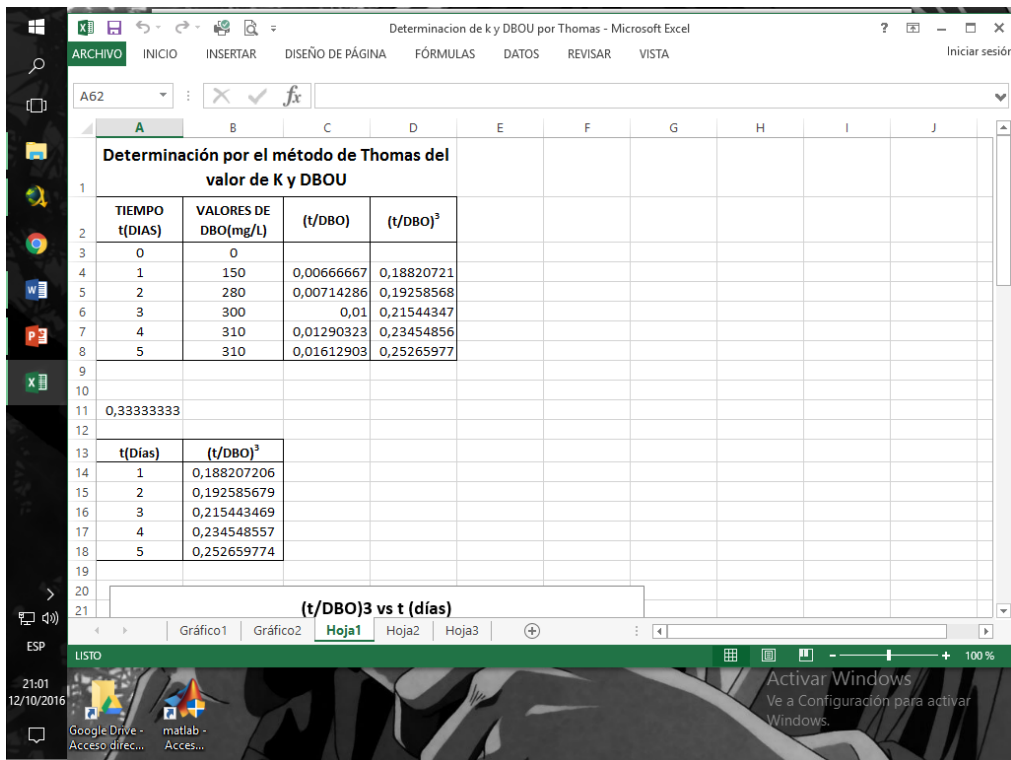
Fuente: Grupo Químico Marcos

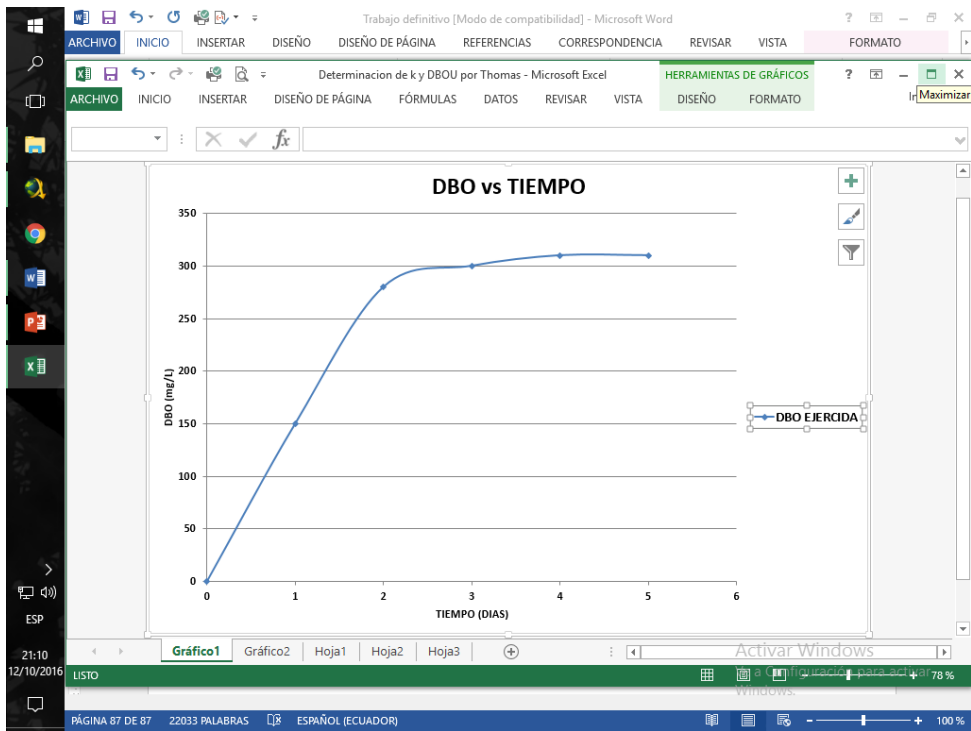
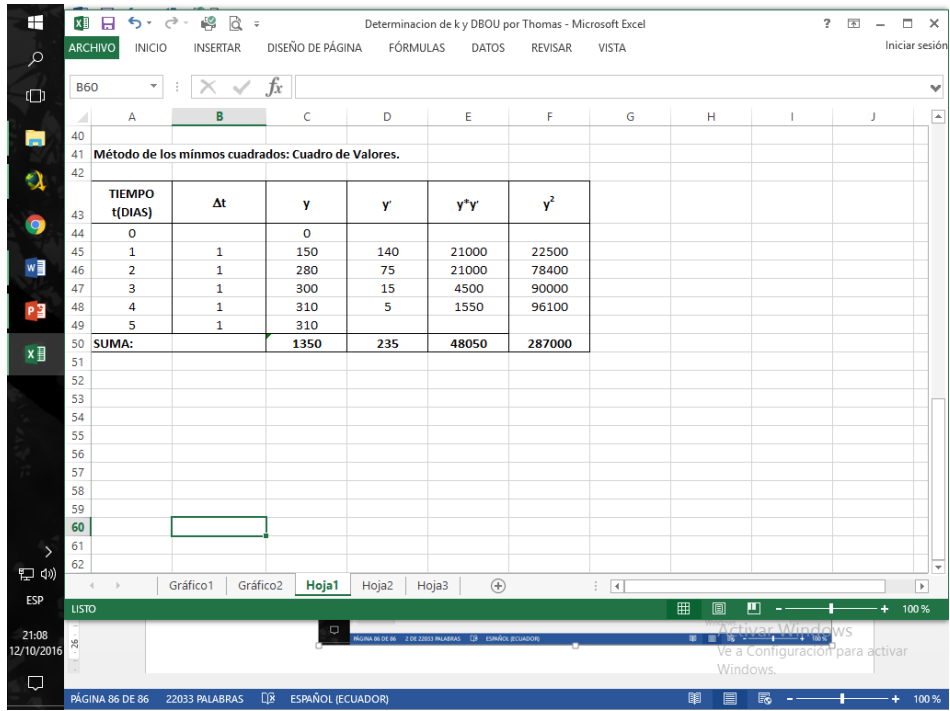
Tabla # 21, Estructura propuesta

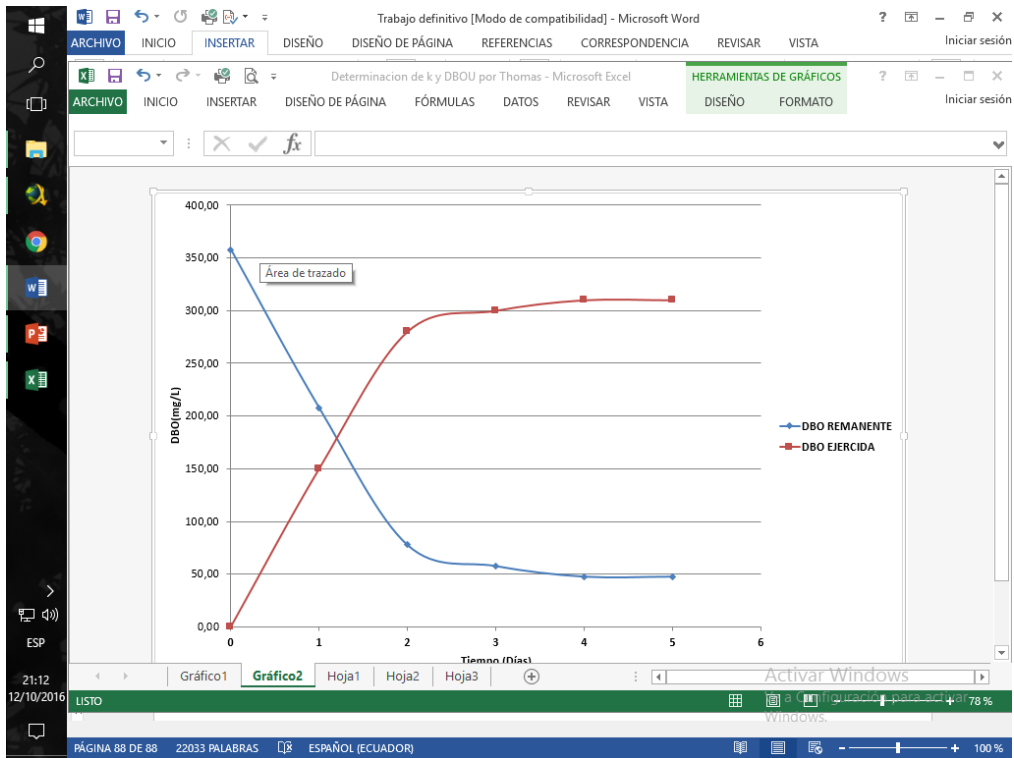
CONSTITUYENTE	PROPOSITO	SITUACIÓN ACTUAL
Rejilla de grueso	Evitar el desgaste de equipos por sólidos gruesos.	No existe.(Se considera en el Plan de Acción)
Desarenador	Separa la arena del agua residual	No existe(Se considera en el plan de acción)
Medidor de flujo	Determina el gasto que entra a las lagunas	No existe (Se considera en el Plan de Acción)
Lagunas Facultativas aireadas mecanicamente	Remueve materia organica soluble y suspendida.	Objeto de la Presente propuesta.
Laguna Facultativa	Remueve la materia organica soluble y sedimentada	La laguna de maduración será convertida en laguna facultativa.
Laguna de maduración	Remover Patógenos	Se proyecta su diseño para ser dispuesto en serie a continuación de la infraestructura existente.
Medidor de Flujo	Medidor el caudal efluente	No existe se considera su instalación en el plan de acción.

Fuente: autor

ANEXO 3- CONSTANCIA DE CÁLCULOS REALIZADOS:

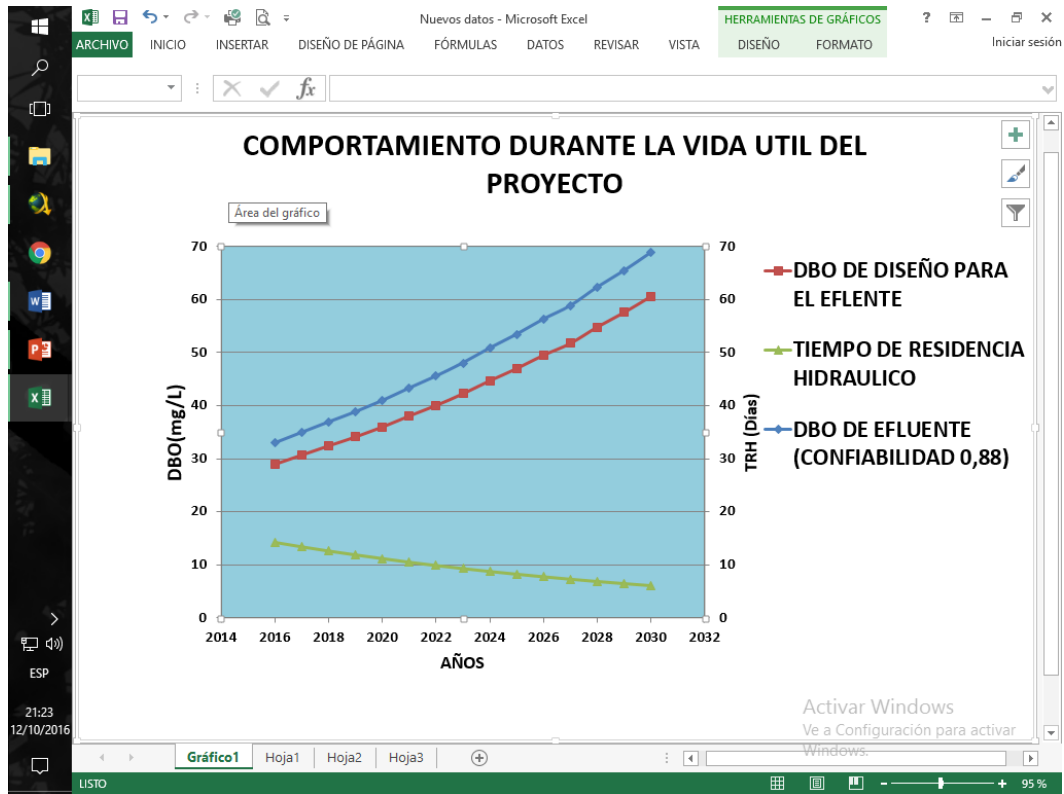






Valores de dbo efluente y de diseño correspondientes a caudal de aguas residuales crudas y trh.

AÑOS	CAUDAL DE AGUA RESIDUAL CRUDA (m ³ /día)	TRH (DIAS)	DBO (EFLUENTE) mg/L	DBO (EFLUENTE) DE DISEÑO (mg/L)
2016	5875	14,3	32,936	28,98368
2017	6247	13,4	34,9097	30,720536
2018	6640	12,6	36,87831	32,4529128
2019	7056	11,9	38,7831	34,129128
2020	7495	11,2	40,901	35,99288
2021	7994	10,5	43,2634	38,071792
2022	8499	9,9	45,517	40,05496
2023	9037	9,3	48,0181	42,255928
2024	9608	8,7	50,8102	44,712976
2025	10217	8,2	53,3976	46,989888
2026	10865	7,7	56,2626	49,511088
2027	11556	7,3	58,7859	51,731592
2028	12291	6,8	62,2772	54,803936
2029	13074	6,4	65,3837	57,537656
2030	13907	6,0	68,8164	60,558432



Trabajo definitivo corregido [Modo de compatibilidad] - Microsoft Word

Editor - E:\informacion\politecnica\4 semestre\fundamentos de computacion\programacalcula.m

```

1  %programa para calcular el sf%
2  %ingreso de variables%
3  k=input('ingrese k');
4  n=input('cuantos datos son');
5  TRH=[];
6  for i=1:n
7      %ingreso de los valores del TRH%
8      x=input('valor de trh');
9      TRH=[TRH,x];
10 end
11 Sf=[];
12 for i=1:n
13     %calcula el sf mediante la funcio calculasf%
14     y=calculasf(TRH(i),k);
15     Sf=[Sf,y];
16 end
17 sfd=[];
18 for i=1:n
19     %calcula el sf de diseño%
20     z=0.88*Sf(i);
21     sfd=[sfd,z];
22 end
23 %salida de los resultados%

```

Ln 1 Col 1

Activar Windows
Ve a Configuración para activar Windows.

PÁGINA 90 DE 95 13598 PALABRAS ESPAÑOL (ECUADOR) 100 %

ANEXO 4- FOTOS



Vista de lagunas de oxidación del cantòn Playas (tomada de Google Eart)



Vista general de laguna facultativa No 1, donde se aprecia la cantidad de maleza en el borde superior, así como la acumulación de sedimentos originando cortocircuitos hidráulicos que no permiten la distribución homogénea en toda el área superficial.



Foto que ilustra el trabajo de batimetría realizado en las lagunas de oxidacion



Entrada de agua residual a la laguna de oxidacion

ANEXO 5

Método manométrico de DBO₅

Se mide 140 cc que corresponde al volumen de inóculo para obtener 350 mg/L de DBO₅, se incuba la muestra por el método manométrico, por el período de 5 días, para determinar la DBO₅ a una temperatura de 20°C, sometiendo a agitación constante por medio de un agitador magnético.

La cantidad de CO₂, producida por las bacterias en el proceso de respiración reacciona y es adsorbida con Na (OH), colocado en un dispositivo que se encuentra en el cuello de la botella Winkler.

Lo antes mencionado produce una disminución de la presión parcial de los gases en el interior del frasco, con lo que el mercurio empieza a ascender en la escala que da en forma directa el valor de la DBO ejercida conforme pasan los días.

Materiales Utilizados:

- Balde de plástico.
- Botellas de plástico de 700 cc.
- Cronómetro
- Guantes y mascarillas.
- Licuadora
- Termómetro.
- Botella Winkler de 250 cc
- Agitador magnético.
- Equipo de medición de DBO₅.
- Hidróxido de Sodio.
- Matraz de 250 ml.

La investigación se sustentó en la determinación del valor de K y DBOU, en base a los datos obtenidos de DBO ejercida, en intervalos de 24 horas durante 6 días, a una temperatura de 20°C.

Con los datos obtenidos se organizó la información para determinar la constante de degradación de primer orden K y la DBOU, por medio de los métodos de mínimos cuadrados y de momentos de Thomas, explicados en el capítulo anterior.

ANEXO 6

Cálculos para el diseño de un sistema de aireación para lagunas facultativas del cantón

Playas:

El valor de K, que es la constante de remoción de DBO (d^{-1}), se estimó en base a su dependencia con la temperatura, que esta dada por la ecuación de Arrhenius:

$$K_T = K_{20}\theta^{T-20}$$

El coeficiente de actividad por temperatura (θ), es igual a 1,085(Jairo Romero Rojas), por lo que se calculó de la siguiente forma:

$$K_T = 0,276(1,085)^{30-20}$$

$$K_T = 0,6240 d^{-1}$$

Cálculo del tiempo de residencia hidráulico

Datos:

S_0 : Valor promedio de resultados de DBO5: 285 mg/L.

S_f : Valor requerido para el efluente en el año horizonte 2030: 68 mg/L.

Porcentaje de remoción: (0,7-0,9).

Coefficiente de confiabilidad: 88%.

$$\% \text{ de Remoción} = 1 - \frac{S_0}{S_f}$$

Reemplazando valores:

$$\% \text{ de Remoción} = 1 - \frac{68}{285}$$

$$\% \text{ de Remoción} = 1 - 0,24$$

$$\% \text{ de Remoción} = 0,76$$

Para el presente diseño se adoptó un coeficiente de confiabilidad de 88%.

Es decir que el DBO₅ total para el presente diseño será de:

$$DBO5_{DISEÑO} = CDC \times DBO5_{REQUERIDO}$$

$$DBO5_{DISEÑO} = (0,88)(68)$$

$$DBO5_{DISEÑO} = 59,84 \text{ mg/L}$$

Con este resultado se calcula el TRH del Sistema, que viene dado por la siguiente formula:

$$TRH = \frac{S_o - S_F}{KS_F}$$

Reemplazando valores tendremos:

$$TRH = \frac{285 - 59,84}{0,624 \times 59,84}$$

$$TRH = 6,03 \text{ días}$$

Para lagunas aireadas facultativas la tasa máxima de oxígeno requerida se puede calcular de la siguiente ecuación:

$$OR = 4,17 \times 10^{-5} AB$$

Donde:

OR: Oxígeno requerido Kg/hora.

A: Area del fondo de la laguna.

B: Demanda bental de oxígeno (g/m²-día)

T: Temperatura del agua en la laguna durante la semana mas cálida del año.

Donde el area del fondo de laguna es igual a 44222 m²

La demanda bental esta dada por la siguiente igualdad:

$$B = 60 (1,05)^{T-20}$$

$$B = 60 (1,05)^{30-20}$$

$$B = 60 (1,05)^{10}$$

$$B = 98 \frac{g}{m^2 - día}$$

Con los valores citados se obtiene el oxígeno requerido:

$$OR = 4,17 \times 10^{-5} AB$$

$$OR = 4,17 \times 10^{-5}(44222)(98)$$

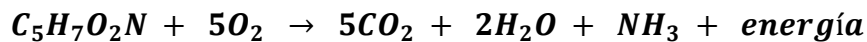
$$OR = 180 \text{ Kg/hora}$$

Calculo de la DBO₅ soluble del efluente:

A partir de una concentración de solidos suspendidos requerida en el efluente de 68 mg/L es decir igual a la de la DBO₅, se realiza el siguiente procedimiento de cálculo:

1.- Se calcula la DBO₅ suspendida asumiendo que la fracción volátil de solidos suspendidos totales representa el 80 %.

La DBOU de la biomasa suspendida se valora con la siguiente ecuación:



Por lo que 1 gramo de biomasa ejerce una DBOU de 1,42 gramos.

Con lo que:

- a) Se convierte los solidos totales requeridos en el efluente a DBO suspendida (cuya fracción volátil en aguas residuales domesticas por lo general es de 0,80).

$$SST \text{ DE DISEÑO} = SST_{REQUERIDO} \times CDC$$

$$SST \text{ DE DISEÑO} = 68 \times 0,88$$

$$SST \text{ DE DISEÑO} = 59,84 \text{ mg/L}$$

DBO SUSPENDIDA

$$= SST \text{ DE DISEÑO} \times \frac{g \text{ SSV}}{g \text{ SST}} \times \frac{1,42 \text{ g DBOU}}{1 \text{ g SSV}(\text{biomasa})}$$

$$\times \frac{0,6 \text{ g DBO SUSPENDIDA}}{1 \text{ g DBOU}}$$

DBO SUSPENDIDA

$$= 59,84 \text{ g SST DE DISEÑO} \times \frac{0,8 \text{ g SSV}}{1 \text{ g SST}} \times \frac{1,42 \text{ g DBOU}}{1 \text{ g SSV}(\text{biomasa})}$$

$$\times \frac{0,6 \text{ g DBO SUSPENDIDA}}{1 \text{ g DBOU}}$$

$$\mathbf{DBO_{5\ (SUSPENDIDA)} = 40,78\ mg/L}$$

b) Restando el resultado obtenido al valor de la DBO total de diseño se obtiene el valor de la DBO5 soluble.

$$DBO_{5\ (SOLUBLE)} = DBO_{5\ (DISEÑO)} - DBO_{5\ (SUSPENDIDO)}$$

Reemplazando valores:

$$DBO_{5\ (SOLUBLE)} = (59,84 - 40,78)mg/L$$

$$DBO_{5\ (SOLUBLE)} = (59,84 - 40,78)mg/L$$

$$\mathbf{DBO_{5\ (SOLUBLE)} = 19,05\ mg/L}$$

Calculo de la eficiencia del tratamiento con base a la DBO5 soluble y DBO5 total:

$$E_s = 1 - \frac{DBO_{5\ SOLUBLE}}{DBO_{5\ (afluente)}}$$

$$E_s = \left[1 - \frac{19,05}{285}\right] \times 100$$

$$\mathbf{E_s = 93\%}$$

$$E_T = 1 - \frac{DBO_{5\ TOTAL}}{DBO_{5\ (afluente)}}$$

$$E_T = \left[1 - \frac{59,84}{285}\right] \times 100$$

$$\mathbf{E_T = 79\%}$$

Cálculo de la tasa real de transferencia de oxígeno, kg o2/kwh

Para lo cual se utiliza la siguiente ecuación:

$$N = N_0 \alpha \cdot 1,024^{T-20} \left[\frac{\beta C_{S(T,A)} - C_L}{C_{S(20,0)}} \right]$$

Reemplazando valores:

$$N = 2 \times 0,7 \times 1,024^{30-20} \left[\frac{0,9 \times 7,63 - 2}{9,17} \right]$$

Con lo que se obtiene:

$$N = 0,95 \frac{Kg O_2}{(KW - hora)}$$

Con este valor se obtiene la potencia requerida mediante la siguiente relación:

$$PR = \frac{O_R}{N}$$

Reemplazando valores:

$$PR = \frac{180 Kg O_2/hora}{0,95 \frac{Kg O_2}{(KW-hora)}}$$

$$PR = 190 KW$$

Nivel de potencia o potencia requerida por mezcla

Para lagunas aireadas facultativas se recomienda un nivel de potencia igual a 2 W/m³

Volumen de agua en lagunas facultativas: 83866 m³

Al multiplicar los dos valores se obtiene:

$$PR = (2 W/m^3) \times 83866 m^3$$

$$PR = 167732 W$$

$$PR = 167,732 KW$$

De los resultados obtenidos se requieren 10 aireadores superficiales 19 KW de potencia de salida, cinco por cada laguna.

Datos Eléctricos:

P _{out} (KW)	190
Voltaje: Y/Δ	220/440
Nema eff:	0,9
Hz	60
Velocidad(RPM)	3565
CODE	G
NOM FP:	0,827

Las pérdidas por esteresis y efecto de Joule nos obligan al cálculo de la potencia de entrada

P_{in} , a través de la siguiente ecuación:

$$P_{in} = \frac{P_{out}}{eff}$$

Emplazando valores:

$$P_{in} = \frac{190}{0,9}$$

$$P_{in} = 211 \text{ KW}$$

Con este valor se calcula la potencia aparente:

$$POTENCIA APARENTE = \frac{POTENCIA ACTIVA}{FACTOR DE POTENCIA}$$

$$POTENCIA APARENTE = \frac{211 \text{ KW}}{0,827}$$

$$POTENCIA APARENTE = 255 \text{ KW}$$

Por lo que se requiere de 10 aireadores de 25,5 KW.

Con este valor se calcula la corriente de línea que requiere la máquina para poder funcionar:

$$I_i = \frac{P_{3\phi}}{\sqrt{3} \cdot V \cdot FP}$$

$$I_i = \frac{255 \text{ KW}}{\sqrt{3} \times (460) \times 0,827}$$

$$I_i = 387,2 \text{ A}$$

Cada motor tendrá un consumo de 38,72 A.

Cuando la máquina tiene CODE G, indica que tiene un factor de arranque igual a 5,6.

Con lo que:

$$I_{arranque} = I_L \times 5,6$$

$$I_{arranque} = 38,7 \times 5,6$$

$$I_{arranque} = 216,72 \text{ A}$$

Valor que representa la corriente real de arranque de cada motor.

Con el valor de la potencia aparente se realiza el calculo de energía consumida en forma mensual, considerando el pliego tarifario del CENEL.

TARIFAS ELECTRICAS: SERVICIO PUBLICO DE AGUA POTABLE:						
Tiempo (intervalos considerados)		Costo unitario usd/Kw	Total de Hora/mes	Total Parcial (Kw-hora)	Costos totales	
L-V	08:00-18:00	0,039	230	58680	2288,5	
L-V	18:00-22:00	0,065	92	23472	1525,7	
L-V	22:00-08:00	0,031	230	58680	1819,1	
S-D	18:00-22:00	0,039	32	8164	318,4	
Consumo mensual de Energía Eléctrica:			584	148996	5952	usd/mes
Costo mensual de Energía Eléctrica:					5952	usd/mes

Fuente: autor

Lo que indica que el Sistema de aireadores superficiales representa un costo mensual, por consume de energía eléctrica igual a 5952 USD.

Calculo de la potencia reactiva:

Factor de Potencia = $\cos \theta = 0,827$

$$\theta = \cos^{-1} 0,827$$

$$\theta = 34,2 \text{ grados}$$

Con la función tangente tendremos:

$$\tan 34,2 = 0,6790808853$$

Donde:

$$\tan 34,2 = \frac{\textit{Potencia reactiva}}{\textit{Potencia activa}}$$

Despejando:

$$\textit{PotenciaReactiva} = \textit{Potenciaactiva} \times \tan 34,2$$

$$\textit{Potencia Reactiva} = 211 \times \tan 34,2$$

$$\textbf{\textit{Potencia Reactiva} = 143 KW}$$