

5. Resultados

5.1 Tensión superficial

La tensión superficial se obtuvo por medio de 3 capilares con diferentes diámetros. Para obtener los diámetros de los capilares se utilizó etanol para los capilares 1 y 3, para el número 2 se utilizó agua. En la tabla 5.1.1 se muestra las alturas obtenidos en los capilares.

Capilar 1 ^{Etanol}	25.49019608	mm
Capilar 2 ^{Agua}	18.39932984	mm
Capilar 3 ^{Etanol}	14.07407407	mm

Tabla 5.1.1 Alturas de capilares

En la siguiente tabla (5.1.2) se muestran los resultados obtenidos para los radios de los diferentes capilares. Se obtuvieron estos valores con sustancias puras de etanol y agua destilada y se realizó el promedio de 3 repeticiones, cada una de estas tenía cerca de 20 mediciones.

(mm)	Capilar 1	Capilar 2	Capilar 3
Radio	0.2	0.8	0.4

Tabla 5.1.2 Radios de los capilares.

Se puede observar que el capilar número 1 es el de menor radio y por esa razón se puede esperar que el ascenso capilar sea mayor en este en comparación con los otros capilares y el

que obtuvo menos altura fue el capilar número dos. En la figura 5.1.1 se puede observar el promedio de las alturas de los capilares en cada una de las mezclas etanol agua.

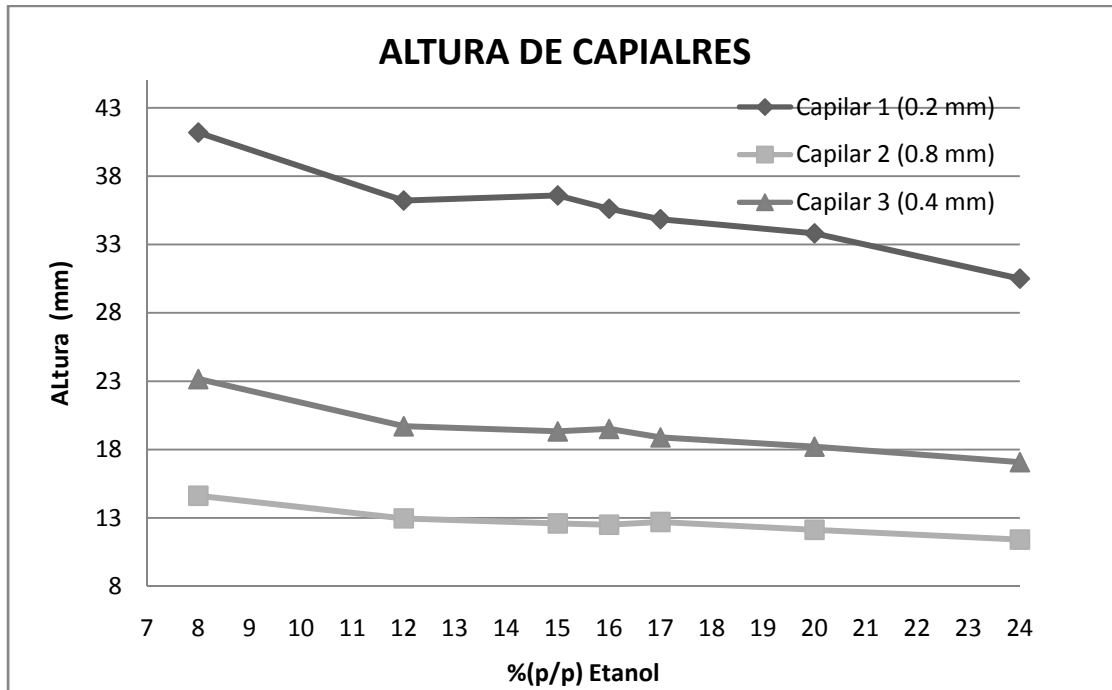


Figura 5.1.1 Gráfica de resultados de Altura de capilares

Los resultados de tensión superficial de las mezclas etanol – agua se compararon con los resultados obtenidos por la compañía Nordtest, los datos se encuentran reportados en el anexo B.

Se graficaron los resultados de la compañía Nordtest para obtener valores precisos de tensión superficial para las mezclas utilizadas en esta tesis (figura 5.1.2), para esto se trazó una línea de tendencia y se obtuvo una regresión la cual se muestra en la tabla 5.1.3.

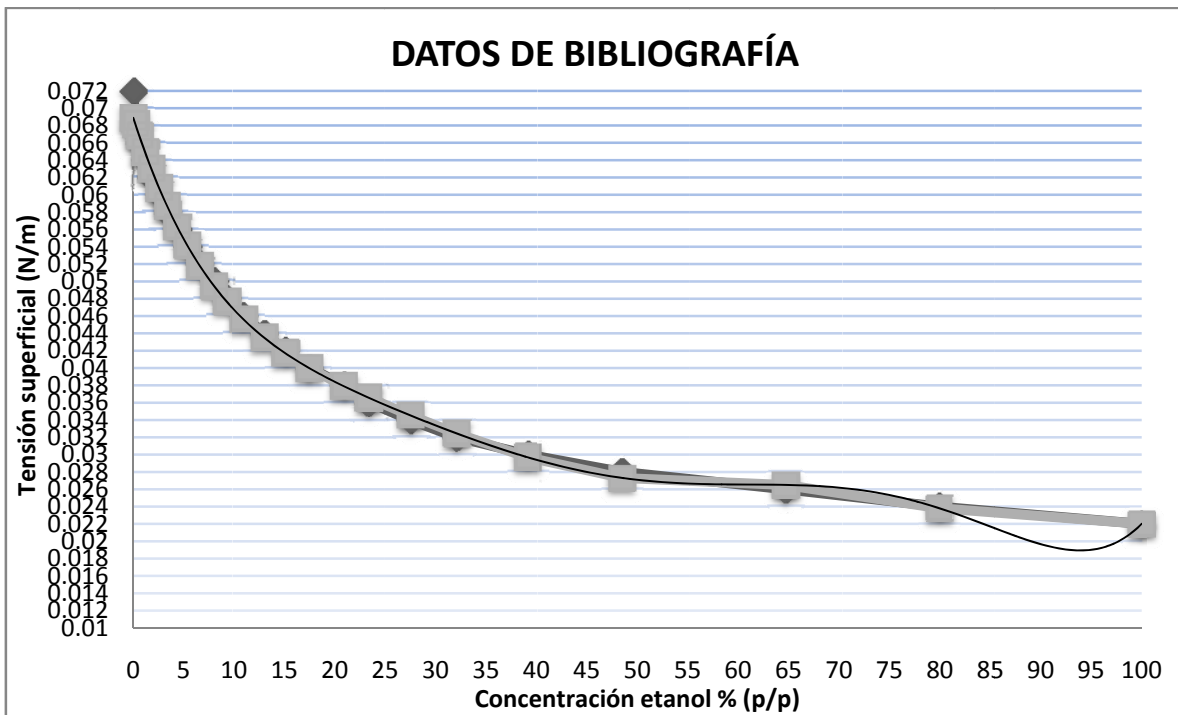


Figura 5.1.2. Gráfica de datos tensión superficial mezclas EtOH-H2O de la bibliografía.

Se puede observar que la línea de tendencia tiene una desviación en las mezclas mayores al 85% etanol. Esto no impide utilizar la ecuación de la regresión, debido a que la línea se comporta adecuadamente cerca de la mezcla de interés.

$y = 0.000000000003x^6 - 0.000000000912x^5 + 0.000000106268x^4 - 0.000006127028x^3 + 0.000151367544x^2 - 0.003614701666x + 0.068885802474$
$R^2 = 0.997$

Tabla 5.1.3. Ecuación de la línea de tendencia.

Se observa que el valor de R cuadrada es muy alto lo cual agrega precisión a los datos obtenidos por la ecuación de la regresión.

En la siguiente tabla 5.1.4 se observan los resultados obtenidos de tensión superficial por el método de ascenso capilar. Se observa que los resultados de tensión superficial son muy parecidos en comparación con los datos de la bibliografía. La mayor diferencia es de 0.001 N/m que se encuentra en las mezclas de 8, 12, 17, 20 y 24 % p/p etanol.

Las mediciones de tensión superficial de las mezclas 15, 16 y 17 % se realizaron 6 veces para estar totalmente convencidos de que no se encuentra ninguna peculiaridad de tensión superficial cerca de la mezcla 16 %. Esto se comprueba con los datos de la bibliografía.

% (p/p) etanol	γ Experimental (N/m)	γ Bibliografía (N/m)
8	0.050	0.049
12	0.043	0.044
15	0.042	0.042
16	0.041	0.041
17	0.041	0.040
20	0.039	0.038
24	0.037	0.036

Tabla 5.1.4. Resultados de tensión superficial.

En la figura 5.1.3 se observa la comparación de los resultados con los datos de la bibliografía. Se observa una clara disminución de tensión superficial al aumentar la concentración de etanol.

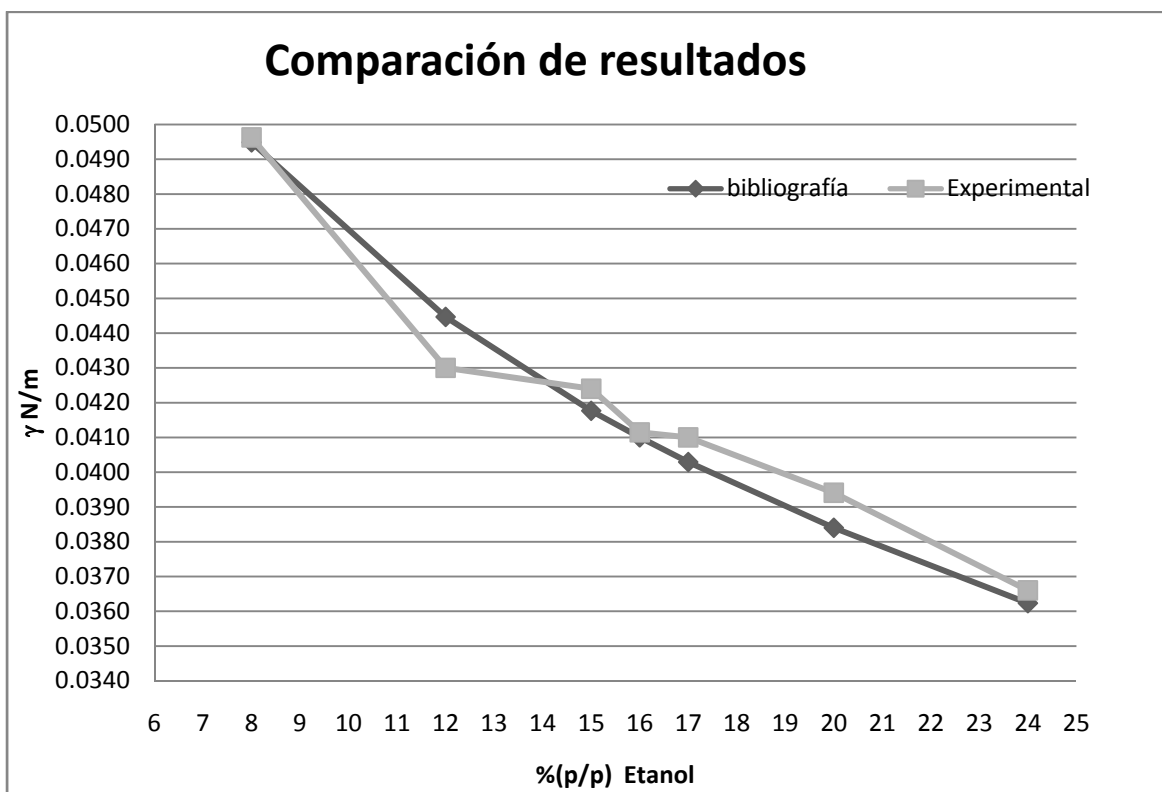


Figura 5.1.3. Comparación de tensión superficial de bibliografía y experimental

5.2 Ángulo de contacto “Placa de silicio”

Para obtener los resultados de ángulo de contacto, se utilizó el goniómetro del laboratorio LA – 107. Los resultados de ángulo de contacto que se muestran en la tabla 5.2.1 se obtuvieron en una placa de silicio.

Placa de Silicio	
% (p/p) Etanol	Ángulo
0	65
8	63.43
12	59.84
15	57.87
16	57.37
17	55.41
20	51.91
24	45.55

Tabla 5.2.1. Ángulo de contacto sobre placa de silicio.

Los resultados de ángulo de contacto sobre una placa de silicio se encuentran graficados en la figura 5.2.1. Se puede observar que no se encontró ninguna peculiaridad en la mezcla al 16 %, debido a que es una superficie higroscópica, la cual no forma el mismo ángulo de contacto que en la placa de silicio.

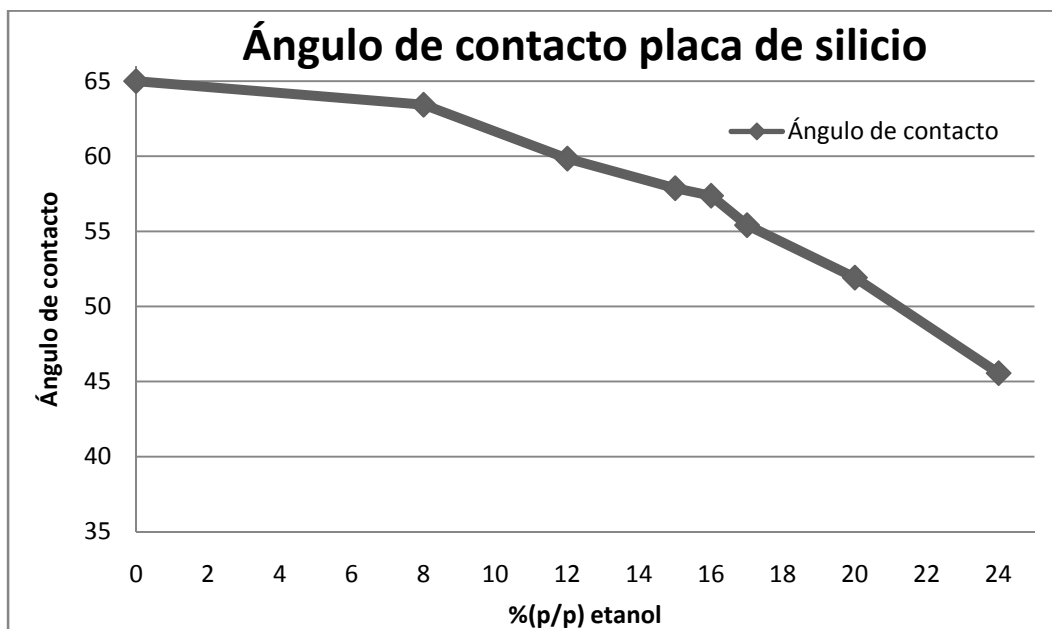


Figura 5.2.1. Resultados de ángulo de contacto en la placa de silicio

5.3 Ángulo de contacto “Placa de acero inoxidable”

La tabla 5.3.1 muestra los ángulos de contacto que son formados en una placa de acero inoxidable. Se observa el ángulo formado por la mezcla al 16% presenta una disminución considerable con respecto a los demás puntos. Los resultados obtenidos por Meléndez Elva y René Reyes de ángulo de contacto, también mencionan esta peculiaridad de la mezcla etanol – agua al 16%. (Anexo A)

Placa de acero inoxidable	
% p/p	Ángulo de contacto
0	45.74488889
8	45.97455513
12	42.86368376
15	38.00178451
16	33.19771852
17	33.51182744
20	36.04857778
24	32.9656667

Tabla 5.3.1. Ángulo de contacto en placa de acero inoxidable

En la siguiente figura se muestran graficados los resultados de ángulo de contacto sobre la placa de acero inoxidable. Se observa claramente la peculiaridad de la mezcla al 16 %.

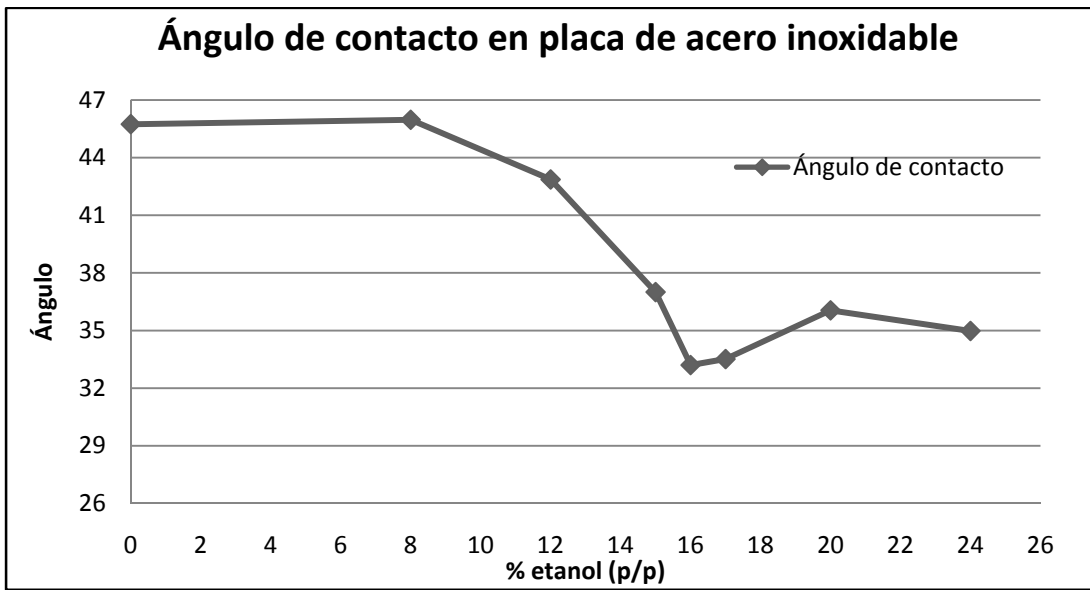


Figura 5.3.1 Gráfica de ángulo de contacto sobre la placa de acero inoxidable.

En la figura 5.3.2 se observa los resultados de ángulo de contacto en las superficies de silicio y acero inoxidable. Se puede observar una variación sustancial entre los ángulos de contacto sobre las dos diferentes superficies. Las mediciones de ángulo de contacto sobre la placa de silicio no se observa la variación al 16%, además los valores del ángulo son mayores que los presentados en la placa de acero inoxidable.

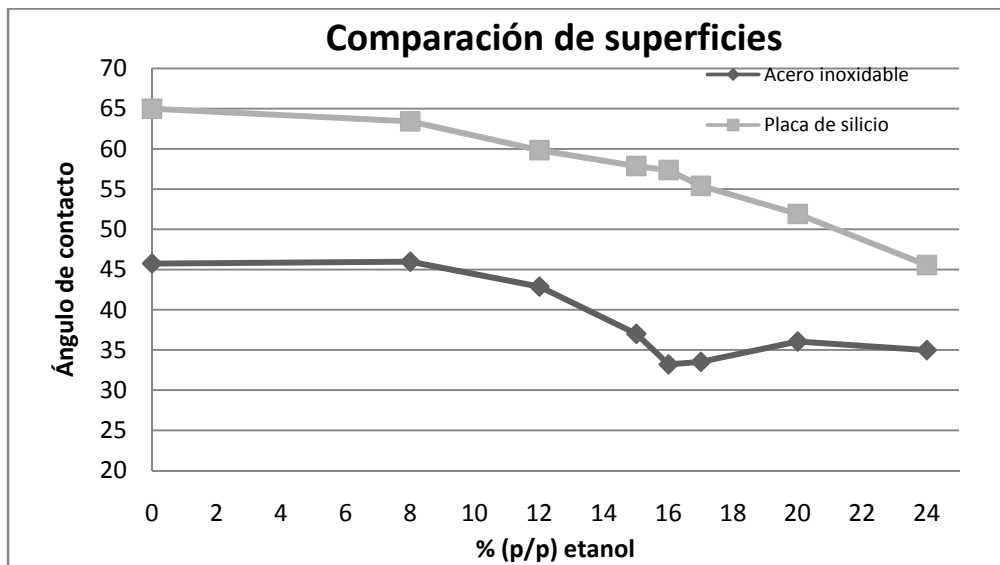


Figura 5.3.2 Gráfica de comparación entre las superficies.

En las siguientes figuras se observa el cambio del ángulo de contacto de la superficie de silicio a la superficie del acero inoxidable, es necesario mencionar que las imágenes corresponden a la misma mezcla.

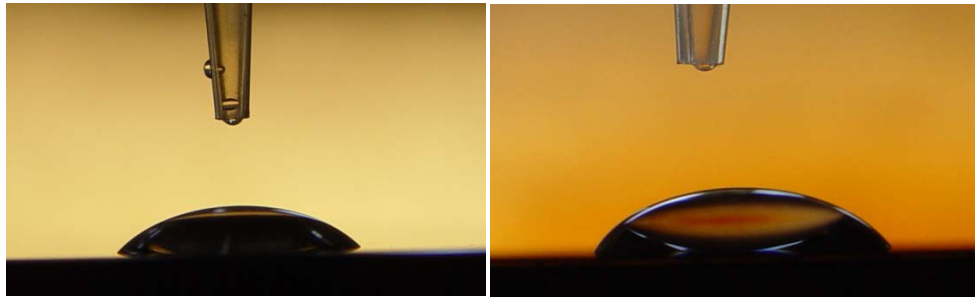


Figura 5.3.2. Izq. Placa de Acero inoxidable, derecha placa de silicio (Mezcla 12%)



Figura5.3.3. Izq. Placa de Acero inoxidable, derecha placa de silicio (Mezcla 16%)



Figura 5.3.4. Izq. Placa de Acero inoxidable, derecha placa de silicio (Mezcla 24%)

5.4 Coeficiente convectivo

La medición del coeficiente convectivo se llevo a cabo por medio de la cámara de ebullición que contiene 3 resistencias, un equipo de medición de temperatura FLUKE 1529 que cuenta con 4 entradas para medir diferencias de temperaturas.

Después de llevar a temperatura de saturación se miden las diferencias de temperaturas entre la resistencia y el fluido, es importante mencionar que es necesario esperar varios minutos hasta que se observe una mínima variación de la temperatura del fluido. En las siguientes tablas se muestran los resultados del coeficiente convectivo de las mezclas etanol – agua a la presión de puebla (598 mmHg).

Los valores de calor suministrado q se obtuvieron por la siguiente ecuación. Los valores de corriente eléctrica I y voltaje V , se obtuvieron por medio del amperímetro.

$$q = I * V \quad \text{Ec. 5.4.1}$$

La siguiente tabla 5.4.1 muestra los resultados obtenidos del coeficiente convectivo h al ir variando la energía suministrada (q) por el reóstato, estos resultados se obtuvieron con agua. Los valores q van descendiendo debido a que la corriente eléctrica va disminuyendo, por lo tanto se observa una una disminución del coeficiente convectivo.

Temperaturas de saturación (aproximado) AGUA $T^{\text{sat}} 92.5^{\circ}\text{C}$					
% Reóstato	q W	$T_{\text{Resistencia}}^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{Fluido}}^{\circ}\text{C}$	ΔT	h (W/cm 2 °C)
—	—	—	—	0	0
100	1682.36	92.522	92.174	0.348	79.48486928
90	1548	92.509	92.142	0.367	69.35051115
80	1392.3	92.38	91.998	0.382	59.92585437
70	1130.5	91.885	91.462	0.423	43.94150967
60	1011.5	91.267	90.753	0.514	32.35545731

Tabla 5.4.1. Coeficiente convectivo “Agua”

La tabla 5.4.2 muestra los valores obtenidos de coeficiente convectivo con la mezcla etanol – agua al 5%. Se puede observar que los valores de la temperatura del fluido y de la superficie de la resistencia, disminuyeron con respecto a los obtenidos en la medición de Agua. Los valores de la diferencia de temperatura se incrementan ocasionando la disminución del coeficiente convectivo.

Temperaturas de saturación (aproximado) Etanol 5% $T^{\text{sat}} = 89^{\circ}\text{C}$					
% Reóstato	q W	T Resistencia $^{\circ}\text{C}$	T Fluido $^{\circ}\text{C}$	ΔT	h (W/cm2$^{\circ}\text{C}$)
—		—	—	0	0
100	1682.36	88.407	87.878	0.529	52.28872308
90	1584.12	88.972	88.435	0.537	48.50187921
80	1404	88.566	87.707	0.859	26.87315879
70	1130.5	85.741	84.677	1.064	17.469228
60	1070.15	86.709	85.489	1.22	14.42213643

Tabla 5.4.2. Coeficiente convectivo “Etanol 5%”

En la tabla arriba se observa que los valores de la temperatura de la resistencia no logra alcanzar los valores de la temperatura de saturación, lo cual ocasiona que los valores obtenidos no sean confiables. Esto es provocado por la falta de calibración del instrumento.

En la siguiente tabla 5.4.3 se muestran los resultados obtenidos de la mezcla al 16 %. Es importante recordar que se busca encontrar el máximo valor de coeficiente convectivo en esta mezcla. La temperatura de saturación obtenida por el ASPEN PLUS es de 82.7°C .

Temperaturas de saturación					
% Reóstato	q W	T Resistencia $^{\circ}\text{C}$	T Fluido $^{\circ}\text{C}$	ΔT	h (W/cm2$^{\circ}\text{C}$)
—	—	—	—	0	0
100	1671.4	82.853	82.557	0.296	82.03964286
90	1584.12	84.238	83.919	0.319	81.64736407
80	1435.59	83.904	83.537	0.367	64.31453508
70	1165.65	83.061	82.61	0.451	42.49485977
60	1043.1	82.93	82.192	0.738	23.2354935

Tabla 5.4.3. Coeficiente convectivo “Etanol 16%”

V. Análisis de resultados

Los resultados de la tabla (5.4.3) muestran un problema similar a los obtenidos en la mezcla al 5%. Se puede observar que los valores de la temperatura del fluido al 90 y 80 % del reóstato, son mayores a la temperatura de saturación obtenida por el software ASPEN PLUS.

En la siguiente tabla 5.4.4 se muestran los resultados de la mezcla de etanol – agua al 27%. La temperatura de saturación obtenida por el software es de 80 °C. Se puede observar que los resultados son similares para todos las mezclas.

Temperaturas de saturación (aproximado) Etanol 27%					
% Reóstato	q W	T Resistencia °C	T Fluido °C	ΔT	h (W/cm ² °C)
				0	0
100	1680.99	79.985	79.664	0.321	86.10034107
90	1567.35	80.229	79.902	0.327	78.80667604
80	1368.9	82.857	82.488	0.369	60.99442361
70	1144.75	82.842	82.457	0.385	48.88714745
60	1042.95	83.665	83.164	0.501	34.20437674

Tabla 5.4.4. Coeficiente convectivo “Etanol 27%”

En la siguiente tabla 5.4.5 se muestra el concentrado de todos los coeficientes convectivo a diferentes porcentajes de reóstato.

% Reóstato	Agua	Etanol 5%	Etanol 16%	Etanol 27%
100	79.4848693	52.2887231	82.8396429	86.1003411
90	69.3505112	48.5018792	81.6473641	78.806676
80	59.9258544	26.8731588	64.3145351	60.9944236
70	43.9415097	17.469228	42.4948598	48.8871474
60	32.3554573	14.4221364	23.2354935	34.2043767

Tabla 5.4.5. Concentrado de coeficientes convectivo a diferentes mezclas

En la siguiente figura 5.4.1 se muestran graficados los coeficientes convectivo contra el porcentaje de resistencia del reóstato, es de esta manera como se puede observa de manera más clara las diferencias de los resultados. El mayor coeficiente convectivo se muestra en la mezcla al 27% al 100% del reóstato y el de menor es el de la mezclas al 5%.

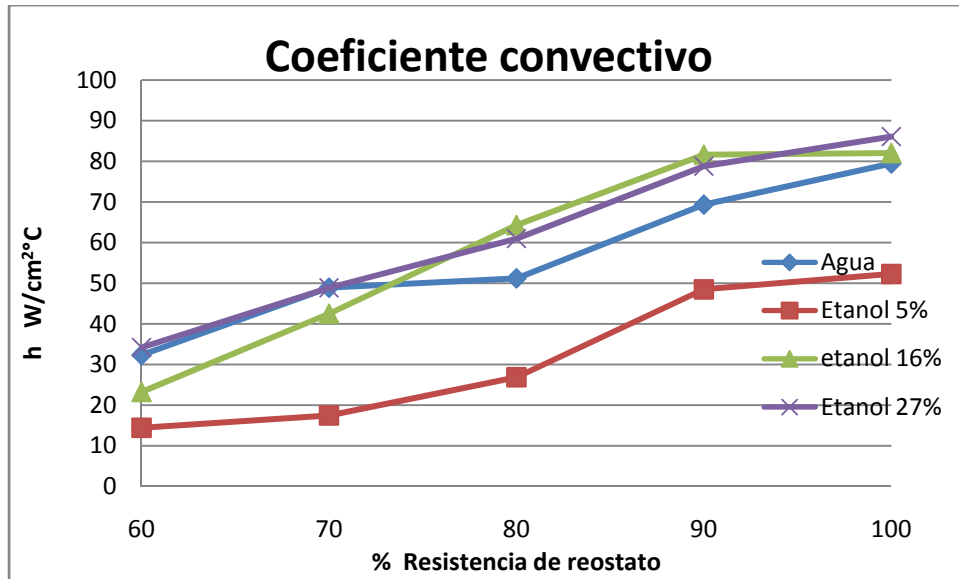


Figura 5.4.1. Coeficiente convectivo vs porcentaje de reóstato

En la siguiente figura 5.4.2 se muestran graficados los coeficientes de convección contra las diferencias de temperaturas. Se observa que la mezcla al 27% es la que muestra mayor magnitud de coeficiente convectivo. La que muestra el menor coeficiente es la mezcla al 5%.

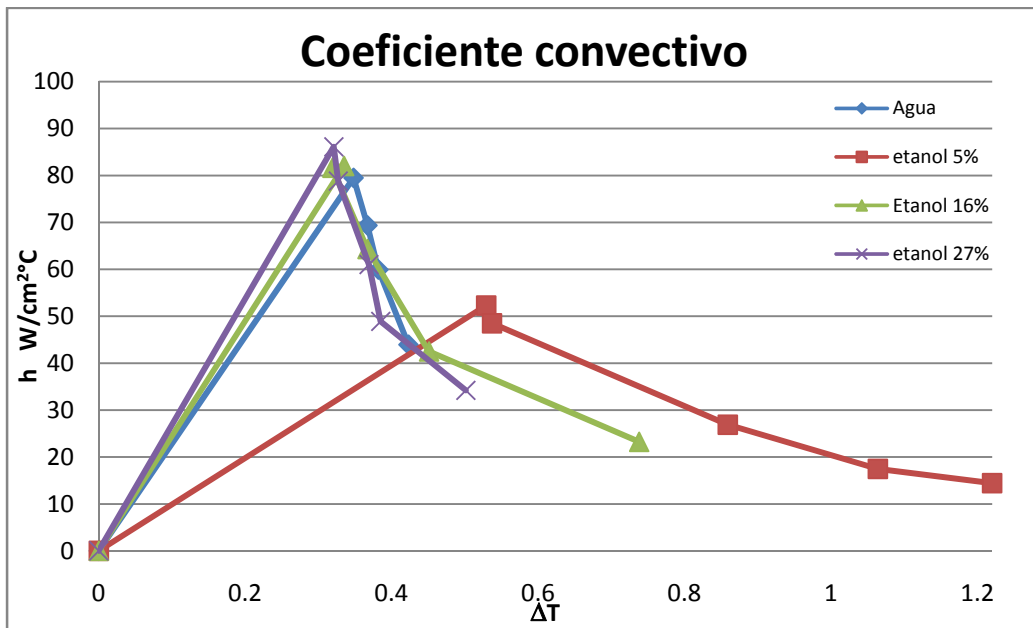


Figura 5.4.2. Coeficiente convectivo de las mezclas etanol – agua.

Los resultados de coeficiente convectivo a diferentes mezclas no son los esperados. La mezcla al 16 % es la que se esperaba con mayor coeficiente, contrariamente a los resultados obtenidos, que muestran el mayor coeficiente en la mezcla al 27 %.

Las temperaturas máximas esperadas del fluido son las temperaturas de saturación de las mezclas, las cuales son superadas en varios grados según la lectura de los termopares. Se podrían tener datos equivocados de temperatura de saturación, pero lo que realmente afecta a esta medición son las diferencias de temperaturas. Es por esa razón, que no se puede obtener datos confiables.

Los resultados se pueden haber visto afectado por la calibración de los termopares, debido a que estos muestran consistentemente problemas en la lectura. Lamentablemente los datos obtenidos no son viables de utilizar debido a que contienen errores sustanciales que podrían ocasionar conclusiones equivocadas.

El último paso para terminar los resultados, era el de elaborar una correlación utilizando como base la ecuación de Newton. No es posible llegar a este último paso debido a que no se cuentan con datos confiables para desarrollarlo.