

IV. Diseño de lagunas.

4.1.- Modelos de diseño .

Existe una gran cantidad de modelos y criterios de diseño, todos ellos confiables, siempre y cuando se respeten los parámetros de diseño.

Algunos modelos presentan marcadas diferencias, inclusive llegando a presentar resultados contrarios, esto es por las condiciones supuestas en el modelo.

A pesar de que existe abundante literatura sobre datos experimentales logrados en lagunas de estabilización pilotos y puestas en operación con el fin de hacer ajustes a las constantes involucradas en el diseño, no se ha llegado a un modelo preciso que simule los procesos que se presentan en la remoción de materia orgánica y coliformes, esto es, principalmente por la variabilidad en las condiciones de operación, sin embargo, los modelos han llegado a ser lo suficientemente precisos para tomarse como validos los resultados obtenidos.

A continuación se presentan los modelos comúnmente utilizados y recomendados por las dependencias que tienen a su cargo el diseño de los sistemas de tratamiento en el estado y el país.

MODELO DE HERMANN-GLOYNA .-

Hermann y Gloyna presentaron el primer modelo que describe el comportamiento de las lagunas facultativas en base a la teoría cinética. Supone mezcla completa.

Tiempo de retención en días	$1.085 = \text{factor de Arrhenius}$
$R = 7.0 * 1.085^{35-T}$	$T = \text{Temperatura ambiente para el mes mas frio}$
Volumen de la laguna en m^3	$Q_a = \text{Caudal del influente } m^3$
$V = 0.035 * Q_a * S_a * 1.085^{35-T}$	$S_a = \text{DBO en el influente } gr/m^3$
Carga superficial Kg/ha/día	$A = \text{Area en hectáreas}$
$C_s = (Q_a * S_a) * 0.001 / A$	$0.001 \text{ conversión de gr a kg}$

Con este modelo es posible esperar una eficiencia de remoción de materia orgánica medida como DBO del 60 al 90 %.

MODELO DE MARAIS-SHAW .-

Marais y Shaw propusieron un modelo cinético en el cual cada laguna es considerada individualmente, aun cuando sea parte de un sistema de lagunas y cada laguna es un reactor

de mezcla completa y flujo continuo. Este modelo se ha utilizado en la mayoría de los diseños de sistemas lagunares del estado.

Remoción de DBO

$$S = S_a / (1 + K_T R)$$

$$S_a = \text{DBO en el influente gr/m}^3$$

$$K_T = 1.2 * 1.085^{T-35}$$

$$S = \text{DBO en el efluente gr/m}^3$$

Remoción de coliformes

$$R = \text{Tiempo de retención en días}$$

$$N = N_o / (1 + K_b R)$$

$$K_T = \text{Constante de degradación de DBO en 1/día}$$

$$K_b = 2.6 * 1.19^{T-20}$$

$$T = \text{Temperatura ambiente del mes mas frio en } ^\circ\text{C}$$

$$K_b = \text{Constante de degradación bacterial en 1/día}$$

$$N_o = \text{Concentración de coliformes en el influente en NMP/100ml}$$

$$N = \text{Concentración de coliformes en el efluente en NMP/100ml}$$

Para lagunas en serie :

$$S_1 = S_o / (1 + K_T R_1)$$

$$N_1 = N_o / (1 + K_b R_1)$$

$$S_2 = S_1 / (1 + K_T R_2) \dots \quad N_2 = N_1 / (1 + K_b R_2) \dots$$

El tiempo de retención total es la suma de los tiempos parciales.

Se recomienda para este modelo un período de retención mínimo de siete días.

MODELO BASADO EN CARGAS ORGANICAS .-

Este modelo se apoya en distintos criterios y recurre a valores experimentales, teniendo como base para el diseño la carga volumétrica y superficial.

Remoción de DBO :

Si no se cuenta con análisis de laboratorio se toma un valor de 260 gr/m³.

Para lagunas anaerobias :

El diseño se realiza en base a la carga volumétrica, que está dada por :

$$C_v = (L_i Q_{med}) / V_a$$

$$C_v = \text{gr/m}^3/\text{día}$$

$$L_i = \text{DBO del influente gr/m}^3$$

$$V_a = \text{Volumen de la laguna anaerobia m}^3$$

$$Q_{med} = \text{Gasto en m}^3/\text{día}$$

Tabla 4.1 Cargas volumétricas de diseño y porcentaje de remoción de DBO a diferentes temperaturas.

Temperatura (°C)	Carga volumétrica (g/m ³ /día)	Remoción DBO (%)
menor 10	100	40
10-20	20T-100	2T+20
mayor 20	300	60

De acuerdo a estos valores se obtiene el volumen(ref. 10)

$$V_a = (L_i Q_{med}) / C_v$$

tiempo de residencia, en días

$$R = V_a / Q_{med}$$

área de la laguna, en m² (Se propone el valor del tirante Z)

$$A_a = V_a / Z$$

dimensiones, en mts

$$W = (A/X)^{0.5} \quad X = L/W \text{ Relación largo ancho, para flujo disperso se toma el valor de 3.}$$

Para lagunas facultativas :

El diseño se realiza en base a la carga orgánica superficial que esta dada por:

$$C_s = (10L_i Q_{med}) / A_f$$

$$L_i = \text{DBO del influente en gr/m}^3$$

se propone un valor

$$Q_{med} = \text{Gasto en m}^3/\text{día}$$

para C_s, tomando el

$$A_f = \text{Area en m}^2$$

rango para lagunas

$$T = \text{Temperatura ambiente del mes más frio en } ^\circ\text{C}$$

facultativas

$$C_s = \text{Carga superficial}$$

70 a 357 Kg DBO/ha/día

$$C_{sr} = \text{Carga superficial removida}$$

El área entonces está dada por:

$$A_f = (10L_i Q_{med}) / C_s$$

tiempo de retención :

$$R = A_f Z / Q_{med}$$

La carga orgánica removida se calcula con la siguiente ecuación :

$$C_{sr} = 0.765C_s - 0.8$$

La DBO en el efluente esta dada por :

$$DBO_e = A_f(C_s - C_{sr}) / 10Q_{med}$$

Las dimensiones se calculan igual que en la anaerobia

Para lagunas de maduración:

La remoción de DBO en las lagunas de maduración es muy baja, por lo que no se hace el cálculo y se asume una remoción del 25%.

Se recomienda construir la laguna de maduración que sigue a la facultativa de igual tamaño, y las siguientes según el requerimiento.

Se propone el tiempo de retención, y con el gasto se obtiene el volumen, con lo cual se calcula el área ya que se toma el tirante de la laguna anterior (facultativa).

$$A_m = RQ_{med}/Z$$

Remoción de coliformes

Se asume un valor de $N_i = 1 \cdot 10^8$ NMP/100ml.

Para lagunas anaerobias :

En el caso de lagunas anaerobias se supone para efectos de diseño que no hay remoción de coliformes.

Para lagunas facultativas :

Se calcula el número de dispersión hidráulica :

$$d = X/(-0.26118 + 0.25392X + 1.0136X^2) \quad X \text{ relación largo ancho}$$

Se obtiene la constante de degradación bacteriana :

$$K_b = 0.841 \cdot 1.07^{T-20} \quad T = \text{Temperatura ambiente del mes mas frio en } ^\circ\text{C}$$

Se calcula el termino a :

$$a = (1 + 4K_b R d)^{0.5}$$

Se sustituye el valor de a y d en la siguiente ecuación y se obtiene la cantidad de coliformes fecales en el efluente

$$N_e/N_i = 4ae^{1-a/2d}/(1+a)^2$$

Para lagunas de maduración :

La remoción de coliformes es la principal función de este tipo de lagunas.

El cálculo es el mismo que el utilizado en las lagunas facultativas.

Remoción de huevos de helminto :

Se puede tomar como valor inicial el de 1000 huevos por litro, el cual es conservador.

Los huevos de helminto son removidos mediante sedimentación por lo que la mayor remoción ocurre en la laguna anaerobia y facultativa, pero si el efluente lo requiere puede incluirse en

el cálculo a las lagunas de maduración para obtener no más de 1 huevo por litro.,

$$n = 100(1-0.41^{(0.49R+0.0085R^2)})$$

No se recomienda esta fórmula cuando el influente tenga un alto contenido de sodio.

4.2.- Memoria de cálculo

EJEMPLO :

Diseño de la laguna de Yecora :

El diseño original es en base a una laguna facultativa, con un área de 10,000 M², tirante de 1.0 M, tiempo de retención de 26 días y eficiencias en remoción de DBO y coliformes del 79 y 89% respectivamente, para un gasto de 382.75 M³/día, una temperatura media del mes más frío de 5 °C, una concentración de DBO de 260 gr/M³ y de coliformes de 1*10⁸ NMP/100ml.

Los datos de diseño utilizados en los cálculos se tomaron de las Tablas 3.2 y 3.3

A) Con restricción de área

$$Q_m = 382.75 \text{ M}^3/\text{día}$$

$$T = 5 \text{ °C}$$

$$L_i = 260 \text{ gr/M}^3$$

$$N_i = 1*10^8 \text{ NMP/100ml}$$

$$\text{Area disponible} = 10,000 \text{ M}^2 \text{ (área de la laguna existente)}$$

Por el método de mezcla completa (Marais-Shaw) :

Se propone un arreglo de tres lagunas facultativas en serie, con $R_1 = R_2 = R_3 = 8.7$ días y $Z = 1.0$ M.(se toma un tiempo de retención parcial de 8.71, para tener uno total de 26 igual al tiempo de retención del diseño original)

$$V_1 = Q_m * R_1 = (382.75 \text{ M}^3/\text{día}) * (8.71 \text{ días}) = 3333.3 \text{ M}_3 \quad A = 3333.3 \text{ M}^2 \quad W = 57.73 \text{ M}$$

El valor de W se obtiene con la fórmula $W = (A/X)^{1/2}$, con un valor de $X = 1$, correspondiente al modelo de mezcla completa ($X = \text{relación largo-ancho}$).

$$V_1 = 3333.33 \text{ M}^3 \quad A_1 = 3333.3 \text{ M}_2 \quad R_1 = 8.71 \text{ d} \quad W = 57.73 \text{ M}$$

$$V_2 = 3333.33 \text{ M}^3 \quad A_2 = 3333.3 \text{ M}_2 \quad R_2 = 8.71 \text{ d} \quad W = 57.73 \text{ M}$$

$$V_3 = 3333.33 \text{ M}^3 \quad A_3 = 3333.3 \text{ M}_2 \quad R_3 = 8.71 \text{ d} \quad W = 57.73 \text{ M}$$

$$K_T = 1.2 * 1.085^{T-35} = 1.2 * 1.085^{5-35} = 0.104$$

$$K_b = 0.841 * 1.07^{T-20} = 0.841 * 1.07^{5-20} = 0.305$$

$$L_e = L_i / (1 + K_T R) \quad N_e = N_i / (1 + K_b R)$$

$$L_{e1} = 260 / (1 + 0.104 * 8.71) = 136.42 \quad N_{e1} = 1 * 10^8 / (1 + 0.305 * 8.71) = 27348183$$

$$L_{e2} = 136.42 / (1 + 0.104 * 8.71) = 71.6 \quad N_{e2} = 2.7 * 10^7 / (1 + 0.305 * 8.71) = 7479231$$

$$L_{e3} = 71.6 / (1 + 0.104 * 8.71) = 37.56 \quad N_{e3} = 7.5 * 10^6 / (1 + 0.305 * 8.71) = 2045434$$

$$E_{DBO} = 85.6\%$$

$$E_{CF} = 97.95\%$$

Por el método de flujo disperso (Yañez)

Se propone un arreglo de tres lagunas en serie, una anaerobia, una facultativa y una de maduración, la segunda y tercer laguna de igual tamaño. Se requiere un ajuste en el terreno original para dar los 3 M de profundidad de la anaerobia.

Anaerobia :

$$C_v = 100 \text{ gr/M}^3/\text{día}$$

$$V_a = L_i \cdot Q_m / C_v = (260 \text{ gr/M}^3) \cdot (382.75 \text{ M}^3/\text{día}) / 100 \text{ gr/M}^3/\text{día} = 995.15 \text{ M}^3$$

$$Z = 3.0 \text{ M} \quad A_a = 331.72 \text{ M}^2 \quad W = 10.52 \text{ M}$$

El valor de W se obtiene con la fórmula $W = (A/X)^{1/2}$, con un valor de $X = 3$, correspondiente al modelo de flujo disperso ($X = \text{relación largo-ancho}$).

$$W = 10.52 \text{ M} \quad A_a = 331.72 \text{ M}^2 \quad V_a = 995.15 \text{ M}^3$$

$$R_a = (995.15 \text{ M}^3) / 382.75 \text{ M}^3/\text{día} = 2.60 \text{ días}$$

Remoción de DBO igual al 40%, según Tabla 4.1

Facultativa :

Se dispone de un área de $(10,000 - 331.72) / 2 \text{ M}^2$, se toma un tirante de 1.0 M

$$C_s = 10 \cdot L_i \cdot Q_m / A_f = 10 \cdot (0.6 \cdot 260 \text{ gr/M}^3) \cdot (382.75 \text{ M}^3/\text{día}) / 4834.14 =$$

$$123.5 \text{ Kg DBO/ha/día}$$

Este valor se encuentra en el rango para lagunas facultativas 70 a 357 Kg DBO/ha/día, por lo tanto se continua con el cálculo del sistema

$$W = 40.14 \text{ M} \quad A_f = 4834.14 \text{ M}^2 \quad V_f = 4834.14 \text{ M}^3$$

$$R_f = V_f / Q_m = (4834.14 \text{ M}^3) / (382.75 \text{ M}^3/\text{día}) = 12.63 \text{ días}$$

$$C_{sr} = 0.765 C_s - 0.8 = 0.765 \cdot (123.5 \text{ Kg DBO/ha/día}) - 0.8 = 94.48 \text{ Kg DBO/ha/día}$$

$$DBO_{of} = A_f \cdot (C_s - C_{sr}) / (10 \cdot Q_m) = 4834.14 \cdot (123.5 - 94.48) / (10 \cdot 382.75) = 36.65 \text{ gr/M}^3$$

$$E = (260 - 36.65) / 260 = 85.9\%$$

Maduración :

$$A_m = 4834.14 \text{ M}^2 \quad V_m = 4834.14 \text{ M}^3 \quad R_m = 12.63 \text{ M} \quad W = 40.14 \text{ M}$$

$$DBO_{em} = 0.75(36.65 \text{ gr/M}^3) = 27.49 \text{ gr/M}^3 \text{ (remoción del 25\%)}$$

$$E_{DBO} = (260 - 27.49) / 260 = 89.4\%$$

COLIFORMES FECALES :

$$d = 0.31175 \text{ (Para una } X = 3) \quad K_b = 0.841 \cdot 1.07^{5-20} = 0.305$$

$$R_f \text{ y } R_m = 12.63 \text{ días}$$

$$a = (1 + 4 \cdot K_b \cdot R \cdot d)^{1/2} = (1 + 4 \cdot 0.305 \cdot 12.63 \cdot 0.31175)^{1/2} = 2.41$$

$$N_e/N_i = 4*a*e^{1-a/2d}/(1+a)^2 = 4*2.41*e^{(1-2.41)/2*0.31175}/(1+2.41)^2$$

$N_e/N_i = 0.08639$, es el mismo valor para la facultativa y la de maduración.

$$N_{ef} = 1*10^8*0.08639 = 8639000$$

$$N_{cm} = 8639000*0.08639 = 746323$$

$$E_{CF} = (1*10^8 - 746323)/1*10^8 = 99.25\%$$

Comparando los resultados de ambos métodos, con los del diseño original, que utiliza una sola laguna, podemos ver que para la misma área y tiempo de retención total, se obtienen eficiencias considerablemente mayores, que es una de las ventajas del arreglo en serie.

B) Sin restricción de área

$$Q_m = 327.46 \text{ M}^3/\text{día} \text{ (éste valor corresponde al de rediseño)}$$

$$T = 5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$L_i = 190 \text{ gr/M}^3 \text{ (éste valor es resultado de estudios hechos en la Cd. de Guaymas)}$$

$$N_i = 1*10^8 \text{ NMP/100ml}$$

Por el método de mezcla completa (Marais-Shaw) :

Se propone un arreglo de tres lagunas facultativas en serie, con $R_1 = R_2 = R_3 = 10$ días, y $Z = 1.5 \text{ M}$.

$$V_1 = Q_m * R_1 = (327.46 \text{ M}^3/\text{día}) * (10 \text{ días}) = 3274.6 \text{ M}^3 \quad A = 2183.07 \text{ M}^2 \quad W = 46.72 \text{ M}$$

El valor de W se obtiene con la fórmula $W = (A/X)^{1/2}$, con un valor de $X = 1$, correspondiente al modelo de mezcla completa ($X = \text{relación largo-ancho}$).

El valor de la W se redondea para efectos de facilitar el proceso constructivo

$$W = 47.0 \text{ M} \quad A_1 = 2209.0 \text{ M}^2$$

$$V_1 = 3313.5 \text{ M}^3 \quad R_1 = 10.12 \text{ d}$$

$$V_2 = 3313.5 \text{ M}^3 \quad A = 2209.0 \text{ M}^2 \quad R_2 = 10.12 \text{ d} \quad W = 47.0 \text{ M}$$

$$V_3 = 3313.5 \text{ M}^3 \quad A = 2209.0 \text{ M}^2 \quad R_3 = 10.12 \text{ d} \quad W = 47.0 \text{ M}$$

$$K_T = 1.2 * 1.085^{T-35} = 1.2 * 1.085^{5-35} = 0.104$$

$$K_b = 0.841 * 1.07^{T-20} = 0.841 * 1.07^{5-20} = 0.305$$

$$L_e = L_i / (1 + K_T R)$$

$$N_e = N_i / (1 + K_b R)$$

$$L_{e1} = 190 / (1 + 0.104 * 10.12) = 92.57 \quad N_{e1} = 1 * 10^8 / (1 + 0.305 * 10.12) = 24470219$$

$$L_{e2} = 92.57 / (1 + 0.104 * 10.12) = 45.10 \quad N_{e2} = 2.4 * 10^7 / (1 + 0.305 * 10.12) = 5987917$$

$$L_{e3} = 45.10 / (1 + 0.104 * 10.12) = 21.97 \quad N_{e3} = 5.9 * 10^6 / (1 + 0.305 * 10.12) = 1465256$$

$$E_{DBO} = 92\%$$

$$E_{CF} = 98.5\%$$

$$N_e/N_i = 4*a*e^{1-a/2d}/(1+a)^2 = 4*2.41*e^{(1-2.41)/2*0.31175}/(1+2.41)^2$$

$N_e/N_i = 0.08639$, es el mismo valor para la facultativa y la de maduración.

$$N_{ef} = 1*10^8*0.08639 = 8639000$$

$$N_{em} = 8639000*0.08639 = 746323$$

$$E_{CF} = (1*10^8 - 746323)/1*10^8 = 99.25\%$$

Comparando los resultados de ambos métodos, con los del diseño original, que utiliza una sola laguna, podemos ver que para la misma área y tiempo de retención total, se obtienen eficiencias considerablemente mayores, que es una de las ventajas del arreglo en serie.

B) Sin restricción de área

$$Q_m = 327.46 \text{ M}^3/\text{día} \text{ (éste valor corresponde al de rediseño)}$$

$$T = 5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$L_i = 190 \text{ gr/M}^3 \text{ (éste valor es resultado de estudios hechos en la Cd. de Guaymas)}$$

$$N_i = 1*10^8 \text{ NMP/100ml}$$

Por el método de mezcla completa (Marais-Shaw) :

Se propone un arreglo de tres lagunas facultativas en serie, con $R_1 = R_2 = R_3 = 10$ días, y $Z = 1.5 \text{ M}$.

$$V_1 = Q_m * R_1 = (327.46 \text{ M}^3/\text{día}) * (10 \text{ días}) = 3274.6 \text{ M}^3 \quad A = 2183.07 \text{ M}^2 \quad W = 46.72 \text{ M}$$

El valor de W se obtiene con la fórmula $W = (A/X)^{1/2}$, con un valor de $X = 1$, correspondiente al modelo de mezcla completa ($X = \text{relación largo-ancho}$).

El valor de la W se redondea para efectos de facilitar el proceso constructivo

$$\underline{W = 47.0 \text{ M}} \quad \underline{A_1 = 2209.0 \text{ M}^2}$$

$$\underline{V_1 = 3313.5 \text{ M}^3} \quad \underline{R_1 = 10.12 \text{ d}}$$

$$\underline{V_2 = 3313.5 \text{ M}^3} \quad \underline{A = 2209.0 \text{ M}^2} \quad \underline{R_2 = 10.12 \text{ d}} \quad \underline{W = 47.0 \text{ M}}$$

$$\underline{V_3 = 3313.5 \text{ M}^3} \quad \underline{A = 2209.0 \text{ M}^2} \quad \underline{R_3 = 10.12 \text{ d}} \quad \underline{W = 47.0 \text{ M}}$$

$$K_T = 1.2 * 1.085^{T-35} = 1.2 * 1.085^{5-35} = 0.104$$

$$K_b = 0.841 * 1.07^{T-20} = 0.841 * 1.07^{5-20} = 0.305$$

$$L_e = L_i / (1 + K_T R)$$

$$N_e = N_i / (1 + K_b R)$$

$$L_{e1} = 190 / (1 + 0.104 * 10.12) = 92.57 \quad N_{e1} = 1 * 10^8 / (1 + 0.305 * 10.12) = 24470219$$

$$L_{e2} = 92.57 / (1 + 0.104 * 10.12) = 45.10 \quad N_{e2} = 2.4 * 10^7 / (1 + 0.305 * 10.12) = 5987917$$

$$L_{e3} = 45.10 / (1 + 0.104 * 10.12) = 21.97 \quad N_{e3} = 5.9 * 10^6 / (1 + 0.305 * 10.12) = 1465256$$

$$E_{DBO} = 92\%$$

$$E_{CF} = 98.5\%$$

Por el método de flujo disperso (Yañez)

Se propone un arreglo de tres lagunas en serie, una anaerobia, una facultativa y una de maduración. El valor del tirante se propone de 3.0 M para la anaerobia y de 1.5 M para las siguientes (facultativa y de maduración).

Anaerobia :

$$C_v = 100 \text{ gr/M}^3/\text{día}$$

$$V_a = L_i * Q_m / C_v = (190 \text{ gr/M}^3) * (327.46 \text{ M}^3/\text{día}) / 100 \text{ gr/M}^3/\text{día} = 622.17 \text{ M}^3$$

$$Z = 3.0 \text{ M} \quad A_a = 207.4 \text{ M}^2 \quad W = 8.3 \text{ M}$$

El valor de W se obtiene con la fórmula $W = (A/X)^{1/2}$, con un valor de $X = 3$, correspondiente al modelo de flujo disperso ($X = \text{relación largo-ancho}$).

$$W = 8.3 \text{ M} \quad A_a = 207.4 \text{ M}^2 \quad V_a = 622.17 \text{ M}^3$$

$$R_a = (622.17 \text{ M}^3) / 327.46 \text{ M}^3/\text{día} = 1.9 \text{ días}$$

Remoción de DBO igual al 40%, según Tabla 4.1

Para establecer una comparación de ambos métodos, se tomará para éste diseño el tiempo de retención total propuesto en el método anterior, que es igual 30 días, por lo tanto a las laguna facultativa y de maduración les corresponde un tiempo de retención parcial igual a $(30-1.9)/2 = 14.05$ días.

Facultativa :

$$V_f = Q_m * R = (327.46 \text{ M}^3/\text{día}) * (14.05 \text{ días}) = 4600.8 \text{ M}^3$$

$$A_f = V_f / Z = (4600.8 \text{ M}^3) / 1.5 \text{ M} = 3067.2 \text{ M}^2 \quad W = 31.98 \text{ M}$$

El valor de la W se aproxima al entero superior para efectos de facilitar el proceso constructivo. Deben recalcularse los valores de área, volumen y tiempo de retención

$$W = 32.0 \text{ M} \quad A_f = 3072.0 \text{ M}^2 \quad V_f = 4608.0 \text{ M}^3$$

$$C_s = 10 * L_i * Q_m / A_f = 10 * (0.6 * 190 \text{ gr/M}^3) * (327.46 \text{ M}^3/\text{día}) / 3072.0 \text{ M}^2 =$$

$$C_s = 121.52 \text{ Kg DBO/ha/día}$$

Este valor se encuentra en el rango para lagunas facultativas de 70 a 357 Kg DBO/ha/día, por lo tanto se continua con el cálculo del sistema

$$R_f = V_f / Q_m = (4608.0 \text{ M}^3) / (327.46 \text{ M}^3/\text{día}) = 14.07 \text{ días}$$

$$C_{sr} = 0.765 C_s - 0.8 = 0.765 * (121.52 \text{ Kg DBO/ha/día}) - 0.8 = 92.16 \text{ Kg DBO/ha/día}$$

$$DBO_{ef} = A_f * (C_s - C_{sr}) / (10 * Q_m) = 3072 * (121.52 - 92.16) / (10 * 327.46) = 27.54 \text{ gr/M}^3$$

$$E = (190 - 27.54) / 190 = 85.5\%$$

Maduración :

Se retoman los valores de la laguna facultativa, ya que son del mismo tamaño

$$\underline{A_m = 3072.0 \text{ M}^2} \quad \underline{V_m = 4608.0 \text{ M}^3} \quad \underline{R_m = 14.07 \text{ M}} \quad \underline{W = 32.0 \text{ M}}$$

$$\text{DBO}_{em} = 0.75(27.54 \text{ gr/M}^3) = 20.66 \text{ gr/M}^3 \text{ (remoción del 25\%)}$$

$$E_{\text{DBO}} = (190 - 20.66) / 190 = \underline{89.1\%}$$

COLIFORMES FECALES.:

$$d = 0.31175 \text{ (Para una } X = 3) \quad K_b = 0.841 * 1.07^{5-20} = 0.305$$

$$R_f \text{ y } R_m = 14.07 \text{ días}$$

$$a = (1 + 4 * K_b * R * d)^{1/2} = (1 + 4 * 0.305 * 14.07 * 0.31175)^{1/2} = 2.52$$

$$N_e / N_i = 4 * a * e^{1-a/2d} / (1+a)^2 = 4 * 2.52 * e^{(1-2.52)/2 * 0.31175} / (1+2.52)^2$$

$$N_e / N_i = 0.07106 \quad N_{ef} = 1 * 10^8 * 0.07106 = 7106000$$

$$N_{em} = 7106000 * 0.07106 = 504952$$

$$E_{\text{CF}} = (1 * 10^8 - 504952) / 1 * 10^8 = \underline{99.5\%}$$

Puede observarse que para tiempos de retención iguales, las áreas y eficiencias son muy parecidas en ambos métodos. En el método de mezcla completa, la eficiencia se ve favorecida con tiempos de retención mayores y principalmente con el arreglo en serie. En el método de flujo disperso, si no se hubiera diseñado una laguna anaerobia al principio del sistema, las áreas y tiempos de retención serían considerablemente mayores. Cuando se va a diseñar un sistema lagunar es posible fijar alguno de los parámetros involucrados, por ejemplo, como se hizo para el flujo disperso, donde en el inciso A) se fijo el área y en el inciso B) el tiempo de retención, también podría haberse fijado el valor de la carga superficial, dentro del rango correspondiente. El arreglo propuesto en el método de flujo disperso, puede ser distinto, una anaerobia seguida de dos facultativas, una anaerobia seguida de una facultativa y dos de maduración, etc., sin embargo, el arreglo más práctico resultó ser el utilizado.