

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“AIREADOR SUPERFICIAL DE ROTOR CON EJE
HORIZONTAL EN AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Ambiental:

Autores:

Andrea del Milagro García Landa
Diego Heli Sebastián Castillo Gálvez

Asesor:

Ing. Luis Enrique Alva Díaz

Trujillo - Perú

2019



DEDICATORIA

A Dios

A nuestros Padres.

Por su apoyo incondicional en todo momento, por sus consejos, sus valores, su motivación día a día que nos ha permitido ser mejores personas en todo aspecto de la vida, y sobre todo gracias por su amor infinito brindado.

A nuestros Hermanos

Por estar con nosotros y apoyarnos en todo momento, por siempre desearnos lo mejor en nuestras vidas profesionales y personal, y por su amor incondicional los queremos mucho.

A nuestros abuelos

Porque son sinónimo de sabiduría, porque han sido los segundos padres, los cuales siempre estuvieron apoyándonos para conseguir nuestros objetivos y ahora están presentes para vernos triunfar en la vida, gracias

AGRADECIMIENTO

A nuestros docentes participes dentro de nuestra carrera profesional

Por su gran apoyo y dedicación para la culminación de nuestros estudios profesionales y para la elaboración de esta tesis, gracias por su tiempo compartido y por impulsar el desarrollo de nuestra formación profesional.

A la empresa FENIX S.A.C y a sus colaboradores

Por su esfuerzo y el gran apoyo constante para la ejecución y construcción del proyecto en sus instalaciones. Gracias Italo Silva

A la empresa ZED Paita y a sus colaboradores

Por el apoyo para desarrollar el proyecto a partir de su Planta de Tratamiento y brindarnos las instalaciones correspondientes para la ejecución de nuestras pruebas. Agradecer eternamente al sr. Guillermo Cabiessa por el apoyo desde los inicios de este proyecto y que será recordado como parte de mi desarrollo profesional.

Tabla de contenidos

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	8
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	11
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	27
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....	33
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	39
REFERENCIAS.....	46
ANEXOS.....	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Valoración de saturación de oxígeno para agua destilada en condiciones normales	17
Tabla 2 Presión de vapor de agua.....	18
Tabla 3 Constantes de la ley de Henry para diferentes gases solubles en el agua.....	19
Tabla 4 Datos promedios del coeficiente de transferencia (KLa a 20° C)	33
Tabla 5 Datos promedios del coeficiente de transferencia (KLa a 30° C)	33
Tabla 6 Datos promedio del KLa de agua potable a 20 °C	34
Tabla 7 Resultados Coeficientes de transferencia, factores de corrección y capacidad nominal.....	34
Tabla 8 Desviación Estándar y media de los puntos y niveles de transferencia de oxígeno	34
Tabla 9 Prueba de diferencia de medias de los puntos N° 1 y N° 3.....	35
Tabla 10 Prueba de diferencia de medias de los puntos N° 2 y N°3	35
Tabla 11 Prueba de diferencia entre niveles “SUPERIOR” e “INTERMEDIO”	36
Tabla 12 Datos del nivel superior agua potable Punto 1	58
Tabla 13 Datos del nivel superior agua potable en Punto 2	59
Tabla 14 Datos del nivel superior en el Punto 3.....	60
Tabla 15 Datos del nivel intermedio en el Punto 1	61
Tabla 16 Datos del nivel intermedio en el Punto 2	62
Tabla 17 Datos del nivel intermedio en el Punto 3	63
Tabla 18 Datos del nivel fondo en el Punto 1	64
Tabla 19 Datos del nivel fondo en el Punto 2	65
Tabla 20 Datos del nivel fondo en el Punto 3	66
Tabla 21 Datos del nivel Superior en el Punto 1	67
Tabla 22 Datos del nivel superior en el Punto 2.....	68
Tabla 23 Datos del nivel superior en el Punto 3.....	69
Tabla 24 Datos del nivel fondo en el Punto 1	70
Tabla 25 Datos del nivel fondo en el Punto 2	71
Tabla 26 Datos del nivel intermedio en el Punto 3	72

Tabla 27 Datos del nivel fondo en el Punto 1	73
Tabla 28 Datos del nivel fondo en el Punto 2	74
Tabla 29 Datos del nivel fondo en el Punto 3	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Vista planta- Ubicación de los puntos de medición de oxígeno disuelto con un sentido de rotación horario.	30
Figura 2 Vista perfil, ubicación de los niveles de medición de oxígeno disuelto.	31
Figura 3 Dimensiones de la paleta del aireador superficial de rotor con eje horizontal con sus respectivas vistas.	37
Figura 4 Dimensiones de la base, el eje principal y las chumaceras del aireador de rotor con eje horizontal.	37
Figura 5 Sistema de encaje de cada parte correspondiente a la implementación del aireador superficial de rotor con eje horizontal	38
Figura 6 Dimensión y longitud del sistema ensamblado en 4 tipos de vistas para implementación del aireador superficial de rotor con eje horizontal	38

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Teoría de la doble capa de Lewis y Whitman	15
Ecuación 2 Tasa de difusión.....	15
Ecuación 3 Relación de Arrhenius	16
Ecuación 4 Concentración del oxígeno disuelto	16
Ecuación 5 Presión en la superficie del agua corriente	18
Ecuación 6 Presión en la superficie de agua residual.....	18
Ecuación 7 Ley de Henry	19

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo por objetivos implementar un aireador de rotor con eje horizontal para evaluar la transferencia de oxígeno en aguas residuales industriales, determinando su capacidad nominal de oxigenación del aireador y evaluando el coeficiente de transferencia de oxígeno durante el tiempo de aireación superficial. La experimentación se realizó en la planta de tratamiento de aguas residuales de ZED donde se construyó el sistema de aireación con dimensiones de 1,00 m largo x 0,91 m ancho y 0,42 m de altura, cuya capacidad nominal del aireador superficial en las aguas residuales fue de 0,3177 kgO₂/kWh. Para la medición de la transferencia de oxígeno se realizaron 3 estaciones de muestreo, en la que se ubicaron en la entrada, en el centro y a la salida de la laguna, siendo un total de 09 muestras de 119,5 litros. Los resultados que se obtuvieron en el coeficiente de transferencia con mayor valor fue en el punto 3, nivel fondo con 2,005 h⁻¹ a 30°C, así mismo 1,683 h⁻¹ en el nivel “INTERMEDIO”. El factor de saturación α fue de 0,885, relación entre el coeficiente de transferencia de agua residual con el agua potable, y el factor de saturación β fue de 0,844 correspondiente a la presión y temperatura tanto en agua residual con agua potable. Finalmente se concluye que se construyó un sistema de aireación superficial de rotor con eje horizontal, cuya capacidad nominal del aireador superficial en las aguas residuales fue de 0,3177 kgO₂/kWh.

Palabras clave: Coeficiente de transferencia de oxígeno, aireador superficial, capacidad nominal de oxigenación.

ABSTRACT

The objective of this research work was to implement a rotor aerator with a horizontal axis to evaluate the oxygen transfer in industrial wastewater, determining its nominal aeration oxygenation capacity and evaluating the oxygen transfer coefficient during the surface aeration time. The experimentation was carried out in the ZED wastewater treatment plant where the aeration system was built with dimensions of 1,00 m long x 0,91 m wide and 0,42 m high, whose nominal capacity of the surface aerator in the wastewater was 0,3177 kgO₂/kWh. For the measurement of oxygen transfer, 3 sampling stations were carried out, in which they were located at the entrance, in the center and at the exit of the lagoon, with a total of 09 samples of 119,5 liters. The results that were obtained in the transfer coefficient with the highest value were in point 3, bottom level with 2,005 h⁻¹ at 30 ° C, likewise 1,683 h⁻¹ in the "INTERMEDIATE" level. The saturation factor α was 0,885, ratio between the coefficient of transfer of residual water with drinking water, and the saturation factor β was 0,844 corresponding to the pressure and temperature in both residual water and wate. Finally, it is concluded that a rotor surface aeration system with a horizontal axis was built, whose nominal capacity of the surface aerator in the wastewater was 0,3177 kgO₂/ kWh.

Key words: Oxygen transfer coefficient, surface aerator, nominal oxygenation capacity

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Agua residual es toda aquella que ha sido originada por actividades humanas y que por sus características requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado. (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental- OEFA, 2014)

A nivel mundial, las aguas residuales son la mayor fuente de contaminación, por volumen, de los ambientes marinos y costeros, esto como consecuencia del aumento significativo, en los últimos 30 años, del nivel de descargas de este tipo de aguas en zonas costeras. (Ochoa M. et. al., 2013). Según la Organización de Naciones Unidas (ONU), el 80% de las aguas residuales mundiales no se descontaminan antes de su vertimiento o reuso lo que ocasiona, no sólo la contaminación de la flora y fauna, sino, enfermedades y muertes prematuras que cuestan varios cientos de miles de millones al PBI del planeta anualmente. (ONU, 2015)

En el Perú, se generan diariamente alrededor de 2 millones 217 mil 946 m³ de aguas residuales; las cuales son descargadas a la red de alcantarillado de las Empresas Prestadora de Servicio de Saneamiento (EPSS) para ser tratadas sólo el 32% de estas. Lo anterior equivale a una generación per cápita diaria de 142 litros de aguas residuales por habitante en el país. En este contexto, se estima que, para el año 2024, el Perú duplique la generación de aguas residuales que actualmente gestionan las EPSS. (Gerencia de Supervisión y Fiscalización – SUNASS, 2012)

La problemática descrita se ha posicionado en la agenda gubernamental a lo largo de la última década, en consecuencia, se han desarrollado e implementado políticas públicas vinculadas al tratamiento de aguas residuales domésticas, industriales y

municipales; entidades relacionadas a la fiscalización ambiental que controlen y manejen este tipo de residuos de forma más eficiente.

En este marco aparecen las plantas de tratamiento de aguas residuales, las cuales se constituyen como una de las herramientas tecnológicas más importantes para el reúso de tipo de desechos; permitiendo además mejorar las condiciones sanitarias y calidad de vida la población.

Por tal razón, promover su instalación es prioritario; a pesar de esto, en el Perú, las plantas de tratamiento instaladas no funcionan correctamente; pues carecen de eficiencia y han sido sobredimensionadas; contando además con tecnología que no se adecúa regularmente a las condiciones de implementación de las mismas según normativa del tipo Límites Máximos Permisibles (LMP), Estándares de Calidad Ambiental (ECA), OS090 y OS037 (Reglamento Nacional de Edificaciones); esto causa importantes problemas ambientales, como lo son la contaminación de cuerpos de agua superficiales y subterráneas, debido a la infiltración del subsuelo, además de la generación de malos olores y focos infecciosos.

La Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS), y la Cooperación Alemana GIZ, a través del Programa de Agua Potable y Alcantarillado (PROAGUA) del Centro Internacional de la Migración (CIM), presentaron el estudio “Diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en el Ámbito de Operación de las Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento (EPS)”; el estudio abordó la problemática de 204 PTAR (172 construidas y 32 en construcción) ubicadas en 32 EPS, a través de una rigurosa evaluación técnico-operacional a lo largo de 7 meses; resultado de esto se logró identificar vertimientos de aguas residuales no autorizados, y conocer los desafíos que se desprenden de los nuevos y exigentes estándares de calidad de efluentes. (SUNASS, 2017)

En el norte del Perú, departamento de Piura, Provincia de Paita, durante tres décadas las empresas pesqueras han arrojado clandestinamente aguas residuales al mar contaminando la bahía es así que en el 2014 se presentaron 194 denuncias por contaminación y delitos contra el medio ambiente en la bahía de dicha zona; luego en el 2015 aumento en un 27%, según el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) identificó la existencia de 39 plantas de procesamiento industrial pesquero en Paita. Sin embargo, solo el 20% de las empresas cuenta con una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, el otro 80% se dedica a verter sus efluentes directamente al mar de Paita, contaminando todo a su paso, de manera constante. (OEFA, 2015)

En el 2016, cuatro empresas asentadas en la zona industrial identificadas como INOPE, COSTA MIRA, TRADIFISHC y DAEWONSUSAN, estaban incumpliendo con los compromisos ambientales acordados por el estado, trasladando las aguas residuales a un lugar que no es considerado una Planta de Tratamiento por los organismos competentes (Municipalidad Provincial de Paita, 2016).

Como se da en el caso de la Planta de tratamiento de Aguas Residuales Industrial de la Zona Especial de Desarrollo (ZED) de Paita, Piura compuesto por 08 lagunas de oxidación (4 anaerobias y 4 facultativas), en las cuales las lagunas aireadas presenta 04 aireadores superficiales (paletas) cuyo funcionamiento es 6 horas diarias mediante un equipo electrógeno y tiene una capacidad de 7668 m³, por lo que se observa un tratamiento incompleto ya que los aireadores son insuficientes al volumen almacenado.

Respecto del tratamiento de aguas residuales; la aireación representa un factor importante (Zaragoza, 2009) debido a que el oxígeno es un gas cristalino que se dispersa en una masa líquida a través de la interfase gas- líquido (Yañez, 1991), es

decir, el proceso del agua tiene contacto con el aire, concepto desarrollado por Lewis y Whitman en la teoría de la doble película. Su función principal es proporcionar oxígeno en los procesos de tratamiento biológico aeróbico, entre otros empleos como la remoción del metano, cloro, amoníaco, compuestos orgánicos volátiles, sulfuro de hidrógeno (H_2S), dióxido de carbono y otras sustancias volátiles productoras de olores y sabores. (Alviz y Cueto, 2012)

Coexisten teorías que han sido propuestas para el mecanismo de transferencia de oxígeno en el agua, entre ellas tenemos la teoría de Fick, la doble capa y Henry. Estas teorías son ampliamente utilizadas al modelar la cinética de la transferencia de oxígeno y poder determinar dicha variable. De manera interesante, las formas más sencillas han probado ser efectivas en el diseño de aireación, cediendo resultados cercanos a modelos más complejos y que, por lo general, proporcionan predicciones equivalentes de transferencia de oxígeno.

La teoría de Fick refiere la tasa de movimiento de gas dentro de un líquido en la que se describe la relación entre la tasa de transferencia de masa y el gradiente de la concentración. La teoría más representativa de este fenómeno es dada por Lewis y Withman, también llamada la teoría de la doble capa, esta demuestra la interfase de la transferencia de masa que ocurre de una capa o película delimitando sus áreas de contacto. La teoría de Henry describe que la concentración de oxígeno disuelto en la fase líquida es proporcional a la presión parcial del oxígeno en la fase gaseosa. (Ramalho, 2003)

En caso de tratamiento de aguas, la transferencia del gas se puede formular por la teoría de la doble capa de Lewis y Whitman y que la cantidad másica de gas transferido se calcula con base en la teoría de Fick para describir el fenómeno de difusión. (Romero, 2004)

$$N = \frac{dm}{dt} = KA(C_s - C)$$

$$\frac{N}{V} = \frac{dC}{dt} = K \cdot \frac{A}{V} \cdot (C_s - C) \quad (1)$$

Donde: $N = \frac{dm}{dt}$ = tasa másica de la 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, m²;

C_s = concentración de saturación del gas en solución, g/m³;

C = concentración de gas en la fase líquida para el tiempo t ; g/m³;

V = volumen de la fase líquida, m³;

$\frac{dC}{dt}$ = tasa de cambio en la concentración del gas; g/m³s

La ecuación 1 indica que la tasa a la cual un gas se difunde a través de un área o sección transversal uniforme depende del tamaño y forma de sus moléculas, así como del gradiente de concentración de la sustancia. El gas se mueve espontáneamente de una región de alta concentración a una baja de concentración, y a medida que la diferencia de concentración es mayor, la tasa de difusión aumenta.

Definiendo:

$$K_L a = K \frac{A}{V}$$

$$\frac{dC}{dt} = K_L a (C_s - C) \quad (2)$$

Donde: a = área específica o área interfacial por unidad de volumen; m²/m³;

$K_L a$ = coeficiente global de la transferencia del gas; m³/s.m³

El coeficiente global de transferencia del gas es función de la resistencia de las fases líquida y gaseosa, y su uso se debe a la imposibilidad práctica de determinar el valor de a . Debe anotarse que en la ecuación 2, si C es menor que C_s , existe transferencia

de gas hacia líquido, pero si C es mayor que C_s la transferencia de masa es del líquido hacia el gas.

La dinámica del oxígeno disuelto en reactores de oxidación biológica está fuertemente determinada por el coeficiente de transferencia de oxígeno. Algunos de los factores que afectan descritos por Yañez (1991) son sólidos disueltos, ya que su presencia hace que el líquido disminuya la difusión del oxígeno. La temperatura, debido a que se basa en la ley de Arrhenius (a mayor temperatura, menor solubilidad de los gases en el líquido) por lo que es más difícil que ocurra la transferencia de oxígeno bajo estas condiciones. Otro de los factores descritos son la presión y el área en donde se realizará la transferencia de oxígeno.

La temperatura, como Yañez (1991) lo describe por el efecto de la conocida relación de Arrhenius

$$K_T = K_{20} \cdot \theta^{T-20} \quad (3)$$

En donde, K_T es el coeficiente global de transferencia de oxígeno ($K_L a$) a la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) (h^{-1}) y θ es el coeficiente sin dimensión cuyos valores varían entre 1,016 y 1,037. Tener en cuenta que el valor de θ para difusión de aire comprimido puede tomarse como 1,02 y en caso de aeración mecánica, θ puede tomarse como 1,024-1,028.

Como la concentración del oxígeno disuelto en un agua residual saturada es inferior al agua corriente. La corrección de la temperatura que se puede determinar experimentalmente. Esta corrección la denominaremos α , que normalmente es inferior a la unidad.

$$\alpha = \frac{K_{La} \text{ de agua residual}}{K_{La} \text{ de agua corriente}} \quad (4)$$

La presión atmosférica determina la concentración de equilibrio de oxígeno que puede transferirse. A menor presión, menor concentración de saturación de oxígeno.

Los valores de saturación de oxígeno (C_s) 760 para agua destilada en condiciones normales, es decir, la presión atmosférica (760 mm de Hg) se recogen en la Tabla 1 en función de la temperatura. (Ramalho, 2003)

Tabla 1
Valoración de saturación de oxígeno para agua destilada en condiciones normales (1 atm)

Temperatura (°C)	Temperatura (°F)	O ₂ (mg/l)
0	32	14.6
5	41	12.8
10	50	11.3
15	59	10.2
20	68	9.2
25	77	8.4
30	86	7.6
35	95	7.1
40	104	6.6

Fuente: Ramalho (2003)

La notación C_s se utilizará para definir la concentración de oxígeno disuelto (mg/l) en agua corriente, en condiciones de saturación. Los valores expuestos en la tabla 1 (agua destilada) pueden considerarse como aproximaciones aceptables para C_s para designar la concentración de oxígeno disuelto en condiciones de saturación.

Pero para determinar la concentración de oxígeno disuelto en agua residual C_{sr} se puede realizar de manera experimental, en que la relación $\beta = C_{sr}/C_s$ la mayoría se encuentra en el intervalo de 0,8 – 1,00.

El efecto de la presión sobre el valor C_s en la superficie del agua corriente, puede estimarse por la Ley de Henry. En la cual la resta de la presión barométrica P con la presión de vapor de agua (P^v), a la temperatura del sistema da como resultado la presión de aire en la fase gaseosa. (Ramalho, 2003)

$$\frac{C_s}{(C_s)_{760}} = \frac{P - P^v}{760 - P^v} \quad (5)$$

$$C_{sr} = \beta C_s = \beta (C_s)_{760} \frac{P - P^v}{760 - P^v} \quad (6)$$

Ramalho (2003) describe dos ecuaciones tanto para agua residual (Ecuación 6) como agua corriente (Ecuación 5). Esta última es la relación de la concentración de oxígeno disuelto a la presión P (es decir, C_s), con la correspondiente a presión atmosférica (C_s) 760. En la cual P es la presión barométrica (mm Hg), y P^v es la presión de vapor de agua. Los valores de P^v se recogen en la Tabla 2. Tanto las dos últimas ecuaciones descritas solo se aplican en la superficie del agua, y pueden utilizarse sin correcciones para el caso de aireación superficial. Caso contrario de aireación con burbujeo es necesario introducir otras correcciones de presión para tener en cuenta la columna de líquido sobre el punto de aireación.

Tabla 2
Presión de vapor de agua

Temperatura (°C)	Temperatura (°F)	P^v (mmHg)
0	32	4,579
5	41	6,543
10	50	9,209
15	59	12,788
20	68	17,535
25	77	23,756
30	86	31,824
35	95	42,175
40	104	55,324

Fuente: Ramalho (2003)

Para hallar la concentración de Saturación de Gases disueltos en el agua se calcula por la Ley de Henry, la cual es representada por la siguiente ecuación:

$$P = HX$$

$$X = \frac{n_g}{n_g + n_w} \quad (7)$$

Donde P = presión del gas, atm; H = constante de la ley de Henry para el gas a la temperatura de cálculo; X = fracción molar de equilibrio del gas disuelto; n_g = moles de gas y n_w = moles de agua

En la Tabla 3 se incluyen valores de H para diferentes gases solubles en el agua.

Tabla 3
Constantes de la ley de Henry para diferentes gases solubles en el agua.

Temperatura °C	H x 10 ⁻⁴ , atm/fracción mol							
	Aire	CO ₂	CO	H ₂	H ₂ S	CH ₄	N ₂	O ₂
0	4,32	0,0728	3,52	5,79	0,0268	2,24	5,29	2,55
10	5,49	0,104	4,42	6,36	0,0367	2,97	6,68	3,27
20	6,64	0,142	5,36	6,83	0,0483	3,76	8,04	4,01
30	7,71	0,186	6,20	7,29	0,0609	4,49	9,24	4,75
40	8,70	0,233	6,96	7,51	0,0745	5,20	10,4	5,35
50	9,46	0,283	7,61	7,65	0,0884	5,77	11,3	5,88
60	10,10	0,341	8,21	7,65	0,103	6,26	12,0	6,29

Fuente: Jairo Romero (2004)

Para calcular la concentración de Saturación de gases, se sigue un proceso, en primer lugar se identifica la constante de la Ley de Henry según la Tabla 3 según el gas que se requiere identificar, en este caso el Oxígeno Disuelto (O₂), en segundo lugar se calcula la fracción molar de equilibrio del oxígeno disuelto por la Ecuación 7 seguidamente se hallan los moles de agua por litro, después se calcula los moles de oxígeno por litro de agua, finalmente se obtiene la concentración de saturación para

el O_2 producto de la multiplicación de los moles de oxígeno por litro de agua por 10^4 y el peso molar del oxígeno por 10^3 obteniendo el resultado en $mg O_2/L$.

Los modos de transferencia de oxígeno (artificial o natural) se denominan sistemas de aireación; y tienen por funciones como mantener los sólidos en suspensión, dispersar el oxígeno disuelto en la extensión del tanque de aireación y transferir el oxígeno que debe estar disponible de manera equivalente a la tasa de la demanda de oxígeno requerida por los afluentes, y así encontrar la tasa de las aguas residuales que pueden ser purificadas y utilizadas en los sistemas de lodos activados, tanque homogenización y lagunas aireadas. Sin embargo, esta dicha operación consume entre un 50 a un 90% más energía que los demás procesos que se realizan en la planta de tratamiento. (Durán y Rojas, 2006)

En el mercado existen diferentes mecanismos de aireación; según Alviz y Cueto (2012) los equipos de aireación empleados en el tratamiento de aguas residuales son de tres tipos: de aireación difusa o también llamados de aire comprimido, en donde el aire se transforma en burbujas y se dispersa a través del tanque; sistema de aireación por turbina, cuyo proceso se da cuando el aire se dosifica debajo de las paletas de rotación de un impulsor sumergido y, la aireación superficial, su ubicación se da en la superficie del agua y la transferencia de oxígeno se realiza mediante la turbulencia superficial y aspersion del agua.

La aireación superficial produce contacto con el aire ya que empujan el agua desde debajo de la superficie hacia arriba, y luego las gotas caen por gravedad y regresan al agua, mezclándose con oxígeno. Puede ser de diferentes tipos: de hélice con eje vertical, de rotor con eje vertical, de rotor con eje horizontal, de difusores, de rotor con eje horizontal y de discos montados en eje horizontal. (Maskew, Charles y Alexander, 1994)

Los aireadores de rotor con eje horizontal según Trillo (s.f) están formado por un cilindro en el que sirve para fijar los elementos de agitación constituidos por paletas. Son de velocidad lenta, tiene un grupo motoreductor y están apoyados en ambos extremos sobre cojinetes. Su movimiento de giro del rotor produce la agitación de la superficie del líquido y su desplazamiento horizontal con una velocidad superior a 0,3 m/s, de forma que no se originen sedimentaciones de la materia en suspensión. Funcionan mejor con potencias específicas bajas, y en algunos casos se requiere la instalación de deflectores para reducir la velocidad superficial.

Por otra parte, existen diversos estudios a nivel mundial que aplican distintas tecnologías de aireación para el cálculo del coeficiente de transferencia de oxígeno en aguas residuales, en la que para optar por la tecnología más eficiente que ayude a mejorar sus tratamientos se basa en el tipo de aireador, y las condiciones climáticas del lugar de la investigación.

Uno de los estudios más representativos relacionados a la transferencia de oxígeno es una publicación por García (2010) titulada Evaluación de la Transferencia de Oxígeno en el sistema de tratamiento con lodos activados de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), en la cual realizaron una evaluación global de la transferencia de oxígeno y del tiempo de retención hidráulico del tanque de aireación del sistema de lodos activados tanto en la PTAR como a nivel laboratorio bajo un régimen de transición (agitación mecánica). Obteniendo como conclusiones sobresalientes que el coeficiente de transferencia de oxígeno ($K_L a$) en la etapa de laboratorio es mayor que en la PTAR, posiblemente por las condiciones en la que se trabajó el sistema piloto. Además, lograron que el grado de agitación, potencia y el flujo de aire proporcionado por el sistema de aireación actual no son suficientes para

romper las burbujas y aumentar el área de interfase líquido – gas y transportarlas por todo el tanque.

Simón (2016) en su artículo titulado Estudio comparativo de la transferencia de oxígeno en distintos sistemas de aireación en EDAR de la Región de Murcia, en el cual su objetivo de estudio fue pretender obtener el parámetro SOTE y el coeficiente alfa de los fangos activos de cuatro estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR), utilizando el método de análisis off – gas, obtuvo resultados en los cuales mostraron que, a caudales bajos de aire, la transferencia de oxígeno es mayor obtenido mejores resultados para las EDAR provistas de soplantes con difusores de burbuja fina.

Albertsson, McWhirter, Robinson y Vahldieck (1970) en su publicación titulada Investigación del uso de aireación de oxígeno de alta pureza en el proceso convencional de lodos activados cuyo objetivo fue demostrar tanto práctico como económico de oxígeno de alta pureza en la aireación del proceso convencional de tratamiento de residuos de lodos activados. Se demostró que el sistema de oxigenación podría operar con concentraciones de sólidos volátiles suspendidos de hasta 4500 mg/L, logrando aproximadamente 90% de remoción de DBO a un tiempo de detención de aireación tan bajo como DBO.

Chávez (2004) en su investigación la Determinación del coeficiente de transferencia de oxígeno en aguas residuales como parámetro para el dimensionamiento del equipo de aireación de un biodigestor aeróbico, cuyo objetivo fue determinar el coeficiente de transferencia de oxígeno en una planta de tratamiento aeróbico de agua residual proveniente de una planta procesadora de alimentos, se llegó a la conclusión que el coeficiente de transferencia de oxígeno máximo del efluente fue de 4,33 kg/kg-min

y la potencia de la bomba a utilizar en la planta de tratamientos de la industria guatemalteca de alimentos analizada fue de 2,5 HP.

Durán (2005), en la Propuesta de un modelo de dos zonas simplificado para el estudio de la transferencia de oxígeno en sistemas de aireación con difusores de poro fino, cuyo objetivo fue proponer modelo de dos zonas simplificado para el estudio de la transferencia de oxígeno en sistemas de aireación con difusores de poro fino y utilizarlo para estudiar el efecto de diversos contaminantes en la velocidad de transferencia de masa de los sistemas. Llegó a la conclusión que, haciendo unas simplificaciones pequeñas en los balances de masa, logra describir más fielmente el fenómeno físico de la aireación con difusores, manteniéndose una simpleza matemática en el tratamiento de la información.

Ugalde (2011), en la publicación Estudio de determinación de la eficiencia de transferencia de oxígeno, cuyo objetivo fue determinar la eficiencia de transferencia de oxígeno mediante el método de análisis del gas de salida (off-gas), en un reactor de lodos activos. Se llegó a la conclusión que donde se fabricó una cúpula para capturar el off-gas y dirigirlo a un Panel Analizador de Oxígeno, donde se midió la fracción molar del oxígeno. Junto con esto, se midió una serie de variables anexas, necesarias para los cálculos establecidos por el método (temperatura y presión de las corrientes de aire de alimentación al reactor y off-gas, además de la concentración de oxígeno disuelto y temperatura del reactor) y para el monitoreo del proceso (hora, flujo de aire que circulaba por las parrillas de distribución hacia los difusores).

Buitrago, Otálvaro y Duarte (2013), en su artículo de investigación titulada Evaluación de la transferencia de oxígeno en un biorreactor convencional con aireador externo, cuyo objetivo se propuso el uso de análisis dimensional (Teorema Pi de Buckingham), como herramienta para evaluar el efecto sobre el $K_L a$ de las

diferentes variables involucradas en el proceso, como las de operación, las propiedades de los fluidos y dimensiones geométricas. Se encontró que las variables con mayor incidencia sobre el coeficiente $K_L a$ son el flujo de medio de cultivo que circula por el aireador externo denominado flujo de recirculación, la presión en el aireador externo y la velocidad de agitación.

Lompe (2012), en su investigación publicada Mediciones de transferencia de oxígeno en aireadores de superficie en aguas residuales como base para ahorrar energía en aeración, cuyo objetivo se realizaron mediciones de transferencia de oxígeno para comparar los aireadores superficiales condiciones de funcionamiento en las aguas residuales. Se utilizó un método sencillo sin utilizar productos químicos como el cobalto o sulfito. Los resultados muestran una mezcla incompleta de muestras de agua con alta actividad biológica que conducen los datos de la masa de transferencia no comparables con datos de ensayos normalizados de agua dulce, pero de los aireadores se podrían comparar en condiciones locales de operación como base para las decisiones de inversión. Como resultados ampliamente conocidos muestran la influencia en la posición relativa de la superficie, la velocidad del aireador y de tipo aireador. A baja velocidad y la posición óptima podría ser una transferencia de oxígeno específica de 1,5 kgO₂ por kWh medido con aireadores de superficie antiguos existentes, mientras que los nuevos aparatos obtenidos hasta 2,7 kg O₂ por kWh.

Roman y Muresan (2014) publicaron el Análisis de los requisitos del oxígeno y eficiencia de transferencia en un desarrollo de planta de tratamiento de aguas residuales, donde el método utilizado para determinar la eficiencia de transferencia de oxígeno de un aireador en agua limpia y residuo disuelto se elimina el oxígeno del líquido añadiendo sulfito de sodio y un catalizador (cloruro de cobalto) luego se

inicia la aireación y se mide la velocidad de oxigenación del líquido registrando el OD a intervalos regulares, donde el $K_L a$ (coeficiente de transferencia de oxígeno) se ve afectado por los siguientes factores: temperatura, intensidad de mezcla, geometría del tanque y las características que posee el agua.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo influye el aireador superficial de rotor con eje horizontal en la oxigenación de aguas residuales industriales?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Implementar un aireador superficial de rotor con eje horizontal para evaluar la transferencia de oxígeno en aguas residuales industriales.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la capacidad nominal de oxigenación del aireador superficial en las aguas residuales de ZED Paita.
- Evaluar el coeficiente de la transferencia de oxígeno durante el tiempo de aireación superficial.
- Determinar los factores de corrección que afectan al coeficiente global de la transferencia de oxígeno (α y β).

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis Nula

El aireador superficial de rotor con eje horizontal transfiere oxígeno menor que 0.7 kgO₂/KWh

1.4.2. Hipótesis Alternativa

El aireador superficial de rotor con eje horizontal transfiere oxígeno entre 0.7 – 1.1 kgO₂/KWh.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

En la presente investigación es de tipo diseño No experimental Descriptivo.

2.2. Materiales, Instrumentos y Métodos

La Planta de Tratamiento de Agua Residual Industrial de la Zona Especial de Desarrollo de Paita cuenta con 04 lagunas facultativas, actualmente en cada una tiene dos sistemas de aireación de rotor horizontal, comúnmente llamado paletas. Según el Estudio de Impacto Ambiental de ZED – Paita, la dimensión de cada laguna es 140 metros de largo, 30 metros de ancho y 2 metros de profundidad. Además, la caracterización de las afluentes de la PTAR.

La investigación se desarrolló a partir del sistema de aireación utilizado en ZED – Paita, pero a escala laboratorio para la evaluación de coeficiente de transferencia del sistema en las condiciones climáticas presentadas y el afluente de agua de la planta. Por lo cual, se realizó la construcción del sistema de aireación en la ciudad de Trujillo y la evaluación de transferencia en la ciudad de Paita ya que las condiciones climáticas cumplen un rol importante en los datos recolectados.

2.2.1. Construcción de sistema de aireación

La transferencia de oxígeno para un equipo de aireación es nominada por el fabricante para condiciones estándar y una geometría específica del tanque de aireación. Es por ello que se realizó la construcción y la validación de equipo por la empresa FENIX S.A.C (ANEXO n°3); la construcción y el volumen del tanque; ubicación de los puntos de muestreo.

El sistema aireador superficial de rotor horizontal estará compuesto por:

- Un motor de ¼ HP

- Las dimensiones: 1,00 m largo x 0,91 m ancho y 0,42 m de altura
- 2 ruedas de acero inoxidable con paletas de 28 cm de diámetro
- 2 poliestireno expandido con medidas: 1 m largo x 0,30 m de ancho y 0,10 m de altura
- Eje principal acero inoxidable: 0,90 m de largo

Para el sistema de aireación se realizó una prueba de técnica del equipo en agua potable para verificar su funcionamiento y el rango de velocidad del equipo (se utilizó un tacómetro), la ficha técnica se dará conjunto con los técnicos de FENIX MAQUINARIAS S.A.C. Además, está respaldado mediante un análisis estático realizado en el programa modelado mecánico 3D Software CAD SOLIDWORKS. (Ver ANEXO n°1)

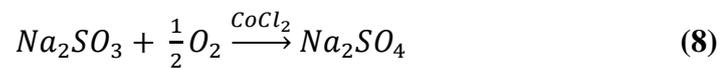
2.2.2. Recolección de datos

La investigación se basa en el procedimiento establecido por Romero (2004) en el libro de Tratamiento de Aguas Residuales para la evaluación de transferencia de oxígeno a escala laboratorio en la que se describe tanto para agua potable y como agua residual.

A. Transferencia de oxígeno en agua potable

- El agua potable se colocó en un estanque de dimensiones de 2,39 m largo, 1,50 m ancho y 0,58 m profundidad, cuyo volumen de aforo fue de 1075,5 L, llenando hasta una profundidad de 0,30m.
- Desoxigenación del agua, Soler (2009) habla sobre los métodos más utilizados para la determinación experimental del $K_L a$ son oxidación de una solución de sulfito de sodio – método indirecto, eliminación de gas – método indirecto, balance de oxígeno y técnica dinámica. En la presente investigación se realizó el método de oxidación del sulfito ya que es una forma como obtener los valores de $K_L a$. Este método es la

oxidación del sulfito sódico a sulfato en presencia de un catalizador como el Cu^{++} y aun cuando ha sido utilizado ampliamente, su uso hoy no es frecuente, ya que dependen de la pureza de los reactivos y a la reproducibilidad de los resultados depende del operador y generalmente se obtienen valores de $K_L a$ mayores que con otras técnicas. Es por ello que acercando lo más posible al valor 0 de oxígeno disuelto (OD). Se consigue por adición de productos químicos, siendo el más normal sulfito sódico (Na_2SO_3). Se adiciona cloruro de cobalto (CoCl_2) como catalizador de esta reacción:



La relación estequiometría es:

$$\text{Na}_2\text{SO}_3 / \frac{1}{2} \text{O}_2 = \frac{126}{16} = 7.9 \quad (9)$$

Lo cual significa que teóricamente 7.9 ppm de Na_2SO_3 son los requeridos para eliminar 1 ppm de OD. En base al O.D del agua puede estimarse el Na_2SO_3 requerido (suele utilizarse un 10-20% en exceso). Se añade cloruro de cobalto en cantidad suficiente para tener una concentración de Co^{+2} mínima de 1.5 ppm. Una vez el O.D es prácticamente nulo (constatar que el O.D sea 0 ppm) comenzar la aireación.

- Se ubicó los puntos de monitoreos para la medición de oxígeno disuelto (OD). En la que se dividió en cuadrícula de área unitaria correspondiente 6,25% del área total del estanque ($1,075 \text{ m}^2$) de esta manera se ubicaron un total de 03 sitios de muestreos, en estos puntos se tomarán mediciones, a tres niveles diferentes: superficie, intermedio y fondo, dando un total de 09 puntos medición. Para identificar los puntos, a las líneas paralelas a lo ancho de la laguna se les llamara “puntos” con el número de consecutivo correspondiente y las líneas paralelas a lo largo de la laguna

“niveles” identificadas como superior, intermedio y fondo. La ubicación de los tres niveles de la laguna se determinó: 10 cm por debajo de la superficie y a 10 cm por encima del fondo y para la medición intermedia la mitad de la profundidad total. Las muestras de los distintos puntos se analizan y se promedian los resultados para el tiempo correspondiente.

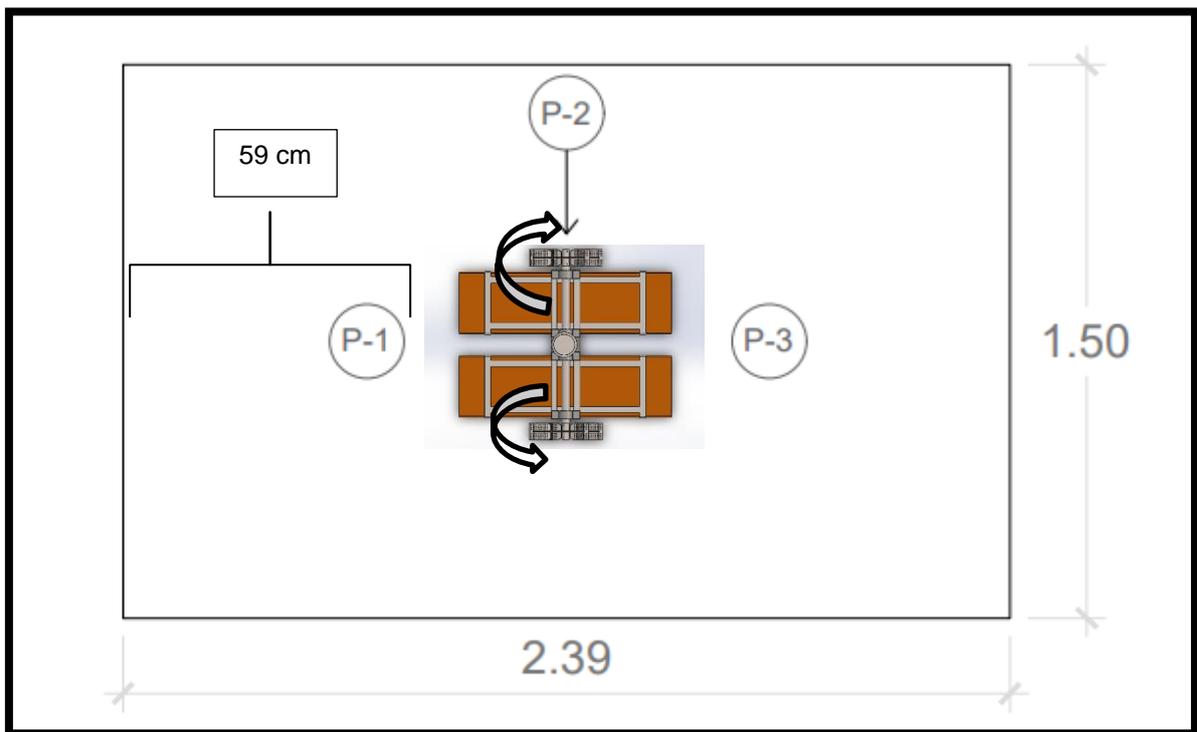


Figura 1 Vista planta- Ubicación de los puntos de medición de oxígeno disuelto con un sentido de rotación horario. Fuente: Elaboración propia

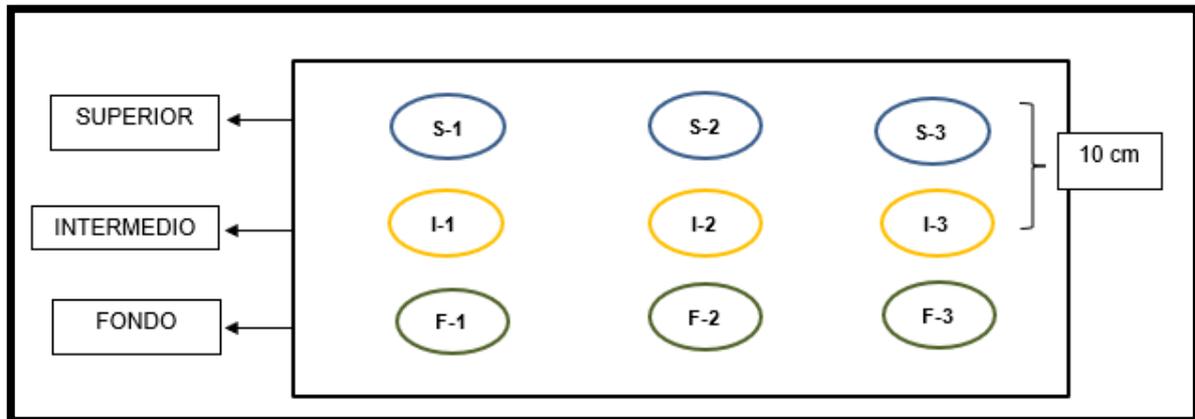


Figura 2 Vista perfil, ubicación de los niveles de medición de oxígeno disuelto. Separación en el eje horizontal de 0,59 m y en eje vertical 0,10m con respecto al aireador. Fuente: Elaboración propia

- Se instaló el equipo de aireación en el centro del estanque y se aireó el agua, midiendo el incremento de concentración del O.D en intervalos de tiempo seleccionados, y los puntos de monitoreo establecidos hasta que la concentración de O.D sea constante. Teniendo en cuenta que la concentración de O.D aumenta con el tiempo. Se utilizó dos analizadores de oxígeno calibrado, con célula galvánica y sensor (Ver ANEXO n° 2)

B. Transferencia de oxígeno en agua residual

- De acuerdo a la visita de reconocimiento de la zona de estudio y al tamaño del estanque de la laguna aireada N° 1, se realizó 3 estaciones de muestreo, en la que se ubicaron en la entrada, en el centro y a la salida de la laguna (con diferentes profundidades: superficie, medio y fondo). Siendo un total de 09 muestras de 119,5 litros por lo tanto la muestra es 1075,5 litros de agua residual basándonos del diseño de muestreo de Correa (2008).
- Se repite el mismo procedimiento para la medición en los puntos establecidos con respecto al tiempo usando agua residual como agua de ensayo se utiliza una ficha de recolección de datos (Ver ANEXO n° 5) y se realiza el factor de corrección de

transferencia de oxígeno (α) y el factor de corrección de concentración de saturación (β).

2.2.3. Procesamiento de datos

Se tabularon las concentraciones de OD con los diferentes períodos de aireación, utilizando el Excel se utilizó la ecuación de la teoría de doble capa de Lewis y Whitman descritas anteriormente (ver Ecuación 1) para hallar el coeficiente de transferencia de oxígeno. Procedió con el gráfico correspondiente de $\log(C_s - C_0)/(C_s - C)$ contra tiempo de aireación será una recta con pendiente igual a $K_L a/2.3$. Se desarrolló la correlación de las dos variables para hallar la pendiente.

Se halló los factores de corrección de α (relación de la tasa de transferencia de oxígeno en agua residual a agua potable, a la misma temperatura) (ver Ecuación 4) y β (relación de concentración de saturación de OD en el agua residual a la del agua potable o destilada, $\beta = C_{sr}/C_s$). El efecto de la temperatura sobre la difusividad y viscosidad (ver Ecuación 3), también la presión con su respectiva ecuación descrita en las Ecuaciones 5 y 6.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Tabla 4

Datos promedios del coeficiente de transferencia (K_{La} a 20° C)

NIVEL	PUNTO		
	1	2	3
Superficie	1,020	1,237	1,441
Intermedio	1,129	1,296	1,559
Fondo	1,324	0,861	1,745

La tabla contiene los datos promedios del coeficiente de transferencia de oxígeno a 20°C en los tres niveles del estanque con agua residual por cada punto muestreado durante una hora. Estos vienen ser los resultados finales de cada nivel y punto.

Tabla 5

Datos del coeficiente de transferencia (K_{La} a 30°C)

NIVEL	PUNTO		
	1	2	3
Superficie	1,292	1,568	1,826
Intermedio	1,430	1,642	1,976
Final	1,678	1,092	2,212

La tabla contiene los datos promedios del coeficiente de transferencia de oxígeno a 30°C en los tres niveles del estanque con agua residual por cada punto muestreado durante una hora. Estos vienen ser los resultados finales de cada nivel y punto.

Tabla 6
Datos promedio del K_{La} de agua potable a 20 °C

NIVEL	PUNTO		
	1	2	3
Superficie	2.947	3.041	1.031
Intermedio	0.966	1.076	1.073
Final	1.173	0.587	1.219

La tabla contiene los datos promedios del coeficiente de transferencia de oxígeno a 20° en los tres niveles del estanque con agua potable por cada punto muestreado durante una hora. Estos vienen a ser los datos reales.

Tabla 7
Resultados Coeficientes de transferencia, factores de corrección y capacidad nominal

AGUA RESIDUAL	AGUA POTABLE	FACTOR DE CORRECCIÓN	FACTOR DE CORRECCIÓN DE SATURACIÓN	CAPACIDAD NOMINAL DE TRANSFERENCIA DE O ₂ (kgO ₂ /KWh)
K_{La} a 20°C, h ⁻¹	K_{La} a 20°C, h ⁻¹	α	β	
1,290	1,457	0,885	0,844	0,3177

La tabla contiene los datos promedios del coeficiente de transferencia de oxígeno a 20° en los tres niveles del estanque con agua residual y potable, asimismo muestra los factores de corrección hallados y la capacidad nominal de transferencia de oxígeno en términos de potencia.

Tabla 8
Desviación Estándar y media de los puntos y niveles de transferencia de oxígeno.

	Media	Desviación Estándar
PUNTOS		
1	1,467	0,195
2	1,434	0,298
3	2,005	0,194
NIVEL		
Superficie	1,562	0,267
Intermedio	1,683	0,275
Fondo	1,661	0,56

La desviación estándar en los diferentes puntos y niveles es pequeña, es decir los valores no están muy alejados de la media.

Tabla 9
Prueba de diferencia de medias de los puntos N° 1 y N° 3

Puntos	Media	Intervalo de confianza
Punto 1	1,467 (0,195)	[0,980;1,952]
Punto 3	2,005 (0,194)	[1,521;1,488]
Diferencia	-0,538 *** (0,006)	[-0,555; -0,520]
T student		-0,013
P - value		0,000

Desviación estándar entre paréntesis. ***, **, * significancia al 1%, 5% y 10% respectivamente. Elaboración propia.

Tabla 10
Prueba de diferencia de medias de los puntos N° 2 y N° 3

Prueba: Diferencia de media		
Puntos	Media	Intervalo de confianza
Punto 2	1,434 (0,298)	[0,692; 2,175]
Punto 3	2,005 (0,194)	[1,521;2,488]
Diferencia	-0,571 * (0,477)	[-1,756;0,614]
T student		-2,071
P - value		0,087

Desviación estándar entre paréntesis. ***, **, * significancia al 1%, 5% y 10% respectivamente. Elaboración propia.

Tabla 11

Prueba de diferencia entre niveles "SUPERIOR" e "INTERMEDIO"

Prueba: Diferencia de media		
Niveles	Media	Intervalo de confianza
Superficie	1,562 (0,267)	[0,898;2,225]
Intermedio	1,682 (0,275)	[0,998; 2,366]
Diferencia	-0,120 ** (0,040)	[-0,222; -0,019]
T student		-5,115
P - value		0,018

Desviación estándar entre paréntesis. ***, **, * significancia al 1%, 5% y 10% respectivamente. Elaboración propia.

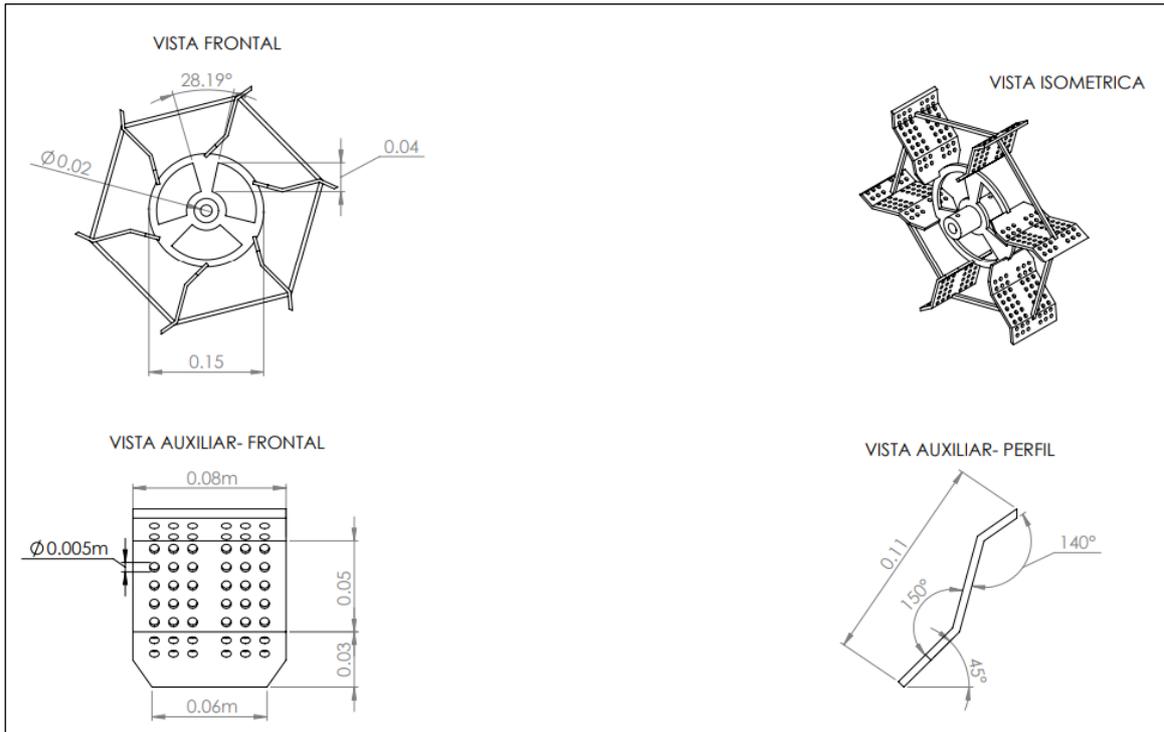


Figura 3 Dimensiones de la paleta del aireador superficial de rotor con eje horizontal con sus respectivas vistas.

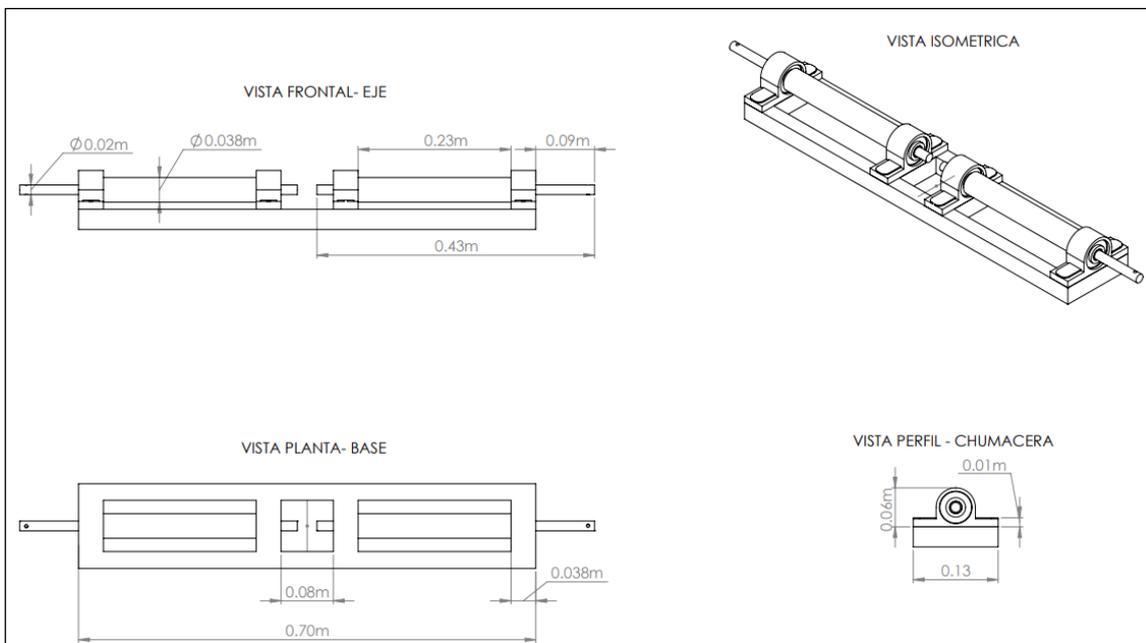


Figura 4 Dimensiones de la base, el eje principal y las chumaceras del aireador de rotor con eje horizontal.

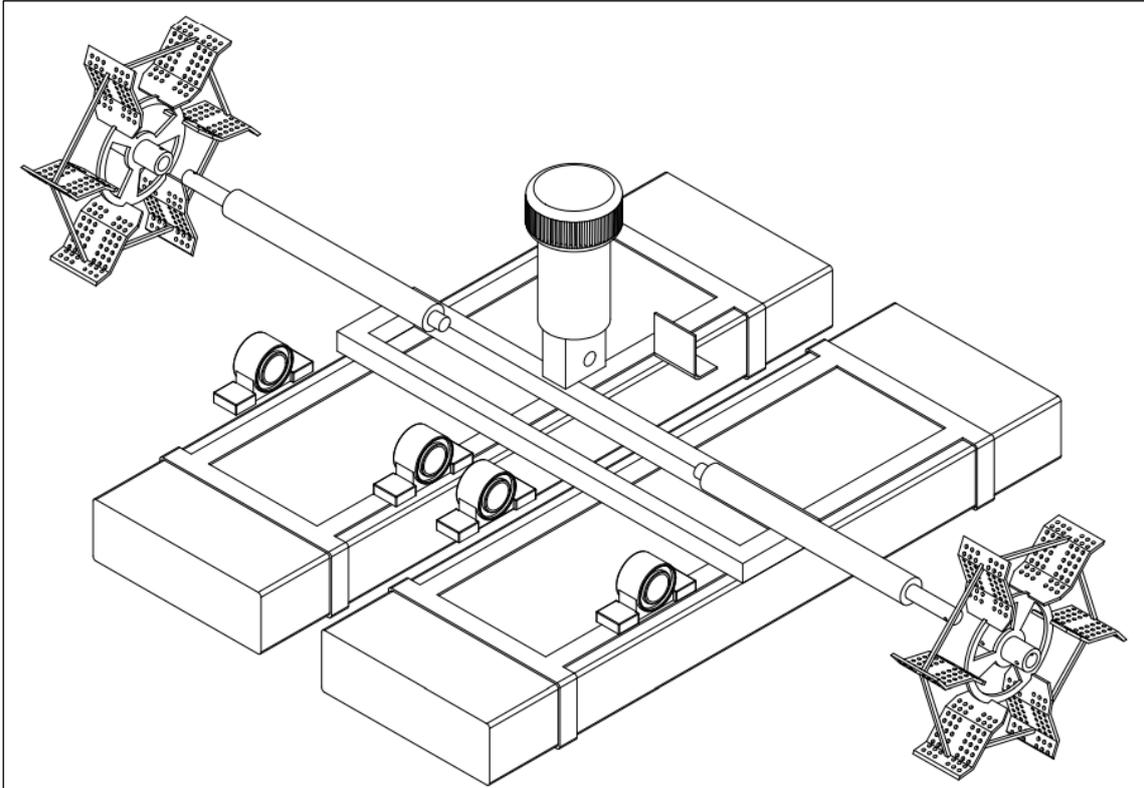


Figura 5 Sistema de encaje de cada parte correspondiente a la implementación del aireador superficial de rotor con eje horizontal

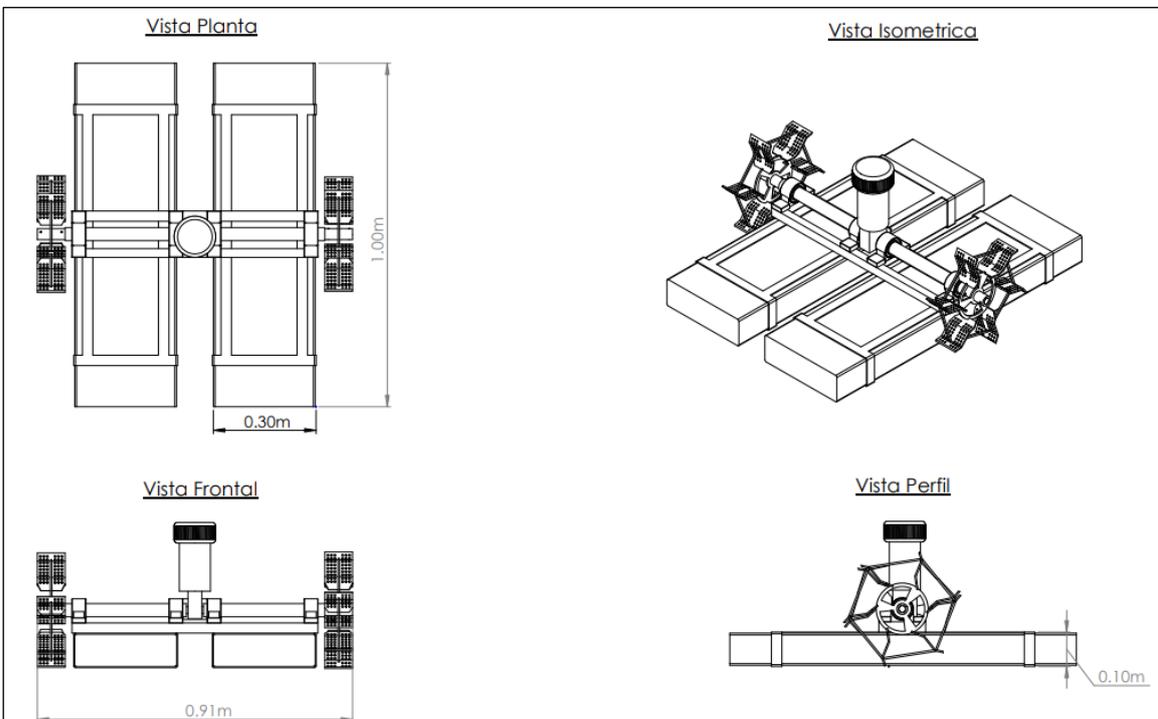


Figura 6 Dimensión y longitud del sistema ensamblado en 4 tipos de vistas para implementación del aireador superficial de rotor con eje horizontal

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

En la tabla 4 y 5 se presenta los promedios de $K_L a$ de cada nivel (Superficie, Intermedio y Fondo) ubicados en los 03 puntos equidistante del aireador. Como se puede observar, los resultados obtenidos de la tabla 5 se dieron a una temperatura promedio de la ciudad de Paita- Piura de 30°C, por lo cual se interpola a 20°C para obtener como resultado la capacidad nominal de transferencia de oxígeno. Se debe recalcar, que uno de los parámetros que influye el coeficiente de transferencia de oxígeno es la temperatura ya que esta al existir un aumento, disminuye el oxígeno disuelto en el agua. (Kwong et al, s.f)

Por otro lado, la variable del coeficiente con mayor transferencia de oxígeno, en aguas residuales con respecto al punto 3 con 2,005 h⁻¹ y el nivel intermedio de 1,683 h⁻¹. Las diferencias significativas por puntos se dan entre el N° 2 y el N° 3 al 10% de significancia (p- value= 0,0871); a menos escala se da entre el punto N°1 y el punto N°3 al 1% de significancia. Esto se debe a la dirección de la aireación ya que las paletas giran en el sentido horario y eso explica que el punto N° 3 inyecte más oxígeno con respecto al punto N°2 y N°1 existiendo esa gran diferencia de aireación. Mientras tanto, la media significativa analizando los niveles se da entre “SUPERFICIE” e “INTERMEDIO” con un p- value de 0,018 (5% de significancia) por lo cual en el nivel intermedio existe un mayor ingreso de oxígeno disuelto en el agua, se debe a que la transferencia de oxígeno se realiza mediante la turbulencia superficial y aspersion del agua; esta última, produce contacto con el aire ya que empujan el agua desde debajo de la superficie hacia arriba, y luego las gotas caen por gravedad y regresan al agua, mezclándose con oxígeno (Alviz y Cueto, 2012).

En la tabla 7 se muestra el resultado para el principio del factor de corrección de “alfa” (α) teniendo un valor de 0,885, el cual es la relación de la tasa de transferencia de oxígeno en agua residual a potable, bajo la misma temperatura; Romero (2004) menciona que, usualmente el valor de $K_L a$ es menor para agua residuales que para agua potable, debido a la concentración de materia orgánica y detergentes, esto se sustenta también en la ley de Arrhenius la cual demuestra que a mayor temperatura existe menor solubilidad de los gases en el líquido, por lo tanto se torna más difícil la transferencia de oxígeno en aguas residuales en contraste con el agua potable. Asimismo, Romero (2004) describe que para el principio de la relación de concentración de saturación de oxígeno disuelto en el agua residual a la de agua potable, generalmente es de 0,8 a 1,0. El valor obtenido para el factor de corrección “beta” (β) de la presente investigación fue de 0,844, estando dentro del estándar.

En cuanto al diseño del aireador se observa:

La figura 3 tiene las dimensiones de las paletas del aireador superficial, las cuales están elaboradas con material de acero inoxidable y tienen una longitud de 0,32 m, conformadas por un eje principal circular con un tamaño de 0,15 metros de largo y un ángulo de separación de $28,19^\circ$ para el soporte, se considera esta separación debido a que una sola lámina ocasionaría una obstrucción para el funcionamiento de la paleta.

Tiene un grosor de 1 mm y un rodaje interno con un diámetro de 0,02 m, el cual conecta al eje de la base principal para su movimiento, además cuenta con 6 hélices de 8 milímetros de grosor, divididas en 3 secciones, con ángulos de 140° y 150° , teniendo orificios internos en cada sección de 0,005 m de diámetro, los cuales cumplen la función de realizar el burbujeo durante su funcionamiento, permitiendo la oxigenación gas – líquido.

El tamaño final de cada hélice es de 0,11 metros de largo y 0,08 m de ancho en el lado que tiene el contacto con el líquido y 0,06 m de ancho para el lado que va soldado al eje principal circular de la paleta, para completar el diseño final de este componente, cada hélice está unida por un soporte a una altura de 0,08 m desde el ancho más corto, permitiendo una mayor estabilidad y aseguramiento al momento de la rotación.

En la figura 4 se tiene el diseño de la base principal del aireador superficial, la cual se constituye por una estructura de tubo de 2x2 de acero inoxidable de 0,70 m de largo y 0,13 m de ancho, sobre la cual están entornilladas 4 rodamientos de fierro de $\frac{1}{2}$ pulgada y en la parte central de la base se ubica un motor de $\frac{1}{4}$ de HP en un espacio de 0,08 m x 0,08 m, por los cuales atraviesa un eje de extremo a extremo con una longitud total de 0,90 m, de los cuales se tiene 0,09 m y 0,02 m de diámetro a cada costado, quedando el resto con un diámetro de 0,39 m., encajándose cada costado con las paletas, permitiendo su movilidad una vez encendido el motor.

En la figura 5 se muestra el modelo para el sistema de ensamblaje de cada parte del aireador, los cuales están sostenidos por dos bloques de poliestireno expandido de 1 m de largo, 0,30 m de ancho y 0,10 m de altura, cumpliendo la función de flotadores, estos están colocados en una estructura de encaje metálica en la parte inferior del aireador.

En la figura 6 se muestra el aireador superficial de rotor con eje horizontal armado desde distintos puntos de vista, este equipo fue implementado y construido en base al estudio análisis estático realizado con el programa modelado mecánico SOLIDWORKS, el cual garantiza que la estructura de las paletas y/o base del aireador soporten la fuerza emitida por el motor de $\frac{1}{4}$ de HP, considerando el esfuerzo en el punto de conexión y por el lado de las paletas teniendo en cuenta la densidad

del agua en la que trabajará, evitando que este no se voltee y/o sumerja en el agua. El aireador superficial tiene dimensiones finales de 1 m de largo, 0,91 m de ancho y 0,42 m de altura, funcionando con una velocidad de 146 rpm y con un sentido de rotación horario por parte de las paletas. Los aireadores comunes comerciales de rotor con eje horizontal tienen como características que trabajan a una profundidad entre 0.5 y 1.20 metros, en sus accesorios de circulación del agua tiene un reductor, eje principal, paletas rectangulares, flotadores, son de fácil instalación y las paletas pueden ser de 1 HP y 2 HP. (Malpartida, 2015), estas además se pueden aplicar en un área de 0.25 a 6 Ha para tanques de depuración, y trabajan con una capacidad de 106 rpm.

Según Malpartida (2015) con respecto a los aireadores de rotor con eje horizontal, entre sus principales ventajas tiene que debido al movimiento horizontal que realiza permite abarcar grandes distancias, cuenta con una eficiencia similar a la de Inyección por hélice, además es eficiente para oxigenar, de estratificar y circular, asimismo considera que las desventajas más resaltantes se tiene cuando hay mayor profundidad va a ser menor la mezcla, trabajo unidireccional, y riesgo de deterioro, además debido a la gran cantidad de partes móviles, conduce a altos costos de mantenimiento y reparación, su diseño de reductor de engranajes requiere constante lubricación, y que podría voltearse bajo vientos fuertes.

En lo que respecta a la capacidad nominal de transferencia de oxígeno cuyo valor obtenido fue de 0,317 kgO₂/kWh; esta no cumple con los intervalos establecidos por Yañez, quien reporta valores entre 0,7 a 1,1 kgO₂/kWh; este resultado puede haber sido afectado por el diseño del aireador y sus componentes a escala de laboratorio. No obstante, se debe considerar que para un óptimo tratamiento biológico por aeración prolongada se requiere usualmente 2 – 2,5 kgO₂/kg de demanda biológica

de oxígeno (DBO) abastecido, esto hace que el oxígeno abastecido sea suficiente para proveer energía para síntesis, respiración endógena y nitrificación total (Chávez, 2004).

Por lo tanto, para lograr estar dentro del rango de la capacidad nominal, se puede trabajar con una rotación axial por parte de las paletas, la cual permitiría una distribución homogénea de aireación a lo largo de todo el estanque cuando se realice la rotación, asimismo se podría considerar evaluar las revoluciones por minuto generadas para un posible aumento, asimismo evaluar el nivel de profundidad que tienen las hélices.

La profundidad de inmersión de las hojas del rotor es una variable importante en el diseño, esta es determinada bajo condiciones estáticas. Generalmente las curvas características de capacidad de oxigenación para rotores son determinadas para variar profundidades de inmersión. De todos modos, el efecto de la profundidad, es incrementar la capacidad de oxigenación. El rendimiento de rotores horizontales es prácticamente uniforme para variar condiciones de inmersión y velocidad, lo cual es usual en aeración mecánica.

La turbulencia es un factor clave en dicho proceso, debido a que, al existir una baja turbulencia, la resistencia a la difusión en la masa de la fase líquida es mayor que la de la película líquida. Con niveles de turbulencia moderados, la primera disminuye, pudiendo ser la resistencia de la película líquida la que gobierne el proceso. Caso contrario sucede, que con mayores niveles de turbulencia, la película de líquido se rompe y la transferencia de oxígeno se controla por la frecuencia con la cual gotas de líquido, con una concentración de oxígeno en total de la masa líquida reemplazan el líquido interfacial, también llamado factor de renovación superficial, esto explica

los resultados obtenidos a nivel del fondo, los cuales fueron mejores debido a la presencia de turbulencia por efecto de los aireadores (Ramalho, 2003).

Por otro lado, la longitud y número de rotores también pueden ser considerados como factores en los resultados, esto se debe por las curvas de capacidad de oxigenación provista, puesto que, como se indicó anteriormente, hay 3 métodos diferentes de expresar la tasa de transferencia de oxígeno, de acuerdo con el perfil de oxígeno disuelto asumido a través del rotor. También se debe averiguar si las curvas provistas incluyen o no la pérdida de potencia a través del motor y engranaje reductor, lo cual conlleva a realizar más investigaciones usando estas variables intermitentes (Rodríguez, 2013).

4.2 Conclusiones

En el presente trabajo de investigación se concluye que:

- Se implementó el sistema de aireación superficial de rotor con eje horizontal con dimensiones 1,00 m largo x 0,91 m ancho y 0,42 m de altura, cuya capacidad nominal del aireador superficial en las aguas residuales fue de 0,3177 kgO₂/kWh, no encontrándose dentro de los límites, esto se debe a diferentes variantes que influye significativamente en el oxígeno disuelto como se da en el caso de la temperatura, la profundidad de la paleta de aireación, rendimiento de rotores, turbulencia y carga orgánica del agua.
- El coeficiente de transferencia de oxígeno en las aguas residuales industriales, utilizando un sistema de aireación superficial de rotor con eje horizontal durante el tiempo de aireación superficial fue óptimo en el punto N° 3 con 2,005 h⁻¹ a 30°C, así mismo 1,683 h⁻¹ en el nivel “INTERMEDIO”.
- Estadísticamente se comprobó que la diferencia entre superficie e intermedio al 95% de confianza en sus valores, el 90% de confianza entre los puntos N°1

y N°3, del mismo modo que en el N° 2 y N°3. La dirección y el tipo de aireación fueron dos factores importantes en los resultados de dichos puntos.

- El factor de saturación α fue de 0,885, relación entre el coeficiente de transferencia de agua residual con el agua potable. Y el factor de saturación β es de 0,844 correspondiente a la presión y temperatura tanto en agua residual con agua potable.

REFERENCIAS

- Albertsson, G., McWhirter, R., Robinson, K., y Vahldieck, P. (1970). *Investigation of the use of high purity oxygen aeration in the conventional activated sludge process*. Recuperado de <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/9101YRZY.txt?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=Prior%20to%201976&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&UseQField=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A%5CZYFILES%5CINDEX%20DATA%5C70THRU75%5CTXT%5C00000027%5C9101YRZY.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=hpfr&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=25&slide>
- Alviz, M. & Cueto, D. (2012). *Diseño de un sistema de aireación para una planta de lodos activados en Zofranca Mamonal* (Título Ingeniero Químico). Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia.
- Chávez, M. (2004). *Determinación del coeficiente de transferencia de oxígeno en aguas residuales como parámetro para el dimensionamiento del equipo de aireación de un Biodigestor Aeróbico* (Título de Ingeniero Químico). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Correa, G. (2008). *Evaluación y monitoreo del sistema de lagunas de estabilización del municipio de Santa Fé de Antioquía, Colombia* (Tesis de Maestría). Universidad de Antioquía, Medellín, Colombia
- Lompe, D. (2012). *Oxygen Transfer Measurements at Surface aerators in waste wáter as basis for energy saving in aeration*. Recuperado de <http://zeszyty.umg.edu.pl/sites/default/files/ZN147.pdf>
- Durán, E. (2005). *Propuesta de un Modelo de dos zonas simplificado para el estudio de la Transferencia de Oxígeno en Sistemas de Aireación con Difusores de Poro Fino* (Magister Cientae en Ingeniería Química). Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- Fair, G., Geyer, J. & Okun, A. (1994). *Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales*. México D.F., México: Limusa

- Kane M. (2013). *Cambios en los niveles de oxígeno disuelto, amoníaco y nitrato en una instalación de tratamiento de aguas residuales al convertir un sistema aireación de difusor a disco* (tesis de maestría). Universidad de Tennessee, Estados Unidos.
- Kwong, E. et al (s.f). *Distribución del oxígeno disuelto, pH y temperatura de la laguna facultativa de la planta Maracaibo Sur*. Recuperado en www.bvsde.paho.org/bvsAIDIS/PuertoRico29/venelop.pdf
- Malpartida, J. (2015). *Piscicultura y Aireación*. Recuperado de <http://tecnoaguas.com/wp-content/uploads/2015/10/Curso-Aireaci%C3%B3n-.-Neiva-octubre-20151.pdf>
- Marcillo, F. (s.f.). *Uso de Aireación en Camaroneras*. Recuperado de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/8971/1/Aireacion.pdf>
- Merino, O. & Sal, F. (2007). *Sistemas de Recirculación y Tratamientos de Agua*. Santa Fe, Colombia. Recuperado de http://www.minagri.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/cultivos/otros/_archivos/000003-Sistemas%20de%20recirculaci%C3%B3n%20y%20tratamiento%20de%20agua.pdf
- Ramallo, R. (2003). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Barcelona, España: Quebec Reverté.
- Rodríguez, A. (2013). *Estudio de eficiencia en sistemas de aireación y estrategia de optimización y control basado en eliminación de nutrientes en EDAR de Santa Pola* (tesis maestría). Universidad Jaime, Valencia, España.
- Romero, J. (2004). *Tratamiento de Aguas Residuales: Teorías y principios de diseño (3ª Edición)*. Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Roman, D. & Muresan, V. (2014) *Analysis of oxygen requirements and transfer efficiency in a wastewater treatment plant*. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/a883/a2ee2309135e92864242caa567eae525034.pdf>
- Sánchez M., Aguilar M., Fenolla R. & Roig A. (2008). *Effect of the aeration system on the levels of airborne microorganisms generated at wastewater treatment plants*. Doi: 10.1016/j.watres.2008.06.028

Rolim, S. (1999). *Lagunas Aireadas Mecánicamente*. Recuperado de <http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Julio2006/CD1/pdf/spa/doc13078/doc13078-a.pdf>

Soler, A. (2009) *Evaluación de un sistema de aireación externo en la fermentación con Lactococcus lactis* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C, Colombia

Tecno Agua (2016). *Estudio comparativo de la transferencia de oxígeno en distintos sistemas de aireación en EDAR de la Región de Murcia, España*. Recuperado de http://www.redcontrol.com/archivos_subidos/TecnoAgua-21-2016.pdf

Ugalde, D. (2011) *Estudio de determinación de la eficiencia de transferencia de oxígeno* (Tesis de Licenciatura) Universidad de Chile, Santiago de Chile.

Yañez, F. (1991). *Transferencia de Oxígeno y Aeración*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitario y Ciencias del Ambiente, Lima.

ANEXOS

ANEXO n.º 1. Análisis Estático de Aireador de paletas superficial



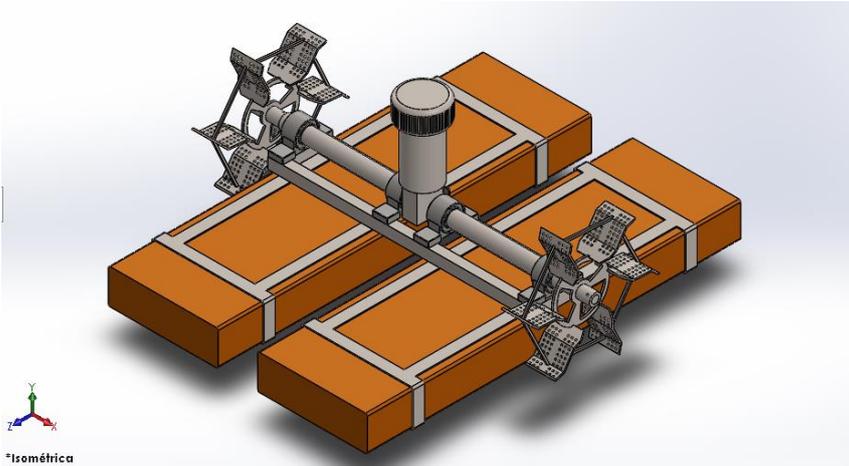
Simulación de aireador de rotor con eje horizontal

Fecha: lunes, 8 de octubre de 2018

Diseñador: García Landa, Andrea y Castillo Gálvez Diego

Nombre de estudio: Estático

Tipo de análisis: Análisis estático



Descripción

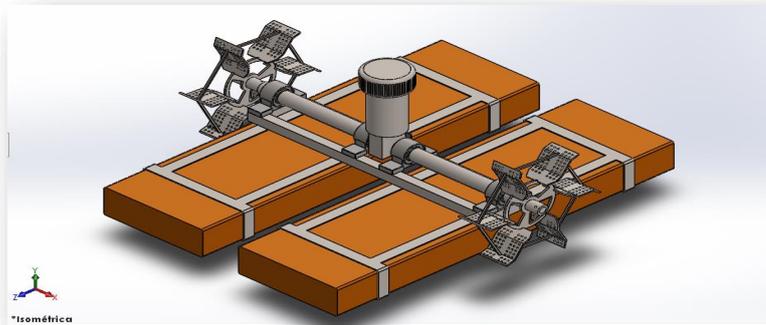
Equipo utilizado para transferir aire al agua mediante la rotación de las paletas ubicadas horizontalmente, permitiendo de esta manera la oxigenación de aguas residuales.

Tabla de contenidos

Descripción	1
Información de modelo.....	2
Propiedades de estudio	5
Unidades	5
Propiedades de material.....	6
Cargas y sujeciones	8
Información de contacto.....	9
Información de malla	12
Fuerzas resultantes	13
Resultados del estudio	14



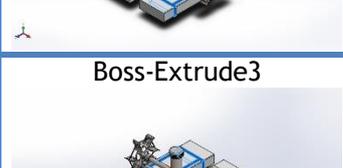
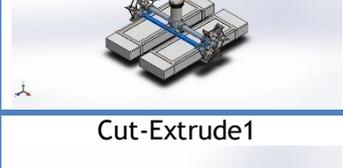
Información de modelo



Nombre del modelo: Aireador de paletas superficial

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas
<p>Fillet8</p>	Sólido	<p>Masa:1.13107 kg Volumen:0.000141384 m³ Densidad:8000 kg/m³ Peso:11.0845 N</p>
<p>Fillet8</p>	Sólido	<p>Masa:1.13107 kg Volumen:0.000141384 m³ Densidad:8000 kg/ m³ Peso:11.0845 N</p>
<p>Fillet8</p>	Sólido	<p>Masa:1.13107 kg Volumen:0.000141384 m³ Densidad:8000 kg/ m³ Peso:11.0845 N</p>
<p>Fillet8</p>	Sólido	<p>Masa:1.13107 kg Volumen:0.000141384 m³ Densidad:8000 kg/ m³ Peso:11.0845 N</p>
<p>Cut-Extrude2</p>	Sólido	<p>Masa:13.3448 kg Volumen:0.00171088 m³ Densidad:7800 kg/ m³ Peso:130.779 N</p>
<p>Cortar-Extruir41</p>	Sólido	<p>Masa:2.33369 kg</p>

		Volumen:0.00029073 m ³ Densidad:8027 kg/ m ³ Peso:22.8701 N
Cortar-Extruir41 	Sólido	Masa:2.33369 kg Volumen:0.00029073 m ³ Densidad:8027 kg/ m ³ Peso:22.8701 N
Boss-Extrude3 	Sólido	Masa:2.08493 kg Volumen:0.000267299 m ³ Densidad:7800 kg/ m ³ Peso:20.4324 N
Boss-Extrude3 	Sólido	Masa:2.08493 kg Volumen:0.000267299 m ³ Densidad:7800 kg/ m ³ Peso:20.4324 N
Boss-Extrude2 	Sólido	Masa:10.2609 kg Volumen:0.0013155 m ³ Densidad:7800 kg/ m ³ Peso:100.557 N
Cut-Extrude1 	Sólido	Masa:3.33991 kg Volumen:0.000428193 m ³ Densidad:7800 kg/ m ³ Peso:32.7311 N
Cut-Extrude1 	Sólido	Masa:3.33991 kg Volumen:0.000428193 m ³ Densidad:7800 kg/ m ³ Peso:32.7311 N
Boss-Extrude1 	Sólido	Masa:0.173631 kg Volumen:2.17039e-05 m ³ Densidad:8000 kg/ m ³ Peso:1.70158 N
Fillet1 	Sólido	Masa:36.175 kg Volumen:0.0276145 m ³

		<p>Densidad: 1310 kg/ m³ Peso: 354.515 N</p>
<p>Fillet1</p>	<p>Sólido</p>	<p>Masa: 36.175 kg Volumen: 0.0276145 m³ Densidad: 1310 kg/ m³ Peso: 354.515 N</p>



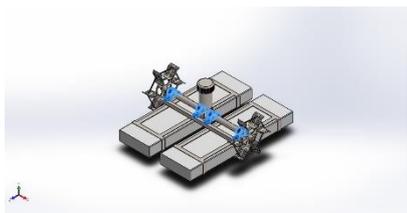
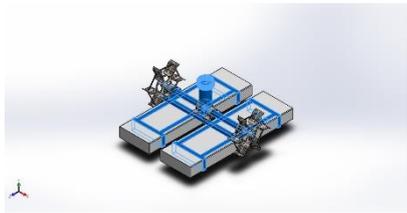
Propiedades de estudio

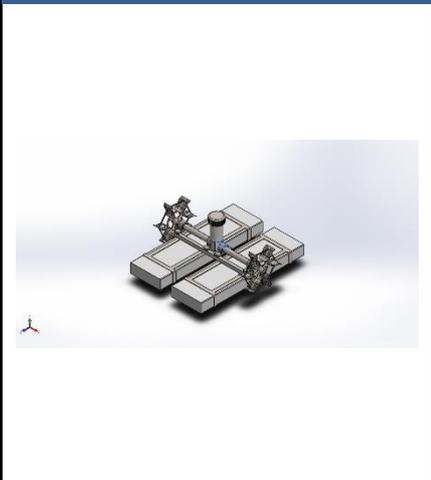
Nombre de estudio	Estático
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar

Unidades

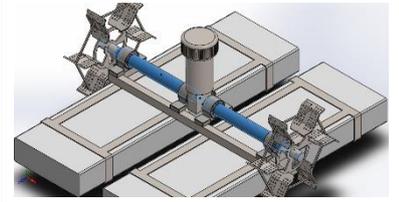
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: AISI 304</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.</p> <p>Límite elástico: 2.06807e+08 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 5.17017e+08 N/ m²</p> <p>Módulo elástico: 1.9e+11 N/ m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0.29</p> <p>Densidad: 8000 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 7.5e+10 N/ m²</p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: 1.8e-05 /Kelvin</p>	<p>SolidBody 1(Fillet8)(CHUMACERA-1), SolidBody 1(Fillet8)(CHUMACERA-2), SolidBody 1(Fillet8)(CHUMACERA-3), SolidBody 1(Fillet8)(CHUMACERA-4)</p>
Datos de curva:N/A		
	<p>Nombre: Stainless Steel (ferritic)</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Desconocido</p> <p>Límite elástico: 1.72339e+08 N/ m²</p> <p>Límite de tracción: 5.13613e+08 N/ m²</p> <p>Módulo elástico: 2e+11 N/ m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0.28</p> <p>Densidad: 7800 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 7.7e+10 N/ m²</p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: 1.1e-05 /Kelvin</p>	<p>SolidBody 1(Cut-Extrude2)(MOTOR-1), SolidBody 1(Boss-Extrude3)(base de tecnoport-1), SolidBody 1(Boss-Extrude3)(base de tecnoport-2), SolidBody 1(Boss-Extrude2)(base-1), SolidBody 1(Cut-Extrude1)(eje-2), SolidBody 1(Cut-Extrude1)(eje-4)</p>
Datos de curva:N/A		
	<p>Nombre: AISI 316L Acero inoxidable</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Desconocido</p> <p>Límite elástico: 1.7e+08 N/ m²</p> <p>Límite de tracción: 4.85e+08 N/ m²</p> <p>Módulo elástico: 2e+11 N/ m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0.265</p> <p>Densidad: 8027 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 8.2e+10 N/ m²</p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: 1.7e-05 /Kelvin</p>	<p>SolidBody 1(Cortar-Extruir41)(Paleta completa-1), SolidBody 1(Cortar-Extruir41)(Paleta completa-2)</p>

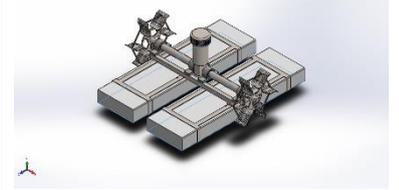
Datos de curva:N/A		
	<p>Nombre: Wrought Stainless Steel</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Desconocido</p> <p>Límite elástico: 2.06807e+08 N/ m²</p> <p>Límite de tracción: 5.17017e+08 N/ m²</p> <p>Módulo elástico: 2e+11 N/ m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0.26</p> <p>Densidad: 8000 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 7.9e+10 N/ m²</p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: 1.1e-05 /Kelvin</p>	<p>SolidBody 1(Boss-Extrude1)(soporte-1)</p>
Datos de curva:N/A		
	<p>Nombre: Polyetheretherketone (PEEK)</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Desconocido</p> <p>Límite de tracción: 9.5e+07 N/ m²</p> <p>Límite de compresión: 1.25e+08 N/ m²</p> <p>Módulo elástico: 3.9e+09 N/ m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0.4</p> <p>Densidad: 1310 kg/m³</p>	<p>SolidBody 1(Fillet1)(tecnopor-1), SolidBody 1(Fillet1)(tecnopor-2)</p>
Datos de curva:N/A		

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fixed Hinge-2		<p>Entidades: 6 cara(s) Tipo: Bisagra fija</p>

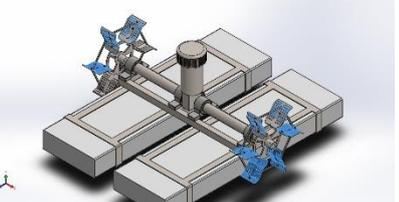
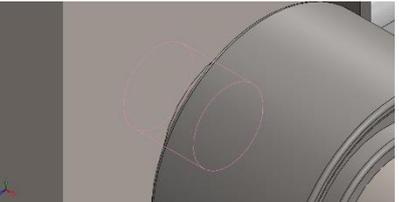
Fuerzas resultantes

Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	0.777949	1891.01	-2012.75	2761.72
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Roller/Slider-1		<p>Entidades: 2 cara(s) Tipo: Rodillo/Control deslizante</p>
-----------------	--	--

Fuerzas resultantes

Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	0.0107656	1232.55	-0.00961554	1232.55
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<p>Entidades: 26 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 250 N</p>
Centrifugal-1		<p>Centrífuga, Ref: Cara < 1 > Velocidad angular: 15.1844 rad/s Aceleración angular: 0 rad/s²</p>

Información de contacto

Contacto	Imagen del contacto	Propiedades del contacto
Contact Set-1		<p>Tipo: Par de contacto rígido</p> <p>Entidades: 2 cara(s)</p>
Contact Set-2		<p>Tipo: Par de contacto rígido</p> <p>Entidades: 2 cara(s)</p>
Contact Set-3		<p>Tipo: Par de contacto rígido</p> <p>Entidades: 2 cara(s)</p>
Contact Set-4		<p>Tipo: Par de contacto rígido</p> <p>Entidades: 2 cara(s)</p>
Contact Set-5		<p>Tipo: Par de contacto rígido</p> <p>Entidades: 2 cara(s)</p>

<p>Contact Set-6</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 cara(s)</p>
<p>Contact Set-7</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 cara(s)</p>
<p>Contact Set-8</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 cara(s)</p>
<p>Contact Set-9</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 cara(s)</p>
<p>Contact Set-10</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 cara(s)</p>
<p>Contact Set-11</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 cara(s)</p>

<p>Contact Set-12</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 cara(s)</p>
<p>Global Contact</p>		<p>Tipo: Unión rígida Componentes: 1 componente(s) Opciones: Mallado compatible</p>

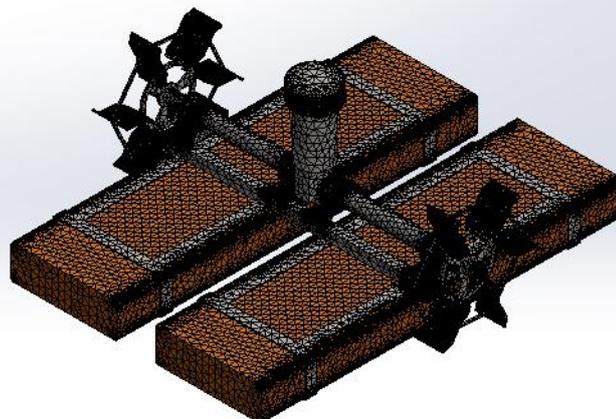
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño máximo de elemento	1.96644 cm
Tamaño mínimo del elemento	0.0983221 cm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible	Desactivar

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	1235879
Número total de elementos	754664
Cociente máximo de aspecto	13.301
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	97.5
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0.000663
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:53

Nombre del modelo: aireador de paletas completo
Nombre de estudio: Static 1(-Default-)
Tipo de malla: Malla sólida





Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0.788724	3123.57	-2012.76	3715.9

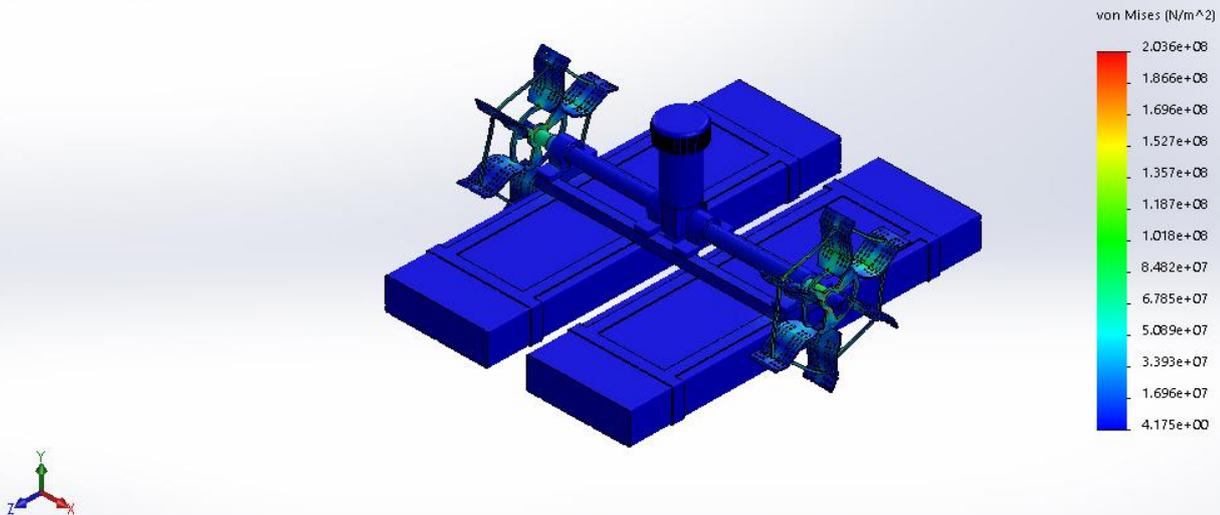
Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

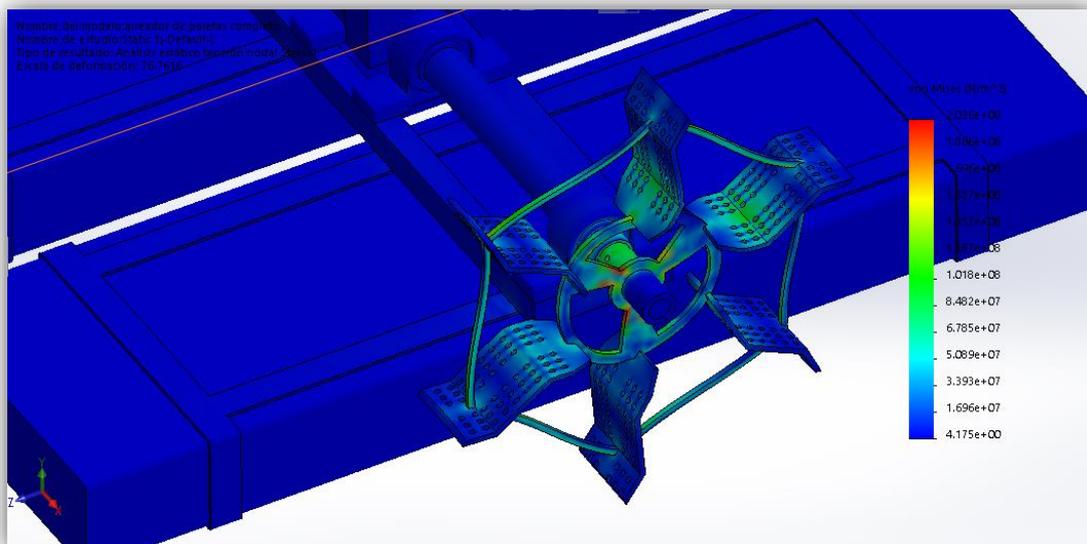
Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
TENSIONES	VON: Tensión de von Mises	4.175e+00 N/m ² Nodo: 1111517	2.036e+08 N/m ² Nodo: 676833

Nombre del modelo: aireador de paletas completo
Nombre de estudio: Static 1(-Default-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Stress1
Escala de deformación: 76.7616



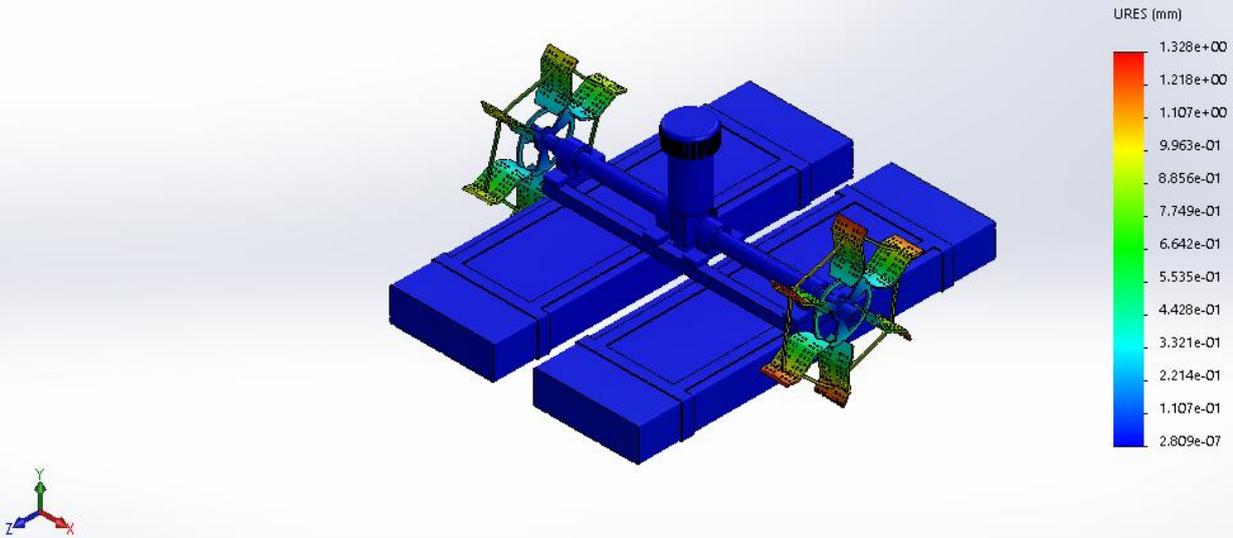
Aireador de paletas superficial-Analysis estatico-Tensiones-Stress1



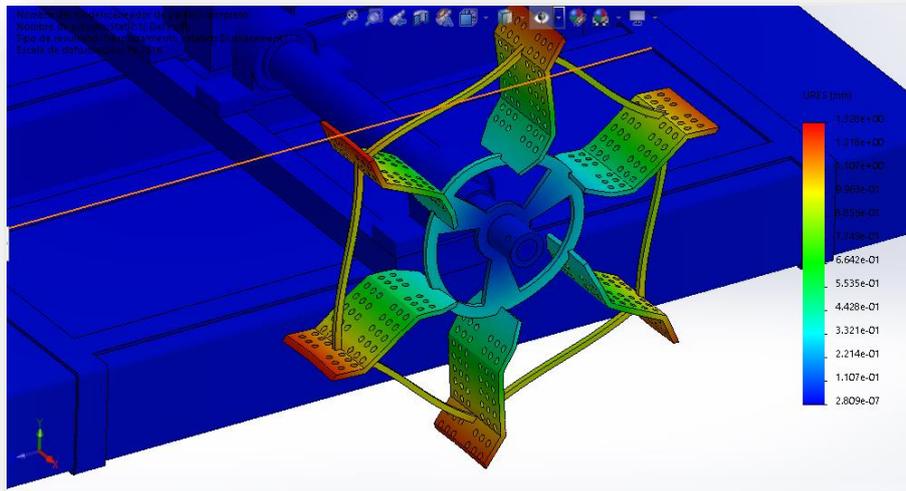
Vista de mayor zona de tensiones en el modelo

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamiento	URES: Desplazamientos resultantes	2.809e-07 mm Nodo: 946622	1.328e+00 mm Nodo: 646849

Nombre del modelo: aireador de paletas completo
 Nombre de estudio: Static 1[-Default-]
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Displacement1
 Escala de deformación: 76.7616



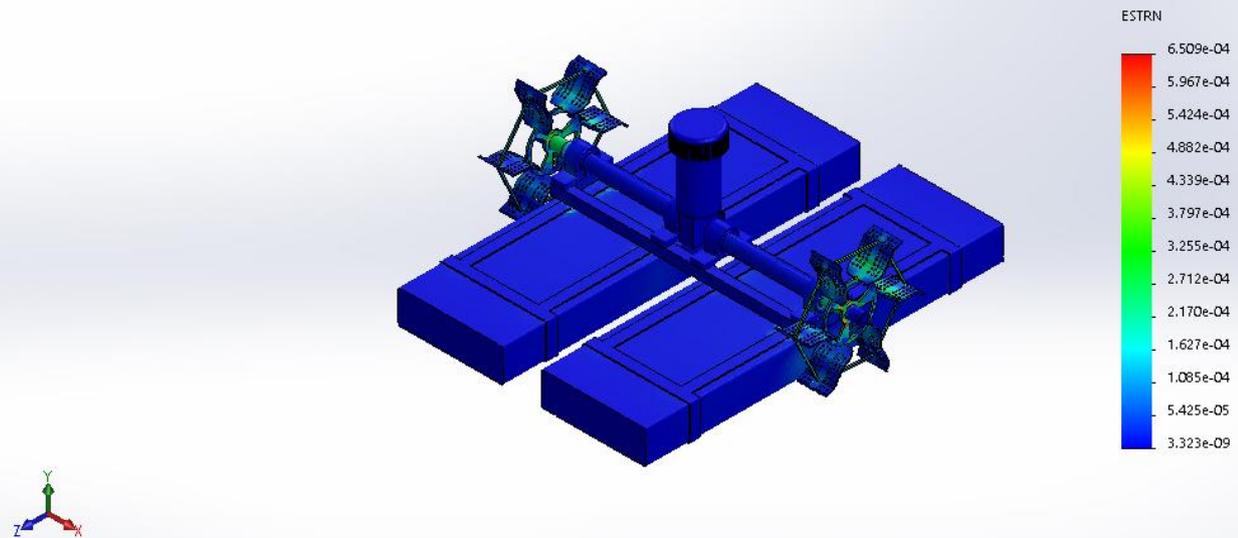
Aireador de paletas superficial -Análisis estitco-Desplazamientos-Displacement1



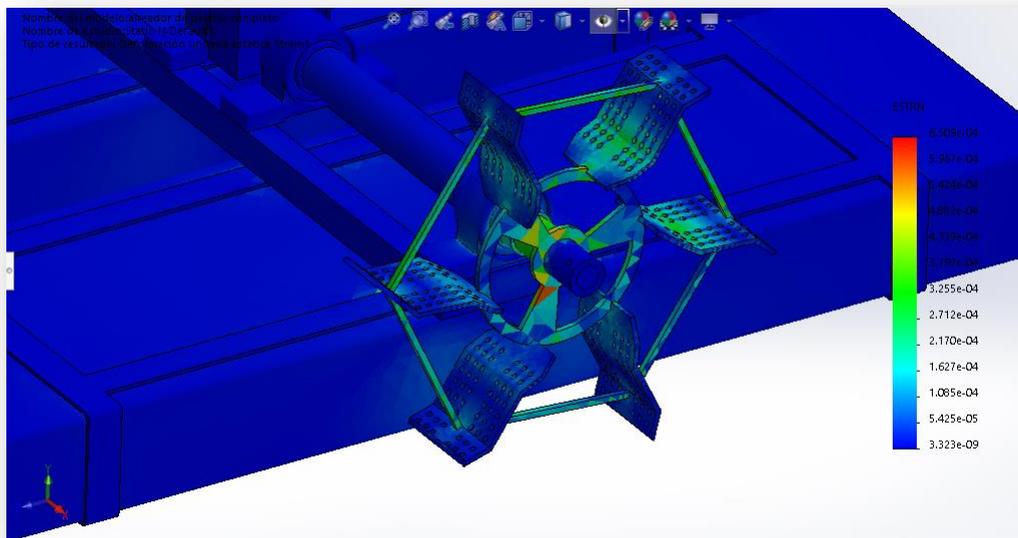
Vista de mayor zona de desplazamiento en el modelo

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	3.323e-09 Elemento: 249981	6.509e-04 Elemento: 396097

Nombre del modelo: aireador de paletas completo
Nombre de estudio: Static 1[-Default-]
Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Strain1

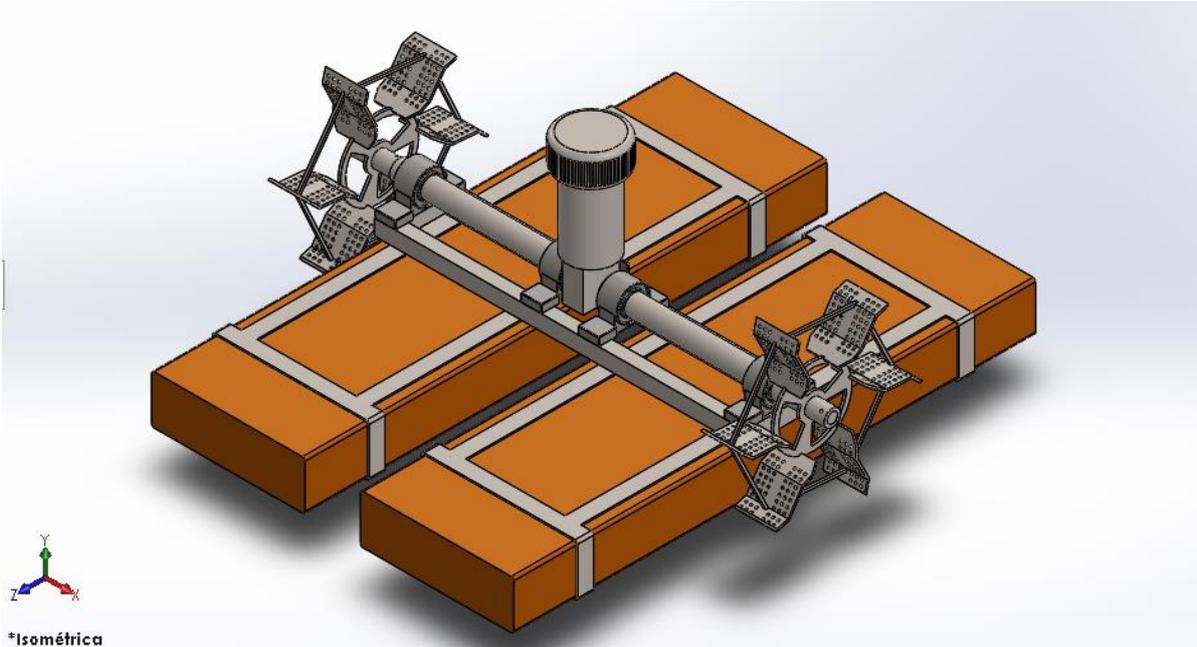


Aireador de paletas superficial-Analysis estatico-Deformaciones unitarias-Strain1

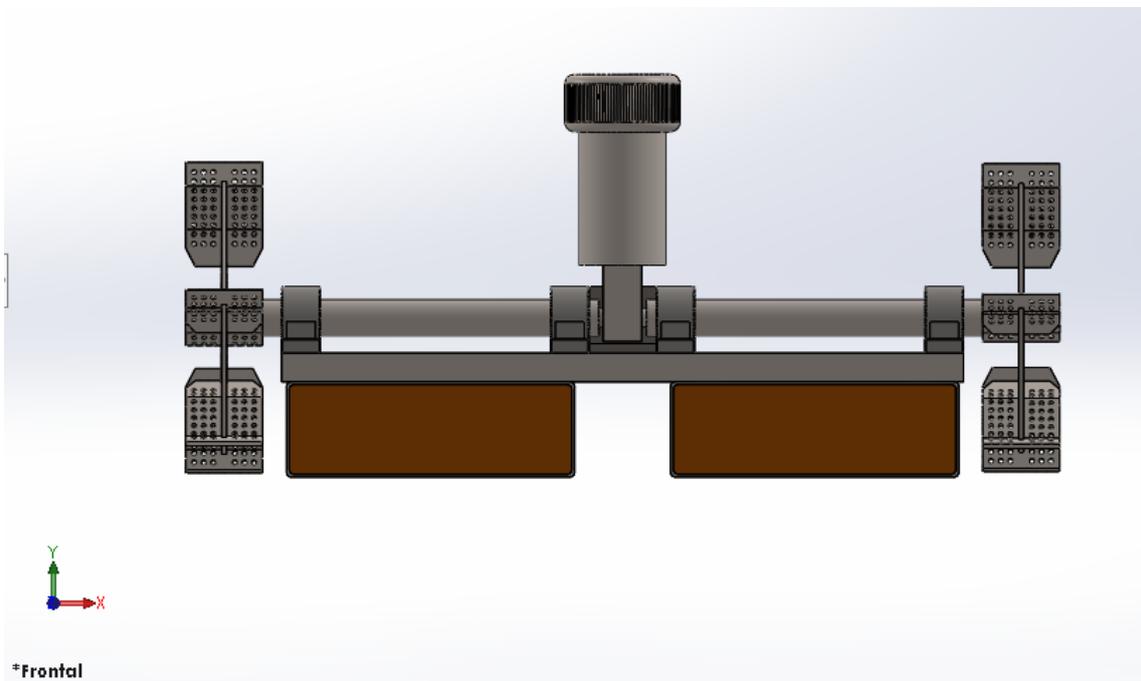


Vista de zona de mayor deformación del modelo

- VISTA ISOMETRICA DEL MODELO



- VISTA FRONTAL DEL MODELO



ANEXO n.º 2. Certificado de Calibración de Medidor de Oxígeno Disuelto

Certificado de Calibración

LA-141-2018

Pág. 1 de 1

- 1 **Cliente** : E&OH CONSULTING SAC
- 2 **Dirección** : Jr. Río Mantaro Mza. J Lote. 33 Co. Mariscal Luzuriaga Lima - Lima - San Juan de Lurigancho
- 3 **Datos del Instrumento**
- | | | | |
|---------------------------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------|
| . Instrumento de medición | : Termómetro digital* | . N° de serie del instrumento | : 130300085628 |
| . Marca | : HACH | . N° de serie de sensor | : 130452581002 |
| . Modelo | : HQ40d | . Intervalo de Indicación | : -10,0 °C a 110,0 °C |
| . Identificación | : No indica | . Resolución | : 0,1 °C |
- 4 **Lugar de calibración** : Laboratorio de Aguas - Green Group PE S.A.C.
- 5 **Fecha de calibración** : 2018-03-28
- 6 **Método de calibración**

La calibración se realizó por comparación siguiendo el procedimiento "PC-017 Calibración de Termómetros Digitales" Edición 2° de INDECOPI

7 **Condiciones Ambientales**

	Temperatura (°C)	Humedad relativa (% hr)
Inicial	24,9	49,3
Final	25,3	50,6

8 **Trazabilidad**

Patrón Usado	Código Interno	N° de Certificado	F. Vencimiento
Indicadores digitales con sensores de termistor de resolución de 0,001 °C	GGP-25	LT-441-2017 INACAL/DM	2019-08-22
	GGP-26	LT-417-2017 INACAL/DM	2019-08-09

9 **Resultados de medición**

T.C.V. (°C)	Indicación del Termómetro (°C)	Corrección (°C)	Incertidumbre (°C)
0,00	0,3	-0,30	0,06
15,03	15,3	-0,27	0,10
25,03	25,2	-0,17	0,09

Temperatura Convencionalmente Verdadera (T.C.V.) = Indicación del termómetro + Corrección.

10 **Observaciones**

- a) La profundidad de inmersión del sensor fue de 5,5 cm
- b) El tiempo de estabilización de temperatura fue de 7 minutos.
- c) La precisión del instrumento es $\pm 0,4$ °C
- * La calibración del termómetro digital se realizó en la sonda de conductividad en el Multiparámetro.

- Las temperaturas convencionalmente verdaderas mostradas en los resultados de medición son las de la Escala Internacional de Temperatura de 1990 (International Temperature Scale ITS-90).
- La Incertidumbre de medición expandida reportada es la incertidumbre de medición estándar multiplicada por el factor de cobertura $k=2$ de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95%.
- Los resultados emitidos son válidos solo para el instrumento y sensor calibrado, en el momento de la calibración.
- Se recomienda al usuario recalibrar a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base a las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento.
- La incertidumbre declarada en el presente certificado ha sido estimado siguiendo las directrices de: "Guía para la expresión de la incertidumbre de medida" primera edición, septiembre 2008 CEM.
- Este certificado de calibración solo puede ser difundido completamente y sin modificaciones, sin firma y sello carecen de validez.

Fecha de Emisión

2018-04-03



Enzo Barrera Zavala
Jefe de Laboratorio de Calibración
GREEN GROUP PE S.A.C.

LA IMPRESIÓN DE ESTE CERTIFICADO CONSTITUYE UNA COPIA DEL ORIGINAL EN VERSIÓN ELECTRÓNICA (FIRMA DIGITAL, SEGÚN LEY N° 27269 LEY DE FIRMAS Y CERTIFICADOS DIGITALES)

FO-[LC-PR-01]-03

- 1 **Cliente** : E&OH CONSULTING SAC
- 2 **Dirección** : Jr. Rio Mantaro Mza. J Lote. 33 Co. Mariscal Luzuriaga Lima - Lima - San Juan de Lurigancho
- 3 **Datos del Instrumento :**
- | | | | |
|---------------------------------|------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| .Instrumento de Medición | : Medidor de oxígeno * | .N° de serie del Instrumento | : 130300085628 |
| .Marca | : HACH | .N° de serie de la sonda | : 131992594005 |
| .Modelo | : HQ40d | .Alcance | : 0,00 mg/L a 20,00 mg/L |
| .Identificación | : No indica | .Resolución | : 0,01 mg/L |
- 4 **Lugar de calibración** : Laboratorio de Aguas - Green Group PE S.A.C.
- 5 **Fecha de calibración** : 2018-04-02
- 6 **Método de calibración**

La calibración se realizó por comparación de la indicación del Instrumento con valores asignados a materiales de referencia de oxígeno, según procedimiento GGP-06 Calibración de Medidores de Oxígeno Disuelto – Green Group.

7 **Condiciones Ambientales**

	Temperatura (°C)	Humedad (%hr)	Presión (mbar)
inicial	25,0	50,2	999,9
final	25,1	52,5	999,9

8 **Trazabilidad**

Materiales de Referencia	Código Interno	N° Lote/Certificado	F. Vencimiento
Solución estándar de Oxígeno Zero	GGP-S-13.9	12915	2019-09-19
Barómetro	GGP-02	LFP-227-2017	2019-07-04

9 **Resultados de Medición**

Referencia (mg/L)	Lectura del Instrumento (mg/L)	Error (mg/L)	Incertidumbre (mg/L)
0,00	0,02	0,02	0,01
8,40	8,21	-0,19	0,01

10 **Observaciones**

- a) Los resultados están dados a la temperatura de 25 °C.
 b) La precisión del instrumento declarado en el manual del fabricante es: ± 0,1 mg/L para 0 mg/L a 8,0 mg/L; ± 0,2 mg/L para más de 8,0 mg/L
 (*) Medidor perteneciente al multiparámetro

- La Incertidumbre de medición expandida reportada es la incertidumbre de medición estándar multiplicada por el factor de cobertura $k = 2$, de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95%.
- Los resultados emitidos son válidos solo para el Instrumento y sensor de oxígeno disuelto, en el momento de la calibración.
- Se recomienda al usuario recalibrar a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base a las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento.
- El certificado de calibración solo puede ser difundido completamente y sin modificaciones, sin firma y sellos carecen de validez.
- La Incertidumbre declarada en el presente certificado ha sido estimado siguiendo las directrices de: "Guía para la expresión de la incertidumbre de medida" primera edición, septiembre 2008 CEM.

Fecha de emisión

2018-04-03

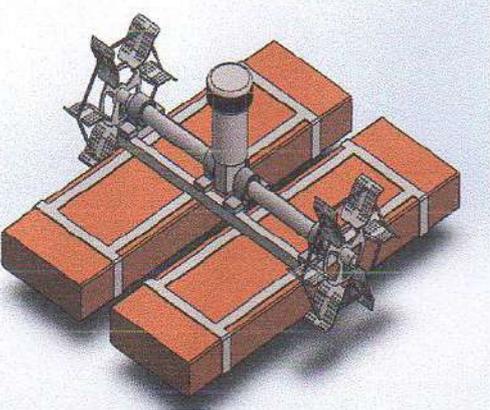


Enzo Barrera Zavala
 Jefe de Laboratorio de Calibración
 GREEN GROUP PE S.A.C.

ANEXO n.º 3. Ficha Técnica de Validación de Producto

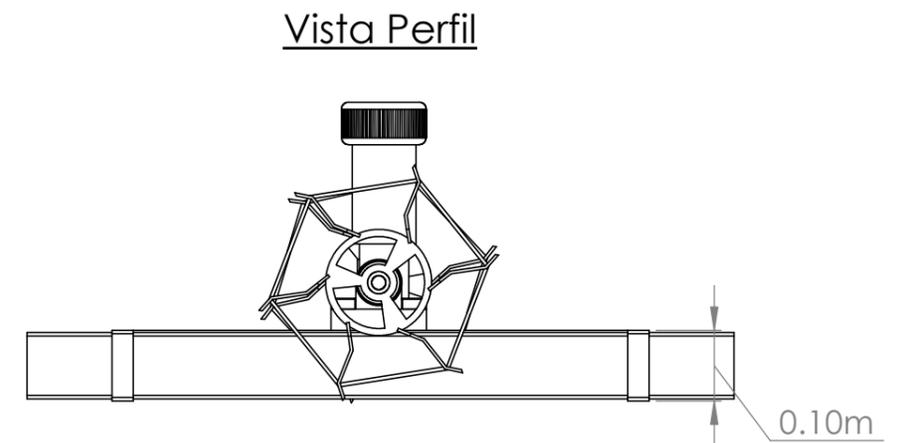
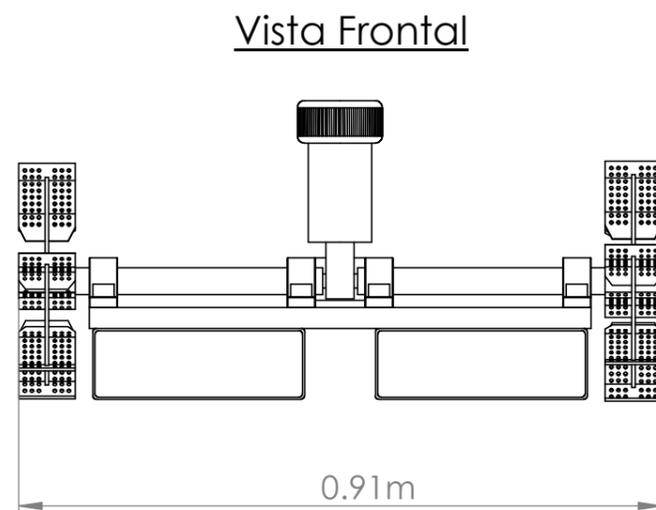
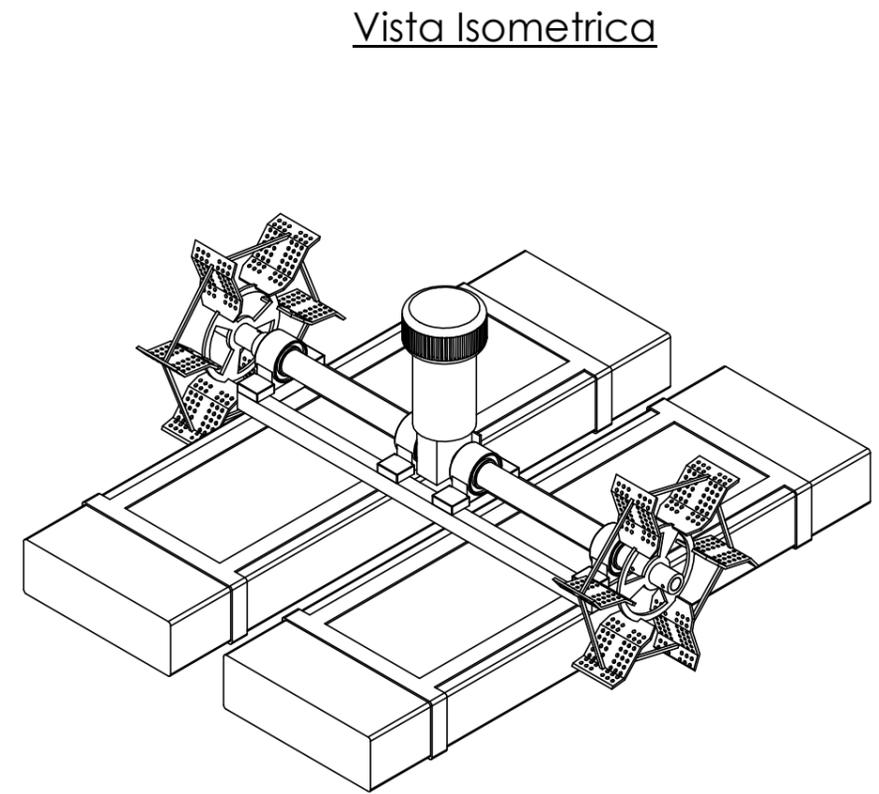
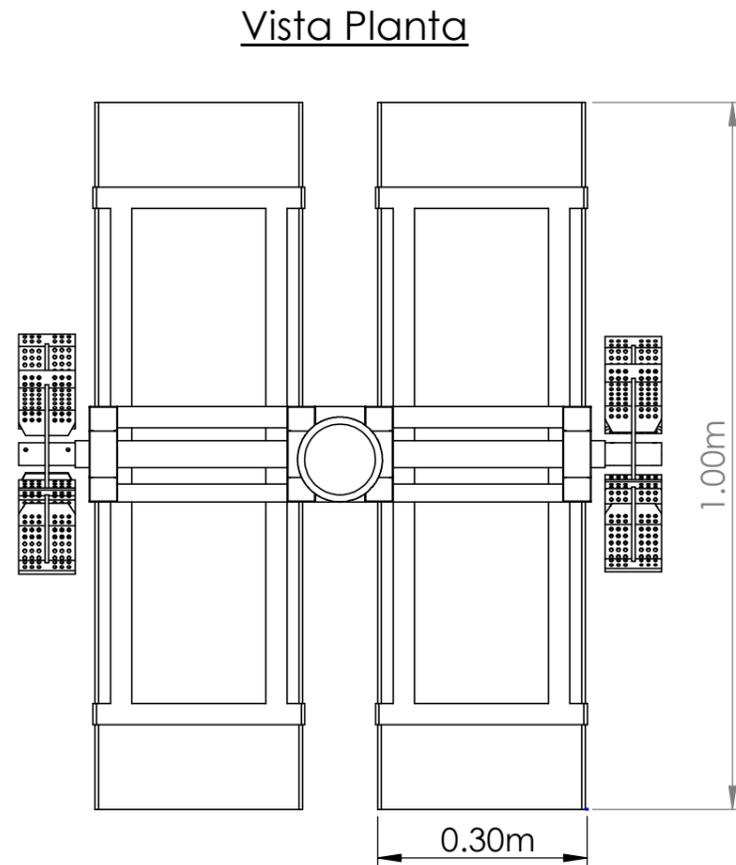
FICHA TECNICA POR PRODUCTO

Nombre de la empresa	Fenix Construcciones y Ambientales S.A.C.
RUC	20559683575
Dirección	Av. Panamericana Norte Km. 562 Parque Industrial Sur (Cost. Iren-Psje Barrionuevo Int.02)
Cuidad	Trujillo, La Libertad.
Diseñadores	García Landa, Andrea Castillo Gálvez, Diego
Email	diegoegu796@gmail.com agl1295@gmail.com

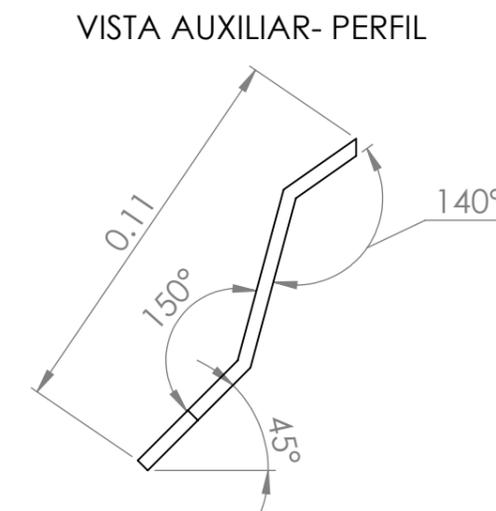
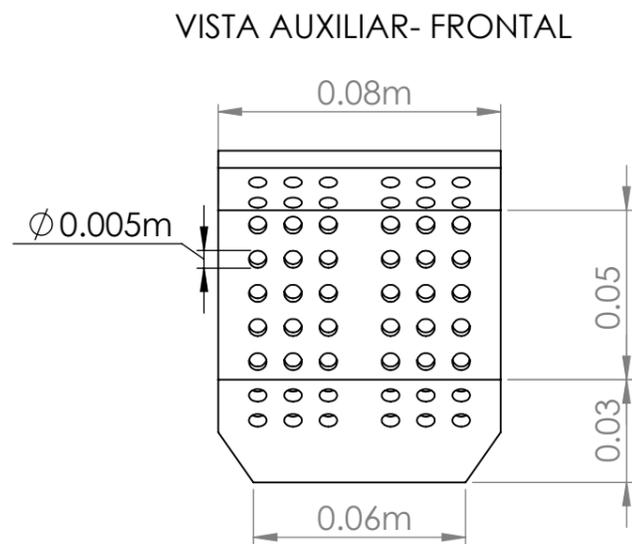
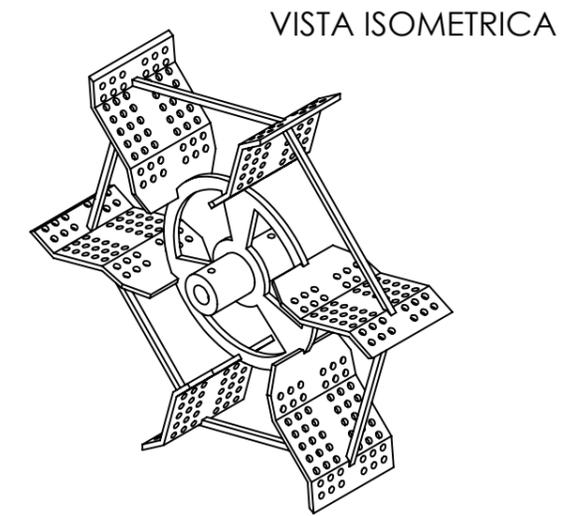
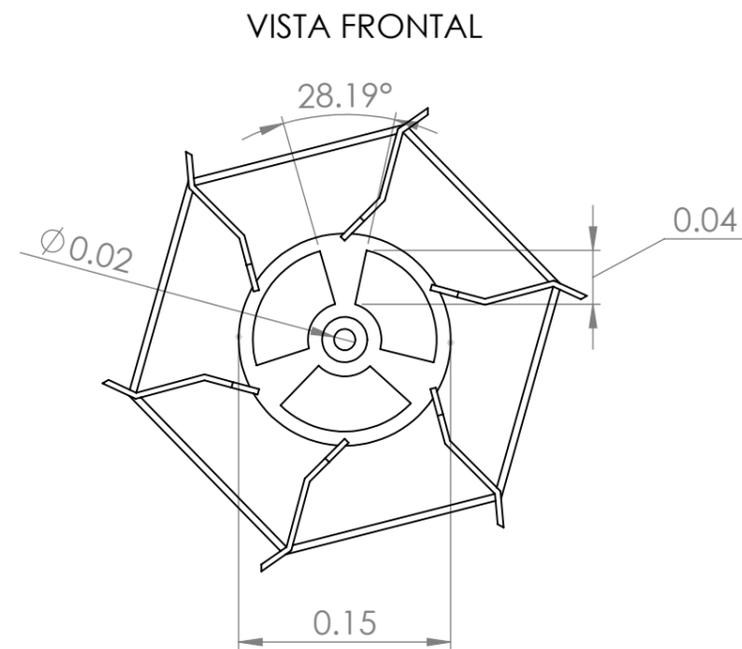
NOMBRE DEL PRODUCTO	Aireador de paletas superficial con eje horizontal para aguas residuales.	
FOTOGRAFIA	DESCRIPCION DEL PRODUCTO	
	Es un equipo que sirve para transferir aire al agua mediante la rotación de las paletas ubicadas a los costados, permitiendo de esta manera la oxigenación de las aguas residuales.	
	MATERIA PRIMA	Acero inoxidable Acero AISI 304 Poliestireno expandido
	Motor	Tipo: MCC24MP4N W=150 Nm=3.4 24V / 9.6A
	Insumos	Chumaceras, tornillos.
	Peso	15 kg aprox.
	RPM	146 rpm
	Carga	250N
Dimensiones	0.90 m largo x 0.40 m ancho y 0.35 cm de altura	
Precio referencial	S/. 600	



ANEXO n.º4. Planos del aireador superficial



	UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE			Lamina:
	Escala 1/100	Proyecto: AIREADOR SUPERFICIAL DE ROTOR CON EJE HORIZONTAL EN AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES		A-01
	Fecha: MAYO 2019	Especialidad: Ingenieria Ambiental		
	Plano: Vistas	Integrantes: Garcia Landa, Andrea Castillo Galvez, Diego		

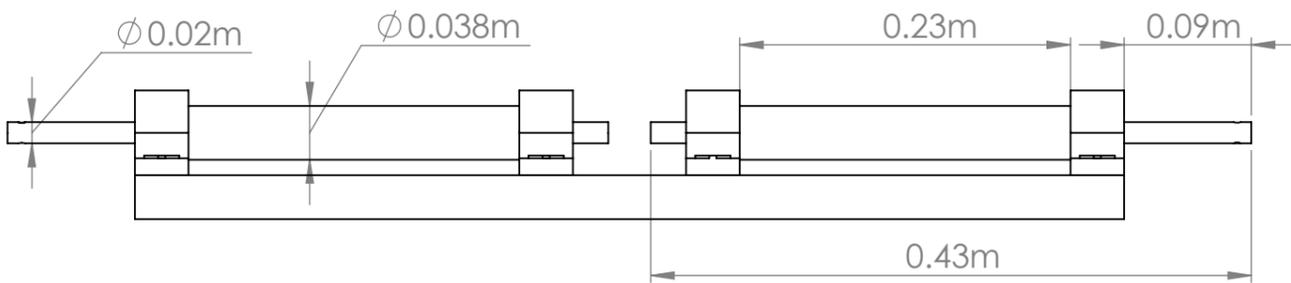


	UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE			Lamina:
	Escala 1/100	Proyecto: AIREADOR SUPERFICIAL DE ROTOR CON EJE HORIZONTAL EN AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES		A-04
	Fecha: MAYO 2019	Especialidad: Ingenieria Ambiental		
	Plano: Paleta	Integrantes: Garcia Landa, Andrea Castillo Galvez, Diego		

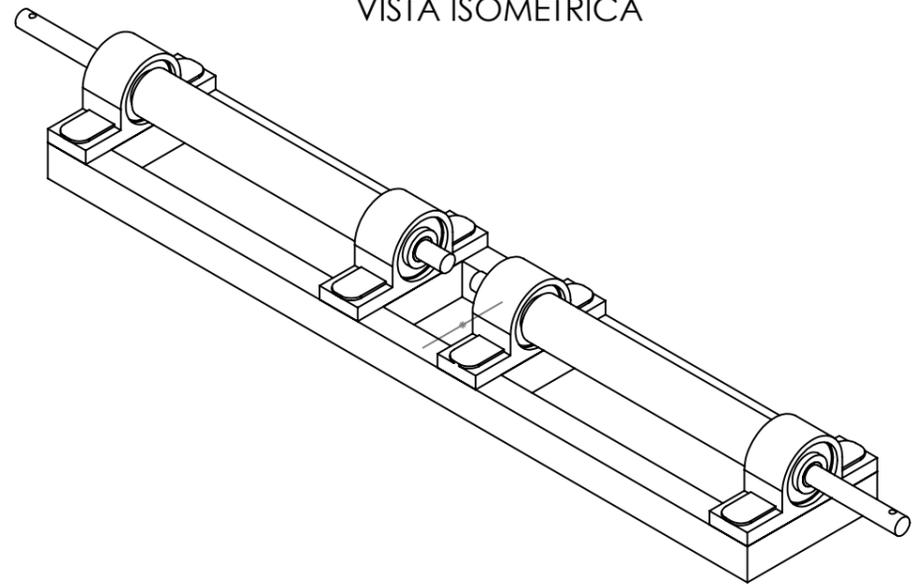
8 7 6 5 4 3 2 1

F F

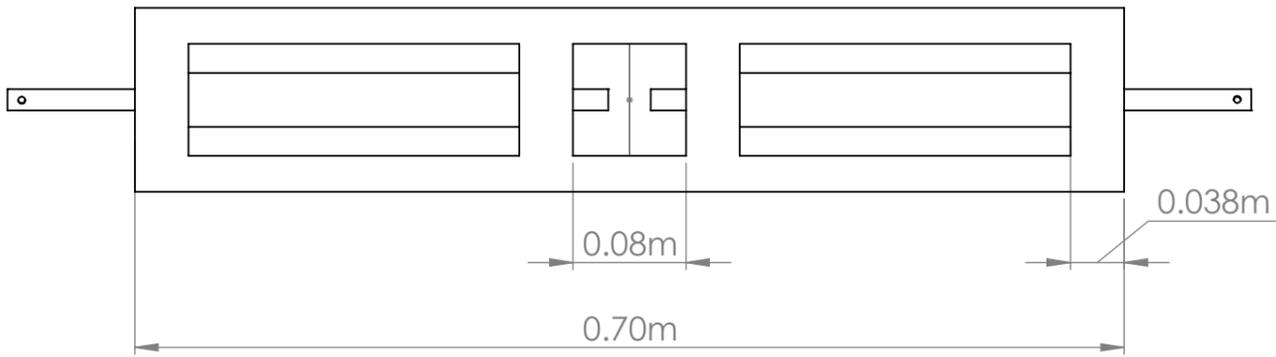
VISTA FRONTAL- EJE



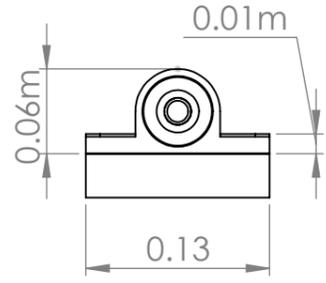
VISTA ISOMETRICA



VISTA PLANTA- BASE



VISTA PERFIL - CHUMACERA



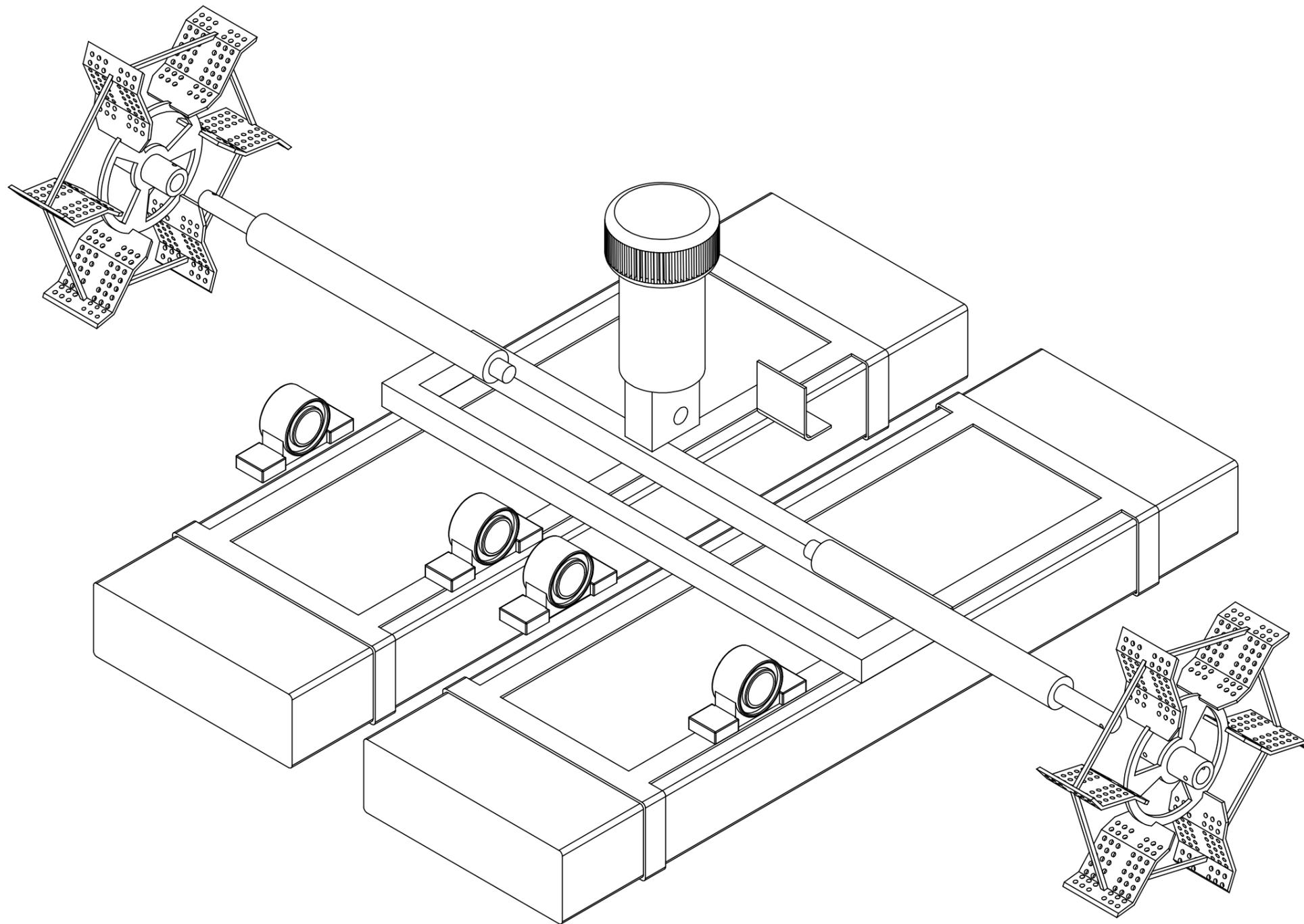
C C

B B

A A

8 7 6 5 4 3 2 1

	UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE		
	Escala: 1/100	Proyecto: AIREADOR SUPERFICIAL DE ROTOR CON EJE HORIZONTAL EN AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES	Lamina:
	Fecha: MAYO 2019	Especialidad: Ingenieria Ambiental	A-03
	Plano: -Chumacera -Base -Eje	Integrantes: Garcia Landa, Andrea Castillo Galvez, Diego	



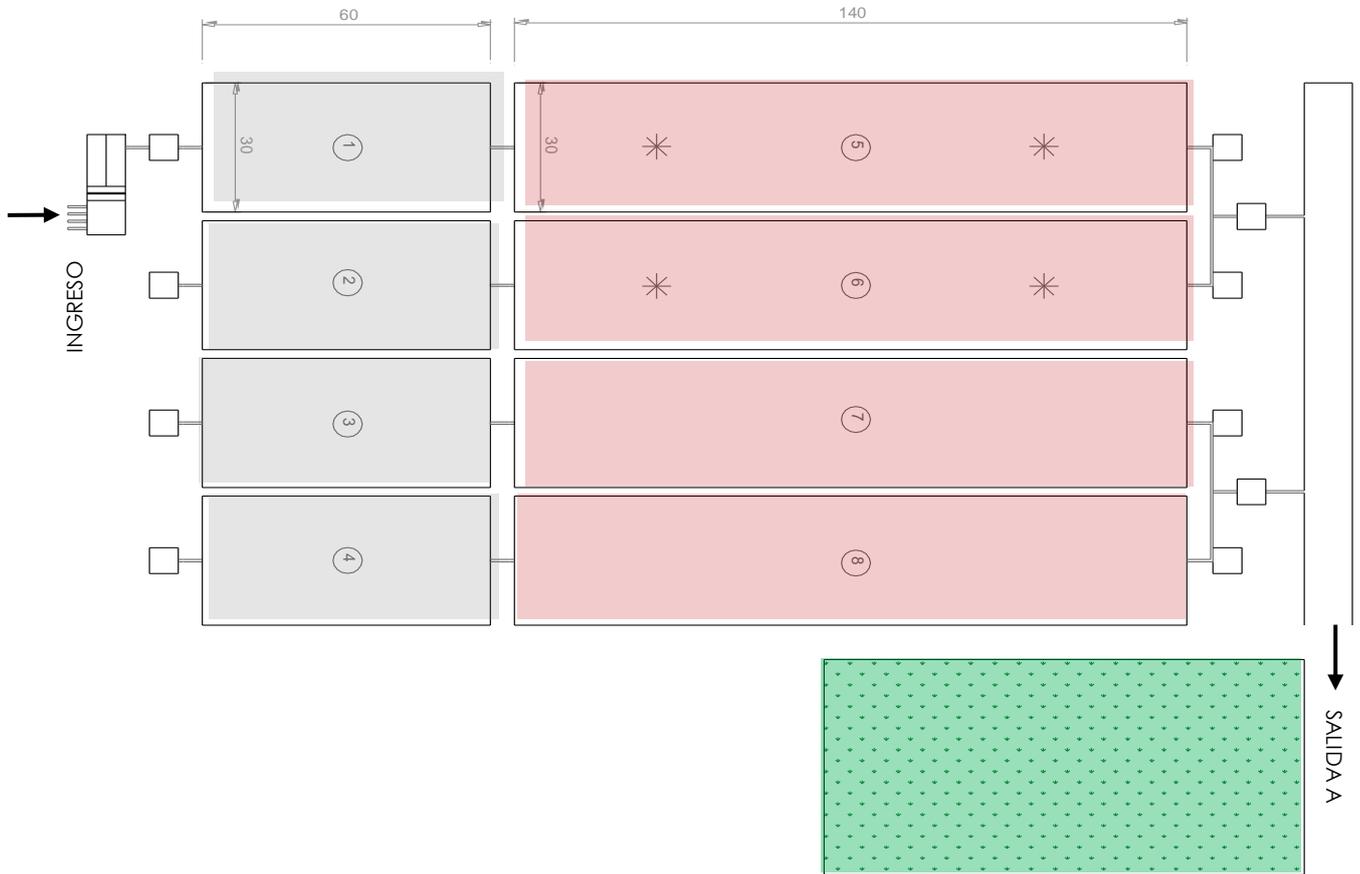
	UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE		Lamina:
	Escala: 1/100	Proyecto: AIREADOR SUPERFICIAL DE ROTOR CON EJE HORIZONTAL EN AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES	A-02 A
	Fecha: MAYO 2019	Especialidad: Ingenieria Ambiental	
Plano: Vista explosionada	Integrantes: Garcia Landa, Andrea Castillo Galvez, Diego		

ANEXO n° 5. Instrumento de recolección de datos

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS						
FASE ____				FECHA:		
MUESTRA:				HORA INICIO:		
PROFUNDIDAD				HORA TERMINO:		
PRESIÓN:						
ANÁLISIS						
PRUEBA	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (MIN)	VELOCIDAD (m/s)	OD		
				PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
1		0				
2		10				
3		20				
4		30				
5		40				
6		50				
7		60				

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO n.º 6. Esquema de la Planta de Tratamiento de ZED Paita

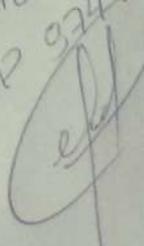


ANEXO n°7. Recolección de datos – Fase 01 Agua Potable

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS				
Fase 01 (Acua Potable)		FECHA:	17/03/2018	
MUESTRA:	Acua Potable	HORA INICIO:	11:00 am	
PROFUNDIDAD:	Superficie	HORA TERMINO:	12:00 pm	
PRESIÓN:	1008.2 hPA	TEMPERATURA:	20°C	
ANÁLISIS				
PRUEBA	TIEMPO (MIN)	OD		
		PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
1	0	1.86	1.09	1.23
2	10	6.59	6.77	6.59
3	20	7.7	7.72	7.85
4	30	7.8	7.9	7.99
5	40	7.82	8.04	8
6	50	8.02	8.03	8.01
7	60	8.08	8.12	8.06

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS				
Fase 01		FECHA:	17/03/2018	
MUESTRA:	Acua Potable	HORA INICIO:	11:00 am	
PROFUNDIDAD:	intermedio	HORA TERMINO:	12:00 pm	
PRESIÓN:	1008.2 hPA	TEMPERATURA:	20°C	
ANÁLISIS				
PRUEBA	TIEMPO (MIN)	OD		
		PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
1	0	0.97	0.99	1.14
2	10	6.66	6.88	6.88
3	20	7.68	7.74	7.91
4	30	7.85	7.91	7.93
5	40	7.85	7.92	8.02
6	50	8.02	8.03	8.07
7	60	8.07	8.11	8.16

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS				
Fase 01		FECHA:	17/03/2018	
MUESTRA:	Acua Potable	HORA INICIO:	11:00 am	
PROFUNDIDAD:	Fondo	HORA TERMINO:	12:00 pm	
PRESIÓN:	1008.2 hPA	TEMPERATURA:	20°C	
ANÁLISIS				
PRUEBA	TIEMPO (MIN)	OD		
		PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
1	0	0.91	0.94	1.07
2	10	6.63	7.03	6.82
3	20	7.67	7.83	7.93
4	30	7.83	7.92	7.98
5	40	7.87	7.98	8.04
6	50	8.02	8.07	8.11
7	60	8.07	8.11	8.13

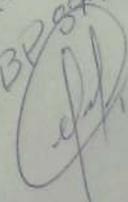
Wilberto Efficaz
 CBP 9249


ANEXO n°8. Recolección de datos – Fase 02 Agua Residual

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS				
FASE 02		FECHA:	18/03/2018	
MUESTRA:	Agua Residual	HORA INICIO:	13:10	
PROFUNDIDAD:	Superficie	HORA TERMINO:	14:10	
PRESIÓN:	1012.7 hPa	TEMPERATURA	30°C	
ANÁLISIS				
PRUEBA	TIEMPO (MIN)	OD		
		PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
1	0	0.19	0.11	0.91
2	10	3.19	3.44	4.25
3	20	4.34	5.2	5.7
4	30	4.78	5.3	6.19
5	40	5.13	5.44	6.5
6	50	5.36	5.55	6.5
7	60	5.61	6.24	6.56

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS				
FASE 02		FECHA:	18/03/2018	
MUESTRA:	Agua Residual	HORA INICIO:	13:10	
PROFUNDIDAD:	Intermedias	HORA TERMINO:	14:10	
PRESIÓN:	1012.7 hPa	TEMPERATURA	30°C	
ANÁLISIS				
PRUEBA	TIEMPO (MIN)	OD		
		PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
1	0	0.12	0.09	0.24
2	10	3.18	3.73	4.85
3	20	4.45	4.82	5.81
4	30	4.82	5.2	6.19
5	40	5.3	5.57	6.49
6	50	5.77	5.87	6.52
7	60	5.8	6.3	6.61

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS				
FASE 02		FECHA:	18/03/2018	
MUESTRA:	Agua Residual	HORA INICIO:	13:10	
PROFUNDIDAD:	Fondo	HORA TERMINO:	14:10	
PRESIÓN:	1012.7 hPa	TEMPERATURA	30°C	
ANÁLISIS				
PRUEBA	TIEMPO (MIN)	OD		
		PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
1	0	0.11	0.09	0.19
2	10	3.41	4.9	5.07
3	20	4.48	5.31	5.87
4	30	4.82	5.44	6.31
5	40	5.25	5.51	6.51
6	50	5.43	5.87	6.65
7	60	6.6	6.61	6.95

Wilberto EFR-A
 CBR 8949


ANEXO n° 9. Datos de $K_L a$ a 20°C - Agua Potable

Tabla 12

Datos del nivel superior Punto 1- Agua Potable

Tiempo (min)	OD (mg/L)	Cs- C (mg/L)	$K_L a$ 20°C, h ⁻¹
0	1.36	7.93	-
10	6.59	2.70	5.0171
20	7.7	1.59	4.0964
30	7.8	1.49	2.8608
40	7.82	1.47	2.1659
50	8.02	1.27	1.9082
60	8.08	1.21	1.6386

En la tabla presentada indica el oxígeno disuelto transferido en la superficie del estanque con agua potable en el punto 1 durante una hora, medidos en intervalos de 10 minutos, asimismo muestra la diferencia de la concentración de Saturación y el Coeficiente de Transferencia de Oxígeno a 20° C, temperatura teórica de referencia.

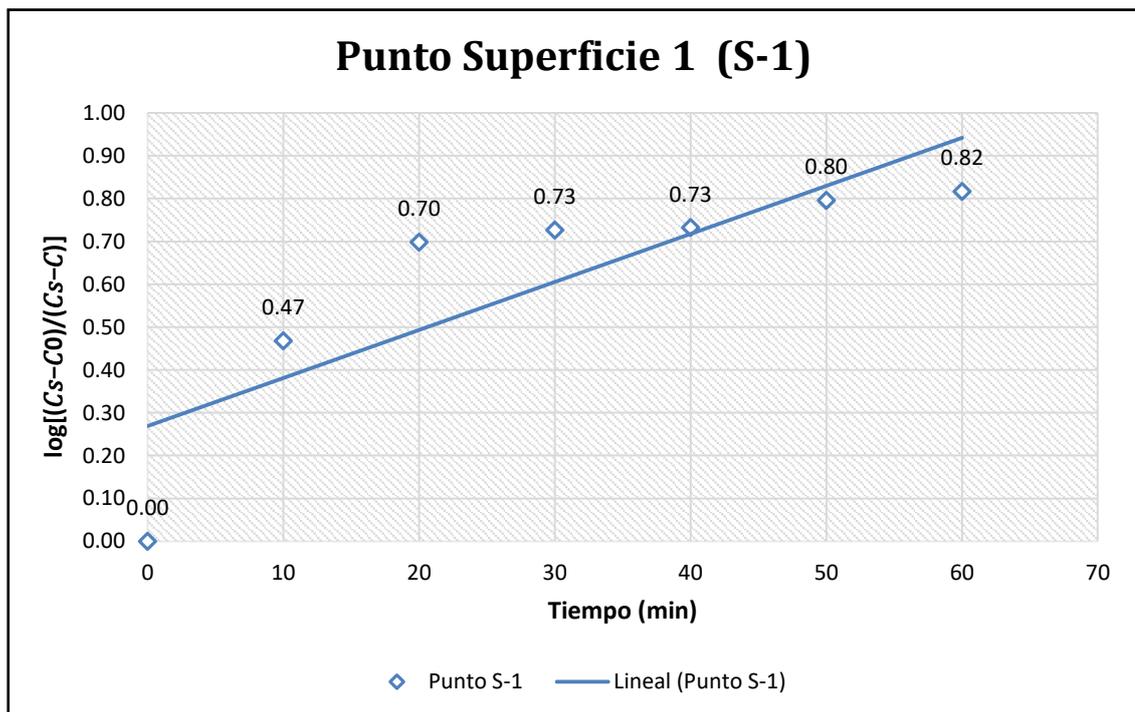


Gráfico 1. Variación de la concentración de oxígeno disuelto con el tiempo en el punto (S-1) – Agua Potable. Se realizó en el taller de FENIX S.A.C en Moche- Trujillo a una temperatura de 20°C con una revolución del aireador de 146 rpm durante 60 minutos.

Tabla 13
Datos del nivel superior en Punto 2- Agua Potable

Tiempo (min)	OD (mg/L)	Cs- C (mg/L)	$K_L a$ a 20°C, h ⁻¹
0	1.09	8.20	-
10	6.77	2.52	5.2810
20	7.72	1.57	4.0595
30	7.9	1.39	2.9498
40	8.04	1.25	2.3716
50	8.08	1.21	1.9363
60	8.12	1.17	1.6472

En la tabla presentada indica el oxígeno disuelto transferido en la superficie del estanque con agua potable en el punto 2 durante una hora, medidos en intervalos de 10 minutos, asimismo muestra la diferencia de la concentración de Saturación y el Coeficiente de Transferencia de Oxígeno a 20° C, temperatura teórica de referencia.

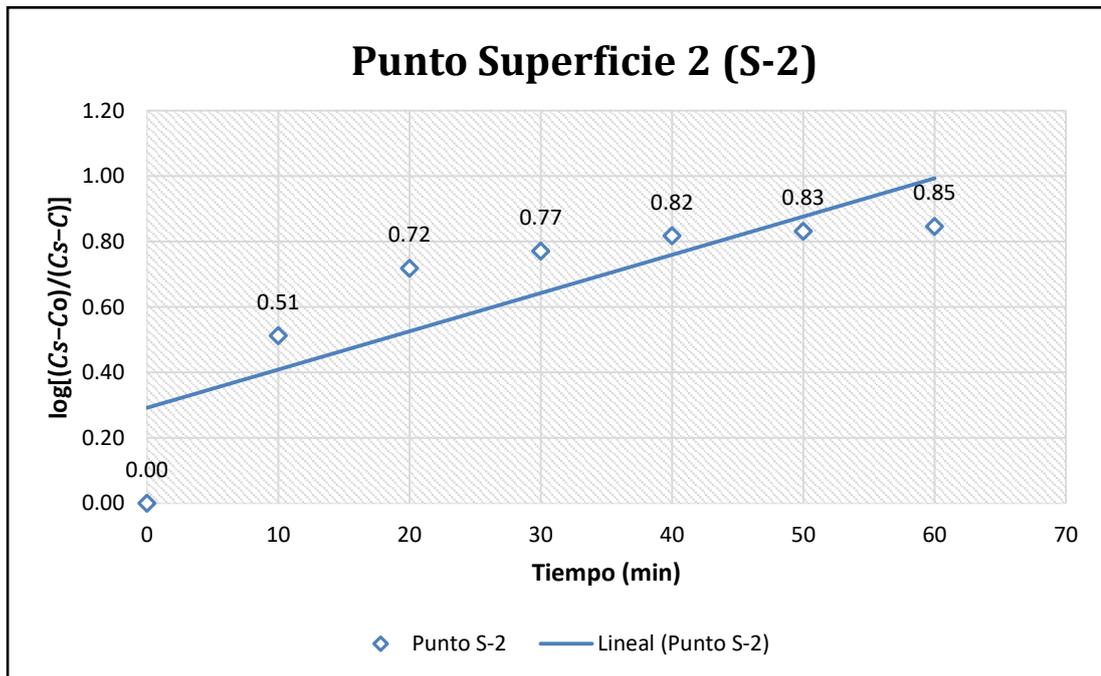


Gráfico 2. Variación de la concentración de oxígeno disuelto con el tiempo en el punto (S-2)- Agua Potable. Se realizó en el taller de FENIX S.A.C en Moche- Trujillo a una temperatura de 20°C con una revolución del aireador de 146 rpm durante 60 minutos.

Tabla 14
Datos del nivel superior en el Punto 3

Tiempo (min)	OD (mg/L)	Cs- C (mg/L)	$K_L a$ a 20°C, h ⁻¹
0	0.91	8.379	-
10	4.25	5.039	0.8109
20	5.7	3.589	1.4224
30	6.19	3.099	1.2416
40	6.5	2.789	1.0891
50	6.5	2.789	0.8713
60	6.56	2.729	0.7478

En la tabla presentada indica el oxígeno disuelto transferido en la superficie del estanque con agua potable en el punto 3 durante una hora, medidos en intervalos de 10 minutos, asimismo muestra la diferencia de la concentración de Saturación y el Coeficiente de Transferencia de Oxígeno a 20°C, temperatura teórica de referencia.

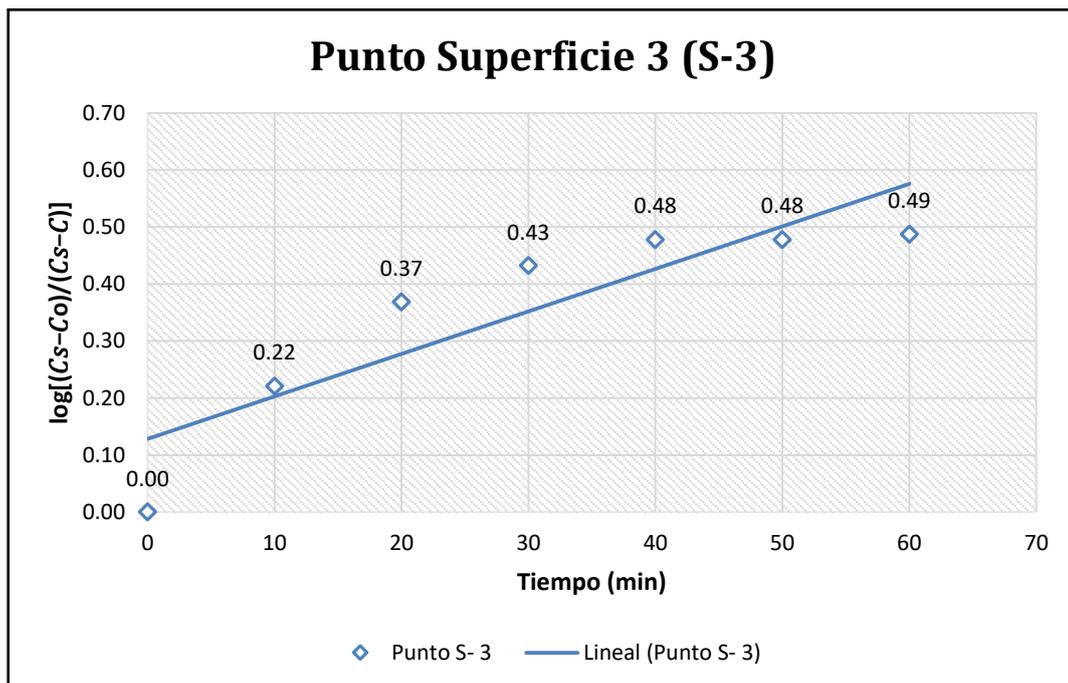


Gráfico 3. Variación de la concentración de oxígeno disuelto con el tiempo en el punto (S-3)- Agua Potable. Se realizó en el taller de FENIX S.A.C en Moche- Trujillo a una temperatura de 20°C con una revolución del aireador de 146 rpm durante 60 minutos.

Tabla 15
Datos del nivel intermedio en el Punto 1

Tiempo (min)	OD (mg/L)	Cs-C (mg/L)	$K_L a$ a 20°C, h ⁻¹
0	0.12	9.17	-
10	3.18	6.11	1.0662
20	4.45	4.84	1.2315
30	4.82	4.47	0.9799
40	5.3	3.99	0.9052
50	5.77	3.52	0.8745
60	5.8	3.49	0.7373

En la tabla presentada indica el oxígeno disuelto transferido en el nivel intermedio del estanque con agua potable en el punto 1 durante una hora, medidos en intervalos de 10 minutos, asimismo muestra la diferencia de la concentración de Saturación y el Coeficiente de Transferencia de Oxígeno a 20° C, temperatura teórica de referencia.

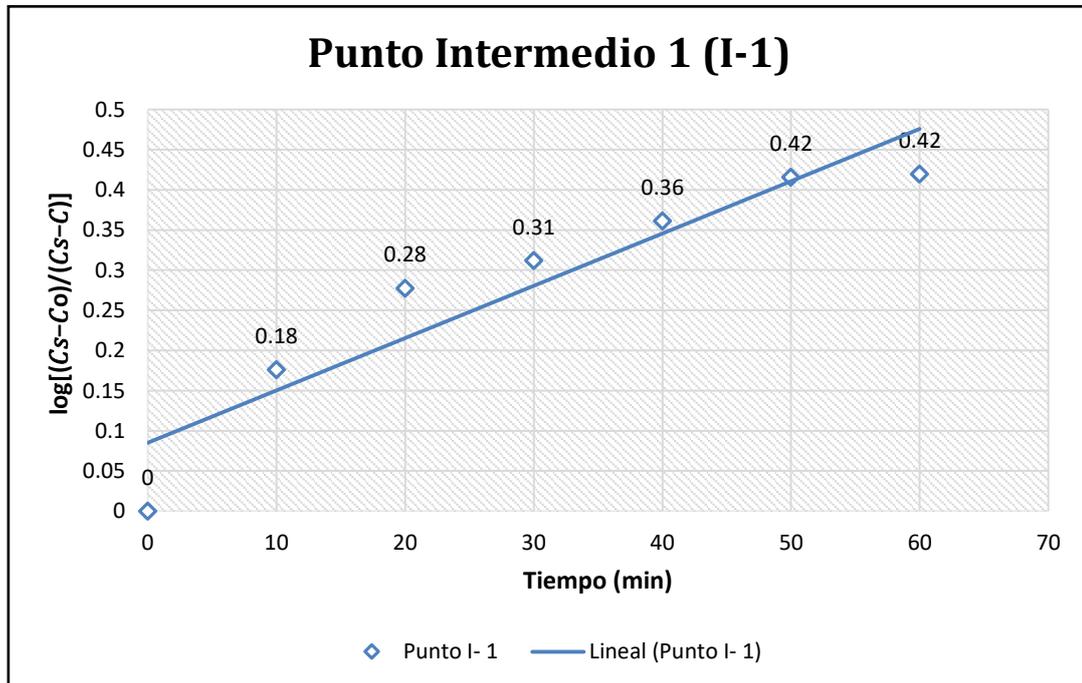


Gráfico 4. Variación de la concentración de oxígeno disuelto con el tiempo en el punto (I-1)- Agua Potable. Se realizó en el taller de FENIX S.A.C en Moche- Trujillo a una temperatura de 20°C con una revolución del aireador de 146 rpm durante 60 minutos.

Tabla 16
Datos del nivel intermedio en el Punto 2

Tiempo (min)	OD (mg/L)	Cs-C (mg/L)	$K_L a$ a 20°C, h ⁻¹
0	0.09	9.20	-
10	3.73	5.56	1.3808
20	4.82	4.47	1.3445
30	5.2	4.09	1.0739
40	5.57	3.72	0.9475
50	5.87	3.42	0.8588
60	6.3	2.99	0.8500

En la tabla presentada indica el oxígeno disuelto transferido en el nivel intermedio del estanque con agua potable en el punto 2 durante una hora, medidos en intervalos de 10 minutos, asimismo muestra la diferencia de la concentración de Saturación y el Coeficiente de Transferencia de Oxígeno a 20° C, temperatura teórica de referencia.

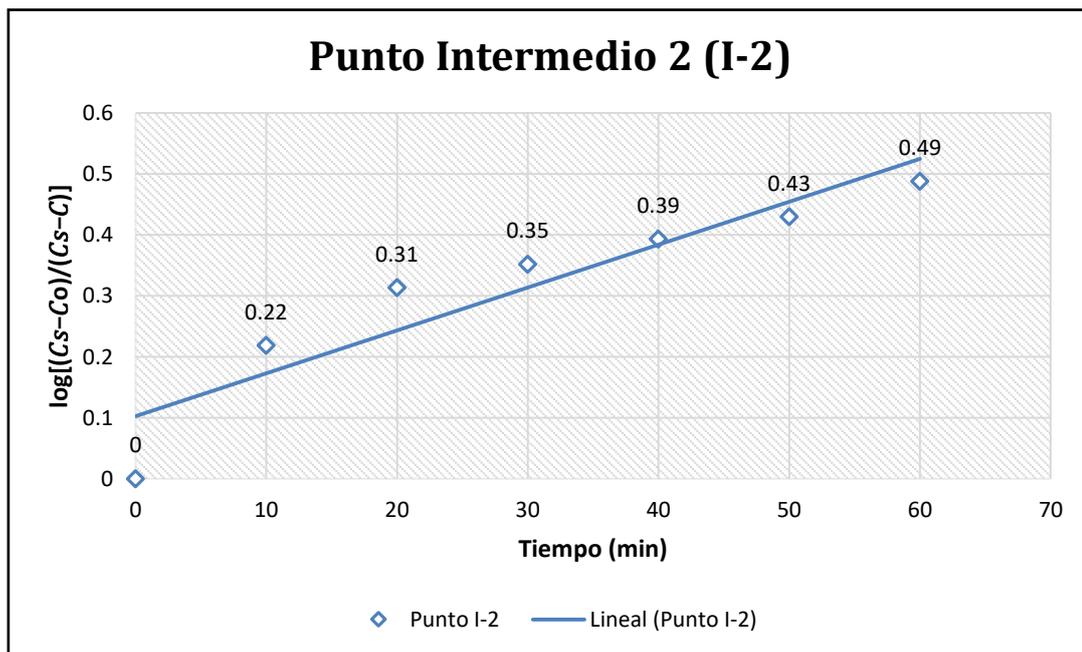


Gráfico 5. Variación de la concentración de oxígeno disuelto con el tiempo en el punto (I-2)- Agua Potable. Se realizó en el taller de FENIX S.A.C en Moche- Trujillo a una temperatura de 20°C con una revolución del aireador de 146 rpm durante 60 minutos.

Tabla 17
Datos del nivel intermedio en el Punto 3

Tiempo (min)	OD (mg/L)	Cs-C (mg/L)	$K_L a$ a 20°C, h ⁻¹
0	0.24	9.05	-
10	4.83	4.46	1.302
20	5.81	3.48	1.395
30	6.19	3.10	1.161
40	6.49	2.80	1.023
50	6.52	2.77	0.832
60	6.61	2.68	0.726

En la tabla presentada indica el oxígeno disuelto transferido en el nivel intermedio del estanque con agua potable en el punto 3 durante una hora, medidos en intervalos de 10 minutos, asimismo muestra la diferencia de la concentración de Saturación y el Coeficiente de Transferencia de Oxígeno a 20° C, temperatura teórica de referencia.

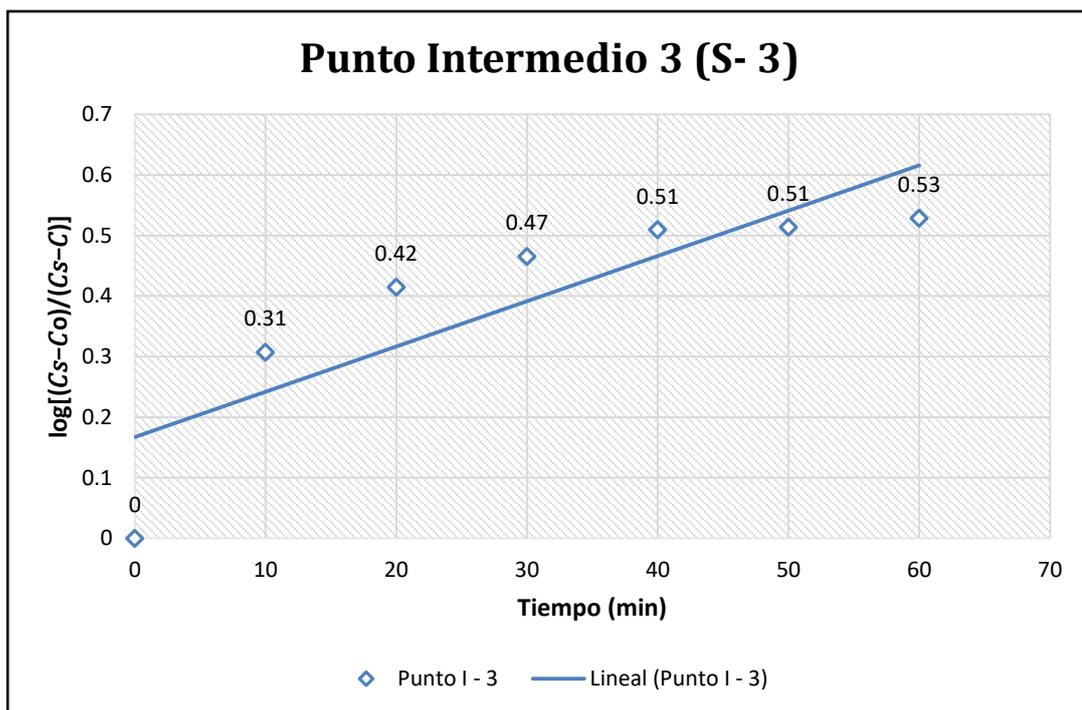


Gráfico 6. Variación de la concentración de oxígeno disuelto con el tiempo en el punto (I-3)- Agua Potable. Se realizó en el taller de FENIX S.A.C en Moche- Trujillo a una temperatura de 20°C con una revolución del aireador de 146 rpm durante 60 minutos.

Tabla 18
Datos del nivel fondo en el Punto 1

Tiempo (min)	OD (mg/L)	Cs-C (mg/L)	$K_L a$ a 20°C, h ⁻¹
0	0.11	9.18	-
10	3.41	5.88	1.6491
20	4.48	4.81	1.4266
30	4.82	4.47	1.0976
40	5.25	4.04	0.9748
50	5.43	3.86	0.8345
60	6.6	2.69	1.0563

En la tabla presentada indica el oxígeno disuelto transferido en el fondo del estanque con agua potable en el punto 1 durante una hora, medidos en intervalos de 10 minutos, asimismo muestra la diferencia de la concentración de Saturación y el Coeficiente de Transferencia de Oxígeno a 20° C, temperatura teórica de referencia.

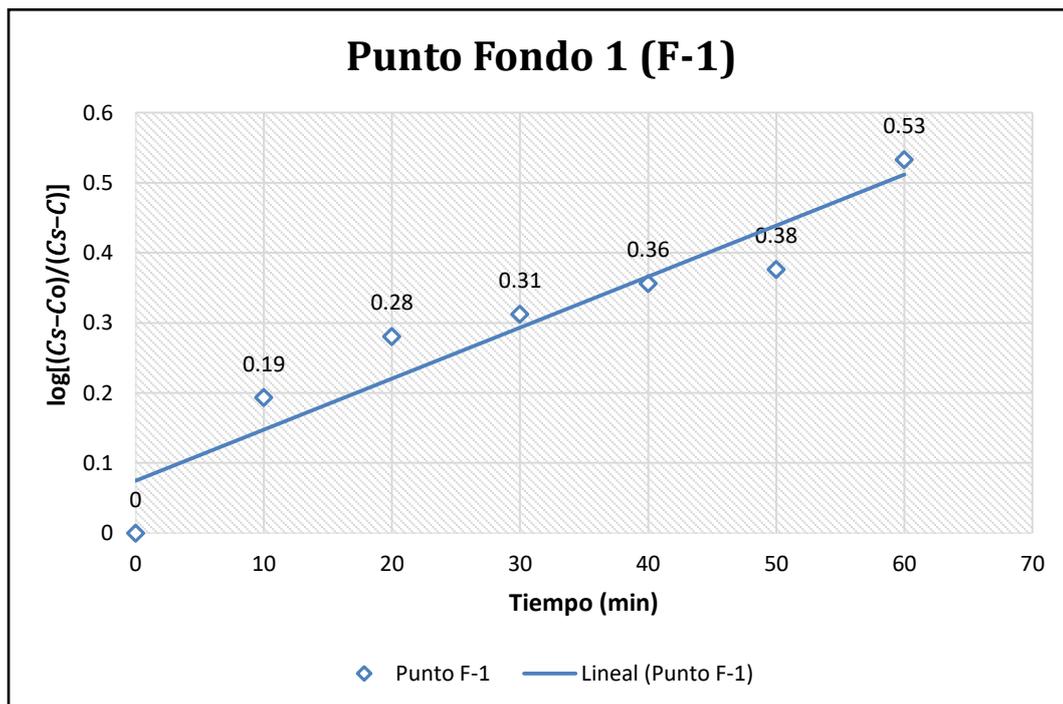


Gráfico 7. Variación de la concentración de oxígeno disuelto con el tiempo en el punto (F-1)- Agua Potable. Se realizó en el taller de FENIX S.A.C en Moche- Trujillo a una temperatura de 20°C con una revolución del aireador de 146 rpm durante 60 minutos.

Tabla 19
Datos del nivel fondo en el punto 2

Tiempo (min)	OD (mg/L)	Cs-C (mg/L)	$K_L a$ a 20°C, h ⁻¹
0	0.09	9.198	-
10	4.9	4.388	0.214
20	5.31	3.978	0.709
30	5.44	3.848	0.619
40	5.51	3.778	0.616
50	5.87	3.418	0.547
60	6.61	2.678	0.817

En la tabla presentada indica el oxígeno disuelto transferido en el fondo del estanque con agua potable en el punto 2 durante una hora, medidos en intervalos de 10 minutos, asimismo muestra la diferencia de la concentración de Saturación y el Coeficiente de Transferencia de Oxígeno a 20° C, temperatura teórica de referencia.

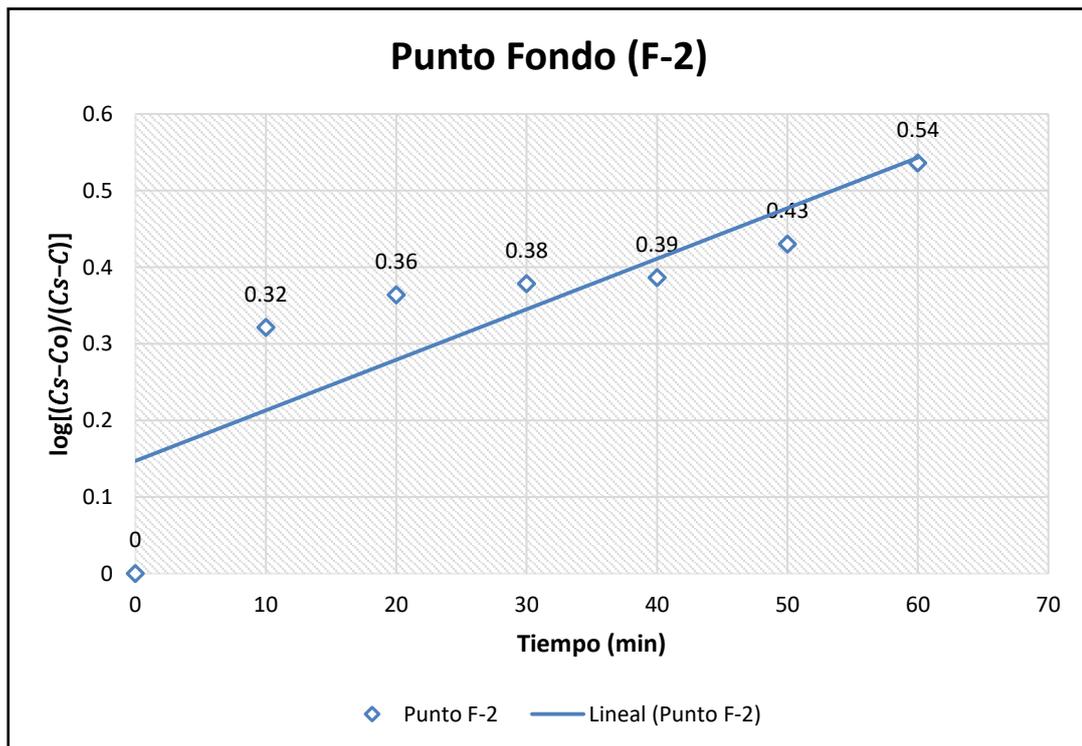


Gráfico 8. Variación de la concentración de oxígeno disuelto con el tiempo en el punto (F-2)- Agua Potable. Se realizó en el taller de FENIX S.A.C en Moche- Trujillo a una temperatura de 20°C con una revolución del aireador de 146 rpm durante 60 minutos.

Tabla 20
Datos del nivel fondo en el Punto 3

Tiempo (min)	OD (mg/L)	Cs-C (mg/L)	$K_L a$ a 20°C, h ⁻¹
0	0.19	9.10	-
10	5.07	4.22	1.722
20	5.87	3.42	1.491
30	6.31	2.98	1.269
40	6.51	2.78	1.056
50	6.65	2.64	0.907
60	6.93	2.36	0.868

En la tabla presentada indica el oxígeno disuelto transferido en el fondo del estanque con agua potable en el punto 3 durante una hora, medidos en intervalos de 10 minutos, asimismo muestra la diferencia de la concentración de Saturación y el Coeficiente de Transferencia de Oxígeno a 20° C, temperatura teórica de referencia.

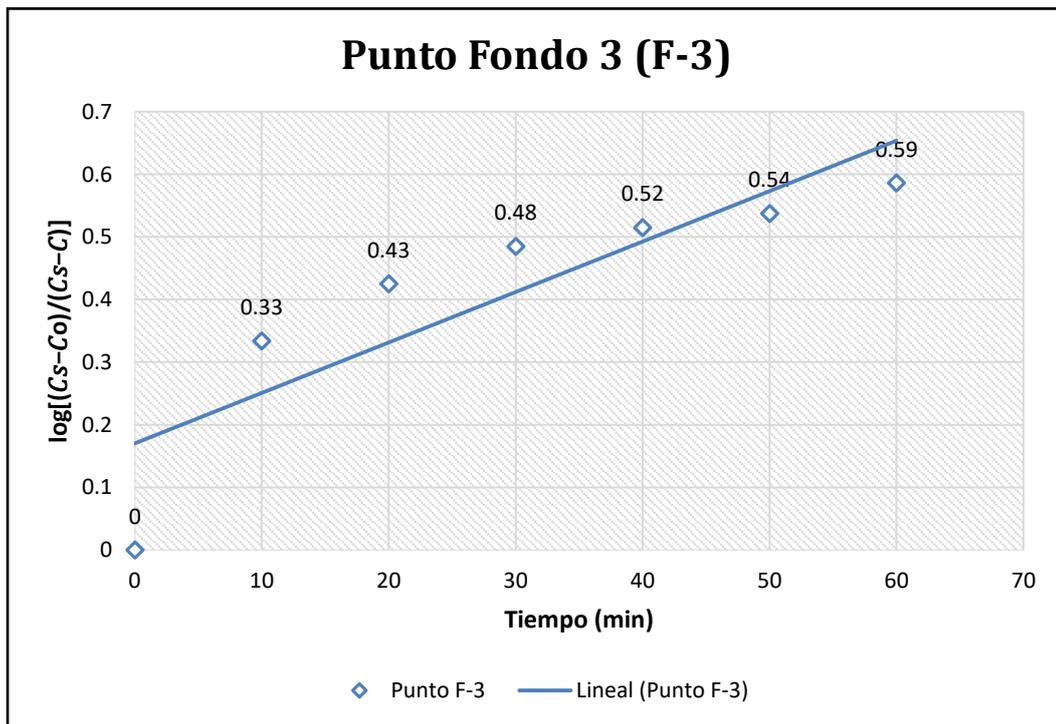


Gráfico 9. Variación de la concentración de oxígeno disuelto con el tiempo en el punto (F-2)- Agua Potable. Se realizó en el taller de FENIX S.A.C en Moche- Trujillo a una temperatura de 20°C con una revolución del aireador de 146 rpm durante 60 minutos.

ANEXO n° 10. Datos de K_{La} a 30°C & 20°C- Agua Residual

Tabla 21
Datos del nivel Superior en el Punto 1

Tiempo (min)	OD (mg/L)	$C_s - C$ (mg/L)	K_{La} a 30°C, h ⁻¹	K_{La} a 20°C, h ⁻¹
0	0.19	7.65	0	0
10	3.19	4.65	1.5408	1.2155
20	4.34	3.50	1.6214	1.2791
30	4.78	3.06	1.3492	1.0644
40	5.13	2.71	1.1938	0.9418
50	5.36	2.48	1.0613	0.8372
60	5.61	2.23	0.9905	0.7814

En la tabla presentada indica el oxígeno disuelto transferido en la superficie del estanque con agua residual en el punto 1 durante una hora, medidos en intervalos de 10 minutos, asimismo muestra la diferencia de la concentración de Saturación y el Coeficiente de Transferencia de Oxígeno a 30° C según el lugar donde se desarrolló el proyecto (Paíta) y 20° C, temperatura teórica de referencia.

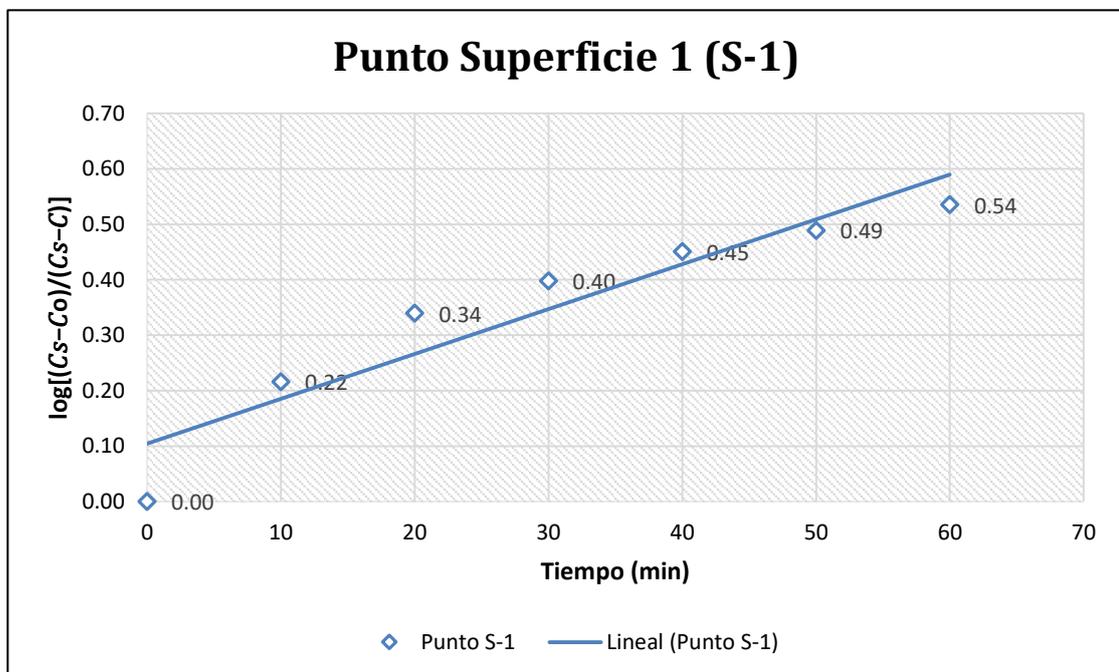


Gráfico 10. Variación de la concentración de oxígeno disuelto con el tiempo en el punto (S-1)- Agua Residual. Se realizó en las instalaciones ZED- Paíta, Piura a una temperatura de 30°C con una revolución del aireador de 146 rpm durante 60 minutos.

Tabla 22
Datos del nivel superior en el punto 2

Tiempo (min)	OD (mg/L)	Cs- C (mg/L)	$K_L a$ a 30°C, h ⁻¹	$K_L a$ a 20°C, h ⁻¹
0	0.11	7.73	0	0
10	3.54	4.30	1.7215	1.3580
20	5.2	2.64	2.3219	1.8317
30	5.3	2.54	1.6251	1.2819
40	5.44	2.40	1.3037	1.0284
50	5.55	2.29	1.0991	0.8671
60	6.34	1.50	1.3382	1.0557

En la tabla presentada indica el oxígeno disuelto transferido en la superficie del estanque con agua residual en el punto 2 durante una hora, medidos en intervalos de 10 minutos, asimismo muestra la diferencia de la concentración de Saturación y el Coeficiente de Transferencia de Oxígeno a 30° C según el lugar donde se desarrolló el proyecto (Paita) y 20° C, temperatura teórica de referencia.

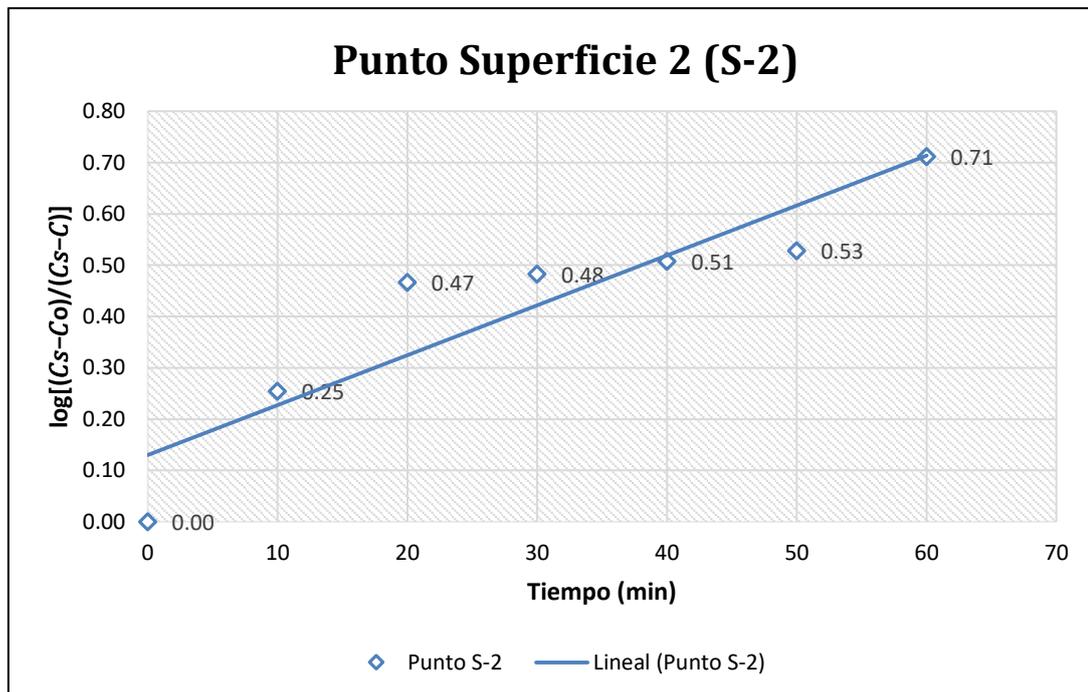


Gráfico 11. Variación de la concentración de oxígeno disuelto con el tiempo en el punto (S-2)- Agua Residual. Se realizó en las instalaciones ZED- Paita, Piura a una temperatura de 30°C con una revolución del aireador de 146 rpm durante 60 minutos.

Tabla 23
Datos del nivel superior en el punto 3

Tiempo (min)	OD (mg/L)	Cs- C (mg/L)	$K_L a$ a 30°C, h ⁻¹	$K_L a$ a 20°C, h ⁻¹
0	0.91	6.932	0	0
10	4.25	3.592	1.7036	1.3439
20	5.7	2.142	2.4013	1.8943
30	6.19	1.652	2.1199	1.6723
40	6.5	1.342	1.9014	1.4999
50	6.5	1.342	1.5211	1.2000
60	6.56	1.282	1.3133	1.0360

En la tabla presentada indica el oxígeno disuelto transferido en la superficie del estanque con agua residual en el punto 3 durante una hora, medidos en intervalos de 10 minutos, asimismo muestra la diferencia de la concentración de Saturación y el Coeficiente de Transferencia de Oxígeno a 30° C según el lugar donde se desarrolló el proyecto (Paíta) y 20° C, temperatura teórica de referencia.

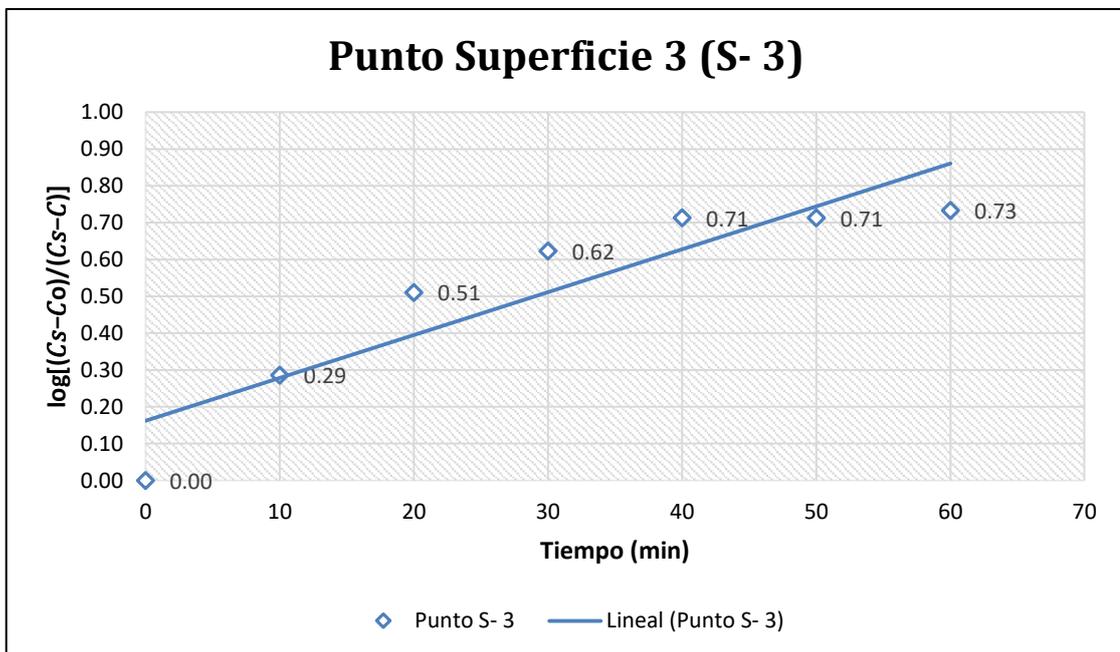


Gráfico 12. Variación de la concentración de oxígeno disuelto con el tiempo en el punto (S-3)- Agua Residual. Se realizó en las instalaciones ZED- Paíta, Piura a una temperatura de 30°C con una revolución del aireador de 146 rpm durante 60 minutos.

Tabla 24
Datos del nivel intermedio en el punto 1

Tiempo	OD (mg/L)	Cs-C (mg/L)	$K_L a$ a 30°C, h- 1	$K_L a$ a 20°C, h ⁻¹
0	0.12	7.72	-	-
10	3.18	4.66	1.6570	1.3072
20	4.45	3.39	1.7816	1.4055
30	4.82	3.02	1.4185	1.1190
40	5.3	2.54	1.3231	1.0437
50	5.77	2.07	1.3036	1.0284
60	5.8	2.04	1.1009	0.8685

En la tabla presentada indica el oxígeno disuelto transferido en el nivel intermedio del estanque con agua residual en el punto 1 durante una hora, medidos en intervalos de 10 minutos, asimismo muestra la diferencia de la concentración de Saturación y el Coeficiente de Transferencia de Oxígeno a 30° C según el lugar donde se desarrolló el proyecto (Paíta) y 20° C, temperatura teórica de referencia.

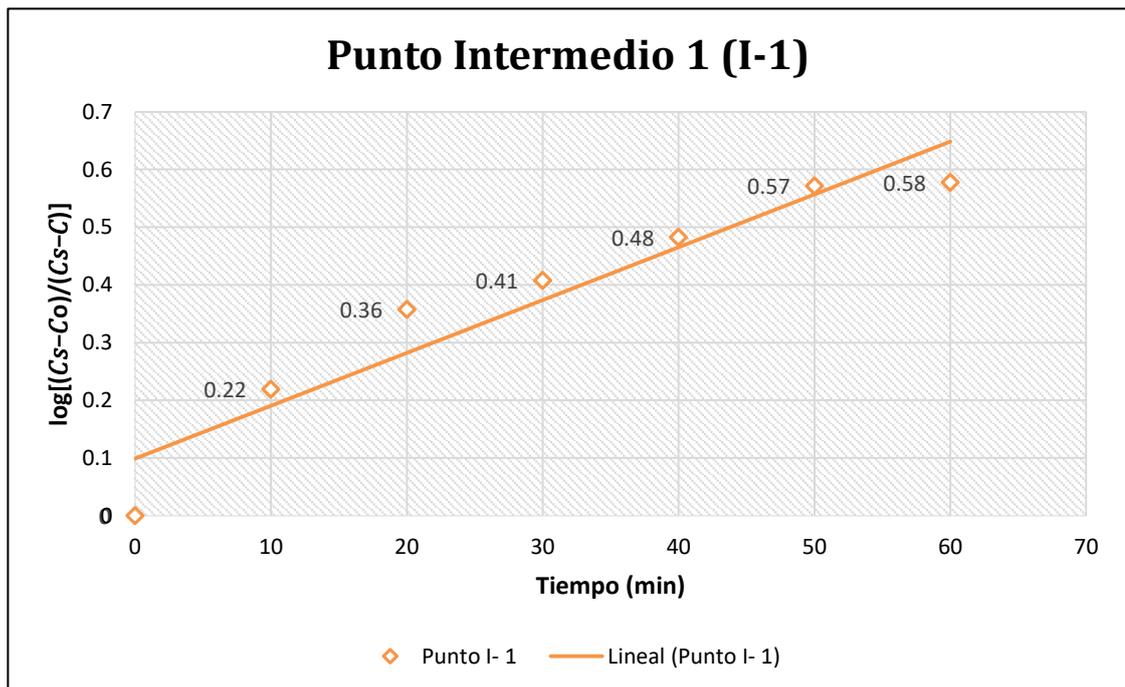


Gráfico 13. Variación de la concentración de oxígeno disuelto con el tiempo en el punto (I-1)- Agua Residual. Se realizó en las instalaciones ZED- Paíta, Piura a una temperatura de 30°C con una revolución del aireador de 146 rpm durante 60 minutos.

Tabla 25
Datos del nivel intermedio en el punto 2

Tiempo (min)	OD (mg/L)	Cs-C (mg/L)	$K_L a$ a 30°C, h ⁻¹	$K_L a$ a 20°C, h ⁻¹
0	0.09	7.75	-	-
10	3.73	4.11	2.1623	1.7057
20	4.82	3.02	2.0042	1.5810
30	5.2	2.64	1.6046	1.2658
40	5.57	2.27	1.4296	1.1277
50	5.87	1.97	1.3134	1.0361
60	6.3	1.54	1.3403	1.0573

En la tabla presentada indica el oxígeno disuelto transferido en el nivel intermedio del estanque con agua residual en el punto 2 durante una hora, medidos en intervalos de 10 minutos, asimismo muestra la diferencia de la concentración de Saturación y el Coeficiente de Transferencia de Oxígeno a 30° C según el lugar donde se desarrolló el proyecto (Paita) y 20° C, temperatura teórica de referencia.

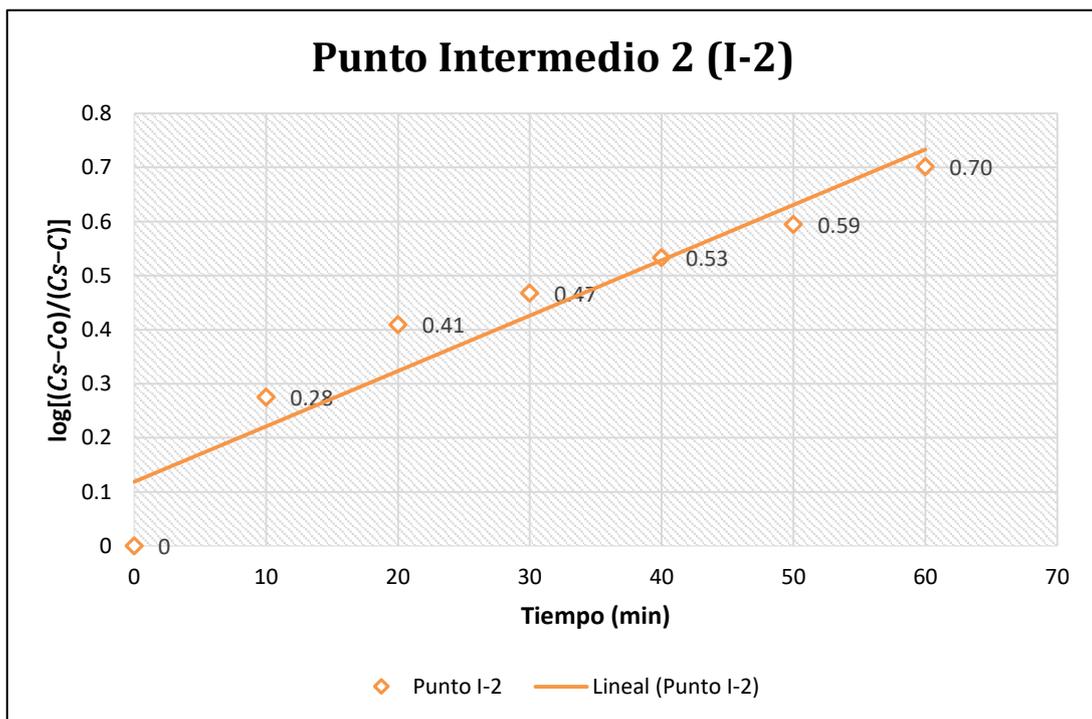


Gráfico 14. Variación de la concentración de oxígeno disuelto con el tiempo en el punto (I-2)- Agua Residual. Se realizó en las instalaciones ZED- Paita, Piura a una temperatura de 30°C con una revolución del aireador de 146 rpm durante 60 minutos.

Tabla 26
Datos del nivel intermedio en el punto 3

Tiempo (min)	OD (mg/L)	Cs-C (mg/L)	$K_L a$ a 30°C, h ⁻¹	$K_L a$ a 20°C, h ⁻¹
0	0.24	7.60	-	-
10	4.83	3.01	2.610	2.059
20	5.81	2.03	2.485	1.960
30	6.19	1.65	2.070	1.633
40	6.49	1.35	1.853	1.462
50	6.52	1.32	1.509	1.191
60	6.61	1.23	1.328	1.048

En la tabla presentada indica el oxígeno disuelto transferido en el nivel intermedio del estanque con agua residual en el punto 3 durante una hora, medidos en intervalos de 10 minutos, asimismo muestra la diferencia de la concentración de Saturación y el Coeficiente de Transferencia de Oxígeno a 30° C según el lugar donde se desarrolló el proyecto (Paita) y 20° C, temperatura teórica de referencia.

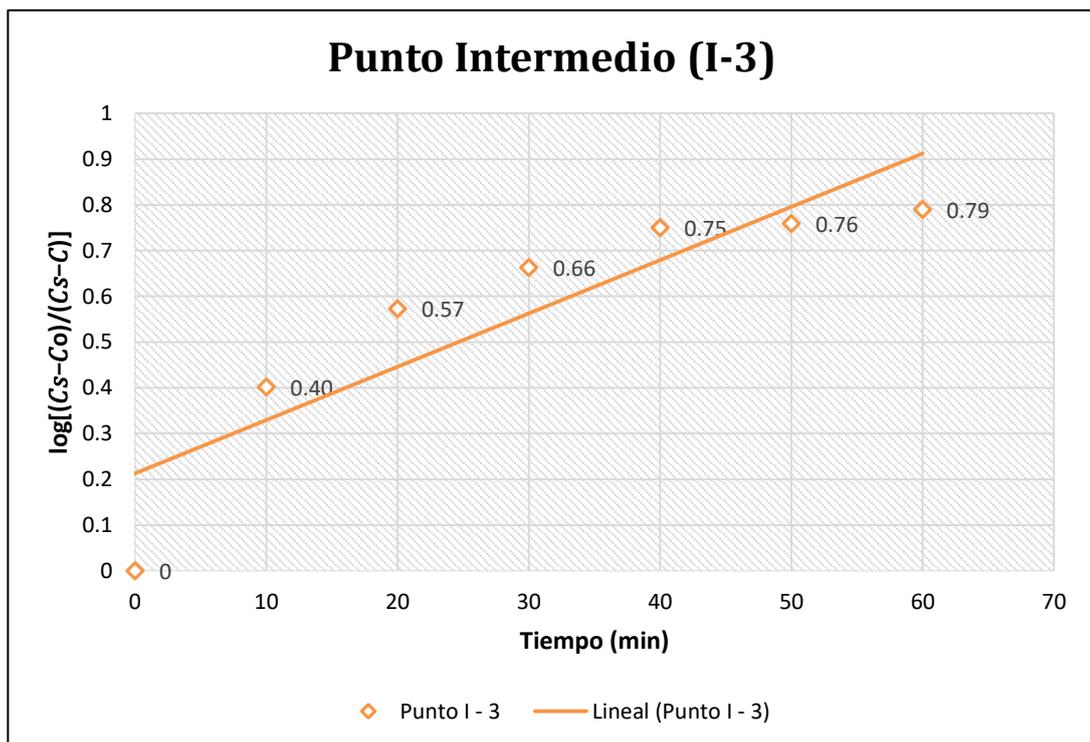


Gráfico 15. Variación de la concentración de oxígeno disuelto con el tiempo en el punto (I-3)- Agua Residual. Se realizó en las instalaciones ZED- Paita, Piura a una temperatura de 30°C con una revolución del aireador de 146 rpm durante 60 minutos.

Tabla 27
Datos del nivel fondo en el punto 1

Tiempo (min)	OD (mg/L)	Cs-C (mg/L)	$K_L a$ a 30°C, h ⁻¹	$K_L a$ a 20°C, h ⁻¹
0	0.11	7.73	0	0
10	3.41	4.43	2.3144	1.8258
20	4.48	3.36	1.9853	1.5662
30	4.82	3.02	1.5366	1.2122
40	5.25	2.59	1.3825	1.0906
50	5.43	2.41	1.1923	0.9405
60	6.6	1.24	1.6567	1.3069

En la tabla presentada indica el oxígeno disuelto transferido en el fondo del estanque con agua residual en el punto 1 durante una hora, medidos en intervalos de 10 minutos, asimismo muestra la diferencia de la concentración de Saturación y el Coeficiente de Transferencia de Oxígeno a 30° C según el lugar donde se desarrolló el proyecto (Paita) y 20° C, temperatura teórica de referencia.

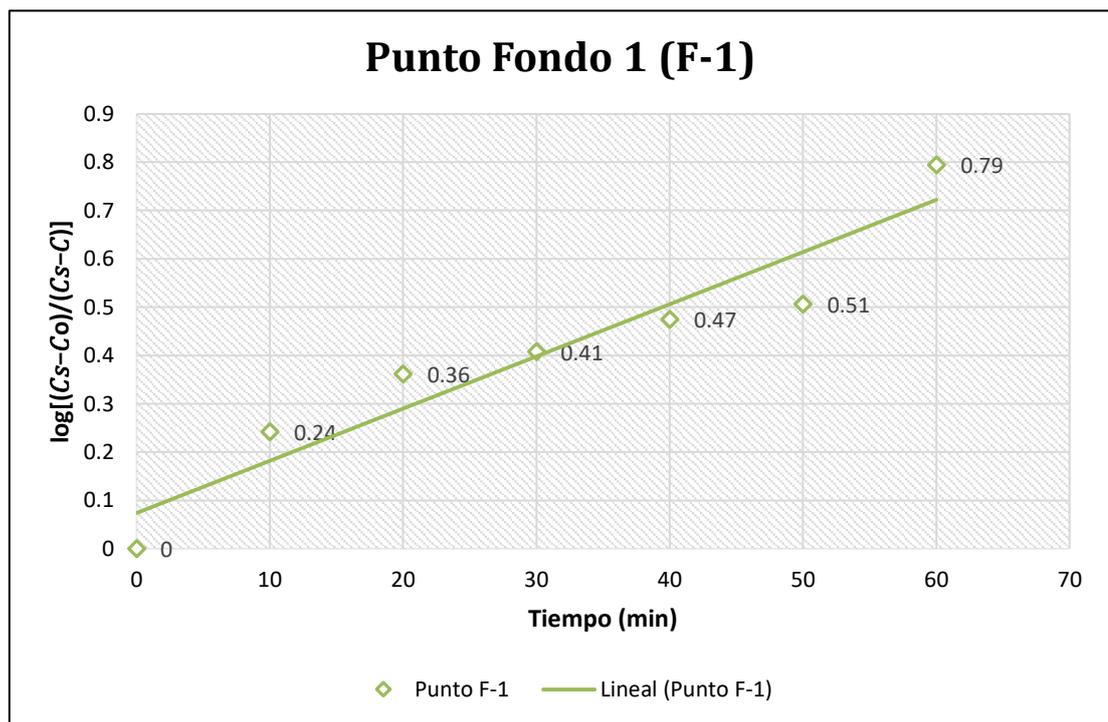


Gráfico 16. Variación de la concentración de oxígeno disuelto con el tiempo en el punto (F-1)- Agua Residual. Se realizó en las instalaciones ZED- Paita, Piura a una temperatura de 30°C con una revolución del aireador de 146 rpm durante 60 minutos.

Tabla 28
Datos del nivel fondo en el punto 2

Tiempo (min)	OD (mg/L)	Cs-C (mg/L)	$K_L a$ a 30°C, h ⁻¹	$K_L a$ a 20°C, h ⁻¹
0	0.09	7.75151	0	0
10	4.9	2.94151	0.879	0.694
20	5.31	2.53151	1.268	1.000
30	5.44	2.40151	1.058	0.835
40	5.51	2.33151	1.024	0.808
50	5.87	1.97151	0.905	0.714
60	6.61	1.23151	1.418	1.118

En la tabla presentada indica el oxígeno disuelto transferido en el fondo del estanque con agua residual en el punto 1 durante una hora, medidos en intervalos de 10 minutos, asimismo muestra la diferencia de la concentración de Saturación y el Coeficiente de Transferencia de Oxígeno a 30° C según el lugar donde se desarrolló el proyecto (Paíta) y 20° C, temperatura teórica de referencia.

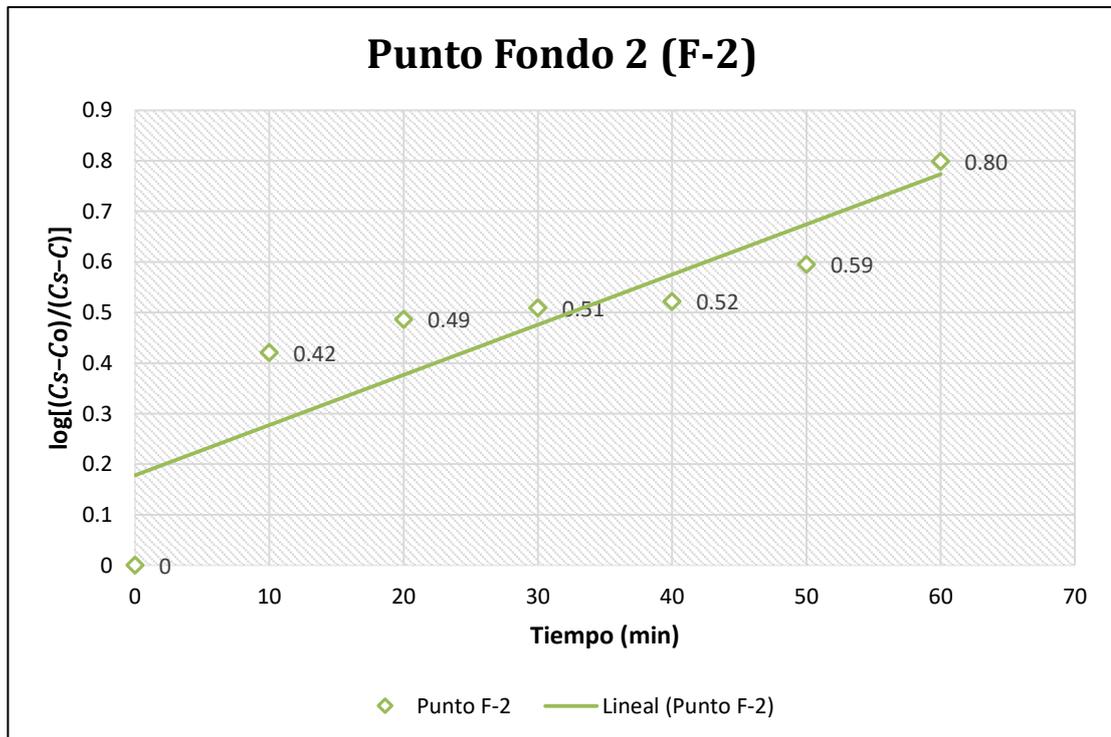


Gráfico 17. Variación de la concentración de oxígeno disuelto con el tiempo en el punto (F-2)- Agua Residual. Se realizó en las instalaciones ZED- Paíta, Piura a una temperatura de 30°C con una revolución del aireador de 146 rpm durante 60 minutos

Tabla 29
Datos del nivel fondo en el Punto 3

Tiempo (min)	OD (mg/L)	Cs-C (mg/L)	$K_L a$ a 30°C, h ⁻¹	$K_L a$ a 20°C, h ⁻¹
0	0.19	7.65	0	0
10	5.07	2.77	3.202	2.526
20	5.87	1.97	2.622	2.068
30	6.31	1.53	2.252	1.777
40	6.51	1.33	1.899	1.498
50	6.65	1.19	1.652	1.303
60	6.93	0.91	1.644	1.297

En la tabla presentada indica el oxígeno disuelto transferido en el fondo del estanque con agua residual en el punto 3 durante una hora, medidos en intervalos de 10 minutos, asimismo muestra la diferencia de la concentración de Saturación y el Coeficiente de Transferencia de Oxígeno a 30° C según el lugar donde se desarrolló el proyecto (Paíta) y 20° C, temperatura teórica de referencia.

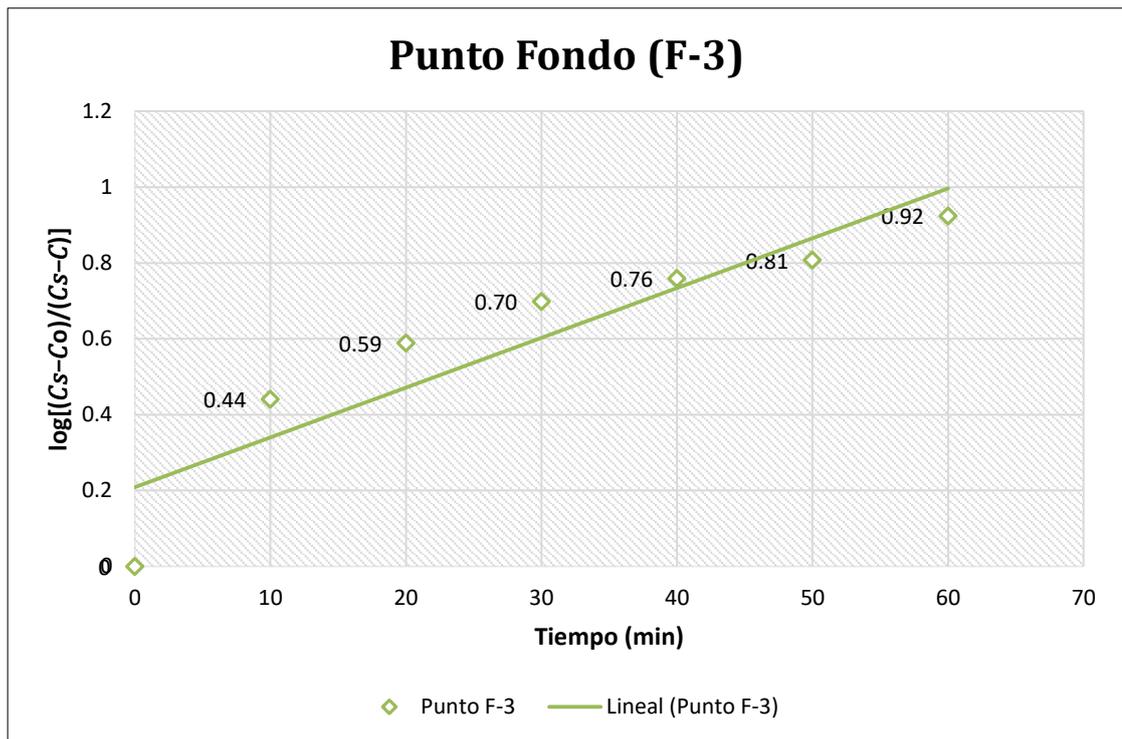
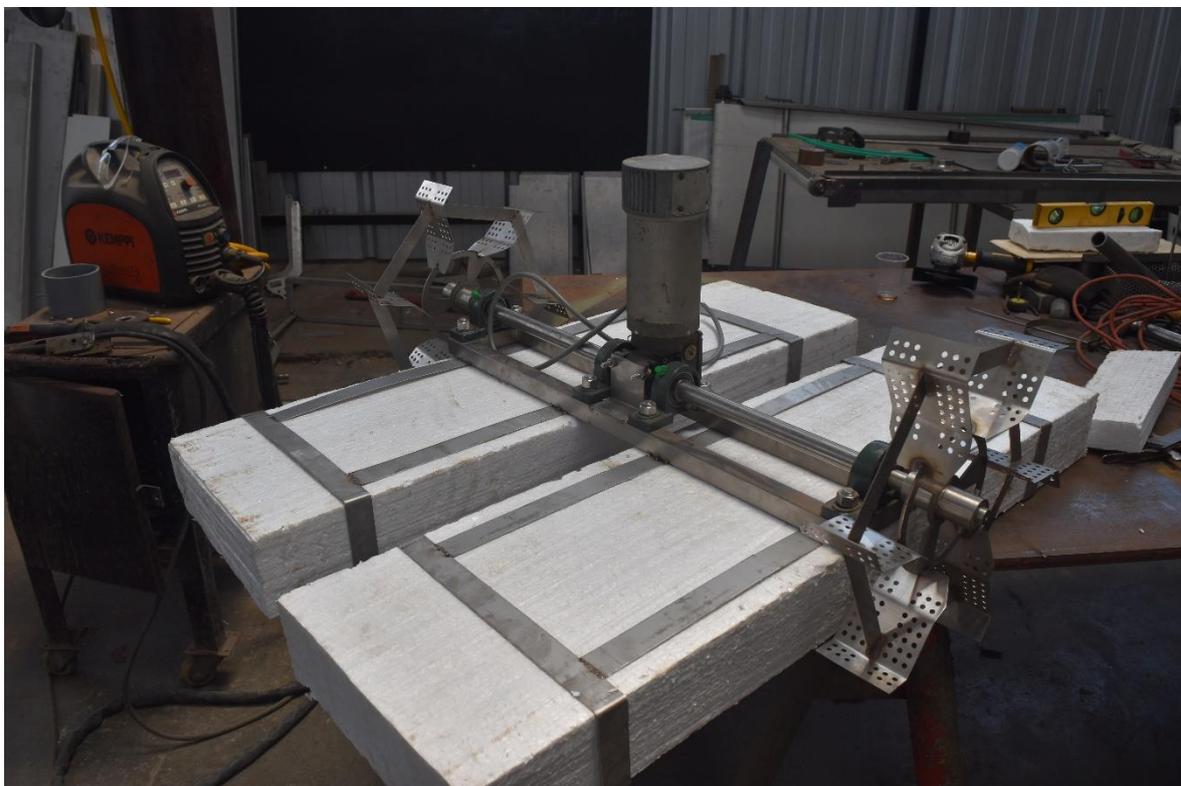


Gráfico 18. Variación de la concentración de oxígeno disuelto con el tiempo en el punto (F-3)- Agua Residual. Se realizó en las instalaciones ZED- Paíta, Piura a una temperatura de 30°C con una revolución del aireador de 146 rpm durante 60 minutos.

ANEXO n° 11. Reporte Fotográfico

Reporte fotográfico 01 - Sistema de aireación superficial con rotor de eje horizontal



Reporte fotográfico 02 – Construcción de estructura del sistema de aireación con rotor de eje horizontal por el personal de FENIX S.A.C



Reporte fotográfico 03- Armado y llenado del estanque para la verificación del funcionamiento del equipo en FENIX S.A.C



Reporte fotográfico 04. Validación del equipo de aireación en FENIX S.A.C



Reporte fotográfico 05- Colocación de los puntos y niveles para la medición del Oxígeno disuelto.



Reporte fotográfico 06- Recolección de la muestra de laguna aerobica en la Planta de Tratamiento de Agua Residual – ZED Paita



Reporte fotográfico 07- Ubicación del aireador en el estanque con el apoyo del personal de ZED Paita



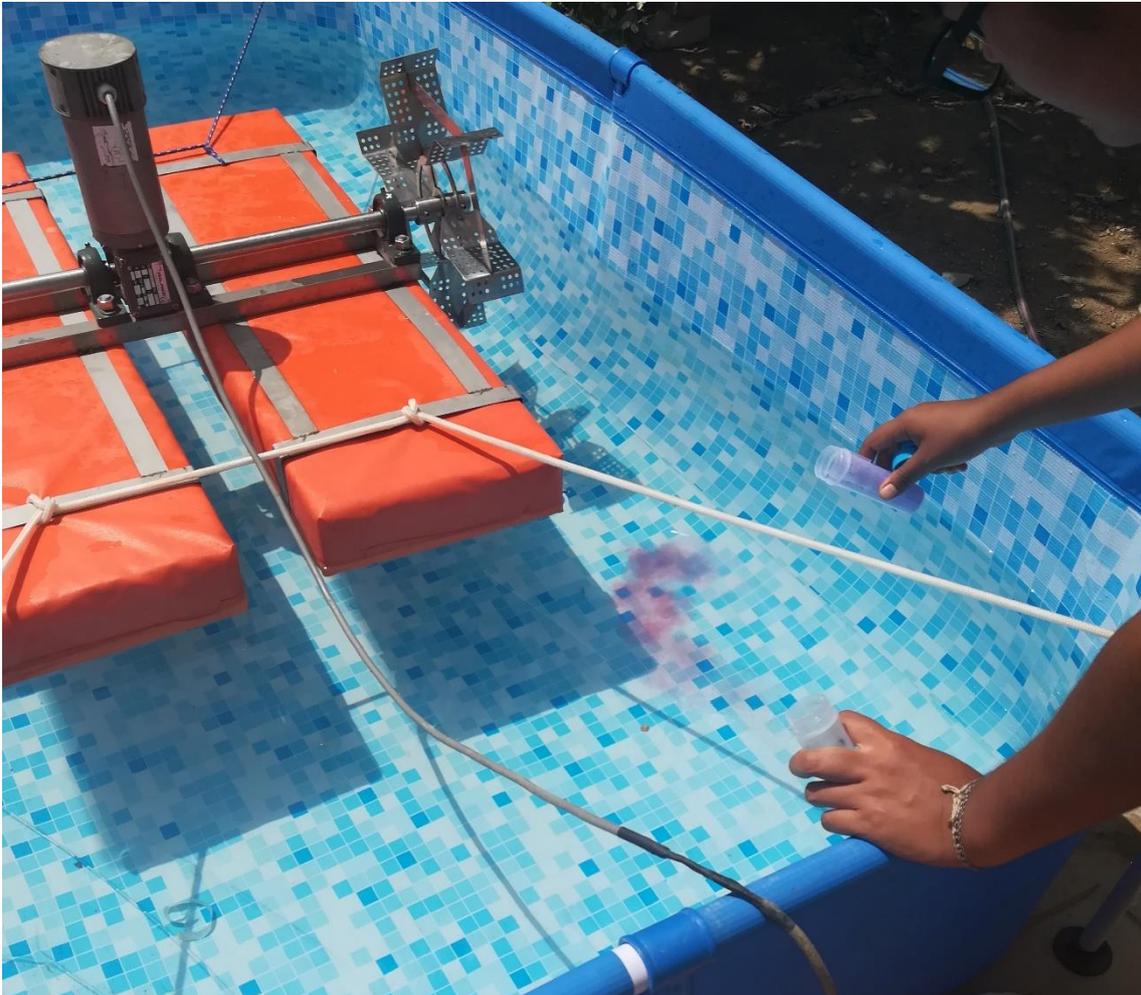
Reporte fotográfico 08- Medición del oxígeno disuelto de agua residual durante 10 minutos en los 03 puntos consecutivos en la Planta de Tratamiento de ZED – Paita.



Reporte fotográfico 09- Recolección de datos en cada nivel y punto en el estanque realizado en la Planta de Tratamiento de ZED – Paíta.



Reporte fotográfico 10- Desoxigenación del agua potable. Método de Sulfito



Reporte fotográfico 11- Funcionamiento del equipo de aireación y recolección de datos de agua potable.

