

Contenido

1	Sinopsis	2
2	Introducción	3
3	Desarrollo.....	4
3.1	Cupones de Corrosión.....	4
3.1.1	Limitantes de los Cupones de Corrosión.....	4
3.2	Phased Array	6
3.2.1	Ventajas Phased Array Scan C	6
3.3	Medición de velocidad de corrosión con cupones y su dispersión.	7
3.4	Velocidad de corrosión de cupones vs Phased Array Scan C.....	13
3.5	Regresión entre velocidades de corrosión de Cupones y Phased Array.....	18
3.6	Tipos de corrosión identificadas por Phased Array Scan C.	21
4	Conclusión	24
5	Bibliografía	25
6	Curriculums Vitae	26

EVALUACIÓN DE CONFIABILIDAD DE CUPONES DE CORROSIÓN VS. PHASED ARRAY SCAN C.

Guzmán, Abel Matías; Lorenzo Luna, Victoria María Angelica y Renna, Agustina Lucía.

Pan American Energy, Cerro Dragón, aguzman@pan-energy.com , vlorenzoluna@pan-energy.com

Petromark S.R.L. agustina.renna@petromark.com.ar

1 Sinopsis

En el Yacimiento Golfo San Jorge (GSJ) las pérdidas por corrosión son cada vez más frecuentes en Plantas de Inyección de Agua Salada (PIAS). Ante la necesidad de adelantarse a la posible falla, el sector de Integridad y Corrosión cuenta con distintos métodos de monitoreo que entregan como resultado un valor de velocidad de corrosión (VC). En este trabajo analizaremos dos de ellos, Cupones de Corrosión y Phased Array Scan C en Condition Monitoring Locations (CMLs). Estos métodos difieren en su principio de funcionamiento, tipo de medición y precisión por lo tanto conocer la discrepancia de sus resultados y hallar una ecuación que los relacione entre sí nos permitirá decidir qué método nos permite obtener la mejor representatividad de lo ocurrido en las instalaciones.

Previo a este estudio los cupones de corrosión, en algunos casos, han resultado un método poco exacto ya que en varias instancias relevaron situaciones anómalas cuando verificando por otras técnicas de Ensayos No Destructivos (END) no se presentaban estos hallazgos.

En las zonas cercanas a los porta-cupones de las PIAS, se seleccionaron los CMLs para realizar mediciones sucesivas con la técnica Phased Array Scan C. Con las conclusiones obtenidas a través del análisis estadístico de ambas técnicas en cada una de las 31 zonas seleccionadas se busca optimizar el monitoreo tanto en costos como en exactitud.

Los CMLs medidos con Phased Array Scan C son más representativos del estado de corrosión del piping por su naturaleza de medición, aportando información más clara acerca de los diferentes mecanismos de daño en comparación a lo que se puede analizar en los respectivos cupones de corrosión, los cuales nos aportan información sobre la corrosividad del medio, siendo este muy fluctuante e impactando de distinta forma en las instalaciones que en el cupón. Ya que dicho impacto dependerá de la fluidodinámica, diseño del piping, presión, temperatura, caudal, entre otros.

2 Introducción

Este trabajo busca establecer una estrategia de diagnóstico y monitoreo eficiente del estado de las instalaciones, para esto se compararon los métodos de cupones de corrosión respecto a Phased Array Scan C en 17 PIAS de GSJ que reportaron altas tasas de corrosión históricas.

Con el avance de este estudio, en varias instancias los cupones relevaron situaciones anómalas cuando verificando por otras técnicas de Ensayos No Destructivos (END) no se presentaban estos hallazgos.

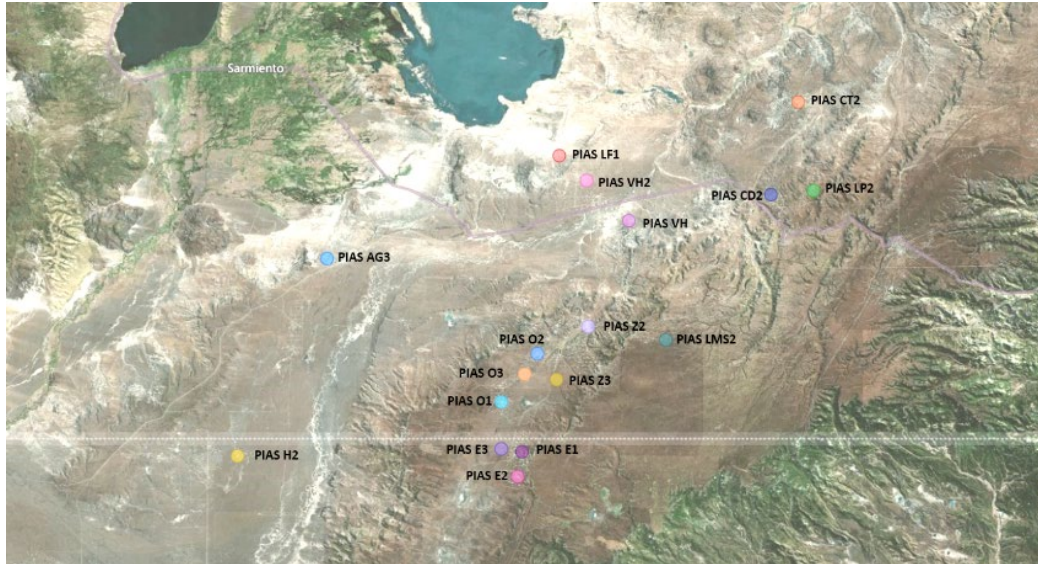


Ilustración 1 – Mapa de PIAS en estudio.

Las PIAS fueron estudiadas en tres zonas comunes: (1) Salida de Tanque Skimmer, (2) Salida de Tanque Pulmón y (3) Succión de Bomba de Inyección. Estos sitios además de tener porta-cupones se consideran zonas representativas acorde a la experiencia de los ingenieros de corrosión, quienes se basaron en el historial de fallas prematuras y en la falta de confiabilidad de los datos arrojados por los cupones, para luego definir puntos de monitoreo específicos CMLs mediante técnicas de ultrasonido.

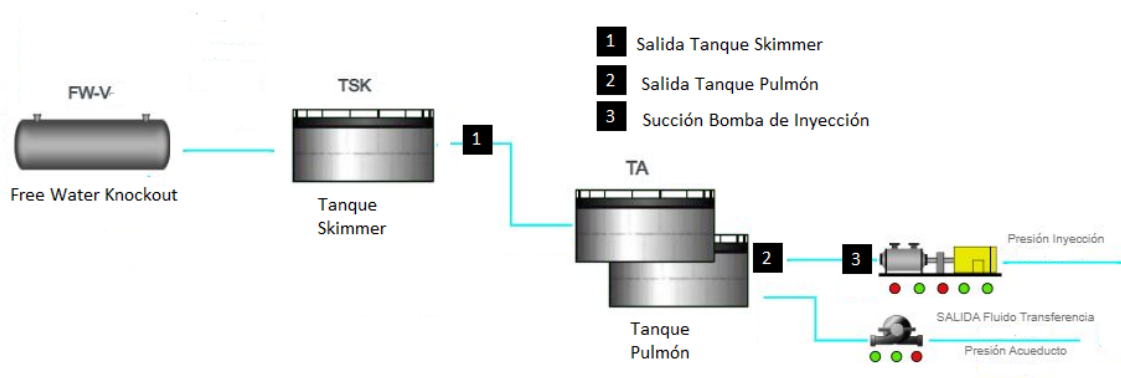


Ilustración 2 – Diagrama de Flujo de PIAS y las zonas de estudio.

Los CMLs se definen en una circular de 20cm de ancho en 5 puntos para generar mapeos. Estas zonas de monitoreo deben encontrarse 30 cm después de la cuponera en alguno de los 3 puntos que se indican en la Ilustración 2.

Se realizó una primera y segunda inspección con Ultrasonido Phased Array para determinar la velocidad de corrosión a corto plazo de los CMLs y poder compararlos con el promedio de las mediciones obtenidas con el método intrusivo de cupones en el mismo periodo de tiempo. Las mediciones sucesivas con Ultrasonido Phased Array permitirán conocer la velocidad de corrosión a corto plazo en cada CML y buscar alguna ecuación que relacione la misma con la obtenida por pérdida de peso en cupones.

3 Desarrollo

Las tecnologías que se comparan en este estudio son significativamente diferentes, ambas están ampliamente estudiadas y se conocen las ventajas y desventajas de cada una. Este trabajo busca determinar si es posible hallar una ecuación que las relacione entre sí, y que sea aplicable a nuestras condiciones operativas, evaluando si los cupones son suficientes y fiables como método de monitoreo.

A continuación, se resumirán las características de cada tecnología, luego, se compararán las velocidades de corrosión calculadas en los CMLs por disminución de espesor con las halladas por pérdida de peso en cupones, y por último se evaluará una posible ecuación que las relacione.

3.1 Cupones de Corrosión.

Según la definición de NACE, los cupones de corrosión consisten en la exposición de una muestra de metal (cupón), construida con el mismo material que el componente en estudio, en un ambiente de interés por un determinado tiempo. Por lo tanto, ellos miden el ataque del medio ambiente en una ubicación específica por esto es importante saber que no dan un valor absoluto de corrosión, sino que ayudan a identificar patrones generales de corrosión. En sí arrojan una tasa de corrosión promedio en función de la pérdida de masa del cupón, densidad del metal, área expuesta y tiempo de exposición.

Han sido extensamente utilizados por su fácil uso e interpretación y principalmente por ser uno de los métodos más económicos. Los cupones de pérdida de peso permiten visualizar la morfología del ataque, la caracterización de productos de corrosión y depósitos, la velocidad de corrosión uniforme y localizada (picado) promedio, identificación de mecanismos, origen del ataque corrosivo activo y eficiencia del tratamiento químico aplicado.



Ilustración 3 - Cupones planos/tira usados en GSJ

3.1.1 Limitantes de los Cupones de Corrosión.

Pese a las virtudes anteriormente descritas, el cupón se verá influenciado por la temperatura, presión, densidad, cambios de velocidad del fluido, tiempo de exposición cómo también el pH, humedad y ataque bacteriológico; sin poder diferencial cual variable influirá en mayor medida en la tasa de corrosión. Los cupones se encargan de evaluar la corrosividad del sistema que rodea al piping y de forma indirecta se han utilizado para mitigar la corrosión en tuberías sin tener certezas de cuanto el medio estaba corroyendo al metal ya sea por corrosión localizada o generalizada y en qué grado. A continuación, se detallan los principales factores que afectan al monitoreo de velocidad de corrosión por cupones, considerando otros métodos hacen medición directa sobre la superficie del piping, independientemente del medio.

3.1.1.1 Tiempo de inspección.

Todo proceso corrosivo presenta una etapa inicial de acelerada velocidad de corrosión debido al efecto de mayor energía de la superficie expuesta, luego la formación de producto de corrosión se genera un estado termodinámicamente estable disminuyendo la velocidad de corrosión. El reemplazo de cupones en PIAS es de 45 a 60 días, son intervalos cortos que a veces pueden advertir daños acelerados por velocidades de corrosión muy altas que no representen el fenómeno u afectación real del piping o equipo. Es posible que eventos de corto plazo de alta corrosión en el cupón no coincidan con una pérdida de material en el piping.

3.1.1.2 Clasificación de severidad y KPI.

La velocidad de corrosión promedio que se obtiene es en función de la pérdida de masa del cupón sin discriminar el tipo de mecanismo de corrosión que se está manifestando, es decir si es localizado o generalizado. Trabajar con la pérdida de masa total del espécimen es una de las principales limitantes.

Otro recurso además de la velocidad de corrosión que se puede obtener es la tasa de picado, lo cual es simplemente la tasa de formación de una picadura en el cupón. Este, es un indicador más específico y evidentemente depende de presencia de corrosión localizada en forma de picadura y se obtiene midiendo la profundidad de la picadura y comparándola con el tiempo de exposición.

A efectos comparativos con mejores prácticas internacionales, el estándar de PAE para gestión se encuentra basado en los establecido en NACE SP 0775 para lo que es velocidad de corrosión promedio.

KPI PAE	KPI NACE	Rango cualitativo de severidad
<2mpy	<1mpy	Bajo
5mpy	5mpy	Medio-Moderado
10mpy	10mpy	Moderado-Alto
>10mpy	>10mpy	Severo

Tabla 1 – Velocidad de corrosión vs. severidad

3.1.1.3 Factores operacionales.

Hay eventos o condiciones que pueden influir directamente en la velocidad de corrosión del cupón dando una referencia errónea de la realidad. Algunos de estos casos son:

- Tanques que se abren oportunamente a la atmósfera y permiten un mayor ingreso de oxígeno.
- Fluctuaciones bruscas en los niveles de tanques que alteran la fluidodinámica normal del piping.
- Variaciones en la velocidad de flujo, afectan directamente a la velocidad en que los productos de corrosión se eliminan de la superficie metálica, no alcanzando a formar una capa protectora adhesiva, por lo que puede influir en la tasa de corrosión.
- Interrupciones en el suministro de químicos.
- Detención de bombas o interrupciones del suministro eléctrico.

3.2 Phased Array

Los transductores de phased array poseen múltiples elementos con distintos formatos. En las inspecciones de corrosión se obtienen mejores resultados mediante un transductor dual con los elementos dispuestos en una matriz lineal de 32 cristales, los cuales emiten pulsos a través del material de interés con frecuencias entre 2 a 10 MHz.

Los frentes de onda emitidos por el transductor se combinan de manera constructiva y destructiva en un único frente de onda primario que viaja a través del material de ensayo y se refleja en grietas, discontinuidades, paredes posteriores y otros límites del material como cualquier onda ultrasónica convencional.

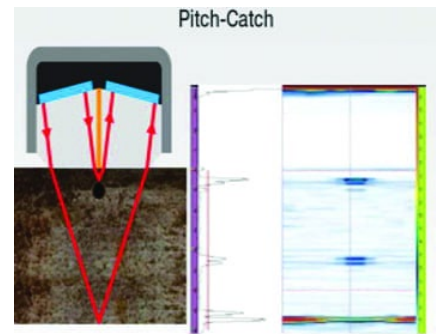


Ilustración 4 Esquema de Sonda Dual

El haz se puede dirigir dinámicamente a través de varios ángulos, distancias focales y tamaños de puntos focales de tal manera que un transductor puede examinar el material de ensayo en una variedad de perspectivas diferentes. Esta dinámica de cambio de dirección del haz se produce rápidamente, de modo que se puede realizar un escaneo desde múltiples ángulos o con múltiples profundidades focales en una fracción de segundo. Con instrumentos informáticos especiales se reciben los ecos que regresan para trazar una información de fácil interpretación.

3.2.1 Ventajas Phased Array Scan C

El tiempo y amplitud de la señal ultrasónica emitida se pueden controlar individualmente, lo que ajusta el ángulo y la dirección de la onda resultante, en otras palabras, la técnica permite enfocar o dirigir la energía hacia áreas específicas del material de inspección para medir espesores, detectar grietas y tipos de corrosión. El equipo de phased array proporciona imágenes detalladas y datos cuantitativos para la detección temprana de defectos en las PIAS.

Las inspecciones de corrosión mediante esta técnica y la información extraída de ellas se presentarán comúnmente en los formatos: A-scans, B-scans, C-scans o D-scans.

En este trabajo se utilizó la representación C que es un mapeo o presentación bidimensional de datos mostrados como una vista superior o plana de la cañería.

El color se configura considerando el espesor nominal como referencia (típicamente color azul), a partir del cual la graduación de los colores estará asociada a la pérdida de espesor del material.

Sobre el eje x tenemos la medida circunferencial del caño (zona horaria – 00 a 12) y en el eje y el ancho de la zona ensayada.

La ilustración 5 muestra la pantalla típica que se utiliza durante las inspecciones que se realizan en campo.

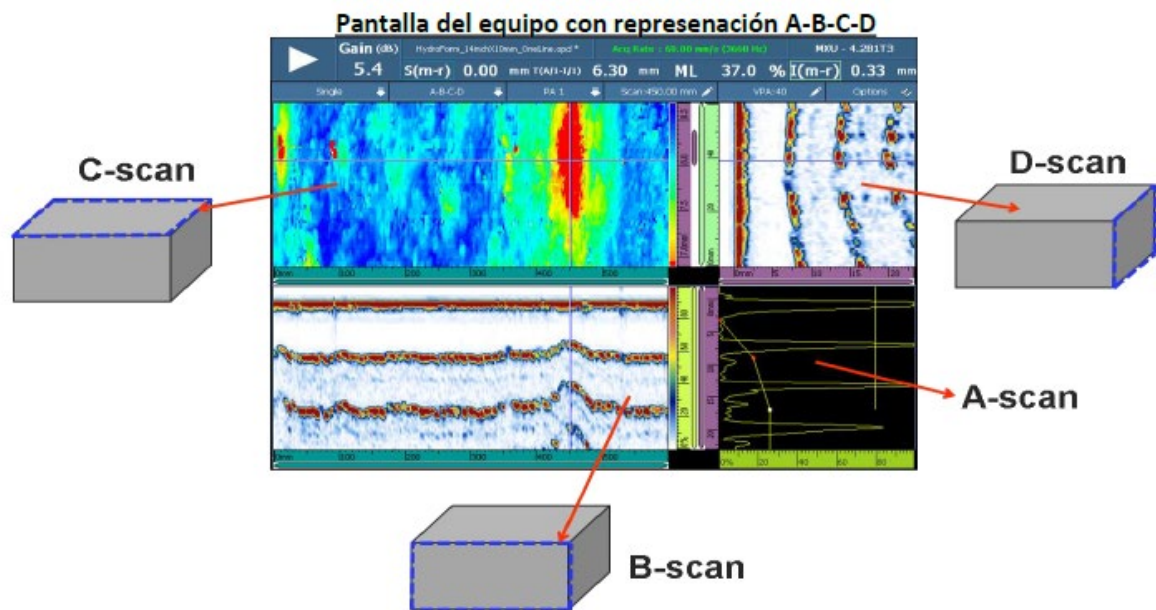


Ilustración 5 - Diagrama de representaciones - Scan C

3.3 Medición de velocidad de corrosión con cupones y su dispersión.

Históricamente en la unidad de gestión GSJ los valores de velocidad de corrosión han demostrado una gran dispersión en los datos relevados, esta problemática fue la que llevo a comprobar la eficiencia del método. A continuación, se muestran tres ejemplos de valores obtenidos de las mediciones y su desviación estándar en salida de tanques pulmones, salida de tanques skimmer y succiones de bombas en cupones seleccionados de las PIAS más relevantes.

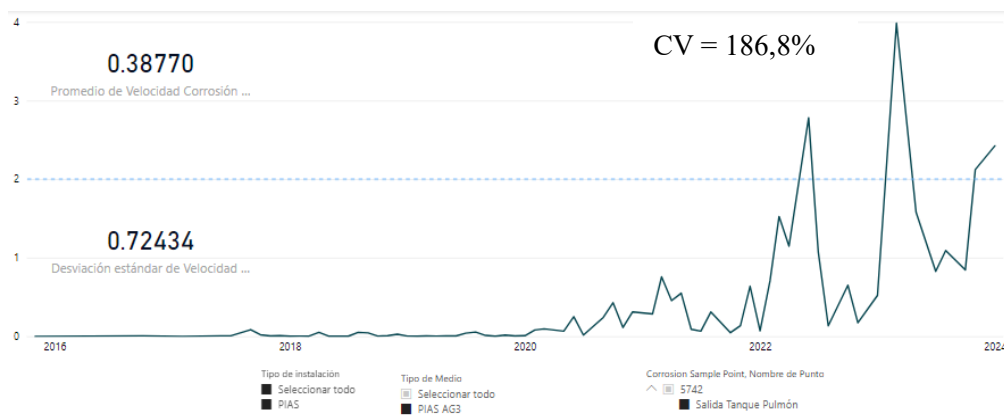


Ilustración 6 - VC histórica de cupón AGR-WF3 (1) - SAL. TK PULMON

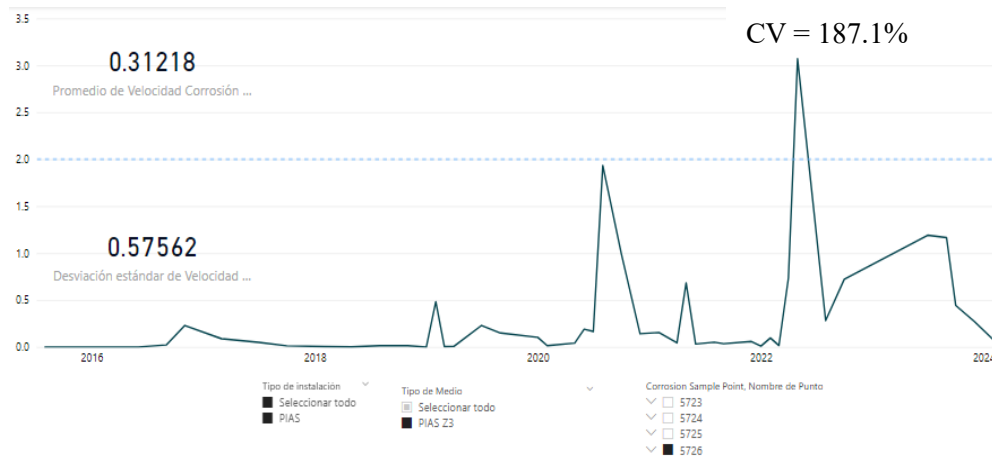


Ilustración 7 - VC histórica de cupón PIAS ZRR-E3, SAL, TK SKIMMER

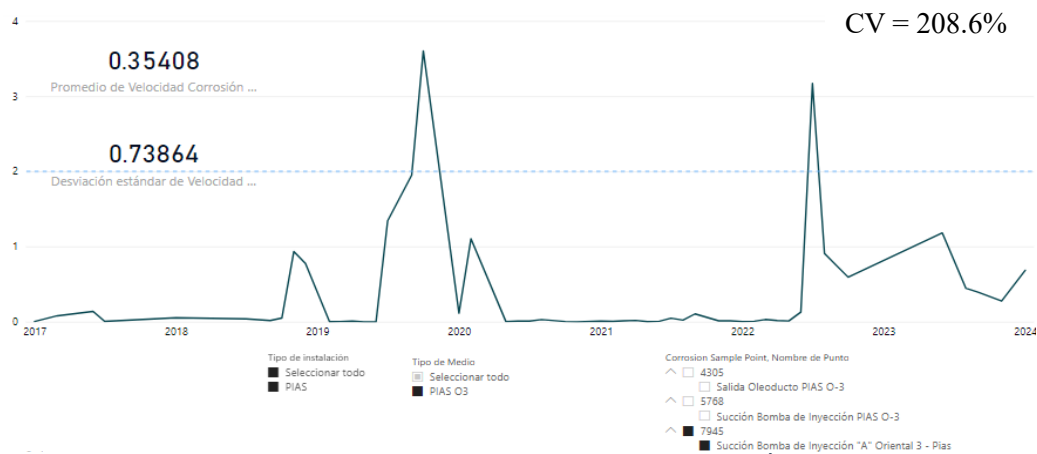


Ilustración 8 - VC histórica del cupón PIAS O-WF3, SUCCIÓN BB INY

El coeficiente de variación histórico promedio de los cupones en las tres zonas de las PIAS analizadas rondan un 194,2%. La desviación estándar es bastante superior a la media, lo que indica que la dispersión de los datos es extremadamente alta en comparación de la velocidad promedio.

Si se considera que la función de los cupones es medir corrosividad en el medio, es posible que ocurran variaciones en la velocidad de corrosión al ser evaluados en periodos largos, ya que a lo largo del tiempo las características fisicoquímicas del agua de inyección varían tanto como el tratamiento químico aplicado.

En este trabajo se busca relacionar este tipo de medición con la disminución de espesor en el piping en periodos equivalentes a las mediciones sucesivas en CMLs. Seguidamente se muestran las velocidades de algunos de los 31 cupones de las PIAS ubicados en las cercanías de los CMLs más representativos, durante el periodo equivalente al monitoreo por Phased Array. Con esto se busca tener noción de cuán variables son los resultados a través de medidas de dispersión como la desviación estándar y el coeficiente de variación (CV).

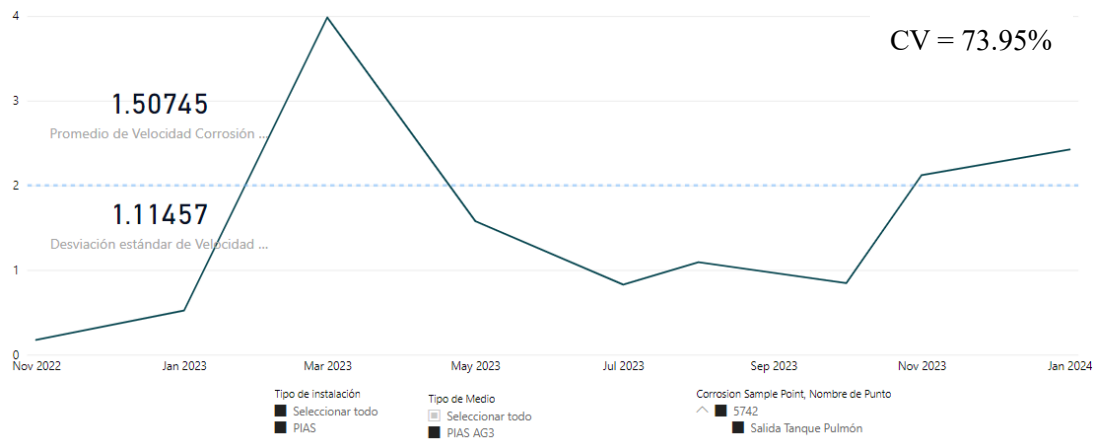


Ilustración 9 - Cupón PIAS AGR-WF3 (1), SAL. TK PULMON

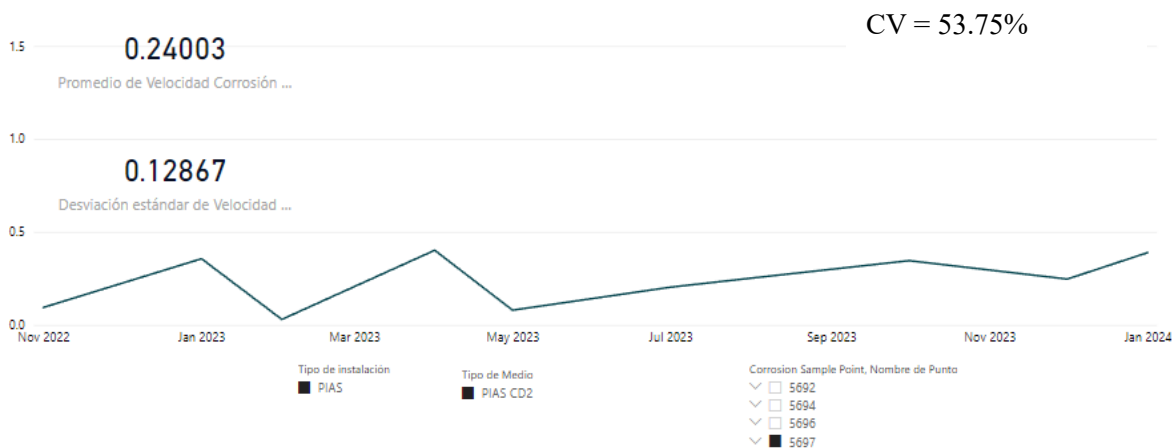


Ilustración 10 - Cupón PIAS CDR-WF2, SAL. TK SKIMMER

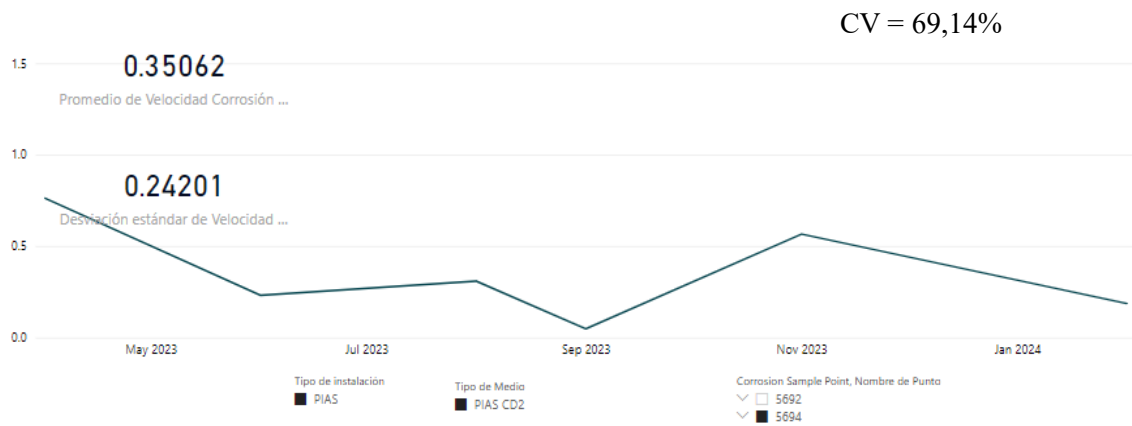


Ilustración 13 - Cupón PIAS CDR-WF2, SAL. TK PULMON

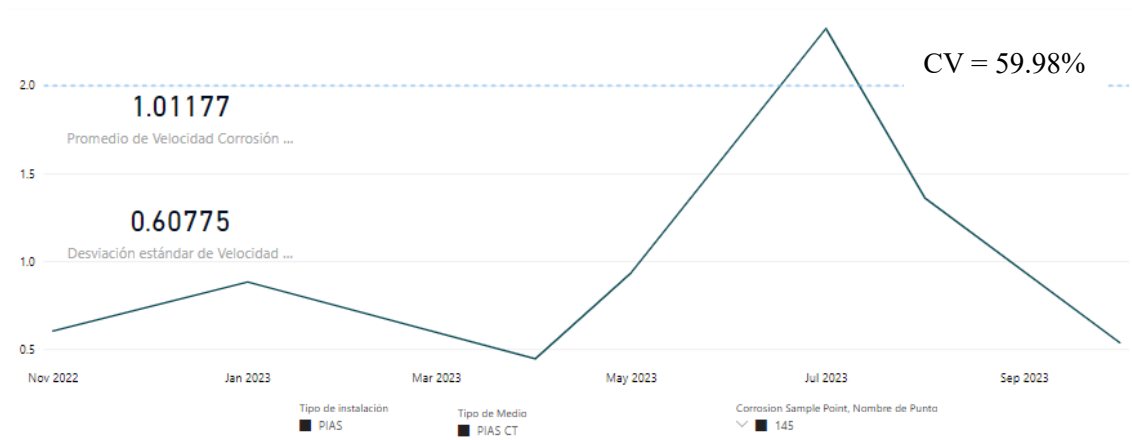


Ilustración 12 - Cupón CTO-WF2, SUCCIÓN BB INY

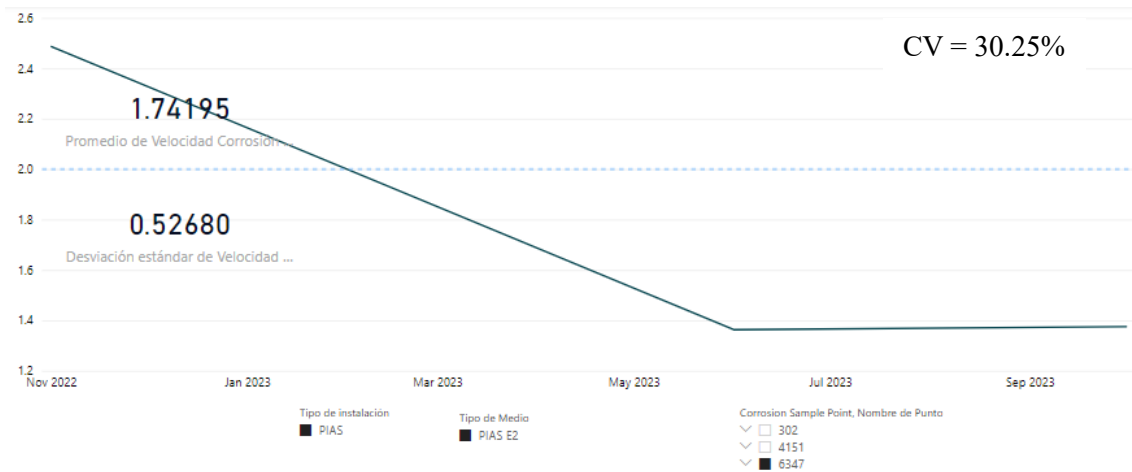


Ilustración 11- Cupón ESC-WF2, SAL. TK PULMON

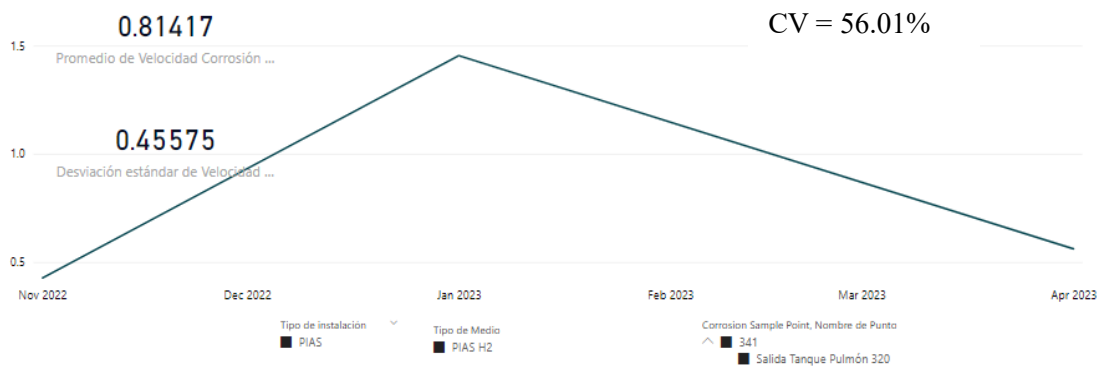


Ilustración 16- Cupón HUE-WF2, SAL. TANQUE PULMON

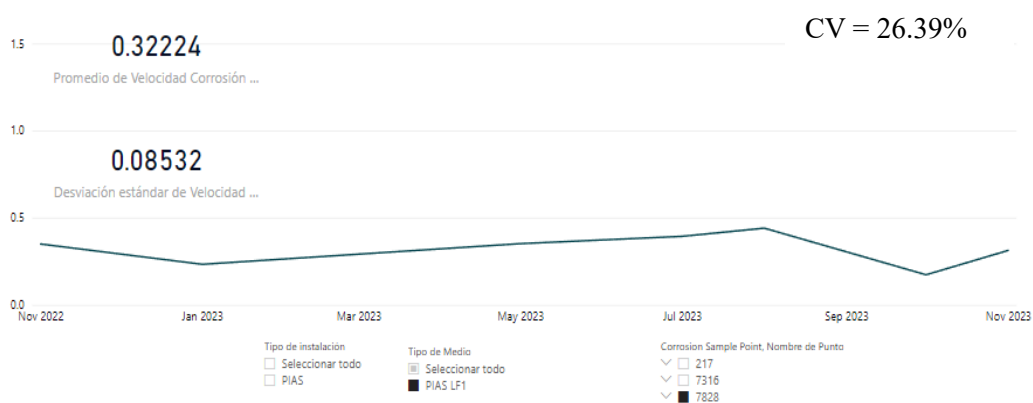


Ilustración 15 - Cupón LFL1, SUCCIÓN BB INY

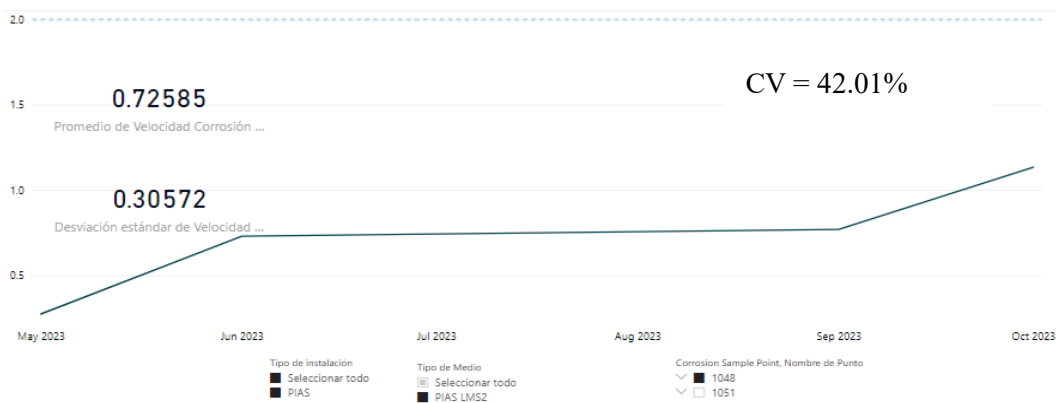


Ilustración 14- Cupón PIAS LMS2, SUCCIÓN BB INY

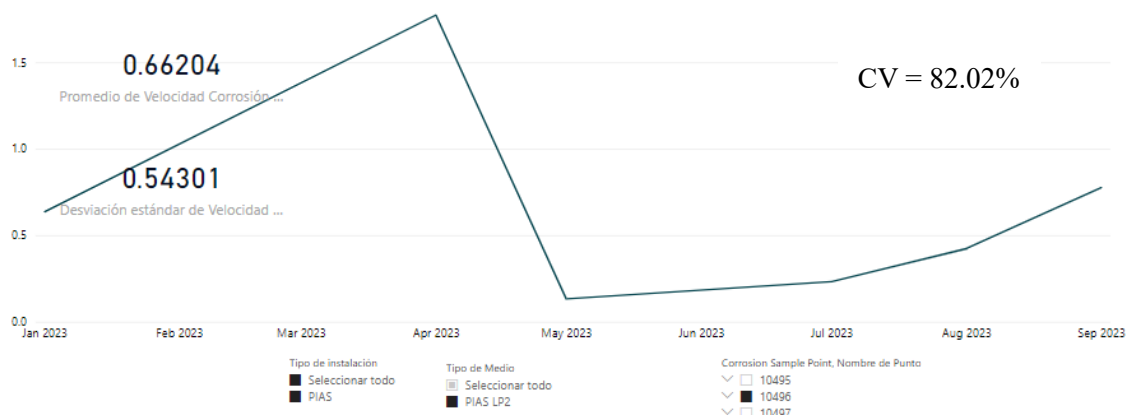


Ilustración 19 - Cupón PIAS LP2, SUCCIÓN BB INY

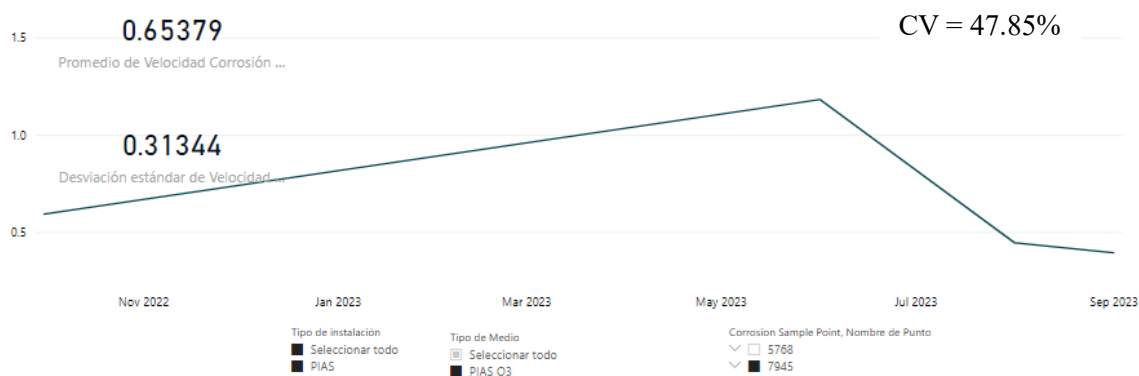


Ilustración 18 - Cupón PIAS O-WF3, SUCCIÓN BB INY

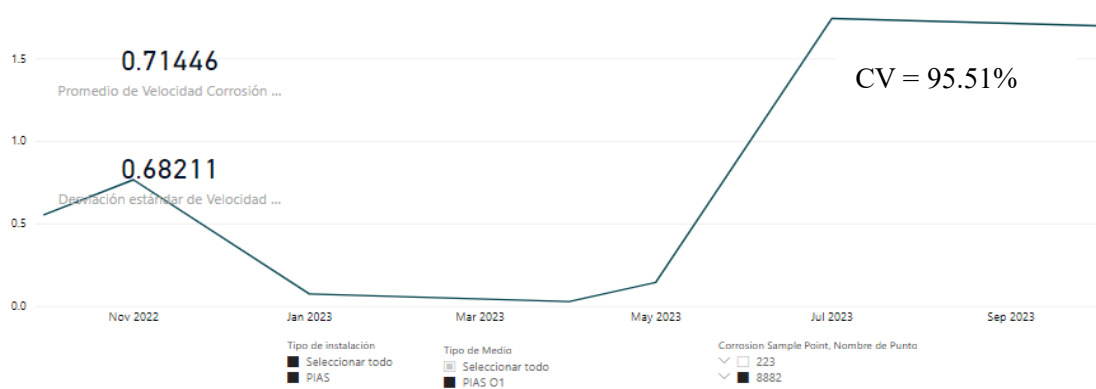


Ilustración 17- Cupón PIAS O-WF1, SAL. TK PULMON

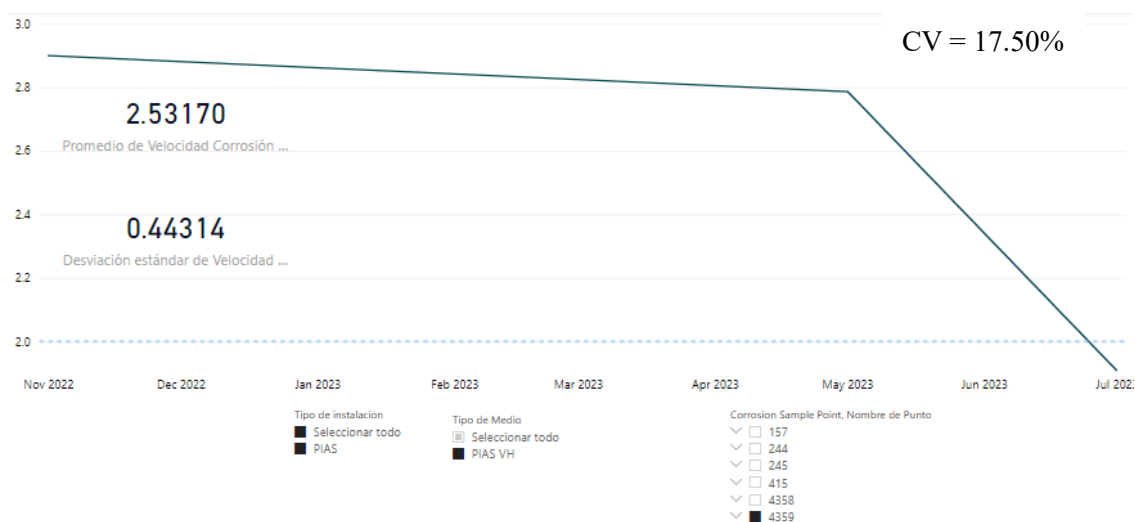


Ilustración 20 - Cupón VH-E1, SAL. TK PULMON

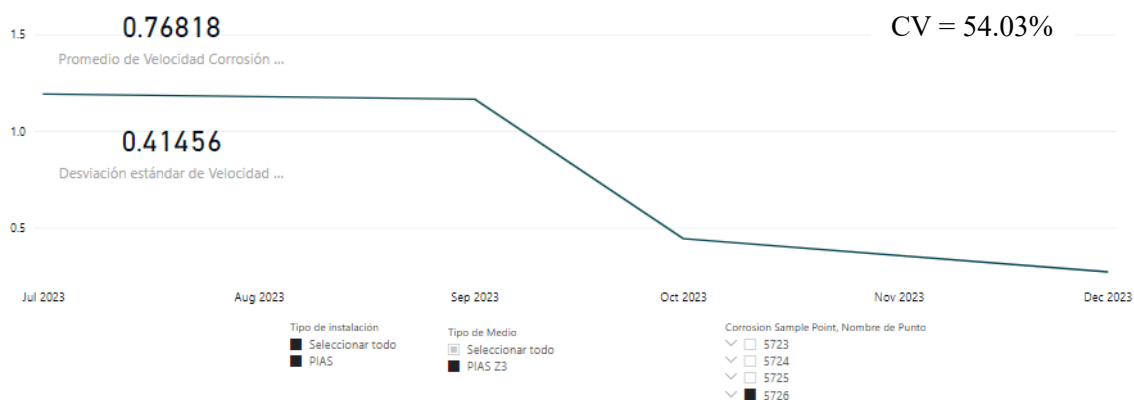


Ilustración 21- Cupón PIAS ZRR-E3, SAL. TK SKIMMER

Los resultados muestran CV que rondan un 50%, incluso llegando a máximos de 95% como es el caso en la PIAS O-WF1, sin embargo, existen casos como PIAS VH1, LFL1 y ESC-2 donde sus CV son menores al 30%.

Lo anterior confirma que hay plantas donde la dispersión de los datos con respecto a la media es grande, esto puede responder a la confluencia de las limitaciones del método con las fluctuaciones operacionales propias de cada planta.

La variación de velocidad de corrosión en cada extracción de cupones se puede explicar por el cambio en algún factor del medio que pudo generar un ataque corrosivo, sin saber en qué momento ocurrió, ni durante cuánto tiempo afectó al cupón dentro de los 45 días de permanencia. Este factor puede ser debido a un cambio en el pH, interrupción/cambio del tratamiento químico, una variación en la concentración de O₂, fluctuación de temperatura y/o de la velocidad de flujo, entre otros, o bien una combinación de varios de estos factores.

En cambio, aquellas plantas que trabajen bajo un régimen estable en sus condiciones y por la propia naturaleza del fluido podrán tener menor variación en los datos de velocidad de corrosión de los cupones.

3.4 Velocidad de corrosión de cupones vs Phased Array Scan C.

Las zonas anteriormente mencionadas (Ilustración 2 – Diagrama de Flujo de PIAS y las zonas de estudio.) fueron inspeccionadas por Phased Array Scan C en dos o tres instancias desde el año

2022 al 2024 para calcular sus velocidades a corto plazo y compararlas con la velocidad promedio arrojada por los cupones en el mismo lapso temporal.

En absolutamente todas las plantas el valor de velocidad de corrosión medida por cupones fue significativamente mayor a los CMLs monitoreados por Phased Array Scan C.

El cupón pese a ser del mismo material de la cañería y de tipo intrusivo, con una precisión alta por ser un método gravimétrico, no representa con exactitud el proceso electroquímico de corrosión de la tubería.

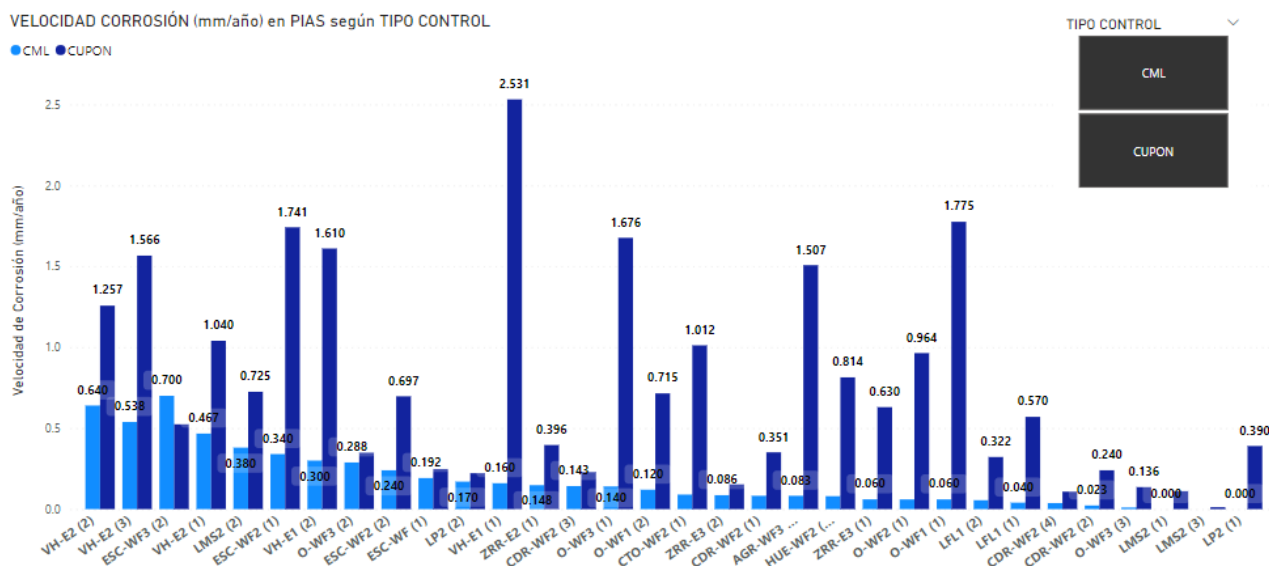


Ilustración 22 - Velocidad de corrosión en PIAS mediante CMLs y Cupones

El gráfico muestra que los cupones se corroen a mayor velocidad, por lo tanto, el uso de este dato debe ser conservativo ya que sobreestima la velocidad de corrosión real, es decir la pérdida de espesor. Esta sobreestimación se debe a la naturaleza del método, el cupón está sometido a condiciones severas con un flujo más turbulento o de mayor velocidad laminar que en las cercanías de la superficie de la cañería, esto remueve a los productos de corrosión manteniendo activa la superficie desplazando el equilibrio químico hacia los productos de manera cíclica. En cambio, el óxido que se forma en la cañería efectúa una barrera energética limitante en la reacción de oxido-reducción, es decir que hay un control difusional sobre la superficie que tiene más impacto que en el cupón.

Para analizar si existe una relación entre los métodos analizados previamente y las zonas de interés, se grafican agrupadamente sus velocidades de corrosión por cupón, por CMLs y la diferencia entre ellas.

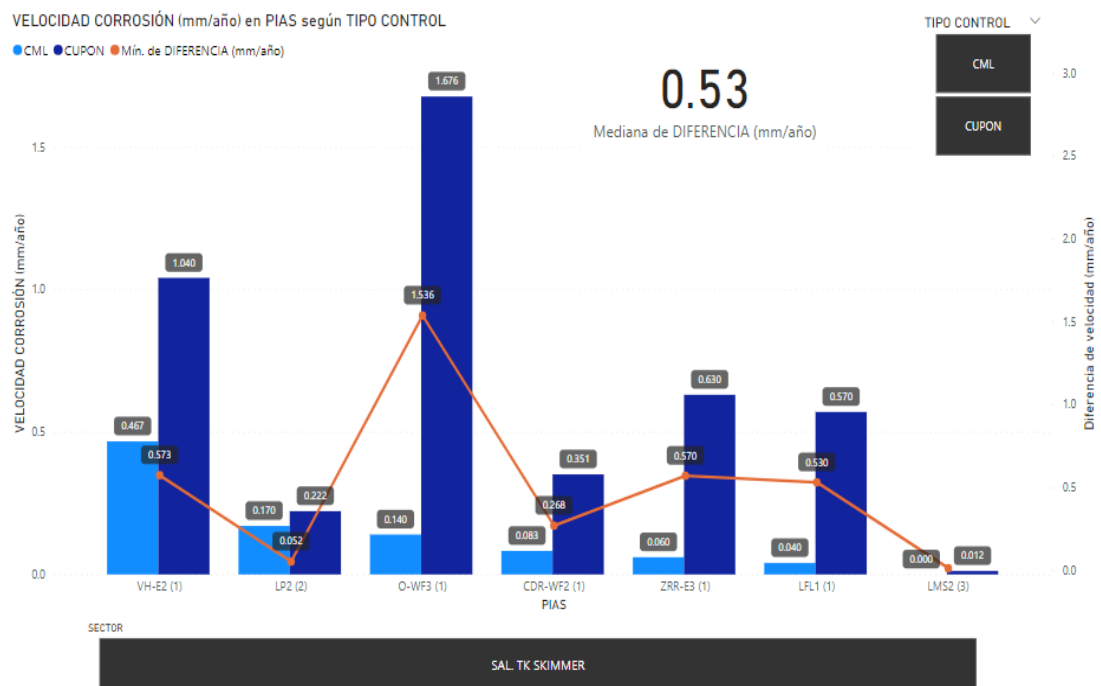


Ilustración 23 - Velocidades de Corrosión en Salida de Tanque Skimmer

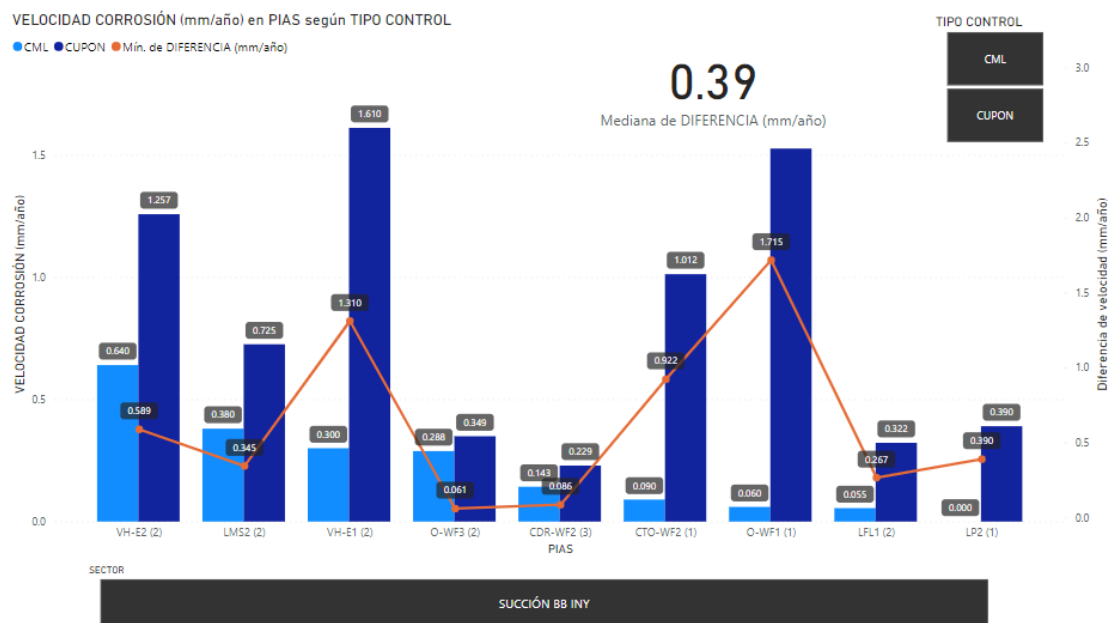


Ilustración 24- Velocidades de Corrosión en Succión de Bombas de Inyección

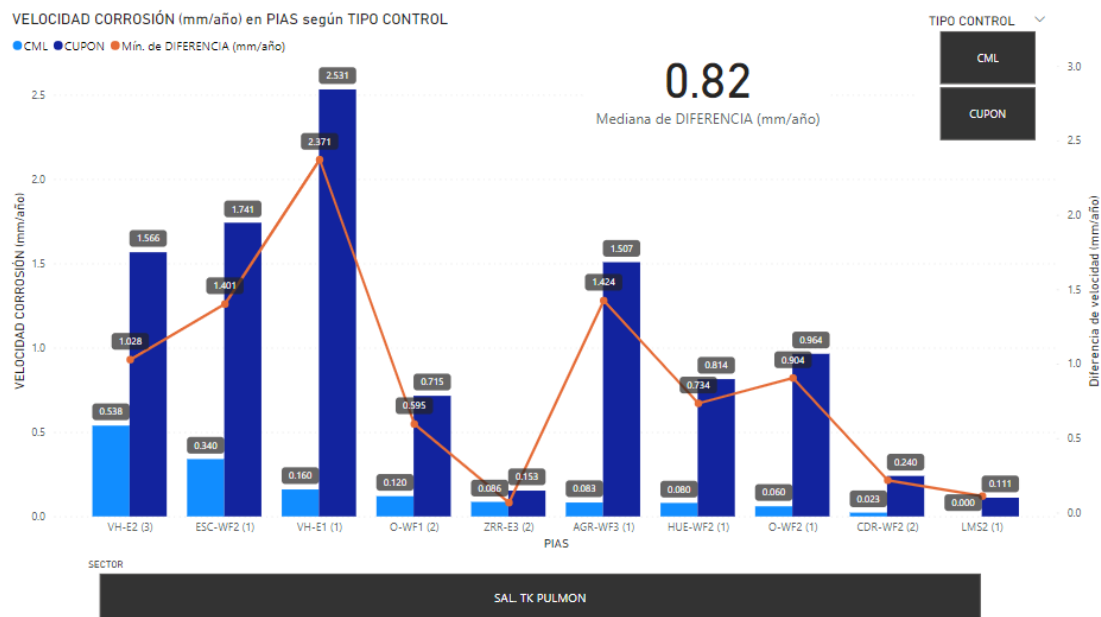


Ilustración 25 - Velocidades de Corrosión en Salidas de Tanque Pulmón

Aunque cada PIAS y sus zonas tendrán características diferentes, se agruparon para buscar patrones generales, por ejemplo, se notó que la mayor diferencia se encuentra en las Salidas de los Tanques Pulmón. Esta diferencia de 0.82 mm/año puede deberse a la alta concentración de O_2 en estas zonas, lo que puede acelerar el proceso de corrosión en la descarga donde están ubicados los porta-cupones.

Cabe destacar que muchos mapeos se realizaron antes del aporte de secuestrante de oxígeno (a aproximadamente 40 cm) en estas zonas existe una mayor velocidad de corrosión respecto a mapeos posteriores al aporte de químicos. La velocidad antes del aporte resulta aproximadamente 40% superior a los mapeos posteriores a la inyección química. A continuación, un ejemplo de PIAS ESC-WF2 demuestra lo anteriormente dicho.



Tabla 2 - Velocidad de corrosión antes y después de inyección de químicos

	MAP 1 – Antes inyección de químicos	MAP 2 – Después de Inyección de químicos
Velocidad corrosión mm/año por Phased Array	0.340 mm/año	0.240 mm/año
Velocidad de corrosión mm/año por cupones	1.741 mm/año	

Estas diferencias entre los MAP-1 y MAP-2 se pueden corroborar en los mapeos Phased Array Scan C, el primer mapeo da un espesor mínimo de 4,40 mm mientras el segundo presenta un mínimo de 4,90 mm.

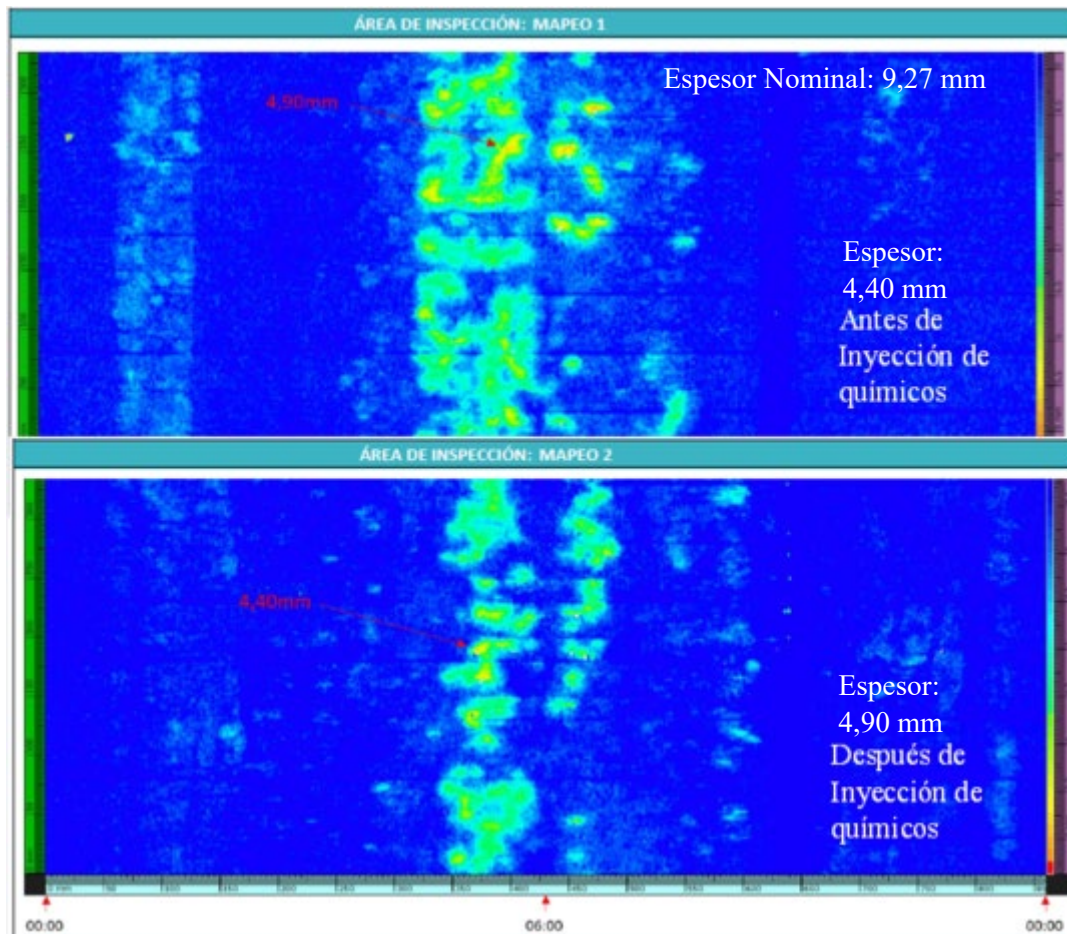


Ilustración 26 - Mapeos Scan C antes y después de inyección de químicos.

En la Salida de Tanque Skimmer y Succión de Bombas de Inyección se obtuvieron menores diferencias de velocidades entre los métodos, 0.56 y 0.39 mm/año respectivamente. Esto demuestra que las variables limitantes que impactan en los procesos de corrosión del cupón respecto a la cañería no afectan de forma tan relevante en algunas zonas de las PIAS. Inclusive se encontraron 5 casos donde los valores de velocidad son semejantes entre estos métodos.

PIAS	TIPO CONTROL	VELOCIDAD CORROSIÓN (mm/año)	SECTOR	DIFERENCIA (mm/año)
LMS2 (3)	CML	0.000	SAL. TK SKIMMER	0.012
LMS2 (3)	CUPON	0.012	SAL. TK SKIMMER	0.012
LP2 (2)	CML	0.170	SAL. TK SKIMMER	0.052
LP2 (2)	CUPON	0.222	SAL. TK SKIMMER	0.052
ESC-WF (1)	CML	0.192	SAL. TK PULMON	0.056
ESC-WF (1)	CUPON	0.248	SAL. TK PULMON	0.056
O-WF3 (2)	CML	0.288	SUCCIÓN BB INY	0.061
O-WF3 (2)	CUPON	0.349	SUCCIÓN BB INY	0.061
ZRR-E3 (2)	CML	0.086	SAL. TK PULMON	0.067
ZRR-E3 (2)	CUPON	0.153	SAL. TK PULMON	0.067

Ilustración 27 - Cupones con VC semejantes a CMLs

Estos casos solo representan un 16% de la muestra total analizada, no siendo suficiente evidencia para asegurar que un método puede reemplazar a otro, confirmando que no es confiable el uso de los cupones para estimar la pérdida de espesor en las tuberías.

En la mayoría de los casos las tasas de corrosión que muestran los cupones exceden ampliamente las reales de las tuberías por lo que es aconsejable que se usen junto con otros métodos de medición de espesores, como es el caso de Phased Array. También, para minimizar diferencias, se puede ajustar la posición, geometría/forma y tiempo de exposición de los cupones, como por ejemplo el reemplazo de cupones de tira por los de tipo Flush Disc con disposición superficial a nivel de la pared de la cañería.

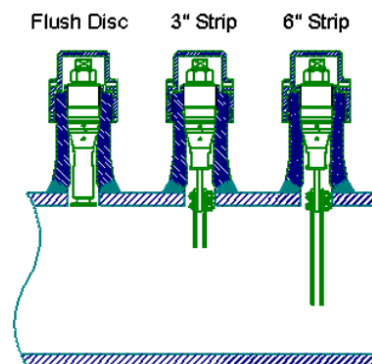


Ilustración 28 - Cupones disco y cupones de tira

A continuación, se utilizará regresión estadística para poder encontrar alguna relación entre los pares de velocidades que se obtienen por los distintos métodos.

3.5 Regresión entre velocidades de corrosión de Cupones y Phased Array

En este apartado se utiliza regresión logarítmica y lineal, con el fin de modelar los datos y analizar el ajuste R^2 de ellos en torno a una ecuación donde la variable independiente es la velocidad de los cupones y la dependiente la velocidad de Phased Array Scan C.

En el primer gráfico se utilizaron todos los datos (31 pares), estos se ajustan a una regresión logarítmica. A priori se observa que los puntos se encuentran menos dispersos cuanto menor es el valor de velocidad por cupones o por Phased Array.

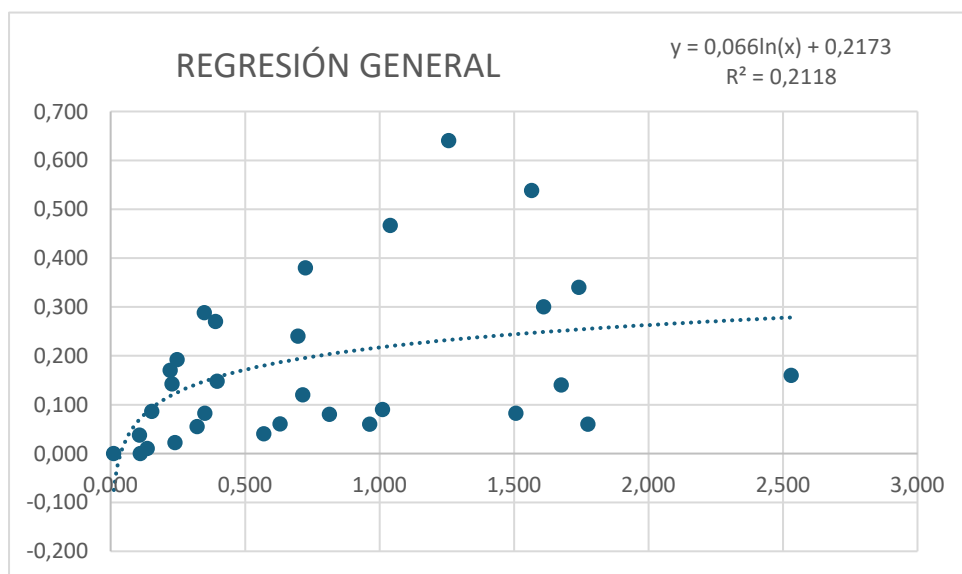


Ilustración 29 - Regresión completa de 30 Phased Array vs Cupones

Debido a lo anterior se intentó mejorar los ajustes R^2 graficando una regresión logarítmica para los valores más pequeños de velocidad de corrosión por Phased Array.

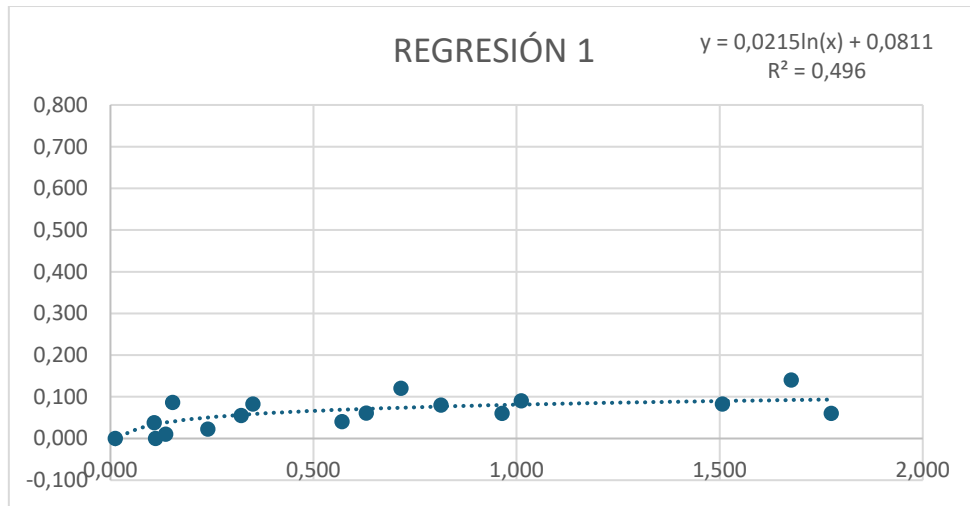


Ilustración 30 – Regresión 1 con valores de Velocidad de Corrosión baja en Phased Array.

Luego se graficó una regresión lineal con los valores más pequeños de velocidad de corrosión por cupones.

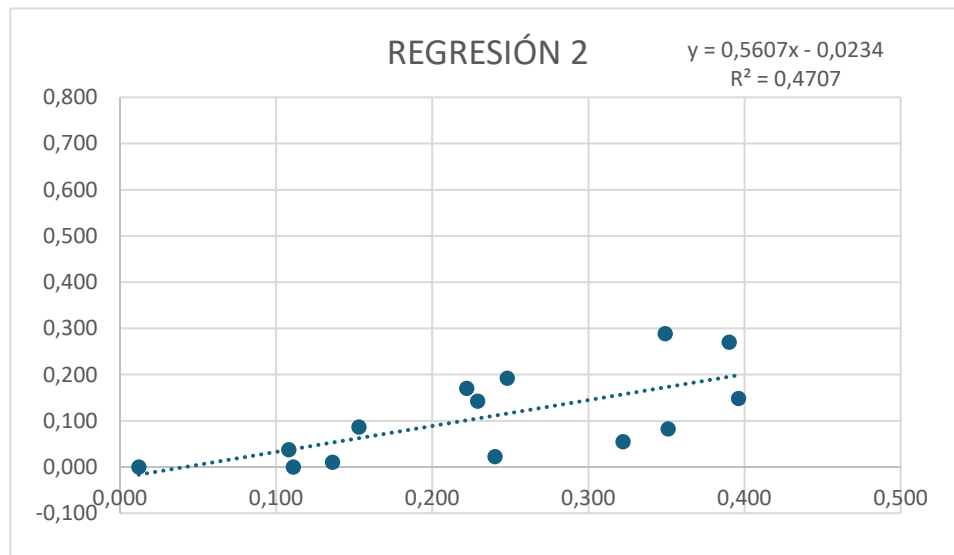


Ilustración 31 - Regresión 2 con Velocidades de Corrosión baja en cupones

El mejor ajuste logrado fue con la Regresión N°1, el cual fue del 0,49. La tasa de cambio de los valores de velocidad de Phased Array tienen cierta proporcionalidad al logaritmo de la velocidad de cupones. La variable independiente (cupones) puede tomar amplia variedad de valores, mientras los valores de Phased Array se mantienen bajos, menores a 0,100 mm/año. Esto indica que solo cuando la velocidad de corrosión real de la tubería es baja podemos encontrar una ecuación que se relaciona medianamente con los datos de los cupones. Hubiese sido realmente útil encontrar una relación con un buen R^2 cuando las velocidades de corrosión son altas, así con un dato de cupón se podría predecir el dato de velocidad por Phased Array.

En busca de mejorar aún más los ajustes con una ecuación que describa el comportamiento de los datos, se graficaron los datos en las 3 zonas de las PIAS con las que se ha venido trabajando.

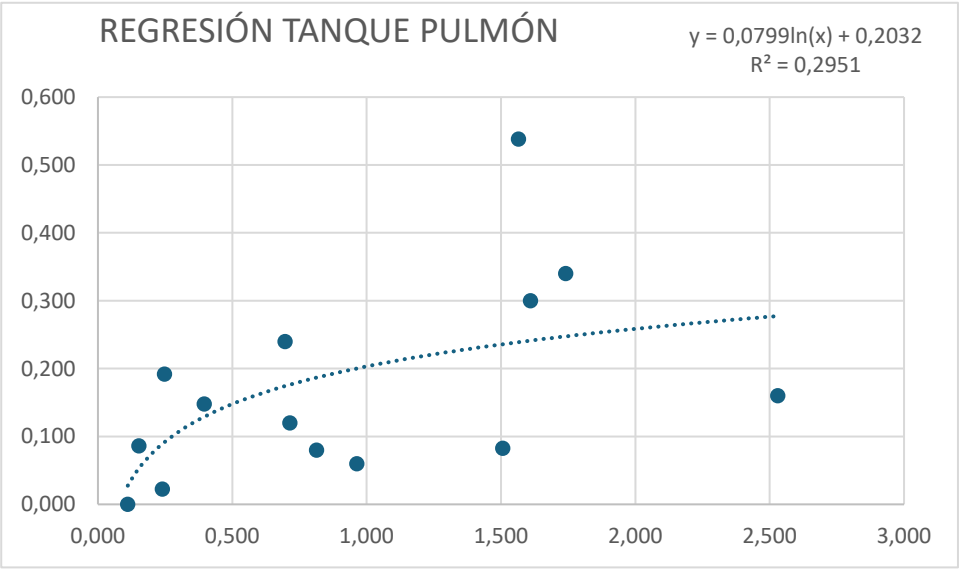


Ilustración 33- Regresión Salida Tanque Pulmón

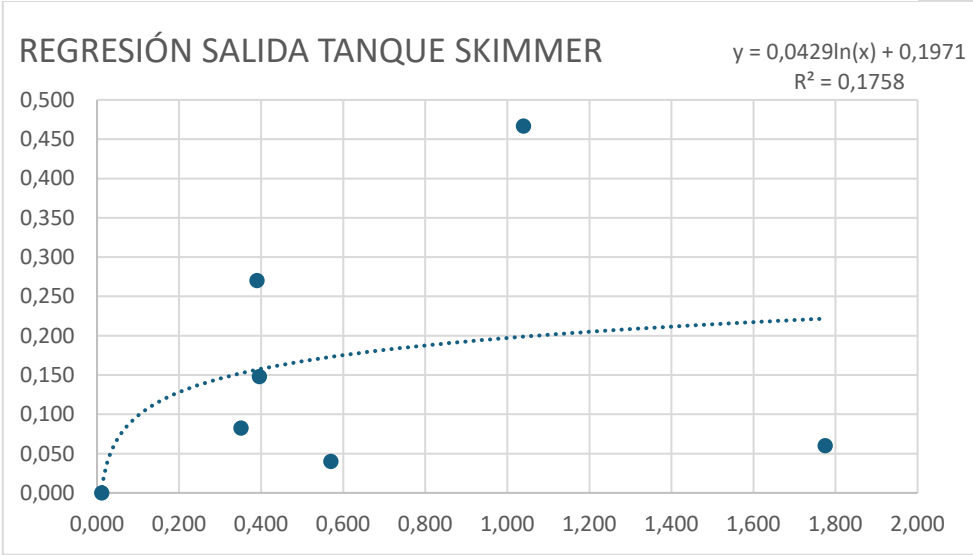


Ilustración 32 - Regresión en Salida Tanque Skimmer

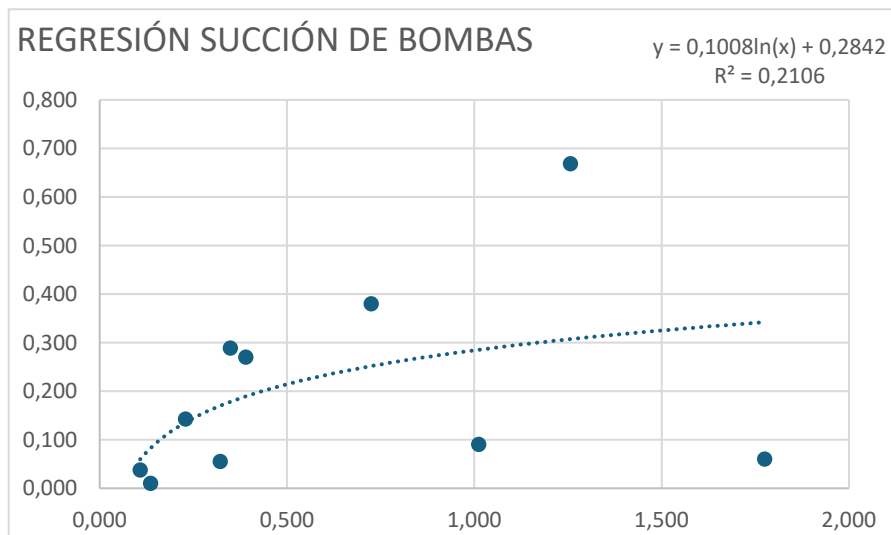


Ilustración 34 – Regresión en succión de bombas

En ninguno de los tres casos los modelos explican algún tipo relación entre las variables.

3.6 Tipos de corrosión identificadas por Phased Array Scan C.

En esta última sección se mostrarán las ventajas de utilizar mapeos de corrosión por ultrasonido. Estos permiten inspeccionar visualmente la corrosión de forma rápida y eficiente. Identificar qué tipo de proceso está actuando, cuál es su velocidad y severidad gracias a los gradientes colorimétricos que indican la pérdida de espesor.

El primer ejemplo es una serie de mapeos en la salida de tanque pulmón de PIAS AG-03, donde se puede reconocer una *corrosión generalizada posiblemente causada por depósitos microbianos* a las 6:00. Los mapeos permiten ver la evolución de este proceso en el tiempo.

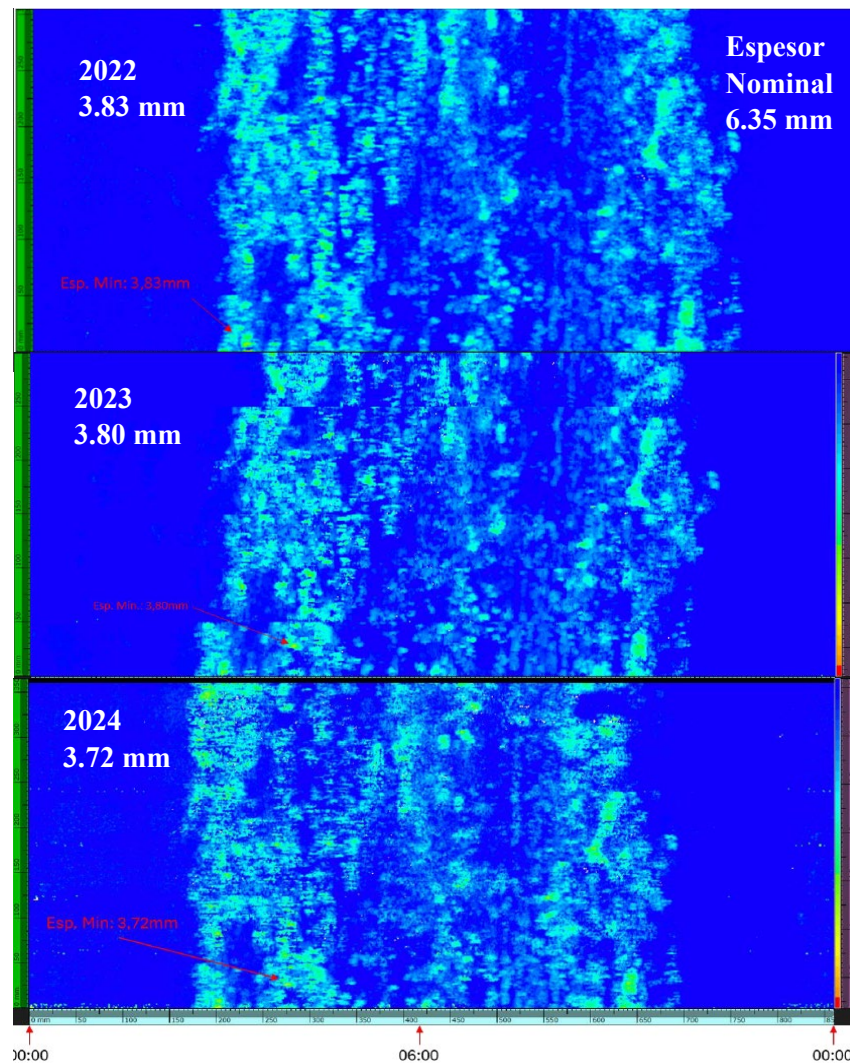


Ilustración 35 - Phased Array Scan C con corrosión generalizada posiblemente causada por depósitos microbianos.

Otro caso de interés se visualizó en la PIAS LP-2 en la salida de un tanque pulmón, donde podemos considerar la presencia de una *corrosión gaseosa* donde se observa una sección generalizada de menor espesor sobre la posición de las 12:00. Esto confirma lo supuesto en 3.4 Velocidad de corrosión de cupones vs Phased Array Scan C. donde se consideró que la mayor diferencia entre las velocidades de los métodos es a la Salida de los Tanques Pulmón y se debía a la alta concentración de O₂ o Gases en estas zonas.

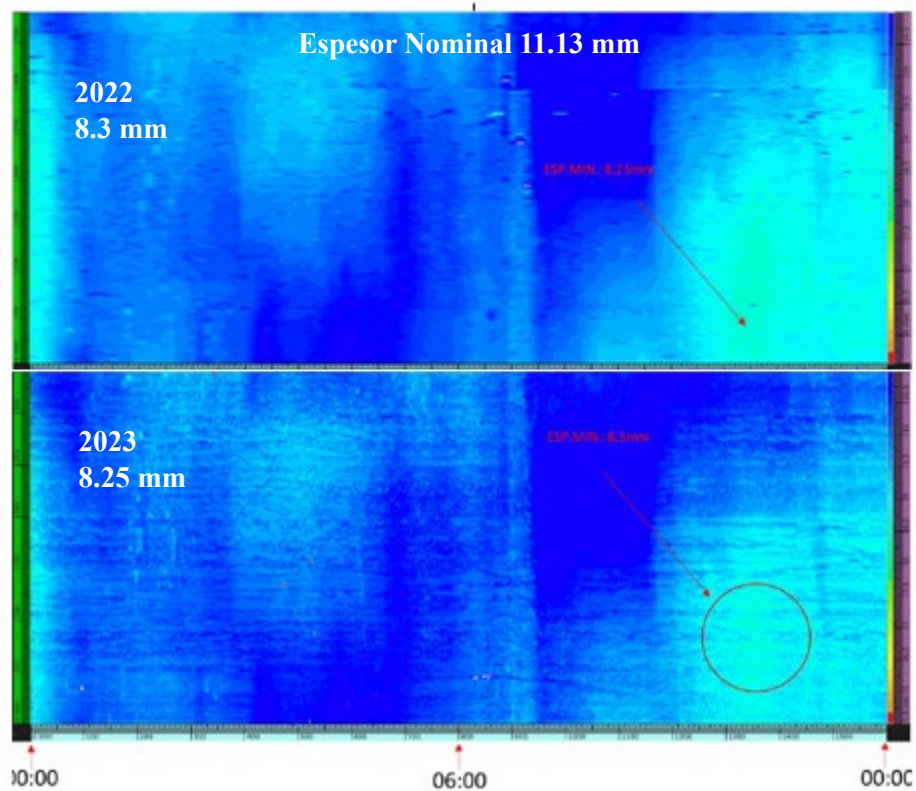


Ilustración 36 - Phased Array Scan C con presencia de corrosión gaseosa.

En este mapeo se observa un caso de *corrosión localizada pitting*, en la PIAS OR1 a la salida del tanque pulmón. Este tipo de corrosión puede ser a causa de la deposición de sólidos en una línea

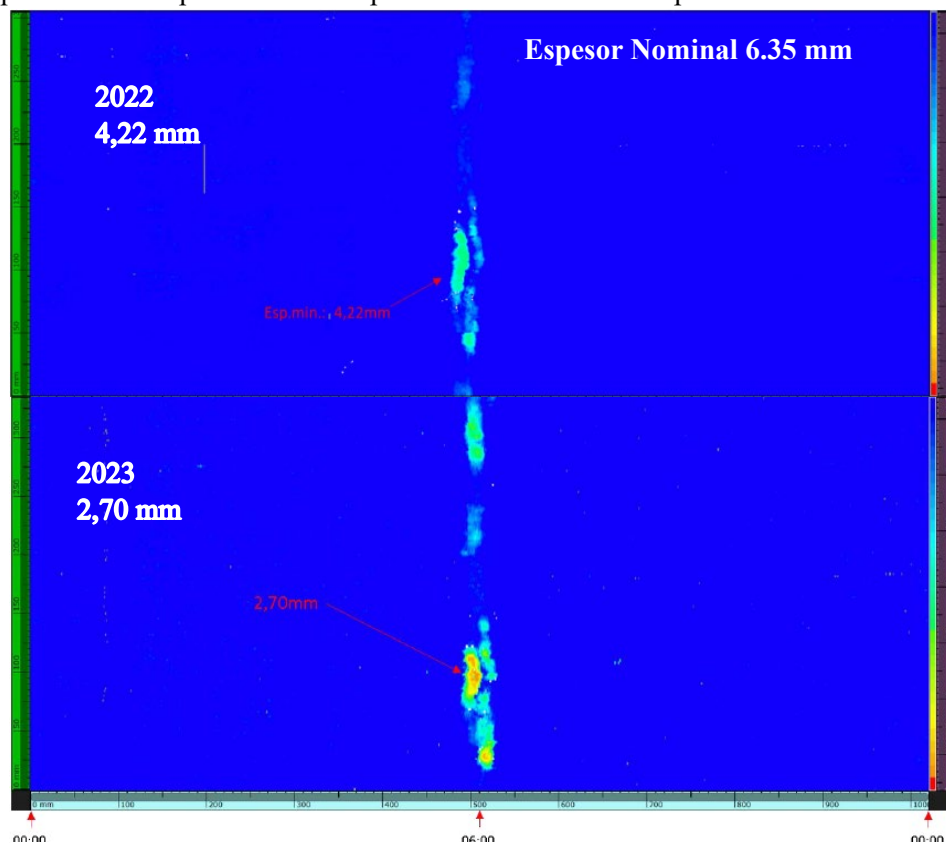


Ilustración 37 - Phased Array Scan C con corrosión localizada - pitting

homogénea que causa un incremento en la corrosión debajo del depósito, las bacterias sulfato reductoras proliferan debajo de los lodos, generan H_2S causando el pit localizado.

Por último, se muestra un mapeo en la impulsión de una de las bombas de PIAS CT2, donde al pasar el año se ve una disminución de espesor debido posiblemente a *corrosión por cavitación*. Este daño es frecuente en los impulsores por la formación y colapso de burbujas de vapor en el líquido sobre la superficie del metal. La corrosión tiene un área mayor a un pit, ya que el proceso implica la destrucción de películas protectoras de la corrosión en zonas levemente superiores a las 6:00.

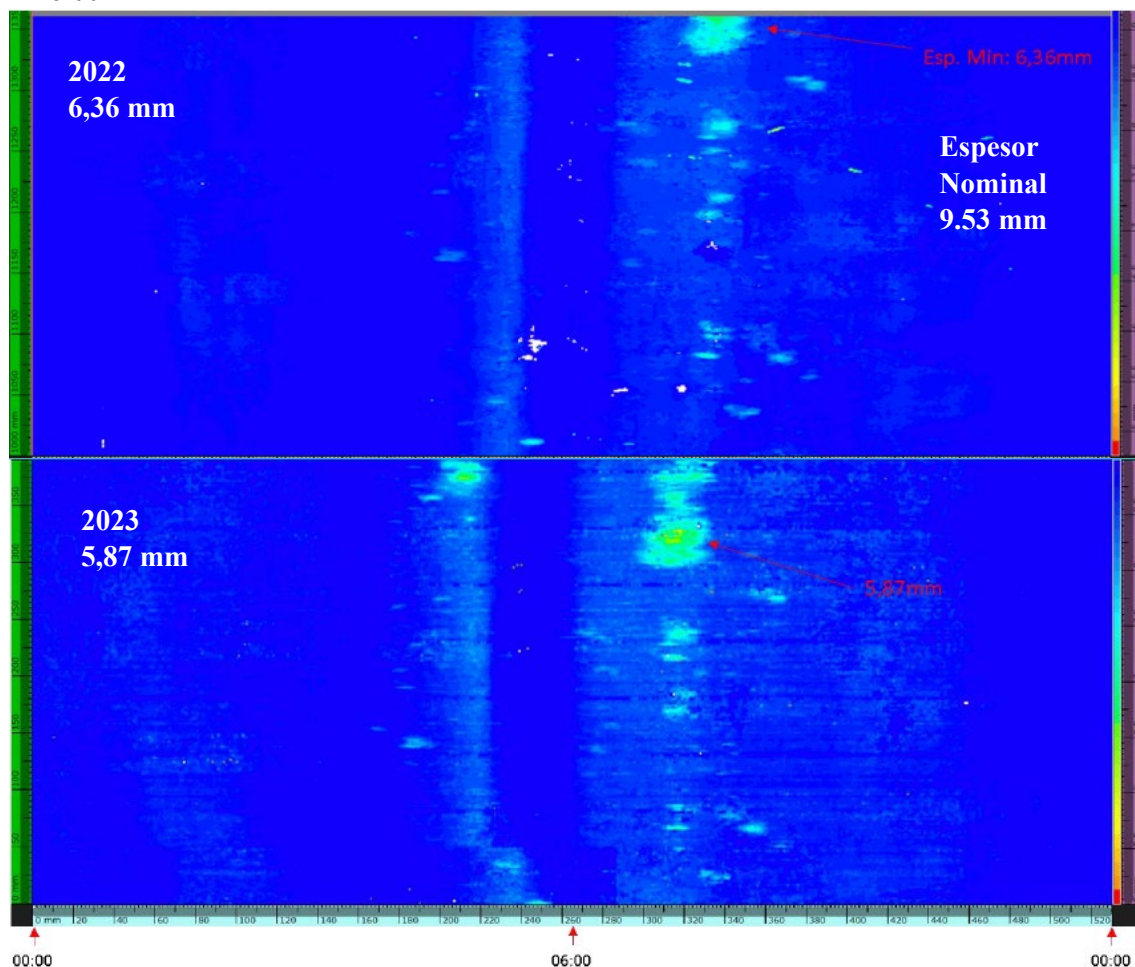


Ilustración 38 - Phased Array Scan C con corrosión por cavitación

4 Conclusión

Aunque muchas veces los programas de mitigación de la corrosión sobre piping se basen en la información aportada por los cupones, se considera que la utilización de técnicas más homogéneas es conveniente para reforzarlos.

Ambos métodos son necesarios, aunque se deja en claro que monitorean de manera diferente, con Phased Array Scan C se releva de manera directa la integridad de la cañería aportando un dato preciso sobre lo sucedido, mientras que el cupón da una tendencia de lo que puede estar sucediendo ya que mide la corrosividad del medio y su posible impacto sobre la cañería. Esto puede no ser preciso porque muestra lo que está sucediendo en el seno del fluido y los datos expuestos demostraron claramente que este medio afecta a la cañería en distinta medida, es decir no con la misma velocidad que afecta al cupón.

En este trabajo se intentó comprobar si los altos valores de corrosión observados en los cupones se reflejaban sobre las instalaciones, para esto se intentó hallar una ecuación que por regresiones permita relacionar ambos métodos de medición. Todos los intentos dieron ajustes R^2 bajos, mejorando levemente cuando la velocidad de corrosión en las tuberías es baja (medición por Phased Array). Sin embargo, esta ecuación no permitirá predecir con la velocidad de corrosión de los cupones casos de pérdida de espesor severa en el piping. Además, solo el 16% casos relevados se asemejaron en sus medidas mutuamente, lo que no es suficiente para reemplazar una tecnología por otra. Por todo lo anteriormente expuesto se concluye que ambos métodos son complementarios para tener un programa de monitoreo y mitigación eficiente.

A partir de este trabajo, en el yacimiento GSJ se decidió dar continuidad a ambos métodos ya que gracias a las imágenes obtenidas con los mapeos encontramos hallazgos relevantes como los mostrados en 3.6 Tipos de corrosión identificadas por Phased Array Scan C. donde se pudo inferir un mecanismo de daño independientemente de la corrosividad y la fluctuación del medio estimada por los cupones.

Se propone continuar inspeccionando en el tiempo los CMLs y comparando sus resultados con otras tecnologías, como, por ejemplo, las probetas electroresistivas (LPR), con el fin de hallar una relación entre ellas.

5 Bibliografía

NACE Internacional /ASTM G193-10b (2010). “*Standard Terminology and Acronyms Relating to Corrosion.*”, ASTM International, West Conshohocken, PA, and NACE International, Houston, TX, USA. DOI: 10.1520/G0193-10B

NACE Internacional RP0775 (2005) “*Standard Recommended Practice “Preparation, Installation, Analysis and Interpretation of corrosion coupons”*”, Houston, Texas, USA. ISBN 1-57590-086-6

ASTM Internacional E1316 (2022) “*Standard Terminology for Nondestructive Examinations*”, ASTM Internacional, DOI: 10.1520/E1316-22A

ASTM E494 (2020) “*Standard Practice for Measuring Ultrasonic Velocity in Materials by Comparative Pulse-Echo Method*”, ASTM Internacional, DOI: 10.1520/E0494-20

ASTM E2491 – (2018) “*Standard Guide for Evaluating Performance Characteristics of Phased-Array Ultrasonic Testing Instruments and Systems*”, ASTM Internacional, DOI: 10.1520/E2491-13R18.

Barrueta J. & Guzman A. (2022) “*Informe Técnico: ESTRATEGIA DE MONITOREO ESPECIAL DE CORROSIÓN EN PIAS*”, COE-GEN-RTE-004, Pan American Energy, Golfo San Jorge.

Raman S., Baldev Raj U. Kamachi M. & Prabhakar S. (2019) “*Non-Destructive Evaluation of Corrosion and Corrosion-assisted Cracking*”, Hoboken, Wiley-American Ceramic Society.

Ohara, L.A., (2022) “*PO-405 Procedimiento Operativo Ultrasonidos*”, Petromark S.R.L.

Ramos V. & Bonifacio P. (2021) “*Manual Sistema de Aseguramiento para la Gestión de Corrosión (CMAS)*”, PAE-CTO-MN-004, Pan American Energy.

Olympus NDT, (2007) “*Introduction to Phased Array Ultrasonic Technology Applications*”, Olympus NDT, Waltham, USA. ISBN 0-9735933-4-2.

Patton, C.C & Campbell, J.M, (1986) “*Applied Water Technology*” Campbell Petroleum Series, Dallas Texas, USA.

Denny A. J. (1996) *"Principles and Prevention of Corrosion"*, Second Edition, Department of Chemical and Metallurgical Engineering, University of Nevada, Reno, USA. ISBN 0-13-359993-0.

6 Curriculums Vitae

CV Guzmán, Abel Matías: de formación académica Ingeniero Químico graduado en la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Abel forma parte de Pan American Energy hace 10 años desempeñando sus funciones en las áreas el área de Tratamientos químicos, como técnico de campo, y actualmente como Ingeniero de Integridad y Corrosión en el área de Corrosión.

CV Lorenzo Luna, Victoria María Angelica: de formación académica Ingeniera Civil orientación Construcciones graduada en la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Victoria forma parte de Pan American Energy hace 1 año desempeñándose como Ingeniera de Integridad y Corrosión en el área de Corrosión. Anteriormente, durante 4 años estuvo relacionada a la Ingeniería de Integridad Mecánica en empresas dedicadas a Ensayos No Destructivos como Petromark S.R.L. y Bonefro S.R.L.

CV Renna, Agustina Lucía: de formación académica Ingeniería Química orientación Petroquímica graduada en la Universidad Nacional de Cuyo. Agustina forma parte de Petromark S.R.L. hace 1 año como Asistente de Ingeniería para el área de Corrosión de Pan American Energy. Anteriormente por 2 años se dedicó al área de Control de Procesos en empresas como Cementos Avellaneda S.A. y Grupo Arcor S.A. También se desarrollo en la Investigación de Nanomateriales en CONICET-La Plata.