

7. Análisis y Discusión de Resultados

Datos de aletas:

Material: Aluminio

Número de aletas 4

Coefficiente térmico de aluminio 118 Btu /ft hr °F

Potencia de resistencia en aleta reportada por proveedor 260 Watts.

Potencia real de resistencia en aleta 240 Watts (800 Btu / h).

La resistencia se conecta a una corriente de 120 Volts.

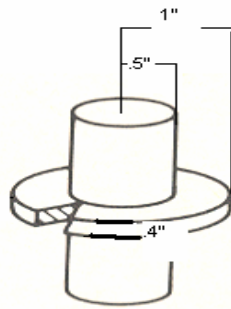


Figura 7.1. Dimensiones de aletas

7.1 Correlaciones y métodos utilizados para propiedades físicas del agua y agua de mar.

Para obtener las propiedades físicas del agua y agua de mar se hace uso de datos reportadas en la bibliografía y se aplica una regresión de tal forma que se obtenga el valor mas alto de R^2 , se utilizaron también correlaciones reportadas en la bibliografía. Las gráficas de las propiedades físicas requeridas para los cálculos de esta tesis y sus respectivas regresiones se encuentran en el anexo 1.

7.2 Convección natural tubo aletado en agua

Los datos de temperaturas reportados para convección natural son tomados cuando ésta llega a una constante, en los tres puntos monitoreados, extremo, base de aleta y temperatura del agua, en las siguientes tablas se muestran los datos de temperatura alcanzados en los últimos 30 minutos donde se aprecia que efectivamente estas temperaturas llegan a ser constantes.

Resultados obtenidos para agua:

Tabla 7.2.1 Datos de Temperatura en °C y Amperaje a 40 % de voltaje total.

Tabla 7.2.2 Datos de Temperatura en °C y Amperaje a 50% de voltaje total.

Extremo aleta	Base aleta	Temperatura agua	% voltaje	Amperaje
35	38.7	29.8	50	0.97
35.2	38.7	29.9		
35,2	38,6	29,9		
35,3	38,6	30		
35,5	38,7	30,1		
35,5	38,7	30,2		
35,4	38,8	30,3		

Tabla 7.2.3 Datos de Temperatura en °C y Amperaje a 60 % de voltaje total

Extremo aleta	Base aleta	Temperatura agua	% voltaje	Amperaje
38.9	45.9	36	60	1.19
39.2	45.9	36.1		
39.6	46	36.1		
39.6	46	36.2		
39.7	46	36.2		
39.9	46	36.3		
40	46	36.3		

Tabla 7.2.4 Datos de Temperatura en °C y Amperaje a 70% de voltaje total

Extremo aleta	Base aleta	Temperatura agua	% voltaje	Amperaje
48.7	55	43	70	1.37
48.6	55.3	43.2		
48.6	55.3	43.8		
48.7	55.5	43.8		
48.8	55.7	43.8		
48.8	55.8	43.9		
48.8	55.8	43.9		

Tabla 7.2.5 Datos de Temperatura en °C y Amperaje a 80% de voltaje total.

Extremo aleta	Base aleta	Temperatura agua	% voltaje	Amperaje
56	64.6	53.1	80	1.53
55.9	64.6	53		
56.1	64.5	53		
56.1	64.7	53		
56.1	64.7	53.1		
56.2	64.9	53.1		
56.3	65	53.1		

Tabla 7.2.6 Datos de Temperatura en °C y Amperaje a 90% de voltaje total.

Extremo aleta	Base aleta	Temperatura agua	% voltaje	Amperaje
63	72.1	57.5	90	1.75
63.1	72.2	57.6		
63.2	72.2	57.8		
63.3	72.3	57.8		
63.6	72.4	57.8		
63.6	72.4	57.9		
63.6	72.4	57.9		

Tabla 7.2.7 Datos de Temperatura en °C y Amperaje a 100% de voltaje total.

Extremo aleta	Base aleta	Temperatura agua	% voltaje	Amperaje
66.7	75.5	60.6	100	1.95
66.8	75.6	60.7		
66.8	75.7	60.8		
66.9	75.6	60.8		
67.0	76.7	60.8		
67.0	75.8	60.8		
67.0	75.8	60.9		

La transferencia de calor total en aletas radiales: (Welty y Colaboradores 2001)

$$q_{total} = A_0 h (T_0 - T_\infty) + A_f \eta_f (T_0 - T_\infty) \quad \text{Ecuación 30}$$

A_0 es el área de la superficie principal

T_0 es la temperatura de la base

T_∞ temperatura del medio

A_f área de la aleta

η_f rendimiento de aletas

h coeficiente convectivo de transferencia de calor

Se desconoce el coeficiente convectivo de transferencia de calor así como el rendimiento. Si se sustituye en la ecuación de calor total en aletas la eficiencia (ecuaciones 4,5 y 6) queda entonces:

$$q_{total} = A_0 h (T_0 - T_\infty) + A_f \frac{\text{Tanh} \left[\left(\frac{2h}{k\delta_o} \right)^{1/2} \left(re + \frac{\delta_o}{2} \right) \right]}{\left(\frac{2h}{k\delta_o} \right)^{1/2} \left(re + \frac{\delta_o}{2} \right)} (T_0 - T_\infty) \quad \text{Ecuación 31}$$

La única incógnita presente es el coeficiente convectivo el cual es determinado por medio de métodos iterativos debido a la complejidad que presenta el despejar la incógnita.

Los resultados de coeficientes convectivos son los siguientes a diferente potencia:

Tabla 7.2.8 Coeficientes convectivos de transferencia de calor por convección natural para tubo con aletas radiales en agua.

% voltaje	Amperaje	q Btu/h	h Btu/ft ² hr°F
40	0.78	127.74	44.66
50	0.97	198.583	57.00
60	1.19	292.34	69.00
70	1.37	392.7	82.00
80	1.53	501.15	89.50
90	1.75	644.86	95.79
100	1.95	798.38	117.32

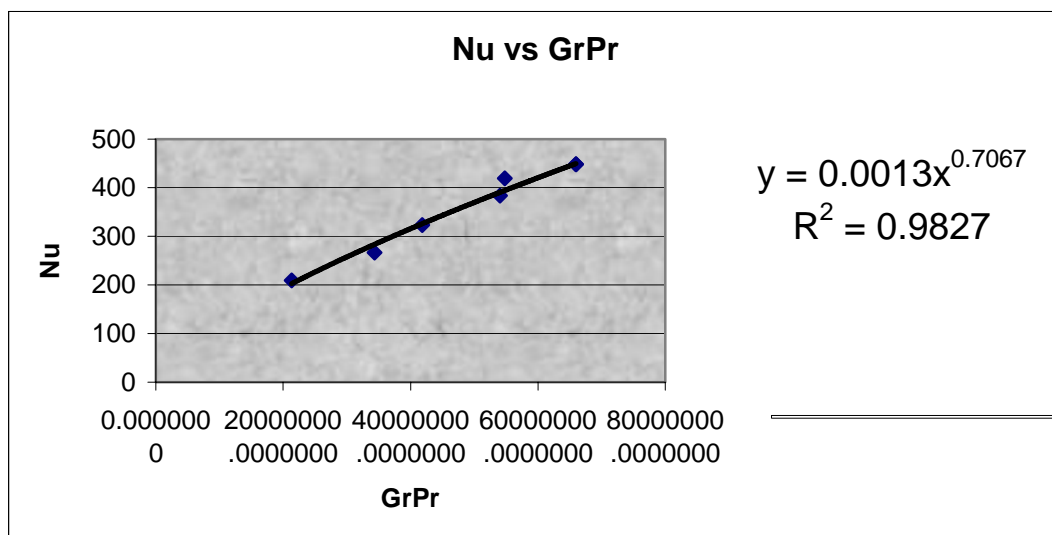
Obteniendo el coeficiente convectivo se puede determinar el número adimensional Nusselt de la ecuación 9.

Determinar el número de Nusselt es de relevancia debido a que es posible determinar el coeficiente convectivo de transferencia de calor en diferentes condiciones.

Tabla 7.2.9 Números adimensionales Nusselt vs Grashof Prandtl

q Btu/h	Nusselt	GrPr
127.74	209.05	21351895.31
198.58	266.76	34345654.84
292.34	322.92	41837601.81
392.7	383.767	54056551.27
501.15	418.911	54776286.19
644.86	448.32	65993286.12
798.38	448.32	65993286.12

Una vez conseguidos estos valores, se grafica el número Nusselt contra Grashof Prandtl para obtener una regresión tipo potencial (Ecuación 28):



La regresión obtenida tiene un valor de $R^2 = .9827$ lo cual nos indica que tiene una buena relación entre los datos.

La ecuación que relaciona el número de Nusselt con Grashof Prandtl es la siguiente para aletas tipo radial en agua:

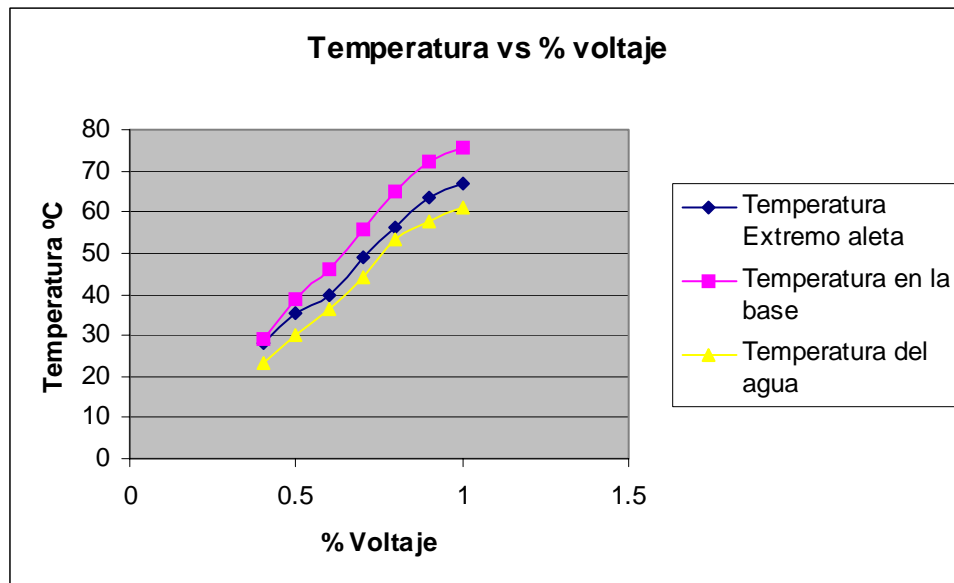
$$Nu = .0013 (GrPr)^{.7067}$$

Por otro lado se analizó el comportamiento de las aletas con respecto a la temperatura de la base y la temperatura del agua observando para este caso que la temperatura en el extremo de las aletas se encuentra mas cercana a la temperatura del agua en la mayoría del tiempo, con lo que se reafirma que la aleta tiene un comportamiento no ideal.

Tabla 7.2.10 Relación de Temperaturas (°C) en la base, extremo de aleta y temperatura del agua con respecto al % de Voltaje.

% Voltaje	Extremo aleta	Base tubo	Agua	ΔT extremo-base	T extremo-agua
40	28.1	29.2	23.3	1.1	4.8
50	35.4	38.8	30.3	3.4	5.1
60	40	46	36.3	6	3.7
70	48.8	55.8	43.9	7	4.9
80	56.3	65	53.1	8.7	3.2
90	63.6	72.4	57.9	8.8	5.7
100	67	75.8	60.9	8.8	6.1

Gráfica 7.2.2 Temperatura °C de Extremo de aleta, Base y agua.



7.3 Convección natural tubo aletado en agua de mar

Las temperaturas reportadas para los últimos 30 minutos para convección natural en agua de mar son los siguientes:

Tabla 7.3.1 Datos de Temperatura en °C y Amperaje a 40% de voltaje total.

Extremo aleta	Base aleta	Temperatura agua	% voltaje	Amperaje
27.2	31.8	26.3	40	.78
27.8	31.8	26.3		
28	31.7	26.4		
28	32	26.5		
28	32	26.7		
28	32.1	26.8		
28.1	32.1	26.8		

Tabla 7.3.2 Datos de Temperatura en°C y Amperaje a 50% de voltaje total.

Extremo aleta	Base aleta	Temperatura agua	% voltaje	Amperaje
35.0	37.0	29.6	50	0.97
35.1	37.3	29.6		
35.2	37.4	29.5		
35.3	37.5	29.6		
35.4	37.5	29.7		
35.4	37.6	29.7		
35.4	37.6	29.7		

Tabla 7.3.3 Datos de Temperatura en°C y Amperaje a 60 % del voltaje total.

Extremo aleta	Base aleta	Temperatura agua	% voltaje	Amperaje
39.6	44.0	33.0	60	1.19
39.6	44.2	33.0		
39.7	44.1	33.0		
39.8	44.1	33.1		
39.8	44.2	33.1		
39.9	44.2	33.1		
40.0	44.2	33.1		

Tabla 7.3.4 Datos de Temperatura en °C y Amperaje a 70% del voltaje total

Extremo aleta	Base aleta	Temperatura agua	% voltaje	Amperaje
48.5	54.5	41.4	70	1.37
48.5	54.6	41.4		
48.5	54.5	41.5		
48.9	54.7	41.5		
48.8	54.7	41.6		
48.8	54.7	41.6		
48.8	54.7	41.6		

Tabla 7.3.5 Datos de temperatura en °C y Amperaje a 80% de voltaje total

Extremo aleta	Base aleta	Temperatura agua	% voltaje	Amperaje
56.0	59.8	44.0	80	1.53
56.1	59.7	44.1		
56.2	59.7	44.1		
56.2	59.9	44.2		
56.2	59.9	44.2		
56.2	60.0	44.2		
56.3	60.0	44.2		

Tabla 7.3.6 Datos de temperatura en °C y Amperaje a 90% de voltaje total

Extremo aleta	Base aleta	Temperatura agua	% voltaje	Amperaje
59.3	65.5	47.5	90	1.75
59.4	65.5	47.5		
59.7	65.6	47.6		
59.8	65.6	47.6		
59.6	65.7	47.6		
59.9	65.7	47.6		
60.0	65.7	47.6		

Tabla 7.3.7 Datos de temperatura en °C y Amperaje a 100% de voltaje total

Extremo aleta	Base aleta	Temperatura agua	% voltaje	Amperaje
66.6	72.9	53.8	100	1.95
66.7	72.6	53.9		
66.8	72.9	54.0		
67.0	72.7	54.0		
67.0	72.9	54.0		
67.0	72.9	54.1		
67.0	73.0	54.1		

Una vez que se han obtenido estos valores de Temperatura en la base, en extremo de aleta y la temperatura del agua se calcula nuevamente el coeficiente convectivo de transferencia de calor por convección natural para el agua de mar, con la ecuación 30, y para el rendimiento de aletas radiales se utiliza la ecuación 9 (Kern 1971).

Tabla 7.3.8 Coeficientes convectivos de transferencia de calor natural a diferentes valores de potencia.

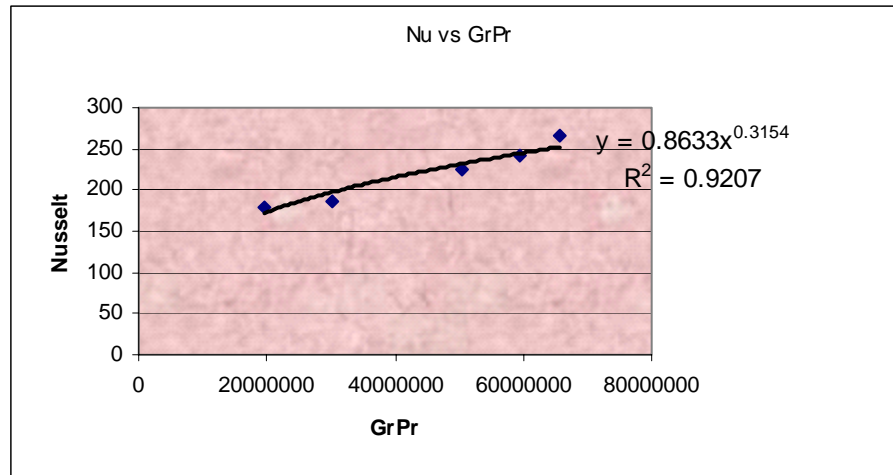
% voltaje	Amperaje	q Btu/h	h Btu/ft ² hr°F
40	0.78	127.74	36.5
50	0.97	198.58	38.1
60	1.19	292.34	40.0
70	1.37	392.70	45.6
80	1.53	501.15	49.0
90	1.75	644.86	54.3
100	1.95	798.38	64.7

Tabla 7.3.9 Números adimensionales Nusselt vs Grashof Prandtl

q Btu/hora	Nu	GrPr
127.74	179.58	19578434.75
198.58	187.45	30162558.59
292.34	196.80	43237735.40
392.70	224.35	50308830.55
501.15	241.08	59353681.5
644.86	267.15	65759568.77

De la misma manera que para el agua pura se grafica el número de Nusselt en el eje y los valores obtenidos de Grashof Prandtl en el eje x, se aplica una regresión tipo potencial:

Gráfica 7.3.1 Nusselt vs Grashof Prandtl.

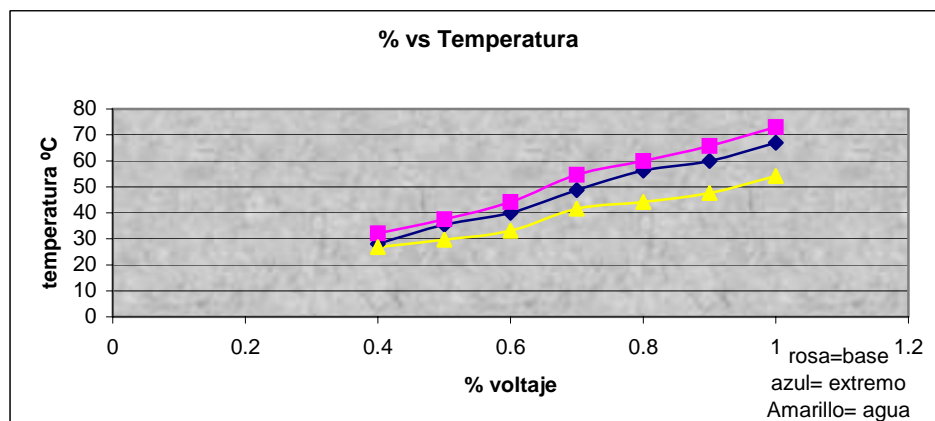


La correlación obtenida con una R^2 de .92 que relaciona el número de Nusselt con Grashof Prandtl es la siguiente para aletas tipo radial en agua de mar:

$$\text{Nusselt} = .8633 (\text{GrPr})^{.3154}$$

La relación de temperaturas en la base de aletas, extremo de aletas y en el medio se muestra en la siguiente gráfica:

Gráfica 7.3.2 Temperatura °C de la base y extremo de aleta y temperatura del agua



Para este caso se observa que la temperatura de la base y del extremo de las aletas, se encuentra más cercana con respecto a la temperatura del medio.

7.4 Convección forzada tubo aletado en agua

Los registros de temperatura son tomados cuando la temperatura del agua es constante.

El flujo de agua que golpea la aleta de manera transversal varía de una potencia a otra debido a que una parte del flujo principal es desviado para disipar el calor generado por la resistencia, conforme la potencia fue aumentando el flujo utilizado para la disipación fue incrementándose, por otro lado a una potencia de 40% fue difícil manipular este flujo debido a que debía ser muy pequeño para lograr disipar el calor generado por la resistencia por lo que se tomaron únicamente los obtenidos desde 50% a 100% de la potencia total.

Los datos de temperatura, amperaje y flujo que golpea de manera transversal a la aleta son mostrados en las siguientes tablas:

Tabla 7.4.1 Datos de Temperatura en °C, Amperaje a 50% de voltaje total

Extremo aleta	Base aleta	Agua	% voltaje	Amperaje	Flujo vol. ml/s
35.1	36.4	34	50	0.97	304.87
35.3	36.4	34.1			
35.3	36.5	34.2			
35.0	36.5	34.1			
35.2	36.5	34.0			
35.3	36.6	34.0			
35.2	36.8	34.0			

Tabla 7.4.2 Datos de Temperatura en °C, Amperaje a 60% de voltaje total

Extremo aleta	Base aleta	Agua	% voltaje	Amperaje	Flujo vol. ml/s
38.9	45.9	37.0	60	1.19	302.9
39.2	45.9	36.9			
39.6	46.0	37.0			
39.6	46.0	37.1			
39.7	46.0	37.0			
39.9	46.0	37.0			
38.5	40.7	37.0			

Tabla 7.4.3 Datos de Temperatura en °C. Amperaje a 70% de voltaje total

Extremo aleta	Base aleta	Agua	% voltaje	Amperaje	Flujo vol. ml/s
42.1	44.4	40.0	70	1.37	296.55
42.2	44.3	40.0			
42.2	44.4	40.1			
42.2	44.4	40.3			
42.3	44.3	40.0			
42.3	44.5	40.1			
42.3	44.5	40.2			

Tabla 7.4.4 Datos de Temperatura en °C, Amperaje a 80% de voltaje total

Extremo aleta	Base aleta	Agua	% voltaje	Amperaje	Flujo vol. ml/s
47.5	50.0	44.9	80	1.53	291.09
46.3	50.0	44.9			
47.0	50.1	44.8			
47.3	50.1	45.0			
47.5	50.2	45.0			
46.0	50.2	45.0			
47.5	50.2	45.0			

Tabla 7.4.5 Datos de Temperatura en °C, Amperaje a 90% de voltaje total

Extremo aleta	Base aleta	Agua	% voltaje	Amperaje	Flujo vol. ml/s
49.0	51.8	46.0	90	1.75	289.6
47.0	51.0	46.1			
49.1	52.2	46.2			
49.0	52.0	46.5			
49.3	51.7	45.4			
49.1	52.0	46.1			
49.3	52.0	46.2			

Tabla 7.4.6 Datos de Temperatura en °C, Amperaje a 100% de voltaje total

Extremo aleta	Base aleta	Agua	% voltaje	Amperaje	Flujo vol. ml/s
50.0	53.7	48.0	100	1.95	289.6
50.0	53.1	48.0			
50.2	54.2	48.2			
50.1	54.1	48.3			
50.0	54.0	48.1			
50.2	54.0	48.0			
50.3	54.0	48.1			

Se determina el coeficiente convectivo de transferencia de calor por convección forzada en agua de acuerdo a la siguiente igualdad, promoviendo el estado estable.

$$A_b h(T_b - T_\infty) + A_f \eta_f h(T_b - T_\infty) = m C_p (T_s - T_\infty) \quad \text{Ecuación 32}$$

Donde la primera parte de la igualdad es el producto del voltaje y amperaje (VI), la segunda parte de la ecuación corresponde al calor disipado por el sistema enfriador.

Donde el subíndice b indica la temperatura a la base de la aleta, el subíndice ∞ indica la temperatura del medio y el subíndice s indica la temperatura a la salida del refrigerante.

Tabla 7.4.7 Coeficientes convectivos de transferencia de calor forzada a diferentes valores de potencia.

% voltaje	Amperaje	q Btu/h	h Btu/ft ² hr°F
50	0.97	198.58	110.4
60	1.19	292.34	123.6
70	1.37	392.70	143.9
80	1.53	501.15	152.3
90	1.75	644.86	177.2
100	1.95	798.38	218.6

Comparando estos valores con los obtenidos por convección natural se observa que de manera significativa para la convección forzada son mayores los coeficientes convectivos, lo cual indica que se favorece la transferencia de calor por este mecanismo.

Tabla 7.4.8 Tabla comparativa coeficientes convectivos de transferencia de calor natural y coeficientes convectivos de transferencia de calor forzada.

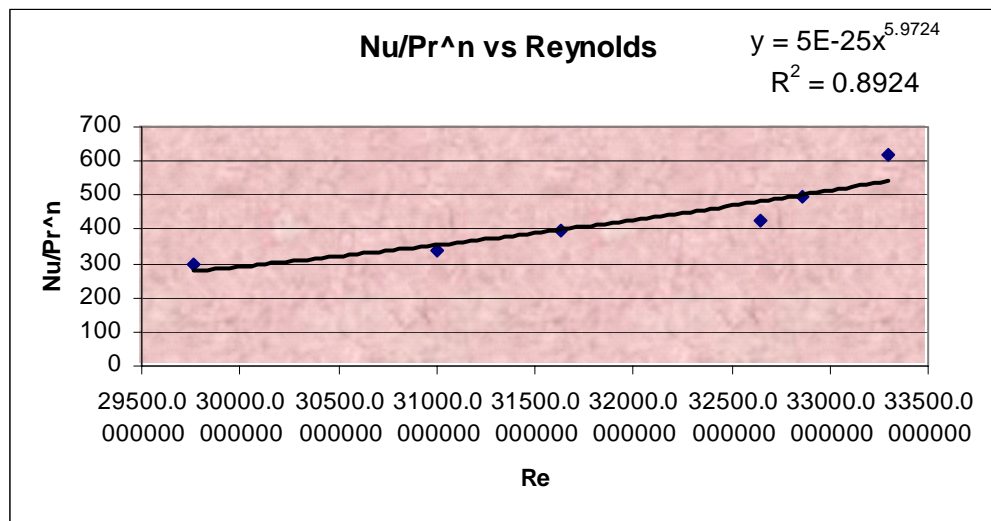
% Voltaje	h (convección natural) Btu/ft ² hr°F	h (convección forzada) Btu/ft ² hr°F
50	57.0	110.4
60	69.0	123.6
70	82.0	143.9
80	89.51	152.3
90	95.79	177.2
100	117.33	218.6

Se utiliza un valor de $Pr^{1/3}$ (Holman 1997), debido a que la estructura es un cilindro aletado.

Tabla 7.4.9 Números adimensionales $Nu/Pr^{1/3}$ y Reynolds

q Btu/h	$Nu/Pr^{1/3}$	Re
198.58	295.11	29767.58
292.34	335.67	30998.62
392.70	396.31	31633.63
501.15	426.61	32643.92
644.86	498.32	32855.57
798.38	617.54	33295.71

Gráfica 7.4.1 $Nu/Pr^{1/3}$ vs Re



La línea de tendencia aplicada a los puntos obtenidos es de tipo potencial, se observa un valor de R^2 de .8924, no es un valor cercano a la unidad, lo que se puede atribuir a errores en la práctica probablemente en la medición del flujo.

La ecuación que relaciona el número de Nusselt con $Pr^{1/3}Re$ es la siguiente para aletas tipo radial en agua:

$$Nu = 5E-25Re^{5.9724}Pr^{1/3}$$

7.5 Convección forzada tubo aletado en agua de mar

Los registros de temperatura y flujo para cada potencia son los siguientes:

Tabla 6.5.1 Temperatura en °C, Amperaje a 50% de voltaje total

Extremo aleta	Base aleta	Agua	% voltaje	Amperaje	Flujo vol. ml/s
32.0	34.5	31.1	50	0.97	305.21
32.0	34.5	29.9			
32.0	34.1	29.7			
32.0	34.2	29.7			
32.0	34.5	29.6			
32.0	34.6	31.0			
32.1	34.6	31.0			

Tabla 7.5.2 Temperatura en °C, Amperaje a 60% de voltaje total

Extremo aleta	Base aleta	Agua	% voltaje	Amperaje	Flujo vol. ml/s
32.9	38.0	33.8	60	1.19	303.1
33.0	38.0	33.8			
32.1	38.0	33.9			
33.0	38.1	34.0			
32.1	38.2	34.0			
32.8	38.0	34.0			
32.9	38.1	34.0			

Tabla 7.5.3 Temperatura en °C, Amperaje a 70% de voltaje total

Extremo aleta	Base aleta	Agua	% voltaje	Amperaje	Flujo vol. ml/s
37.8	54.5	41.4	70	1.37	297.9
37.8	54.6	41.4			
37.8	54.5	41.5			
37.8	54.7	41.5			
38.0	54.7	41.6			
37.5	54.7	41.6			
37.8	41.5	35.4			

Tabla 7.5.4 Temperatura en °C, Amperaje a 80% de voltaje total

Extremo aleta	Base aleta	Agua	% voltaje	Amperaje	Flujo vol. ml/s
42.0	59.8	44.0	80	1.53	293.31
42.0	59.7	44.1			
42.0	59.7	44.1			
42.1	59.9	44.2			
42.0	59.9	44.2			
42.0	60.0	44.2			
42.0	45.5	40.0			

Tabla 7.5.5 Temperatura en °C, Amperaje a 90% de voltaje total

Extremo aleta	Base aleta	Agua	% voltaje	Amperaje	Flujo vol. ml/s
45.7	65.5	47.5	90	1.75	292.2
45.6	65.5	47.5			
45.7	65.6	47.6			
45.7	65.6	47.6			
45.7	65.7	47.6			
45.6	65.7	47.6			
45.7	49.1	43.1			

Tabla 7.5.6 Temperatura en °C, Amperaje a 100% de voltaje total

Extremo aleta	Base aleta	Agua	% voltaje	Amperaje	Flujo vol. ml/s
47.0	72.9	53.8	100	1.95	291.4
47.2	72.6	53.9			
47.0	72.9	54.0			
47.2	72.7	54.0			
47.3	72.9	54.0			
47.3	72.9	54.1			
47.3	52.0	45.5			

Se determina el coeficiente convectivo de transferencia de calor por convección forzada en agua de mar (Ecuación 32).

Tabla 7.5.7 Coeficientes convectivos de transferencia de calor forzada a diferentes valores de potencia.

% voltaje	Amperaje	q Btu/h	h Btu/ft ² hr°F
50	0.97	198.58	85.1
60	1.19	292.34	111.1
70	1.37	392.70	120.3
80	1.53	501.15	143.6
90	1.75	644.86	170.9
100	1.95	798.38	197.1

Tabla 7.5.8 Tabla comparativa coeficientes convectivos de transferencia de calor natural y coeficientes convectivos de transferencia de calor forzada agua de mar.

% voltaje	h (convección forzada) Btu/ft ² hr°F	h (convección natural) Btu/ft ² hr°F
50	85.1	38.1
50	111.1	40.0
70	120.3	45.6
80	143.6	49.0
90	170.9	54.3
100	197.1	64.7

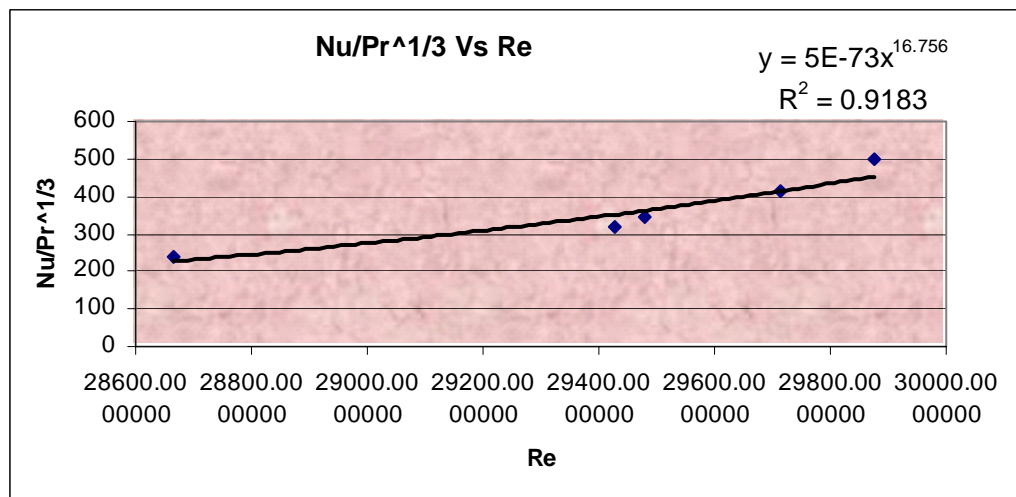
Se observa que los valores de coeficientes convectivos de convección forzada son mayores a los obtenidos para convección natural de la misma manera que para el agua.

Para el valor de c se tomará de $1/3$ ($Pr^{1/3}$) (Holman 1997), para cilindros.

Tabla 7.5.9 Números adimensionales $Nu/Pr^{1/3}$ y Reynolds

% voltaje	q	$Nu/Pr^{1/3}$	Re
50	198.58	239.36	28666.83
60	292.34	316.47	29426.94
70	392.70	345.32	29480.36
80	501.15	416.50	29713.15
90	644.86	498.27	29877.10
100	798.38	576.124	29868.15

Gráfica 7.5.1 $Nu/Pr^{1/3}$ vs Re



Se aplica una regresión tipo potencial y se obtiene la ecuación de la forma requerida para convección forzada con una R^2 de 0.918.

$$Nu = 5E-73 Re^{16.7} Pr^{1/3}$$

7.6 Incrustación en aletas tipo radial

De acuerdo a el diseño del equipo desalinizador y a su balance de materia y energía la temperatura a la cual se encontrará el agua de mar en el tanque de evaporación es aproximadamente a 40° C debido a la baja presión que tendrá el tanque evaporador (6901 Pa), tomando esta consideración se llevó a cabo la determinación de el factor de incrustación en dichas aletas a esta temperatura para el agua de mar a concentración promedio y concentración mayor de sales.

La sal NaCl no presenta solubilidad inversa, sin embargo se tiene también presencia de CaCO₃ en el agua de mar a concentraciones altas.

La formación de incrustación se observó para ambos casos durante 48 horas, la observación directa no fue posible debido a la turbidez de ambas soluciones.

Las observaciones son las siguientes:

- 1) Los depósitos más significativos en cuanto a volumen se formaron en las imperfecciones del tubo aletado y fueron las primeras formaciones.
- 2) Una vez formados los primeros depósitos, fueron incrementando en volumen en dichas zonas.
- 3) Para el agua de mar, se formó incrustación únicamente en las zonas mencionadas anteriormente.
- 4) En el caso de agua de mar a mayor concentración de sales, toda la superficie de la aleta se cubrió con incrustación; no obstante el mayor volumen de depósitos se observó en la formación primaria.

7.6.1 Incrustación en superficie de transferencia agua de mar (convección natural).

Para llevar a cabo esta prueba se prepararon 11.5 litros de agua con 35 000 ppm de NaCl y 4000 ppm de CaCO₃ para simular el agua de mar. Se verificó en los datos obtenidos para convección natural la potencia a la cual la temperatura del agua se encontraba cercana a los 40° C, (70% de la potencia total), una vez con estos datos se ajusta la potencia a 70% para que el agua permanezca en la cámara durante 48 horas.

Las lecturas obtenidas cada 4 horas son las siguientes:

Tabla 7.6.1 Temperatura °C durante 48 horas

Registro de temperatura				
Temperatura °C				Tiempo
Temperatura base	Temperatura en base	Temperatura en base	Temperatura en base	hora
18.8	18.8	18.8	19.0	0
51.2	52.9	40.2	53.0	4
52.0	54.1	40.3	54.1	8
53.1	54.7	41.0	54.2	12
53.5	55.2	41.1	54.5	16
54.0	55.6	41.2	54.4	20
54.3	55.7	41.3	54.7	24
54.7	56.0	41.3	55.0	28
54.7	56.1	42.0	55.5	32
55.1	56.3	42.2	55.3	36
55.4	56.6	42.3	57.6	40
55.7	58.5	42.7	55.8	44
56.6	59.2	42.1	56.5	48

Con el valor del coeficiente convectivo determinado con las primeras mediciones para convección natural en agua de mar a 70% de potencia (392.7 btu/hora), se tiene que el $h_{\text{limpio}} = 45.6 \text{ Btu/ft}^2\text{hr}^\circ\text{F}$, y para el coeficiente convectivo promedio a lo largo de las 48 horas de $h_{\text{sucio}} = 44.5 \text{ Btu/ft}^2\text{hr}^\circ\text{F}$.

Con estos resultados se determina el factor de incrustación para agua de mar en convección natural (Ecuación 29).

$$R_f = .000542086 \text{ ft}^2\text{hr}^\circ\text{F} / \text{Btu}$$

Comparando con datos reportados en la bibliografía para el factor de fricción en agua de mar:

Temperatura °C	<u>Bajo 115°C</u>		Arriba 115°C hasta 204.4°C	
	<u>Bajo 3 ft /s</u>	Arriba 3ft/s	Bajo 3 ft/s	Arriba 3ft/S
Resistencia (Factor incrustación) hft²°F/Btu	<u>0.0005</u>	0.0005	0.001	0.001

Como se muestra en la tabla el caso que se presenta es a una temperatura bajo 115°C, bajo 3ft/s, se tiene una resistencia de .0005 hrft²°F/Btu, comparando con el resultado obtenido experimentalmente se tiene un error de 8%.

Las imágenes de la incrustación formada en las aletas se muestran en el anexo 2.

7.6.2 Incrustación en superficie de transferencia de agua de mar a concentración elevada de sales (convección natural).

Debido a la aplicación de las aletas se debe tomar en cuenta que al estar en evaporación el agua de mar, la concentración de sales irá en aumento. En la destilación multi etapa la concentración de sales aumenta de 1.2 a 1.5 (Artículo referencia 23), por lo que se realizó la experimentación tomando el valor de concentración de sales de 1.5 para tomar la condición más extrema.

Tabla 7.6.1 Temperatura ° C durante 48 horas.

Registro de temperatura				
Temperatura				Tiempo
Base	Base	Agua	Base	hora
19.1	19.0	19.1	19.1	0
58.0	53.0	38.7	53.0	2
58.0	56.0	38.8	54.0	4
58.0	56.0	38.8	54.3	6
58.0	57.0	38.9	56.0	8
58.3	57.0	39.0	56.8	10
58.4	57.0	39.3	57.1	12
58.4	57.0	39.3	57.1	14
58.4	57.0	39.4	57.1	16
58.4	57.0	39.4	57.1	18
58.5	57.0	39.4	57.1	20
58.4	56.0	39.5	57.2	22
58.2	57.0	39.5	57.3	24
58.1	57.0	39.6	57.3	26
58.2	57.5	39.6	57.4	28
58.1	57.6	39.7	57.7	30
58.2	57.6	39.7	57.6	32
58.1	57.6	39.5	57.8	34
58.2	57.5	39.5	57.6	36
58.2	57.6	39.4	57.8	38
58.4	57.6	39.5	57.8	40
58.3	57.6	39.4	58.0	42
58.3	57.7	39.3	58.1	44
58.1	57.6	39.3	58.1	46
58.2	57.3	39.2	58.1	48

Los coeficientes convectivos se determinaron con los valores iniciales para h_{limpio} y al final para h_{sucio} los resultados son:

$$h_{\text{sucio}} = 32.1 \text{ But/ft}^2\text{hr}^\circ\text{F}$$

$$h_{\text{limpio}} = 37.4 \text{ But/ft}^2\text{hr}^\circ\text{F}$$

Con estos datos se determina el factor de incrustación (Ecuación 29).

$$R_f = 0.0041 \text{ ft}^2\text{hr}^\circ\text{F /Btu}$$

Las imágenes al finalizar el experimento son mostradas en el anexo 2.

No existe registro en la bibliografía con lo que se pueda realizar un comparativo, no obstante se tiene que para temperaturas 115 °C el factor de incrustación en agua de mar a concentración promedio de sales es de .001 $\text{ft}^2\text{hr}^\circ\text{F /Btu}$, dando un resultado mayor en este experimento a pesar de encontrarse a una temperatura menor.

7.6.3 Incrustación en convección forzada

Al realizar la experimentación para determinar los coeficientes convectivos de transferencia de calor en convección forzada en agua de mar, se observó la formación de incrustación que como era de esperarse debía ser mínima. En efecto se observa en el anexo 2, que la incrustación formada es inapreciable y con ello se rectifica que la convección forzada transversal a las aletas es una opción para el diseño del equipo desalinizador evitando la formación de incrustación y con ello evitar disminuir la frecuencia de mantenimiento de las mismas.