

3 Metodología.

En este capítulo se explicará paso a paso el procedimiento a seguir para realizar todas las operaciones necesarias para cumplir el objetivo de la tesis. Cabe mencionar que para el cálculo de las áreas se utilizaron resultados provenientes de dos diferentes concentraciones de hierro (Fe) y de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) más la radiación solar, la cual se midió y se obtuvo un promedio. Por esta razón es que se encuentran dos áreas de concentración por orden, una resultado de la concentración $Fe[5] H_2O_2 [140] + sol$ y la otra de la concentración de $Fe[10] H_2O_2 [280] + sol$. Consecuentemente también se calcularon dos diferentes áreas de concentración necesaria para un volumen específico.

Los resultados de la experimentación química fueron tomados del trabajo de González (2008). Los resultados obtenidos en este proyecto son basados en los presentados en dicho trabajo.

3.1 Área de Concentración por Orden (A_{CO}).

Para el cálculo del área de concentración por orden se utilizarán datos obtenidos a partir de muestras que contenían una población inicial de huevos de helminto de 6250 en un volumen de 0.06946L.

Se conocen las medidas del vial, ilustradas en la figura 6, que se utilizó para realizar las pruebas de laboratorio. Con estas medidas se puede obtener el área de concentración y el volumen de agua tratada en los experimentos.

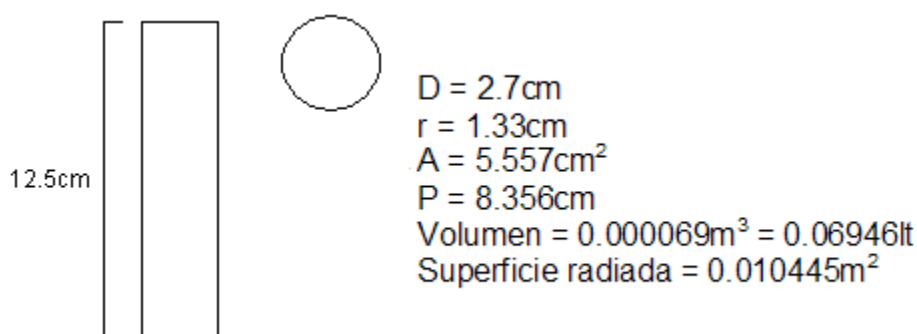


Figura 5. Medidas de un vial (Elaboración propia).

Los demás datos se tomarán de los resultados que se muestran en las tablas 5 y 6 (González, 2008):

Tabla 5. Resultados obtenidos en laboratorio para $Fe[5] H_2O_2 [140] + sol.$

			3 repeticiones
Tratamiento			$Fe[5] H_2O_2 [140] + sol$
Radiación (w/m^2)	Temperatura ($^{\circ}C$)	Tiempo (min)	viabilidad 100 %
		0	82.14
	34	30	58.84
770.65	35	60	30.07
750.65	36	90	12.53
842	37.5	120	3.11

(González, 2008)

Tabla 6. Resultados obtenidos en laboratorio para $Fe [10] H_2O_2 [280] +sol.$

Tratamiento			$Fe [10] H_2O_2 [280] +sol$
Radiación (w/m^2)	Temperatura ($^{\circ}C$)	Tiempo (min)	Viabilidad al 100%
		0	82.14
1002.7	36	30	4.92
666.9	37	60	10.89
982.6	37	90	2.54
971.2	36	120	0

(González, 2008)

Para la realización de las operaciones necesarias se utilizarán los datos con los que se consiguió la mayor eficiencia, es decir, aquellos donde la viabilidad es menor. Otro punto importante es que para poder sustituir la radiación en la fórmula de A_{CO} es necesario multiplicarla por 0.35, lo que quiere decir que en la fórmula se sustituirá el 35% de la radiación que se midió en el laboratorio. Esto se debe a que el Foto-Fenton puede aprovechar ondas de 200 a $550\mu m$ lo que representa un 35% del espectro de luz total (Chacón et al, 2006).

Debido a que en los parámetros de escalamiento se usará energía solar y los procesos se realizarán por lote se utilizará la ecuación 1-20. Los datos a sustituir en la fórmula de A_{CO} para la primera concentración se muestran en la tabla 7 mientras que los de la segunda concentración se muestran en la tabla 8.

Tabla 7. Datos del A_{CO} para $Fe[5] H_2O_2 [140] + sol.$

DATOS	
Área de concentración	0.010445 m ²
Promedio de radiación solar	294.7 W/m ²
Volumen de agua tratada	0.000069 m ³
Tiempo transcurrido	2 H
Concentración inicial	6250 mg/L o M
Concentración final	194.375 mg/L o M

(Elaboración propia)

Tabla 8. Datos del A_{CO} para $Fe[10] H_2O_2 [280] + sol.$

DATOS	
Área de concentración	0.010445 m ²
Promedio de radiación solar	339.92 W/m ²
Volumen de agua tratada	0.000069 m ³
Tiempo transcurrido	2 H
Concentración inicial	6250 mg/L o M
Concentración final	1 mg/L o M

(Elaboración propia)

3.2 Área de concentración necesaria para un volumen específico.

Una vez que se tienen las áreas de concentración por orden (A_{CO}) correspondientes a cada una de las concentraciones, se realiza el cálculo para obtener el área de concentración solar necesaria para tratar el volumen deseado.

Para realizar los próximos cálculos es necesario saber qué volumen de agua se desea tratar, para facilitar las operaciones en este trabajo de tesis se calculará para 1m³.

Otro aspecto que se debe de considerar es que para el promedio de radiación solar que se usará para estos cálculos, se propone tomar el promedio de radiación que hay en el centro de México el cual es 1100 W/m². Este valor se multiplicará por 0.35 ya que como se había mencionado anteriormente en la fórmula de A_{CO} se sustituye el 35% de la radiación que estará presente. (Chacón et al, 2006).

Para que el parámetro de escalamiento sea correcto es necesario mantener el A_{CO} encontrado en las operaciones anteriores como una constante, sustituir las demás variables teniendo en cuenta los aspectos mencionados, y despejar de la fórmula de A_{CO} el área de concentración solar, que es lo que se necesita encontrar. Por lo tanto la nueva fórmula a utilizar es la siguiente:

$$A = \frac{A_{CO} \left(V \log\left(\frac{c_i}{c_f} \right) \right)}{\bar{E}_s t} \quad (3-1)$$

Los datos a sustituir en la fórmula de A_{CO} para la primera concentración se muestran en la tabla 9 mientras que los de la segunda concentración se muestran en la tabla 10.

Tabla 9. Datos para el área de concentración necesaria para 1m³ con Fe[5] H₂O₂ [140] + sol.

Datos	
Volumen de agua tratada	1 m ³
Promedio de radiación solar	385 W/m ²
Área de concentración por orden	59195.29 m ² /m ³ -orden
Tiempo transcurrido	9 hr
Concentración inicial	6250 mg/L o M
Concentración final	194.375 mg/L o M

(Elaboración propia)

Tabla 10. Datos para el área de concentración necesaria para 1m^3 con $\text{Fe}[10] \text{H}_2\text{O}_2 [280] + \text{sol}$.

Datos	
Volumen de agua tratada	1 m^3
Promedio de radiación solar	385 W/m^2
Área de concentración por orden	$27111.50 \text{ m}^2/\text{m}^3\text{-order}$
Tiempo transcurrido	9 H
Concentración inicial	6250 mg/L o M
Concentración final	1 mg/L o M

(Elaboración propia)

3.3 Concentradores necesarios para un volumen específico.

Casi todas las medidas de los concentradores pueden ser del valor que el diseñador desee, sin embargo existen algunas restricciones. La más importante restricción es que el diámetro del concentrador no sea mayor a una pulgada, esto se debe a que de esta manera se esta irradiando correctamente y es posible asegurar un óptimo funcionamiento de la planta ya que si el diámetro es mayor puede ser que parte del flujo no se irradie.

Para el diseño de los concentradores se usaron las medidas mostradas en la figura 6.

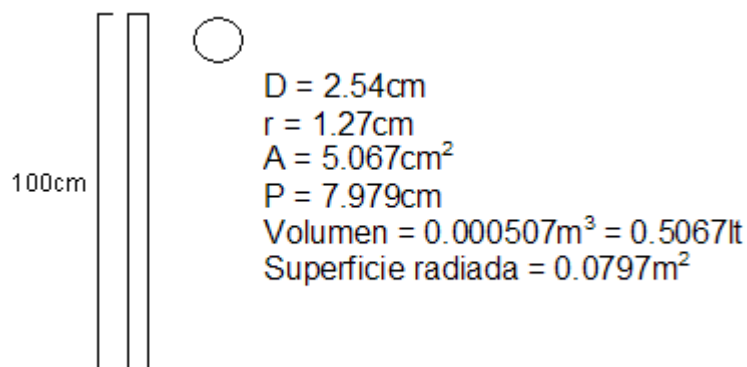


Figura 6. Medidas de un concentrador. (Elaboración propia).

Al conocer que el área de irradiación en un concentrador es de 0.079796m^2 y conociendo las áreas resultantes por cada una de las concentraciones usadas,

la manera más práctica de saber cuántos concentradores son necesarios es haciendo una regla de tres, con lo que se obtiene la siguiente fórmula:

$$\#Concentradores = \frac{A.de.concentracion \cdot 1}{A.concentradores} \quad (3-2)$$

3.4 Diseño de la trayectoria del sistema hidráulico de la planta piloto.

Como se mencionó anteriormente, la ordenanza de la planta será por lotes y se decidió hacer cada lote de 25 concentradores, los cuales serán capaces de almacenar 12.5 litros de agua. También se debe de considerar la manera en que se conectarán los lotes entre sí. Existen varias formas en las que se puede acomodar los lotes de concentradores y para decidir cuál es la mejor configuración para el diseño de la planta se analizarán los modelos ilustrados en las figuras 7 a 10.

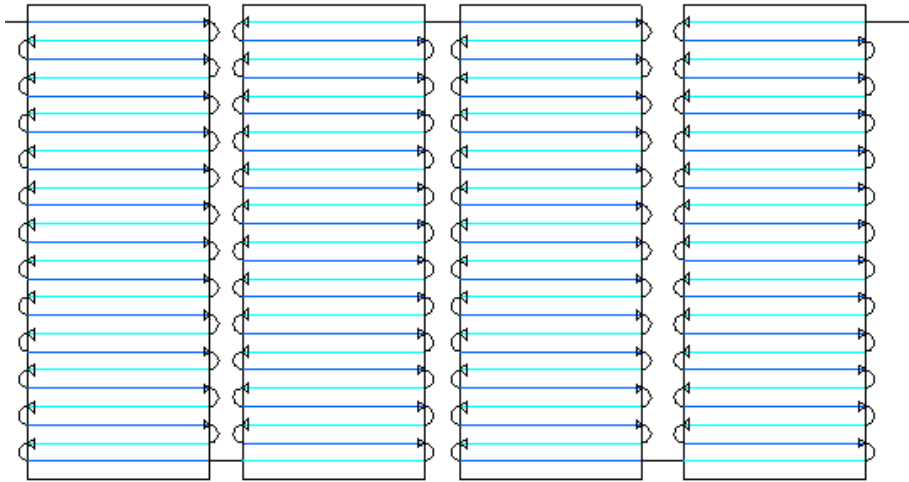


Figura 7. Lotes individuales conectados en serie (Elaboración propia).

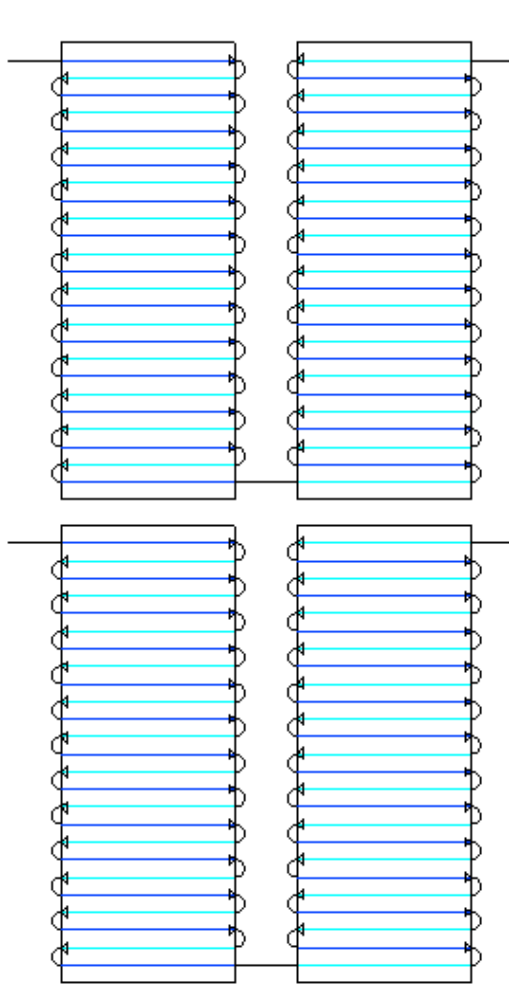


Figura 8. Lotes individuales conectados en paralelo (Elaboración propia)



Figura 9. Lotes unidos conectados en serie (Elaboración propia).

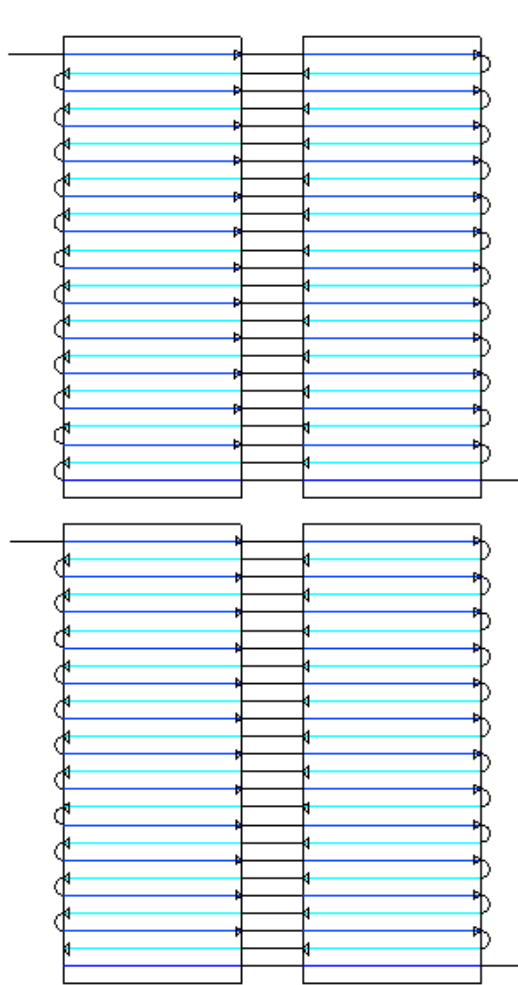


Figura 10. Lotes unidos conectados en paralelo (Elaboración propia).

3.5 Materiales.

Para la construcción de los diferentes elementos que necesita la planta piloto es necesario utilizar materiales que ayuden a optimizar el funcionamiento de ésta. A continuación se describen los materiales que se deben usar y sus características.

Vidrio Borosilicatado.

Los concentradores de radiación solar se deberán de hacer de vidrio borosilicatado ya que esto asegura una mayor duración y más transparencia a la radiación UV solar. El vidrio borosilicatado es un tipo particular de vidrio, más conocido con los nombres comerciales de Pyrex, Kimax o Endural. Además del silicio, el carbonato de sodio y el carbonato de calcio usado tradicionalmente en la fabricación de vidrio, el boro es usado en la manufactura de este vidrio. Normalmente su composición es: 70% sílice, 10% óxido bórico, 8% óxido de

sodio, 8% óxido de potasio, y 1% óxido de calcio. Aunque es más difícil de hacer que el vidrio tradicional, es económico producirlo por su durabilidad, su resistencia calórica y química.

Las características físicas del vidrio borosilicatado son que tiene un coeficiente de dilatación de aproximadamente un tercio del vidrio común. Aunque esto lo hace más resistente que otros vidrios al choque térmico, también puede agrietarse o fracturarse al someterse a variaciones rápidas de temperatura. El vidrio borosilicatado comienza a reblandecerse cerca de los 821 °C; a esta temperatura la viscosidad del vidrio Pyrex 7740 (un tipo de vidrio borosilicatado) es de $10^{7.6}$ poise. El vidrio borosilicatado tiene una densidad de 2.23 g/cm³ inferior a la del vidrio común (2.57 g/cm³). Desde el punto de vista óptico, los vidrios borosilicatados son vidrios crown con baja dispersión (número de Abbe alrededor de 65), e índices de refracción relativamente bajos (1.51–1.54 en el rango visible) (Wikipedia, 2008, 1).

Aluminio anodizado.

La base donde estarán soportados los concentradores estará hecha de aluminio anodizado el cual es un excelente reflejante y ayudará a mejorar el funcionamiento de la planta.

El aluminio anodizado es aquel aluminio que, luego de cierto tratamiento electrolítico, es recubierto con una capa que le brinda una mayor protección ante las amenazas del medio ambiente. El término anodizado, para este tipo de tratamiento protector, proviene de la palabra ánodo. Un ánodo es aquel polo positivo de un electrolito.

Dentro de las ventajas del anodizado podemos encontrar su alta resistencia al roce y al contacto con limpiadores abrasivos, permitiendo que las piezas tratadas sean muchísimo más resistentes. Por otra parte, gracias a que la capa de óxido se encuentra integrada al aluminio, ésta no sufre raspones ni peladuras, además no se ve afectado por la exposición a la luz solar (Construmatica, 2008, 1).

O-Rings.

Las conexiones deberán de llevar anillos de plástico, como los que muestra la Figura 13, dentro de los tubos de PVC para asegurar que no haya fugas y la manera de colocarlos es haciendo dos canales en cada extremo de los tubos usando un torno manual.

Policloruro de vinilo (PVC).

Las conexiones se hacen con tubos de PVC, esto se decidió debido a que es un material que se adecua a las necesidades debido a sus características generales: resistente al ataque de corrosión interna y externa; no permite incrustaciones, resistente a los efectos de la abrasión, resistente al ataque electrolítico, resistente a la acción de algas, microorganismos y bacterias, larga vida de servicio y no son atacadas por los roedores (Durman, 2008).

3.6 Pérdidas en el sistema hidráulico.

Una vez que se ha calculado el número de concentradores necesarios para satisfacer cada una de las áreas de concentración para un volumen determinado, obtenidas de las dos diferentes concentraciones, se debe realizar el cálculo hidráulico y consecuentemente encontrar la potencia de la bomba necesaria para cada arreglo de lotes.

Primero para fines prácticos se acordó utilizar un gasto de $Q=1\text{L/s}$ y a partir de éste calcular la velocidad de flujo. De la fórmula 3-3 para gasto en tuberías se despeja V para obtener dicha velocidad de flujo.

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \times V \quad (3-3)$$

Donde:

Q = gasto (m^3/s).

D = diámetro (m).

V = velocidad (m/s).

Después se calculará el término h_L , el cual representa las pérdidas existentes en el sistema hidráulico y consta de dos términos más, las pérdidas por fricción (h_f) y las pérdidas menores (h_k).

Para calcular las pérdidas por fricción y menores es necesario el coeficiente de fricción el cuál se calcula con el número de Reynolds y la rugosidad relativa. Para el cálculo del número de Reynolds se usarán los valores de densidad (ρ) y viscosidad absoluta (μ) del agua a 20°C y junto con la velocidad y el diámetro de la tubería se sustituyen en la ecuación 1-27. Para el cálculo de la rugosidad relativa se necesita conocer la rugosidad de la tubería y sustituir los valores en la ecuación 1-28. Ya que se cuenta con los valores del número de Reynolds y la Rugosidad relativa usando el diagrama de Moody se obtiene el coeficiente de fricción f .

Una vez que se conoce el valor de f se calculan las pérdidas de fricción con la ecuación 1-25 y las pérdidas menores con la ecuación 1-26. Después se sustituyen los resultados encontrados en las ecuaciones de pérdidas por fricción y pérdidas menores para sumarlas en la ecuación 1-24 y así encontrar las pérdidas en la tubería.

3.7 Potencia de la bomba.

Partiendo de la fórmula general se calculará la potencia de la bomba agregando la carga de la bomba (H_b) a la ecuación 1-23 de la siguiente manera:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + H_b = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_L \quad (3-4)$$

Donde:

P_1 = presión en el punto 1 (Pa).

P_2 = presión en el punto 2 (Pa).

V_1 = velocidad en el punto1 (m/s).

V_2 = velocidad en el punto 2 (m/s).

z_1 = altura en el punto 1 (m).

z_2 = altura en el punto 2 (m).

γ = peso específico (N/m³).

h_L = perdidas por fricción y menores.

g = aceleración de la gravedad, 9.81 (m/s²). H_b = Altura generada por la bomba (m).

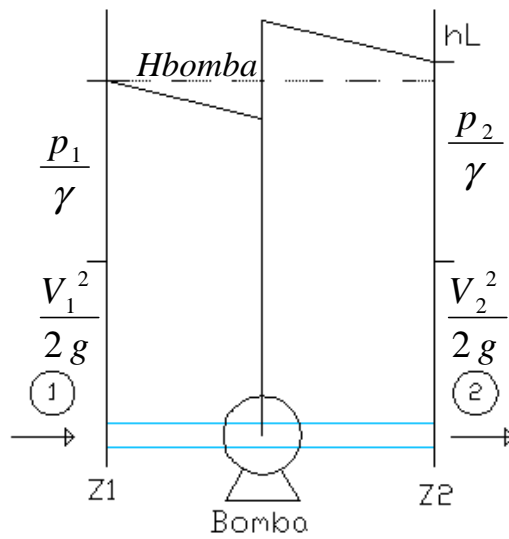


Figura 11. Componentes de la ecuación de Bernoulli en una tubería con bomba (Elaboración propia)

Para el cálculo de H_b se utilizará la siguiente fórmula:

$$P = \eta \cdot \gamma \cdot Q \cdot H_b \quad (3-5)$$

Donde:

P = potencia de la bomba (w).

η = eficiencia de la bomba (%).

γ = peso específico (N/m^3).

Q = gasto (L/s).

H_b = altura provocada por la bomba (m).

Despejando H_b de la ecuación anterior se sustituye el término en la ecuación de Bernoulli con una bomba (3-4) y una vez que se tiene la ecuación 3-4 sin el término H_b , se despeja P y se realizan las operaciones necesarias para obtener la potencia de la bomba ya que todas las demás variables son conocidas.

3.8 Costos.

Todos los costos están en pesos Mexicanos de 2008.

Concentrador de 1m de largo con un diámetro de 1in	\$	75.00
Solera de 3.66m X 3in X 1/8in natural	\$	175.00
Tubo de PVC hidráulico de 1m de largo con un diámetro de 1in	\$	12.00
Cople de PVC con un diámetro de 1in	\$	4.50
Codo de 90° de PVC	\$	5.50
O-Ring (empaques)	\$	1.00