



## ***CAPÍTULO 6. RESULTADOS***

En este capítulo se reportan las velocidades de corrosión alcanzadas para los aceros al carbón AISI 1018 y 1010 en los sistemas analizados. Además, se presenta la comparación con velocidades de corrosión, para los mismos sistemas, empleando equipos de prueba diferentes, obtenidas por el Área de Investigación en Termofísica del Instituto Mexicano del Petróleo. De igual forma, se realiza la comparación de los datos obtenidos en este estudio con los reportados por la literatura (Rooney et al., 1996)

### ***6.1 Condiciones de las pruebas***

Se realizaron en total 9 pruebas de corrosión o corridas experimentales. Con ellas se determinó la velocidad de corrosión del acero al carbono en soluciones acuosas de MDEA 50 % (m/m), con concentraciones altas de sales térmicamente estables. Se eligió dicha alcanolamina debido a que según la literatura tiene un gran interés comercial en la actualidad, al poseer excelentes propiedades para los procesos de endulzamiento de gas natural. Sumado a lo anterior, sólo se trabajó con una alcanolmina para delimitar las variables y tener un mejor control en las pruebas. La concentración se eligió con base a recomendaciones de literatura (Khol y Nielsen, 1997), las cuales mencionan que la concentración óptima de las soluciones acuosas de MDEA, empleadas en plantas de purificación de gas natural, corresponde al 50 % masa.

La duración de las pruebas fue de 95 hrs, en todos los casos. Este tiempo se fijó con base al tiempo disponible para realizar las pruebas y la recomendación de que el tiempo de exposición no fuese demasiado corto. De igual forma, todas las pruebas de corrosión se llevaron a cabo a una temperatura de 120 °C. Esta temperatura se seleccionó debido que corresponde a la condición de operación de la torre regeneradora, lugar en el que se presenta mayor corrosión en el proceso de endulzamiento de gas natural.

Es importante mencionar que el estudio de velocidad de corrosión en los dos tipos de acero, AISI 1018 y 1010 se realizó para la fase vapor y la fase líquida, por lo cual se obtuvieron dos valores de velocidad de corrosión para cada sistema estudiado; correspondiente a cada fase.



En la Tabla 10 se reportan las sales térmicamente estables estudiadas en cada una de las pruebas de corrosión. De igual forma, se muestran: el tipo de acero al carbón, el número de testigos y las horas de pulido a las que estos fueron sometidos.

**Tabla 1. Sistemas estudiados y condiciones de las pruebas**

| Corrida | Acero al carbón | Sistema                          | Concentración (ppm) | N° de celdas | N° de testigos | Pulido (h) |
|---------|-----------------|----------------------------------|---------------------|--------------|----------------|------------|
| 1       | AISI 1018       | MDEA:H <sub>2</sub> O 50 % (m/m) |                     | 2            | 20             | 312        |
| 2       |                 | Bicina                           | 5000                | 2            | 14             | 165.5      |
| 3*      |                 | Bicina                           | 3500                | 1            | 10*            | 340        |
| 4       |                 | Ácido oxálico                    | 5026                | 2            | 20             | 307        |
| 5       |                 | Bicina                           | 3500                | 1            | 10             | 499.5      |
|         |                 | Bicina                           | 5000                | 1            | 10             | 499.5      |
| 6       | AISI 1010       | MDEA:H <sub>2</sub> O 50 % (m/m) |                     | 1            | 10             | 138        |
| 7       |                 | Bicina                           | 5000                | 1            | 10             | 138        |
|         |                 | Ácido oxálico                    | 5000                | 1            | 10             | 138        |
|         |                 | Oxalato de sodio                 | 5000                | 1            | 10             | 138        |
|         |                 | Ácido fórmico                    | 5000                | 1            | 10             | 138        |
|         |                 | Formiato de sodio                | 5000                | 1            | 10             | 138        |
|         | 8               | Bicina                           | 3500                | 1            | 10             | 138        |
| 9       | AISI 1010       | Ácido acético                    | 5000                | 1            | 10             | 138        |
|         |                 | Acetato de sodio                 | 5000                | 1            | 10             | 138        |
|         |                 | <i>Efecto del oxígeno</i>        |                     |              |                |            |
|         |                 | MDEA:H <sub>2</sub> O 50 % (m/m) |                     | 1            | 10             | 159.5      |
| 9       | AISI 1010       | Bicina                           | 5000                | 1            | 10             | 159.5      |
|         |                 | Ácido oxálico                    | 5000                | 1            | 10             | 159.5      |

\*Se emplearon testigos reciclados

Como se observa para el estudio de velocidad de corrosión en los dos tipos de aceros se realizó una corrida con la solución MDEA: H<sub>2</sub>O al 50 % (m/m). Lo anterior, con el objeto de tener valores de referencia y poder comparar el efecto de las diferentes sales térmicamente estables en la velocidad de corrosión. La corrida 3 se realizó empleando testigos reciclados, los cuales se utilizaron en pruebas previas como testigos de referencia en las corridas de corrosión del Área de Investigación en Termofísica del IMP.



Adicional a lo presentado en este Capítulo en el Anexo VI se muestran fotografías de algunos testigos empleados en las pruebas de corrosión así como su interpretación.

## 6.2 Resultados para Acero al Carbón 1018

El estudio de corrosión de acero al carbono AISI 1018 se realizó para determinar la velocidad de corrosión causada por bicina, a dos concentraciones, y ácido oxálico. Se eligieron dichas sustancias debido a que, según la literatura, representan los compuestos con mayor efecto en el incremento de la velocidad de corrosión.

La concentración de 5000 ppm se eligió para poder validar datos de velocidad de corrosión reportados en la literatura. Aunado a ello, diversas fuentes mencionan que esta concentración corresponde a la más alta encontrada en plantas de endulzamiento de gas natural (Rennie, 2006). Por su parte la concentración de 3500 ppm de bicina se estudió para evaluar la velocidad de corrosión en un caso real, ya que dicha concentración de esta sal térmicamente estable se encontró en una planta de endulzamiento de gas natural de Pemex en el 2000. Los resultados obtenidos de velocidad de corrosión a 120 °C se reportan en la Tabla 11.

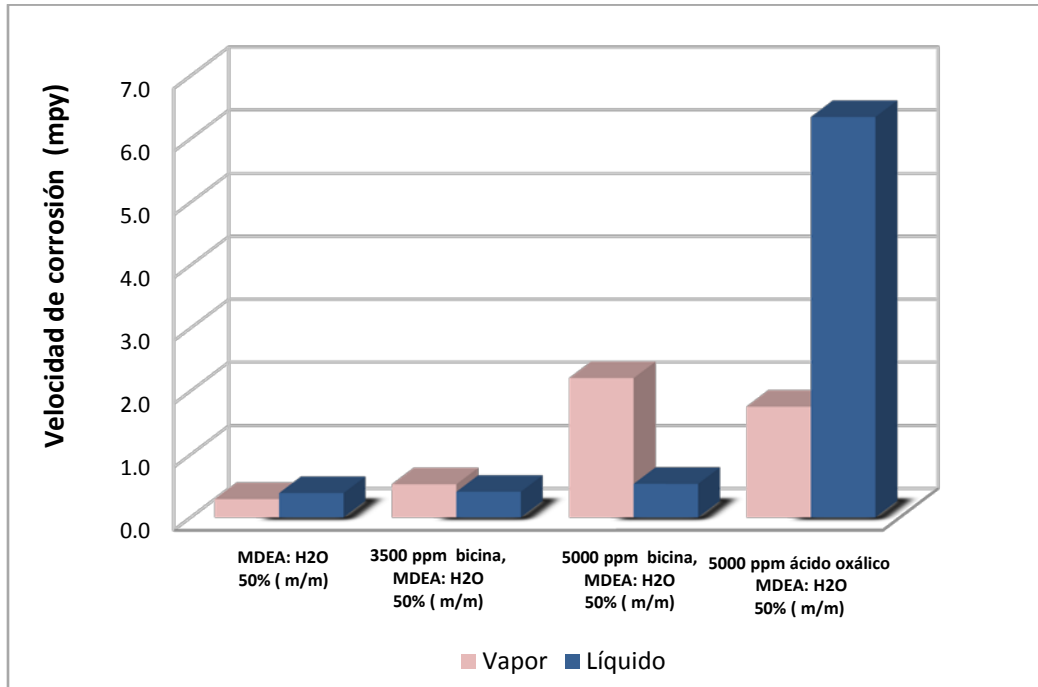
**Tabla 2. Resultados de velocidad de corrosión de acero al carbón AISI 1018**

| Sistema               | Concentración<br>(ppm) | Velocidad de corrosión<br>(mpy) |          |         |          | N° de<br>testigos |     |
|-----------------------|------------------------|---------------------------------|----------|---------|----------|-------------------|-----|
|                       |                        | Vapor                           |          | Líquido |          | na*               | nb* |
|                       |                        |                                 |          |         |          |                   |     |
| MDEA:H2O 50%<br>(m/m) | -                      | 0.2932                          | ± 0.1559 | 0.3899  | ± 0.0524 | 8                 | 10  |
| Bicina                | 3500                   | 0.5299                          | ±0.2123  | 0.4106  | ± 0.0405 | 4                 | 6   |
|                       | 5000                   | 2.2078                          | ± 0.3802 | 0.5363  | ± 0.0518 | 4                 | 8   |
| Ácido oxálico         | 5000                   | 1.7531                          | ±0.9996  | 6.3494  | ±0.9903  | 8                 | 11  |

na\* Testigos empleados para el cálculo de la fase vapor

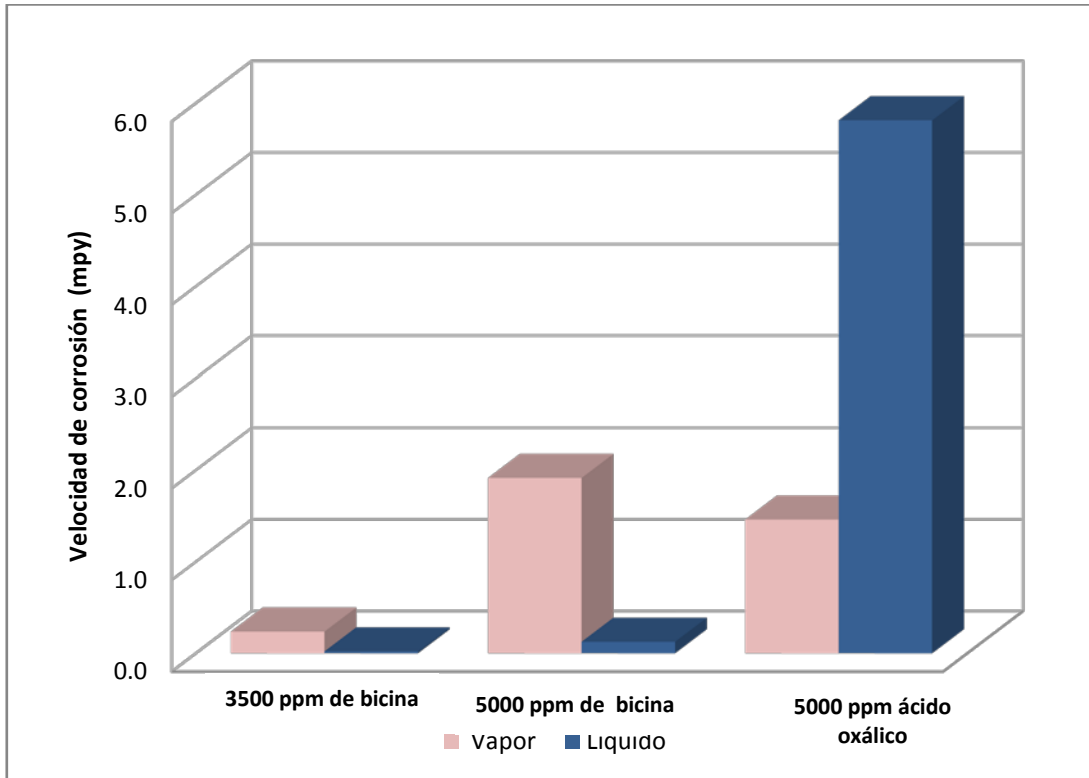
nb\* Testigos empleados para el cálculo de la fase líquida

En la Figura 22 se muestra un gráfico donde se ilustran los resultados reportados en la Tabla anterior.



**Figura 1. Velocidades de corrosión de acero al carbón AISI 1018 a 120 °C**

Las velocidades de corrosión obtenidas para el acero al carbono AISI 1018, por los sistemas de bicina y ácido oxálico, describen el efecto global de la solución acuosa de MDEA 50% (m/m) y la concentración de las sales térmicamente estables. Sin embargo, si se considera que la velocidad de corrosión por consecuencia de las sales térmicamente estables es aditiva a la alcanzada por la solución acuosa de MDEA, la velocidad de corrosión relacionada a la bicina y el ácido oxálico correspondería a la ilustrada en la Figura 23. Con esta figura es posible apreciar mejor la contribución de las sales térmicamente estables en la velocidad de corrosión del acero al carbón AISI 1018.



**Figura 2.** Velocidad de corrosión por efecto de sales térmicamente estables en acero al carbón AISI 1018 a 120°C.

### 6.2.1 Velocidad de corrosión por efecto de bicina

En los resultados del estudio de velocidad de corrosión se observa que la velocidad de corrosión en la fase vapor es superior a comparación de la obtenida en la fase líquida. Dicha tendencia se observa en los resultados obtenidos para las dos concentraciones estudiadas de la sal térmicamente estable. En el caso de la concentración de 3500 ppm existe una relación de 12/1 en las velocidades de corrosión del vapor y líquido. Para la concentración de 5000 ppm esta relación es mayor, siendo de 15/1.

La fase líquida de las soluciones de bicina no tuvo un efecto considerable en el incremento de la velocidad de corrosión con respecto a la obtenida para la solución acuosa de MDEA, ya que la relación entre las velocidades de corrosión obtenidas para las concentraciones de 3500 y 5000 (mpy) fueron de 1.1/1 1.3/1, respectivamente. Aunado a ello, la velocidad de corrosión, considerando el efecto de la bicina para 3500 ppm fue de 0.0207 mpy; mientras que para 5000 ppm corresponde a 0.1257 mpy.



En el caso de la fase vapor la concentración de 3500 ppm tuvo una relación de 1.8/1 en velocidad de corrosión con respecto a la solución de referencia lo cual significa que se alcanzó un incremento en la velocidad de corrosión cercano al 50 %. Por su parte, para la concentración de 5000 ppm de bicina la relación fue de 7.5/1 observándose un aumento considerable en la velocidad de corrosión. Esta tendencia indica que a concentraciones muy altas de bicina, la velocidad de corrosión, en la fase vapor, se incrementa de forma significativa.

### ***6.2.2 Velocidad de corrosión por efecto de ácido oxálico***

Contrario al comportamiento de las soluciones acuosas de bicina (3500 y 5000 ppm) el ácido oxálico sigue la misma tendencia que la solución de referencia. En la Figura 22 se observa que la velocidad de corrosión en la fase líquida es mayor que en la fase vapor teniendo una relación de 3.7/1. Esto muestra que la solución de ácido oxálico en la fase líquida es aproximadamente cuatro veces más corrosiva que la fase vapor.

En relación a la solución de referencia se observa que la solución de ácido oxálico incrementa la velocidad de corrosión en ambas fases. De forma particular, este incremento se nota de forma considerable en la fase líquida. Como se reporta en la Tabla 9, la velocidad de corrosión va de 0.3899 mpy, para la solución de referencia, a 6.3494 mpy, dando lugar a una relación de 5.9/1. Adicionalmente en la Figura 23, se puede apreciar que la velocidad de corrosión asociada al ácido oxálico es grande.

### ***6.2.3 Resultados por efecto de la superficie del acero al carbón AISI 1018.***

En la tabla 12 se muestran los resultados de velocidad de corrosión de las pruebas con solución de 3500 ppm de bicina en MDEA: H<sub>2</sub>O 50% (m/m) empleando testigos reciclados de pruebas previas del Área en Investigación en Termofísica del IMP y testigos nuevos; es decir sin ser sometidos a ninguna prueba anterior. Como ya antes se mencionó los testigos reciclados corresponden a testigos empleados como referencia, los cuales se expusieron al medio ambiente, pero no ninguna solución, para la velocidad de corrosión por éste. A dichos testigos se les sometió a un proceso de pulido así como al tratamiento antes de las pruebas descrito en el Capítulo 5.



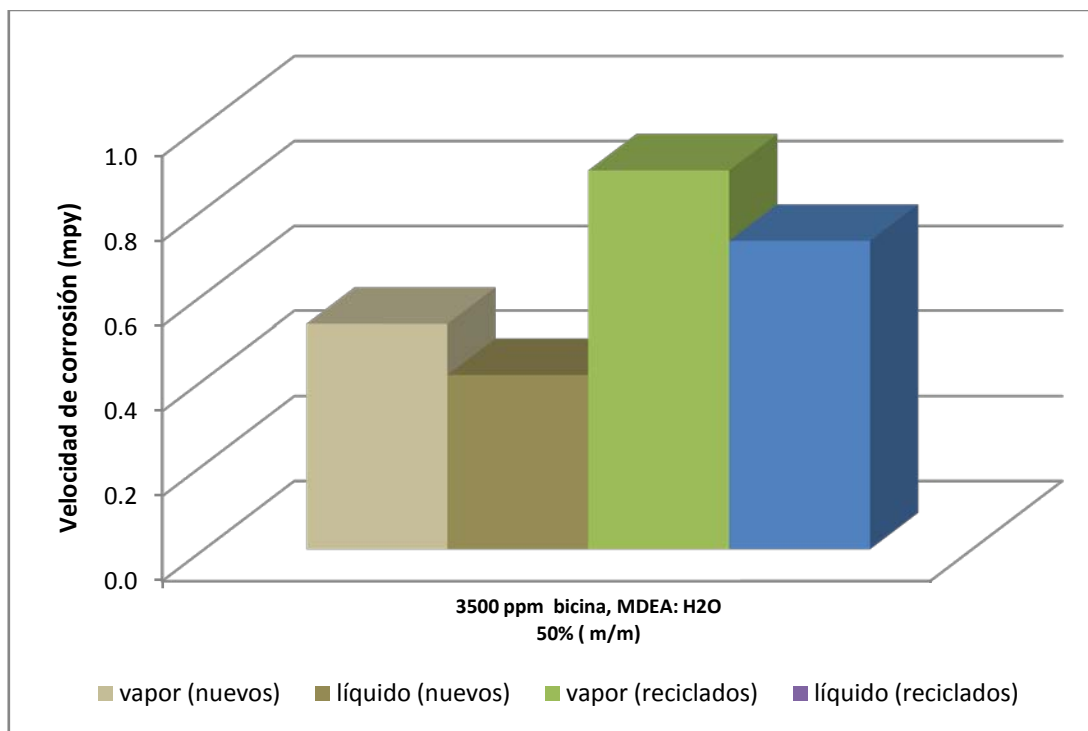
**Tabla 3. Resultados de velocidad de corrosión por condición de la superficie de acero al carbón AISI 1018.**

|                              | Concentración<br>(ppm) | Velocidad de corrosión<br>(mpy) |         |         |          | na* | nb* |
|------------------------------|------------------------|---------------------------------|---------|---------|----------|-----|-----|
|                              |                        | Vapor                           |         | Líquido |          |     |     |
|                              |                        |                                 |         |         |          |     |     |
| Bicina (Testigos nuevos)     | 3500                   | 0.5299                          | ±0.2123 | 0.4106  | ± 0.0405 | 4   | 6   |
| Bicina (Testigos reciclados) | 3500                   | 0.8913                          | ±1.1254 | 0.7254  | ± 0.0329 | 4   | 6   |

na\*Testigos empleados para el cálculo de la fase vapor

nb\* Testigos empleados para el cálculo de la fase líquida

En la figura 24 se muestran los resultados de forma gráfica.



**Figura 3. Velocidad de corrosión por efecto de la condición de la superficie**

Como se observa las velocidades de corrosión alcanzadas en ambas fases presentan la misma tendencia. Sin embargo, dicha velocidad es mayor en los testigos reciclados que en los testigos nuevos en un porcentaje cercano al 60% para la fase líquida y un 57% para la vapor.



### 6.2.3 Comparación de resultados de velocidad de corrosión

La Figura 25 ilustra una comparación de las velocidades de corrosión de acero al carbón AISI 1018 obtenidas en este trabajo y las alcanzadas, para los mismos sistemas, por el grupo del Área de Investigación en Termofísica del IMP. Los resultados de velocidad de corrosión obtenidos por el grupo de investigación de dicho Instituto se obtuvieron en un equipo que emplea un movimiento oscilatorio para proveer agitación al sistema. La duración de dichas pruebas fue de 160 h y de 170 h, para solución de referencia y bicina, y para la de ácido oxálico.

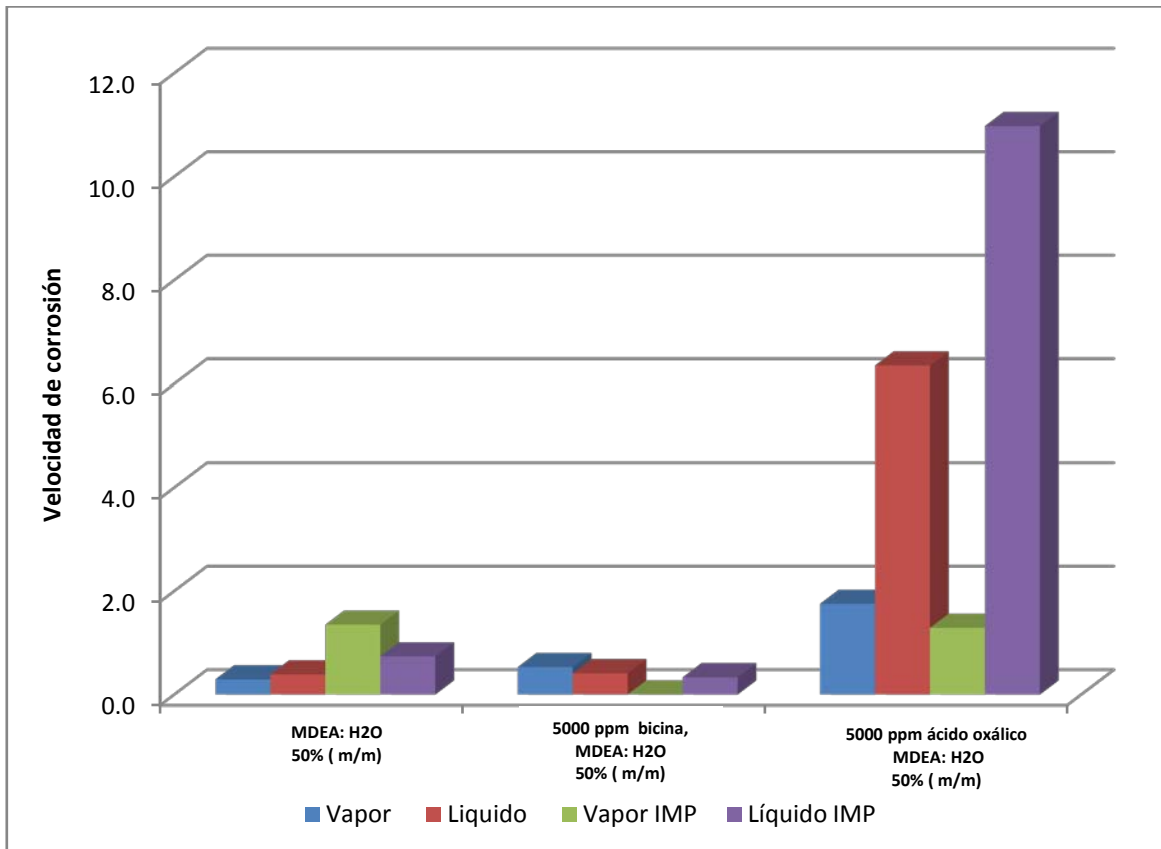


Figura 4. Comparación de velocidades de corrosión de acero al carbón a 120°C obtenidas con los reportados en el Instituto Mexicano del Petróleo empleando un sistema semi-estático.





Las velocidades de corrosión de las soluciones de referencia presentan tendencias contrarias, en los datos obtenidos en este trabajo y los alcanzados por el grupo de trabajo del Área de Termofísica del Instituto. Esto se debe a que según los resultados obtenidos en el Instituto la fase vapor presentan una mayor velocidad de corrosión con respecto al líquido. Por otra parte, los resultados de velocidad de corrosión, obtenidos y los reportados, para el ácido oxálico presentan la misma tendencia. Sin embargo, la relación entre la fase líquida y vapor de las velocidades alcanzadas en el IMP es 8.5/1, la cual representa el doble a la obtenida en este estudio.

#### ***6.2.4 Comparación con resultados de la literatura***

Los datos reportados en la literatura sobre velocidad de corrosión por soluciones de ácido oxálico en la corrosividad de solución acuosa de MDEA 50 % (m/m) se compararon con los obtenidos en este estudio. Los datos reportados por Rooney et al. (2006) corresponden a la fase líquida, a una temperatura de 120 °C, el tiempo de duración de las pruebas no se encuentra especificado ni el tipo de acero al carbón. El resultado de la comparación arrojó que la velocidad de corrosión obtenida en este trabajo de investigación fue mucho menor a la reportada, la cual corresponde a 170 mpy.

#### ***6.2.5 Discusión de resultados de acero al carbón AISI 1018***

Se observa que el ácido oxálico es la sal térmicamente estable que presenta un efecto de aumento significativo en las velocidades de corrosión en ambas fases, siendo más significativo en la fase líquida. Por otra parte, la bicina a una concentración de 5000 ppm fue el sistema que tuvo el mayor incremento en la velocidad de corrosión en la fase vapor. Siguiendo con esta sustancia, se observa que la solución de bicina no contribuye de forma significativa en la velocidad de corrosión de la fase líquida.

En cuanto a los resultados al emplear testigos reciclados y nuevos se observa que los primeros alcanzaron una velocidad de corrosión mayor en comparación de los últimos. Esto se puede explicar a que a pesar de que se realizó el mismo tratamiento a ambos testigos, los testigos reciclados al ser expuestos previamente a pruebas de corrosión presentaron susceptibilidad al ataque en comparación a la mostrada por los testigos de material nuevo.



Con respecto a la comparación de los resultados de velocidad de corrosión se puede decir que los resultados obtenidos por el grupo de investigación del Área de Propiedades Termofísicas, para la solución acuosa de MDEA 50 % (m/m) con 5000 ppm de ácido oxálico tiene una relación con respecto a la solución de referencia cercana a la obtenida en este trabajo de investigación. No obstante, en el caso de los resultados reportados en literatura los obtenidos para la solución de ácido oxálico se tienen grandes diferencias, considerando la relación de 27/1 en la velocidad de corrosión.

### 6.3 Resultados Acero al Carbón AISI 1010

El estudio de corrosión de acero al carbono AISI 1010 se realizó para determinar la velocidad de corrosión causada por las mismas sustancias y concentraciones evaluadas en las pruebas para acero al carbón AISI 1018. Además se determinó la velocidad de corrosión para el oxalato de sodio y los pares de ácido fórmico y formiato de sodio, así como para el ácido acético y el acetato de sodio. Los resultados obtenidos del estudio de dichos compuestos y de la solución de referencia se reportan en la Tabla 13.

**Tabla 4. Resultados de velocidad de corrosión a 120 °C de acero al carbón AISI 1010.**

| Sistema            | Concentración<br>(ppm) | Velocidad de corrosión<br>(mpy) |          |         |          | N° de<br>testigos |     |
|--------------------|------------------------|---------------------------------|----------|---------|----------|-------------------|-----|
|                    |                        | Vapor                           |          | Líquido |          | na*               | nb* |
|                    |                        |                                 |          |         |          |                   |     |
| MDEA:H2O 50% (m/m) | -                      | 0.5277                          | ± 0.0212 | 0.5320  | ± 0.0438 | 4                 | 6   |
| Bicina             | 3500                   | 1.2725                          | ±0.1324  | 0.7852  | ± 0.0715 | 4                 | 6   |
|                    | 5000                   | 3.0993                          | ± 0.1200 | 0.6621  | ± 0.0295 | 4                 | 6   |
|                    | Ácido oxálico          | 5000                            | 1.4240   | ±0.4566 | 5.4554   | ±0.1066           | 4   |
| Oxalato de sodio   | 5000                   | 2.7442                          | ±0.3348  | 0.5960  | ±0.1453  | 4                 | 6   |
| Ácido fórmico      | 5000                   | 2.4490                          | ± 0.1052 | 0.5762  | ±0.1024  | 4                 | 6   |
| Formiato de sodio  | 5000                   | 1.6878                          | ± 0.1874 | 0.5333  | ±0.0974  | 4                 | 6   |
| Ácido acético      | 5000                   | 1.1706                          | ±0.1540  | 0.9143  | ±0.0540  | 4                 | 6   |
| Acetato de sodio   | 5000                   | 0.9629                          | ±0.0316  | 1.6292  | ±0.2084  | 4                 | 6   |

na\* Testigos empleados para el cálculo de la fase vapor

nb\* Testigos empleados para el cálculo de la fase líquida



En la figura 26 se ilustran los resultados obtenidos de velocidades de corrosión de acero al carbón AISI 1010. En este caso se nota que la velocidad de corrosión por la solución de referencia es aproximadamente igual entre la obtenida para la fase vapor y la fase líquida, siendo apenas 0.0043 mpy más grande ésta última. También se aprecia que los sistemas que presentan mayor corrosividad en la fase líquida, además de la solución de referencia, son el ácido oxálico, y el acetato de sodio; mientras que para las otras sales el efecto corrosivo es más significativo en la fase vapor.

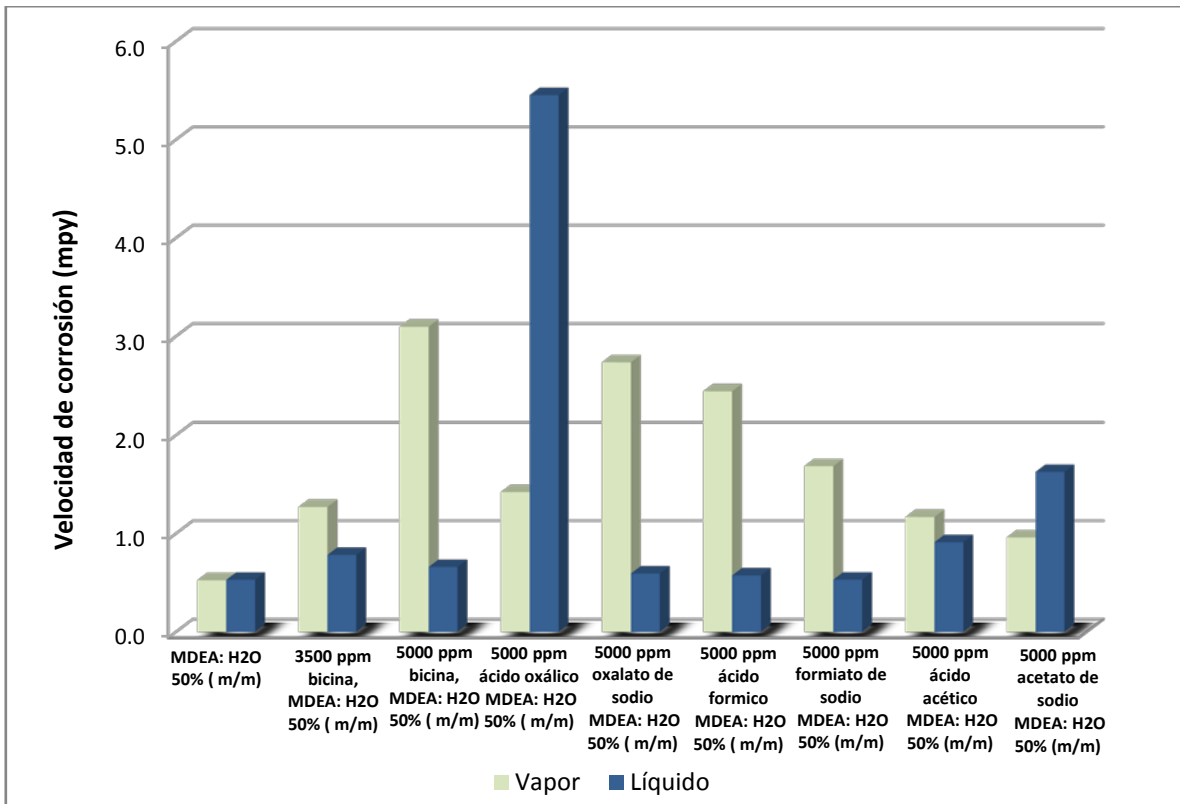
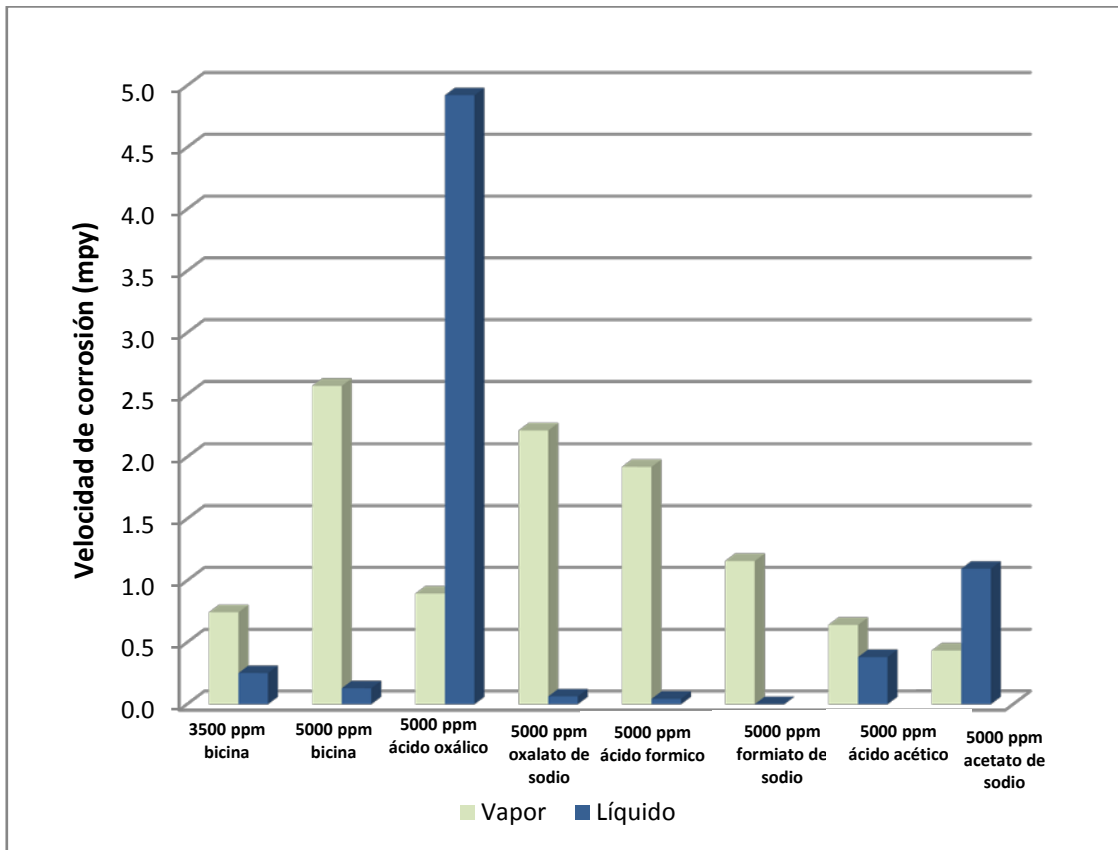


Figura 5. Resultados de velocidad de corrosión en acero al carbón AISI 1010

Al igual que para el acero al carbón AISI 1018 se realizó un gráfico considerando que el efecto en la velocidad de corrosión de las sales térmicamente estables es aditivo al presentado por la solución de MDEA. En la Figura 27 se muestra el efecto de las sales térmicamente estables estudiadas en la velocidad de corrosión del acero al carbono AISI 1010.



**Figura 6. Efecto de las sales térmicamente estables en la corrosividad de acero al carbón AISI 1010 por soluciones acuosas de MDEA (a 120°C)**

Aunque la bicina presenta mayor velocidad de corrosión en la fase vapor tanto a la concentración de 3500 y 5000 ppm, ésta última tuvo un valor 3.5 veces mayor al alcanzado la concentración de 3500 ppm. Al contrario, en la fase líquida a menor concentración se obtuvo una velocidad de corrosión mayor por 0.473 mpy con respecto a la concentración de 5000 ppm.

Se observa que el ácido oxálico es la sal térmicamente estable que tiene un mayor efecto en la velocidad de corrosión del acero al carbón AISI 1010. Adicionalmente, la fase líquida presentó mayor velocidad de corrosión que la fase vapor siendo 4/1 mpy aproximadamente.



Por otra parte, se puede apreciar que el oxalato de sodio y el ácido fórmico presentaron velocidades de corrosión muy cercanas entre ellos en ambas fases. En el caso los resultados para la fase líquida estos fueron de (0.5960 y 0.5762) mpy, para el ácido oxálico y el ácido fórmico, respectivamente. Por otra parte, la relación entre las velocidades de corrosión de la fase vapor y la líquida fue de 4.6/1 para el oxalato de sodio y de 4.2/1 para el ácido fórmico.

Con referencia al formiato de sodio su contribución en la corrosividad de la solución de MDEA, en la fase líquida, fue mínima, siendo ésta de 0.0013 mpy. El efecto en la velocidad de corrosión se presenta en la fase vapor incrementando la velocidad de corrosión 3.9 en relación a la presentada por la misma fase en la solución de referencia.

La solución acuosa de MDEA con 5000 ppm de ácido acético presentó una velocidad de corrosión mayor en la fase vapor a la alcanzada en la fase líquida, aunque los valores obtenidos para ambas fases se encontraran cercanos. La velocidad de corrosión para la fase vapor fue de 1.1706 mpy, mientras que para la fase líquida corresponde a 0.9143 mpy.

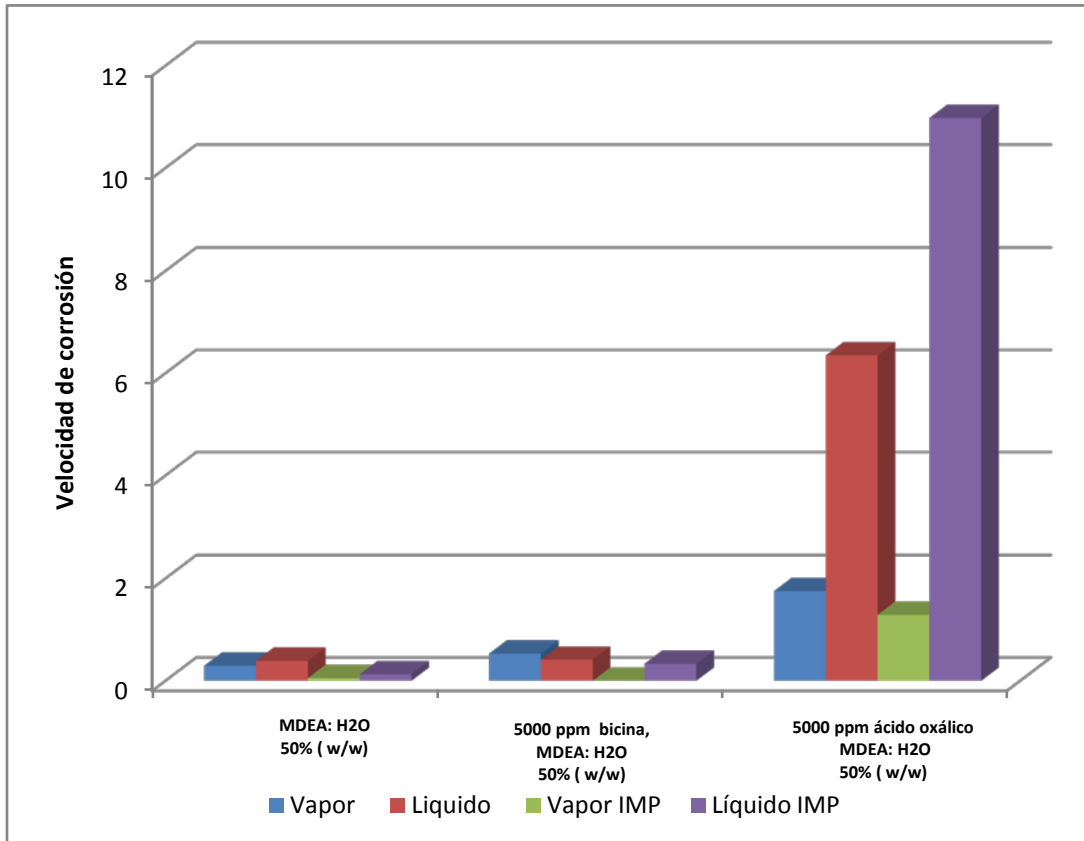
Finalmente, para el acetato de sodio se presentó el efecto contrario al del ácido acético ya que la velocidad de corrosión en la fase vapor fue menor a la obtenida en la fase líquida, siendo ésta última mayor en 75 %.

### **6.3.1 Comparación de resultados de velocidad de corrosión**

Algunos de los resultados de corrosión obtenidos se compararon con las velocidades de corrosión alcanzadas para acero al carbón AISI 1010, por el equipo de investigación del Área de Investigación en Termofísica del IMP. Dichos datos se obtuvieron empleando un reactor de acero inoxidable, con agitación mecánica y a presión. Este dispositivo corresponde al empleado para determinar las velocidades de corrosión que reporta la literatura (Rooney et al., 1996). De igual forma, las condiciones de las pruebas hechas en el Área de Investigación en Termodinámica del IMP fueron las mismas, que las que se describen en el estudio de corrosión de Rooney y colaboradores (1996).



La figura 28 muestra la comparación de las velocidades de corrosión obtenidas en este trabajo y las determinadas en el IMP.



**Figura 7. Comparación de velocidades de corrosión de acero al carbón 1010 obtenidas, con las alcanzadas empleando un reactor con agitación**

En este caso se observa que las velocidades de corrosión de ambos estudios son muy cercanas. Las soluciones de referencia presentan la misma tendencia, aunque los resultados obtenidos en el Área de Investigación en Termodinámica del IMP son menores. En el caso de la bicina ocurre el mismo fenómeno. Finalmente, las velocidades de corrosión por la solución acuosa de MDEA 50 % (m/m) con 5000 ppm de ácido oxálico obtenidas en el IMP y las alcanzada en este trabajo presentan la misma tendencia, aunque la relación de ellas es de 1.6/1.



### **6.3.2 Comparación con resultados de la literatura**

Los resultados obtenidos de los sistemas estudiados que se reportaban en literatura se compararon para poder validarlos, solamente se compararon las velocidades de corrosión del líquido debido estos son los únicos datos que se reportan en la literatura. En el caso del oxalato de sodio, la velocidad de corrosión reportada fue de 15 mpy mientras que la obtenida fue 0.59 mpy, por lo que la diferencia entre los estos valores de corrosión resulta significativa (14.41 mpy). La velocidad de corrosión del ácido fórmico también se comparó, en este caso la velocidad de corrosión presentó una diferencia más grande que el caso anterior (54.1 mpy). En el caso de la fase vapor se tiene reportada una velocidad de corrosión para el ácido fórmico a 5000 ppm la cual es de aproximadamente 0.5 mientras que la obtenida en este estudio fue de 0.0640 mpy. De forma general, los resultados obtenidos fueron significativamente menores a los reportados en la literatura.

### **6.3.3 Discusión de resultados de acero al carbón AISI 1010**

Los resultados obtenidos para el acero al carbón AISI 1010 muestran que las sales térmicamente estables estudiadas incrementan la velocidad de corrosión, pudiéndose notar este incremento en la fase vapor, la líquida o en algunos casos en ambas. Se observa que el ácido oxálico es la sal térmicamente estable con un efecto más significativo en el incremento en las velocidades de corrosión en ambas fases, siendo ésta mayor en la fase líquida. Además del ácido oxálico, sólo el acetato de sodio presentó incrementos en la velocidad de corrosión mayores a 1 mpy.

Por otra parte, la bicina a una concentración de 5000 ppm fue el sistema que tuvo el mayor incremento en la velocidad de corrosión en la fase vapor seguido del oxalato de sodio, el ácido fórmico, el formiato de sodio, bicina a 3500 ppm, ácido acético y acetato de sodio, en orden descendente.



#### 6.4 Comparación entre Aceros AISI 1010 y AISI 1018

Se realizó la comparación entre las velocidades de corrosión alcanzadas por ambos tipos de aceros, evaluando los mismos sistemas. En la Figura 29 se muestra el gráfico comparativo de velocidades de corrosión para la solución de referencia, las soluciones acuosas de MDEA 50 % (m/m) con 3500 y 5000 ppm de bicina y 5000 ppm de ácido oxálico.

Los resultados muestran que la velocidad de corrosión en el acero al carbón AISI 1010 es mayor en comparación a la alcanzada por los mismos sistemas en el acero AISI 1018 para la mayoría de los sistemas, con excepción la solución acuosa de MDEA 50 % (m/m) con 5000 ppm de ácido oxálico.

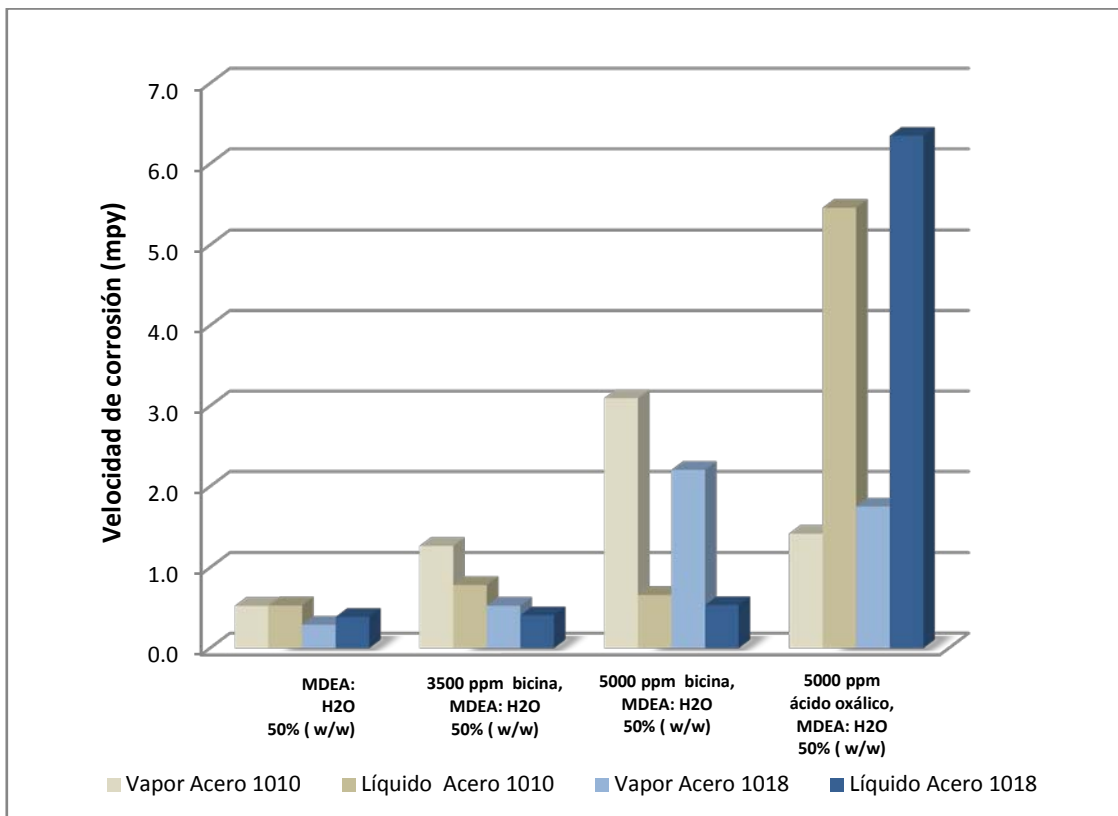


Figura 8. Comparación de velocidad de corrosión (a 120 °C) entre aceros.





### 6.5 Resultados por efecto del oxígeno para Acero al Carbón 1010

Debido a la diferencia de velocidades de corrosión obtenidas para los sistemas analizados y las reportadas en la literatura, se consideraron las posibles variables que pudieran provocar la disparidad de los resultados.

Una de las variables que se determinó fue el proceso de desgasado, ya que Rooney y colaboradores no reportan en su artículo si la prueba se realizó en presencia o ausencia de oxígeno. Por ello, se decidió realizar una corrida, con las sales empleadas para evaluar el acero AISI 1018, sin realizar el procedimiento de desgasado descrito en la metodología. Los resultados de velocidad de corrosión se muestran en la Tabla 14.

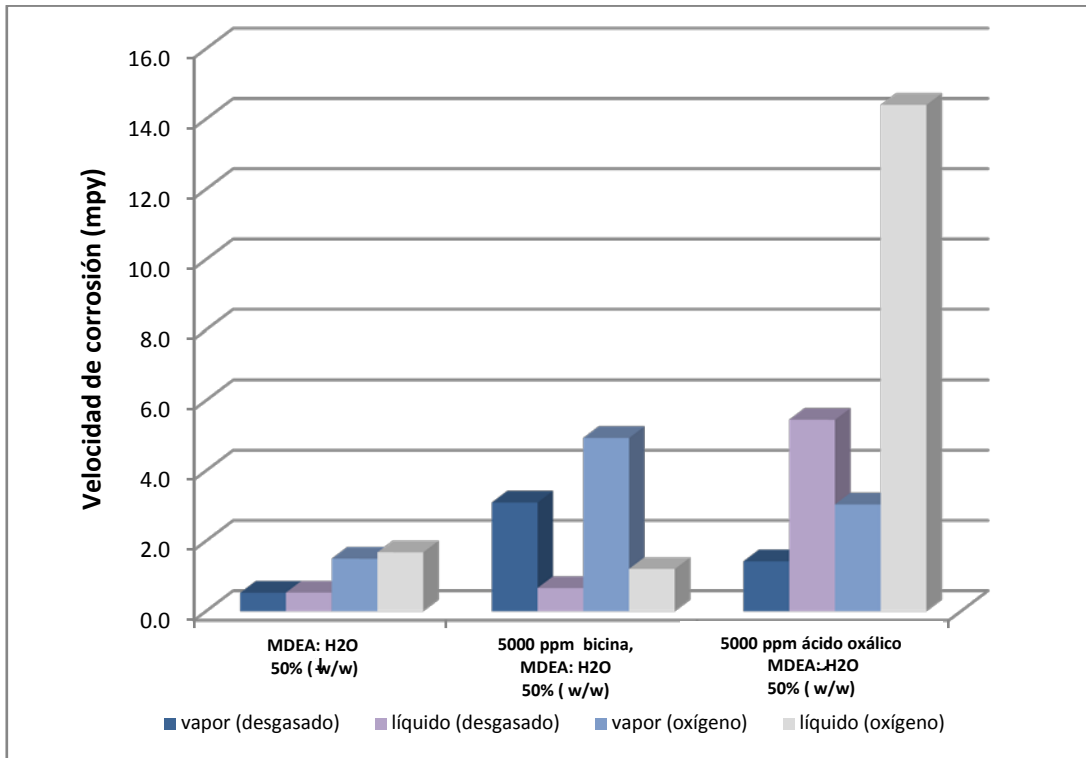
**Tabla 5.** Resultados de velocidad de corrosión a 120 °C con efecto de oxígeno

| Sistema               | Concentración<br>(ppm) | Velocidad de corrosión<br>(mpy) |          |         |          | n <sup>a*</sup> | n <sup>b*</sup> |
|-----------------------|------------------------|---------------------------------|----------|---------|----------|-----------------|-----------------|
|                       |                        | Vapor                           |          | Líquido |          |                 |                 |
| MDEA:H2O 50%<br>(m/m) | -                      | 1.49868                         | ± 0.1020 | 1.68102 | ± 0.3984 | 4               | 6               |
| Bicina                | 5000                   | 4.9380                          | ± 0.3387 | 1.2070  | ± 0.1156 | 4               | 6               |
| Ácido oxálico         | 5000                   | 3.0436                          | ± 0.2881 | 14.4061 | ± 0.3306 | 4               | 6               |

na\* Testigos empleados para el cálculo de la fase vapor

nb\* Testigos empleados para el cálculo de la fase líquida

En la Figura 30 se ilustra la comparación de las velocidades de corrosión para el acero al carbón AISI 1010 de la Tabla 14 y reportadas en la Tabla 13.



**Figura 9.** Velocidad de corrosión a 120 °C en acero al carbón 1010 por efecto del oxígeno

Se nota que la velocidad de corrosión en las pruebas con presencia de oxígeno, tomado del aire, en comparación a las alcanzadas realizando el proceso de desgasado es mayor. En el caso de la solución de referencia la velocidad de corrosión aumento de un 75 % con la presencia de oxígeno. Por su parte, la velocidad de corrosión por la solución de 5000 ppm de bicina en MDEA: H<sub>2</sub>O 50 % (m/m) se incrementó alrededor de 60 %; mientras que la solución de 5000 ppm ácido oxálico en MDEA: H<sub>2</sub>O 50% (m/m) tuvo el mayor incremento en la velocidad de corrosión con una relación de 3.7/1, correspondiendo al 370 %.

Por otra parte, se observa que además de que los valores de corrosión se incrementaron en todas las pruebas con la presencia de oxígeno, la tendencia que siguen las velocidades de corrosión, tanto en la fase líquida como en la vapor son las mismas que las mostradas en los resultados con soluciones desgasadas. Esto indica que existe una buena repetitividad en las determinaciones que se llevaron a cabo.



---

No obstante, a pesar de que las velocidades de corrosión aumentaron de forma significativa y presentaron repetitividad, no se obtuvieron valores que se asemejaran a los reportados en literatura.