



2º Concurso de  
**Jóvenes Profesionales**  
de la Industria de los Hidrocarburos



## **ROTURA DE CAÑERÍA ERW, ANÁLISIS DE FALLA Y DESARROLLO DE METODO DE CÁLCULO DE VIDA A LA FATIGA: UN CASO DE ÉXITO**

**4º Congreso de Integridad  
y Corrosión en la Industria  
del Petróleo y del Gas**   
31 Mayo al 02 Junio 2021 - Congreso Virtual

**Autor:** Diego Sebastián López

- Ingeniero en Materiales de la Universidad Nacional de Mar del Plata
- Especialista en Ensayos No Destructivos del Instituto Sabato
- Asistente de Integridad en Camuzzi Gas desde Octubre 2017

**Co-autor:** Alejandro Lorenzo

- Ingeniero Mecánico de la Universidad de Buenos Aires
- Postgrado de Metalurgia y Tecnología de Materiales de la Comisión Nacional de Energía Atómica
- Gerente Técnico en Camuzzi Gas desde 2007, Jefe Dpto. Integridad e Ingeniería. (2004-2007) y Coordinador de Obras (1994-2004)



## **ROTURA DE CAÑERÍA ERW, ANÁLISIS DE FALLA Y DESARROLLO DE METODO DE CÁLCULO DE VIDA A LA FATIGA: UN CASO DE ÉXITO**

- 1) Puesta en Contexto
- 2) Desarrollo de metodología
- 3) Aplicación al Sistema de Alta Presión de Camuzzi Gas
- 4) Conclusiones

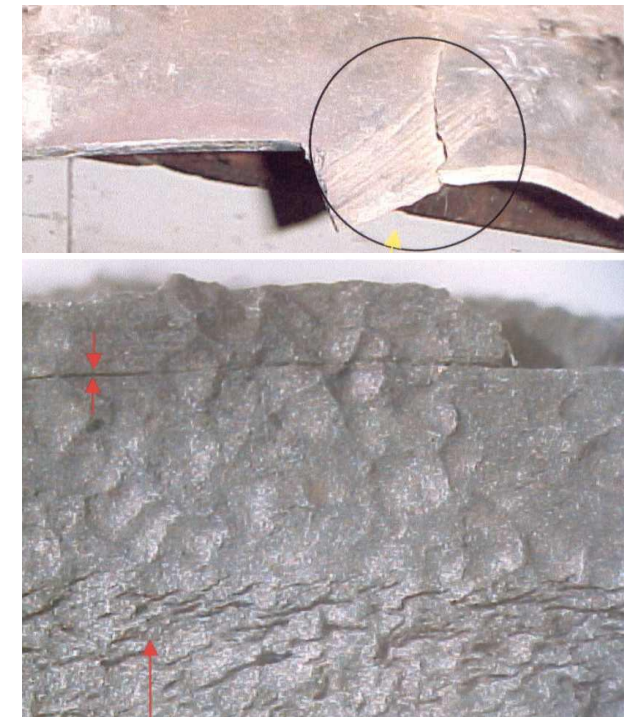
**ROTURA DE CAÑERÍA ERW, ANÁLISIS DE FALLA Y DESARROLLO DE METODO  
DE CÁLCULO DE VIDA A LA FATIGA: UN CASO DE ÉXITO**  
1) PUESTA EN CONTEXTO



Rotura año 2000: Daño por terceros, **propagación** de fisura a través del cordón de soldadura

**Características del gasoducto**

- Diámetro 12”
- Espesor 4,78 mm
- Material API 5L X52
- MAPO 60 Kg/cm<sup>2</sup>
- Año de habilitación 1982
- Gasoducto con variaciones de presión importantes
- Soldadura ERW de baja frecuencia
- No apto para pasaje de scraper

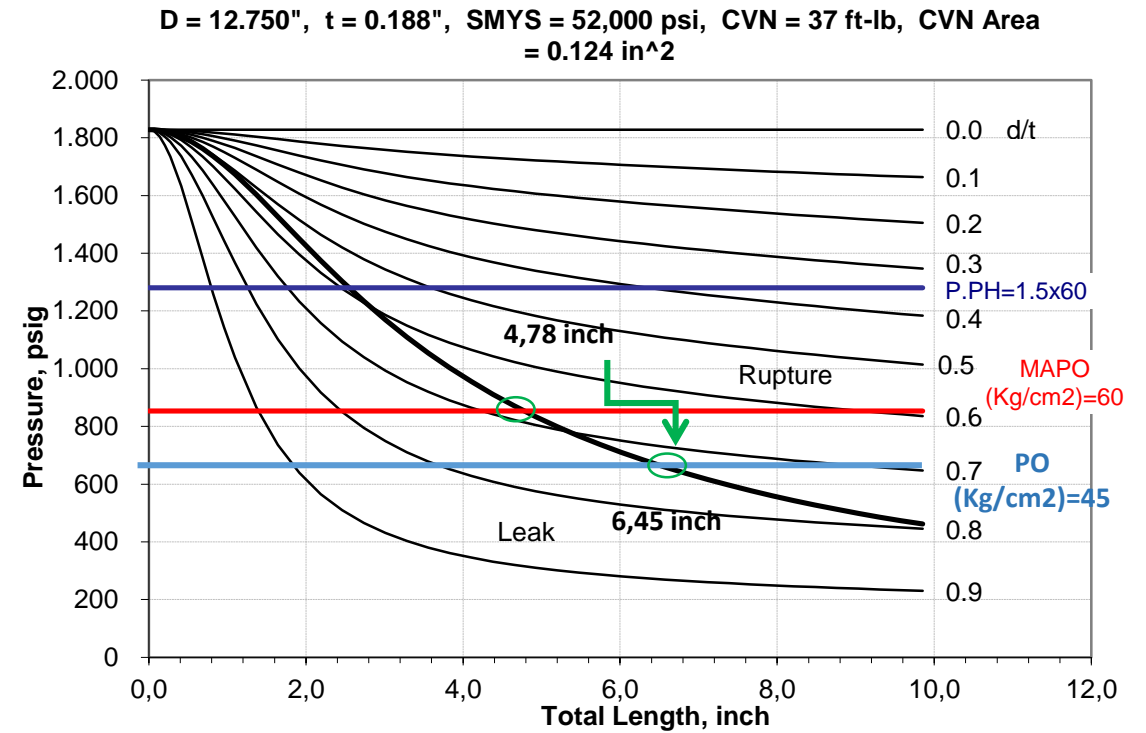


Rotura año 2002: **Crecimiento** subcrítico de fisura sobre daño mecánico previo

**ROTURA DE CAÑERÍA ERW, ANÁLISIS DE FALLA Y DESARROLLO DE METODO  
DE CÁLCULO DE VIDA A LA FATIGA: UN CASO DE ÉXITO**  
1) PUESTA EN CONTEXTO

**Medidas de mitigación**

- En 2002 Se reguló la presión operativa (PO) a 45 Kg/cm<sup>2</sup>
- Se aumentó el tamaño crítico de fisura
- Se redujo la probabilidad de rotura
- La no ocurrencia de rotura a la fecha, evidencia la efectividad de la medida de mitigación



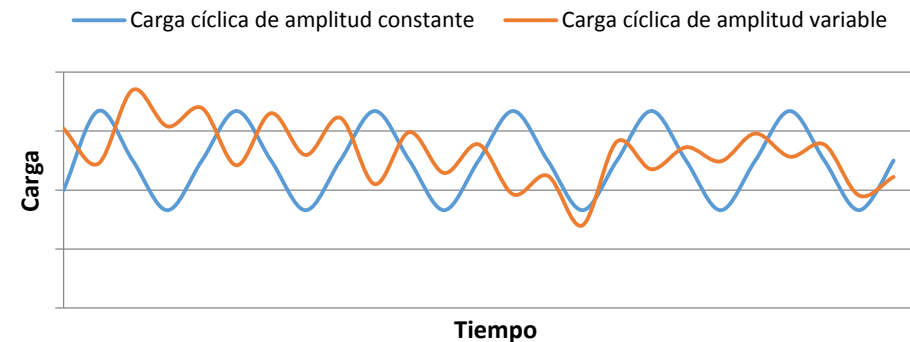
**ROTURA DE CAÑERÍA ERW, ANÁLISIS DE FALLA Y DESARROLLO DE METODO  
DE CÁLCULO DE VIDA A LA FATIGA: UN CASO DE ÉXITO**  
1) PUESTA EN CONTEXTO

**¿Por qué se analizó el daño por fatiga?**

- Fatiga: mecanismo de daño progresivo
- Antecedente de crecimiento subcrítico de fisura preexistente
- Cañería ERW de baja frecuencia, susceptible de contar con fisuras preexistentes
- Particularidad operativa del gasoducto, suministro a usuarios residenciales y a una central térmica
- Reducción en la PO hacía presuponer un cambio en la cantidad de los ciclos de carga/descarga
- Se observó la existencia de otros ductos que podrían estar afectados por este fenómeno



**Tipos de Cargas cíclicas**





**ROTURA DE CAÑERÍA ERW, ANÁLISIS DE FALLA Y DESARROLLO DE METODO  
DE CÁLCULO DE VIDA A LA FATIGA: UN CASO DE ÉXITO**  
**2) DESARROLLO DE METODOLOGÍA**

**Metodología propuesta**

- A) Historial de presión - Método Rainflow (cantidad **n** y amplitud  $\Delta\sigma$  de ciclos de presión)
- B) Caracterización de defectos: longitud **l**, profundidad inicial **a<sub>0</sub>** y profundidad final **a<sub>f</sub>** (ecuación Ln-Sec modificada)
- C) Determinación de la vida a la fatiga **N** (método iterativo utilizando la Ley de Paris)
- D) Determinación del daño anual acumulado **n/N** (Regla de Miner)
- E) Determinación de la vida remanente (daño acumulado y antigüedad de la cañería)



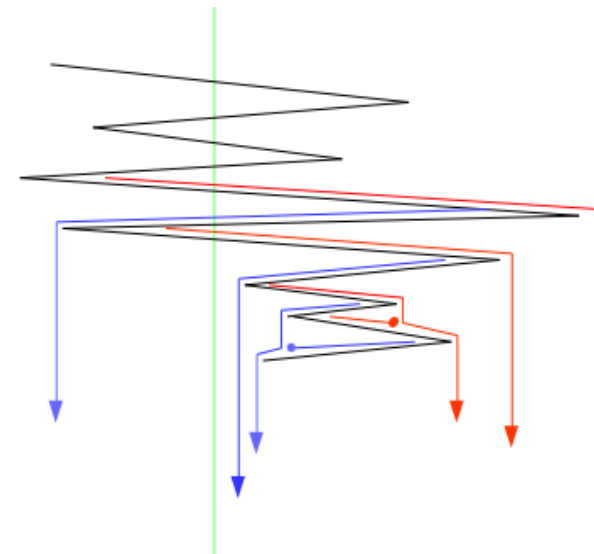
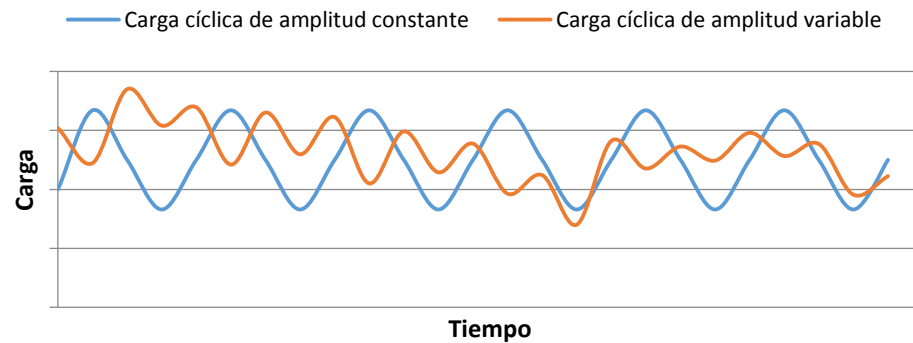
**ROTURA DE CAÑERÍA ERW, ANÁLISIS DE FALLA Y DESARROLLO DE METODO  
DE CÁLCULO DE VIDA A LA FATIGA: UN CASO DE ÉXITO**  
**2) DESARROLLO DE METODOLOGÍA**

A) Determinación de cantidad **n** y amplitud  $\Delta\sigma$  de ciclos de presión

Rutina Rainflow (ASTM E1049 – 85), en Visual Basic (descarga gratuita “StoFlo 13.05”)

- Identificación de picos y valles (registro Presión Vs Tiempo)
- Conteo progresivo, analizando segmentos sucesivos entre picos y valles (rango de carga y comparación con rangos previos)
- Analogía con caída de gotas de lluvia

**Tipos de Cargas cíclicas**

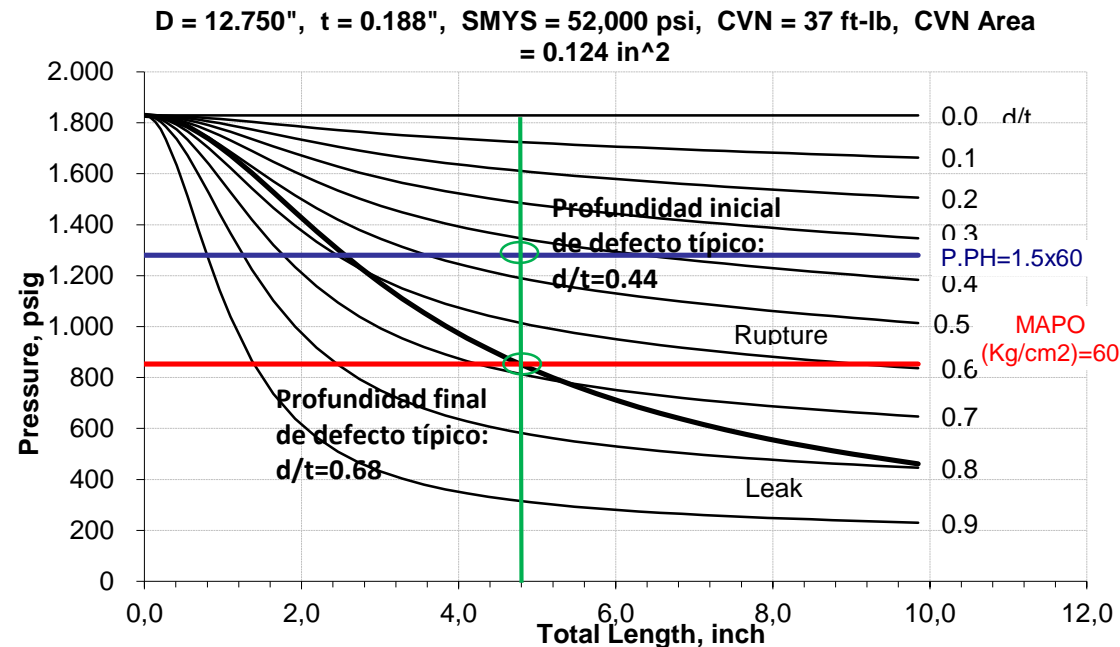


**ROTURA DE CAÑERÍA ERW, ANÁLISIS DE FALLA Y DESARROLLO DE METODO  
DE CÁLCULO DE VIDA A LA FATIGA: UN CASO DE ÉXITO**  
**2) DESARROLLO DE METODOLOGÍA**

B) Determinación de longitud, profundidad inicial  $a_0$  y profundidad final  $a_f$  de defecto

Rutina de aproximación de puntos, en Visual Basic (ciclo While)

- $a_0$  :Profundidad de defecto a PH,  $a_f$  :Profundidad de defecto a MAPO
- Utilizando planilla de Kiefner&Associates, conteniendo curvas Leak Vs Rupture (ecuación Ln-Sec modificada)



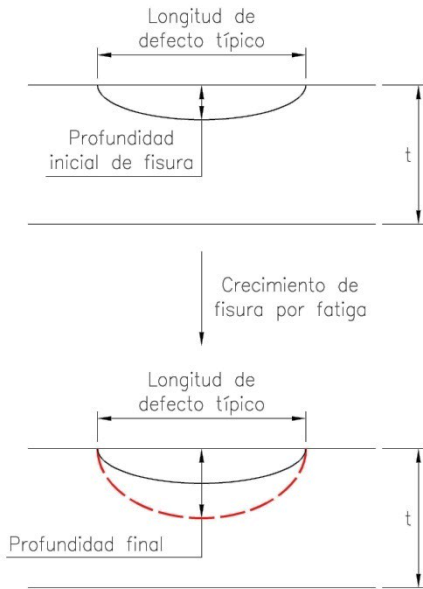


**ROTURA DE CAÑERÍA ERW, ANÁLISIS DE FALLA Y DESARROLLO DE METODO  
DE CÁLCULO DE VIDA A LA FATIGA: UN CASO DE ÉXITO**  
2) DESARROLLO DE METODOLOGÍA

C) Determinación de la vida a la fatiga **N** (método iterativo utilizando la Ley de Paris)

Rutina de crecimiento **da**, en Visual Basic (ciclo While)

- **N**: Cantidad de ciclos para crecer desde **a<sub>0</sub>** hasta **a<sub>f</sub>**



$$\text{Ley de Paris } \frac{da}{dN} = C(\Delta K)^m$$

$$\Delta K = Y (\Delta\sigma)\sqrt{\pi a}$$

$$Y = f \cdot \left(\frac{1}{Q}\right)^{1/2}$$



**ROTURA DE CAÑERÍA ERW, ANÁLISIS DE FALLA Y DESARROLLO DE METODO  
DE CÁLCULO DE VIDA A LA FATIGA: UN CASO DE ÉXITO**  
2) DESARROLLO DE METODOLOGÍA

D) Determinación del daño anual acumulado  $n/N$

Planilla de cálculo en Excel

- $\Delta P_i$  y  $n_i$ : resultados de la aplicación del método Rainflow (historial de presiones, para un año)
- $N_i$ : Resultados Ley de Paris (crecimiento para un dado  $\Delta P_i$ , desde  $a_0$  hasta  $a_f$ )

Regla de Miner :

$$D_i = \frac{n_i}{N_i}$$

$$D_{Total} = \sum D_i = 1$$

$\Delta P_i$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$n_i$	$N_i$	$D_i$
2	250	1.000.000	0,000250
5	110	587.254	0,000187
11	35	25.636	0,001365
14	22	3.127	0,007035
20	3	412	0,007281
Daño acumulado			0,016119



**ROTURA DE CAÑERÍA ERW, ANÁLISIS DE FALLA Y DESARROLLO DE METODO  
DE CÁLCULO DE VIDA A LA FATIGA: UN CASO DE ÉXITO**  
**2) DESARROLLO DE METODOLOGÍA**

E) Determinación de la vida remanente, (daño acumulado y antigüedad de la cañería)

Planilla de cálculo en Excel

- Inverso del daño anual acumulado
- Restar antigüedad de la cañería

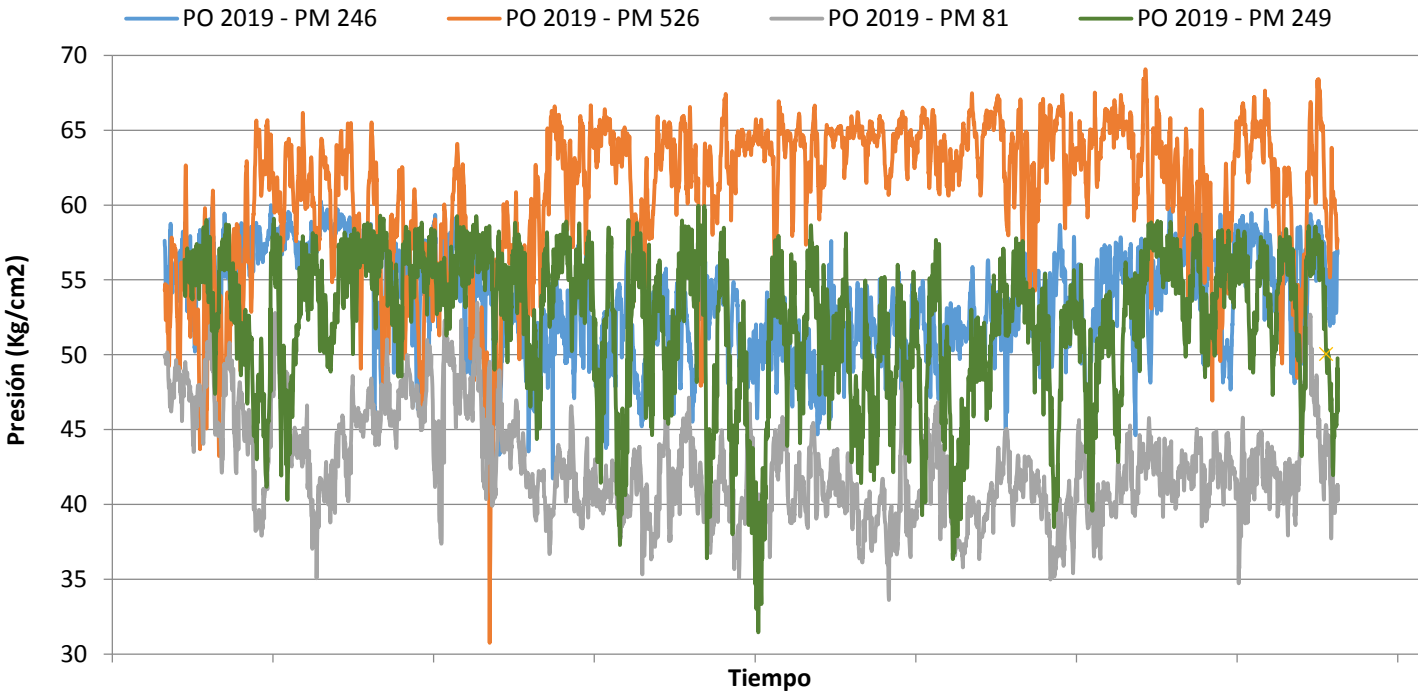
$$Vida a la fatiga = \frac{1}{\text{Daño anual acumulado}}$$

$$Vida a la fatiga = \frac{1}{0,016119} = 62 \text{ años}$$



ROTURA DE CAÑERÍA ERW, ANÁLISIS DE FALLA Y DESARROLLO DE METODO DE CÁLCULO DE VIDA A LA FATIGA: UN CASO DE ÉXITO  
3) APLICACIÓN AL SISTEMA DE ALTA PRESIÓN DE CAMUZZI GAS

Registros de Presión 2019



	PM 81	PM 249	PM 246	PM 526
Rango	Ciclos	Ciclos	Ciclos	Ciclos
5	23.5	17.5	21	17.5
8	2.5	1.5	6	6.5
11	2.5	1.5	1	3
14	2	1	0	0.5
17	0.5	0	0	1
20	0	1.5	0	1.5



**ROTURA DE CAÑERÍA ERW, ANÁLISIS DE FALLA Y DESARROLLO DE METODO  
DE CÁLCULO DE VIDA A LA FATIGA: UN CASO DE ÉXITO**  
3) APLICACIÓN AL SISTEMA DE ALTA PRESIÓN DE CAMUZZI GAS

<b>Diámetro</b>	<b>12"</b>
<b>Espesor</b>	3,96 mm
<b>Material</b>	API 5L X 56
<b>MAPO</b>	60 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>% TFME</b>	62,31
<b>CVN</b>	27 J
<b>Factor de PH</b>	1,5

<b>Longitud de defecto típico</b>	<b>Profundidad inicial (respecto al espesor)</b>	<b>Profundidad final (respecto al espesor)</b>
92,2 mm	35%	65%

<b>Rango</b>	<b>N</b>	<b>Fracción consumida de Vida la Fatiga</b>			
		<b>PM 81</b>	<b>PM 249</b>	<b>PM 246</b>	<b>PM 526</b>
<b>5</b>	3583	0.00655875	0.00488418	0.00586101	0.00488418
<b>8</b>	876	0.002853881	0.00171233	0.006849315	0.00742009
<b>11</b>	338	0.00739645	0.00443787	0.00295858	0.00887574
<b>14</b>	165	0.012121212	0.00606061	0	0.0030303
<b>17</b>	93	0.005376344	0	0	0.01075269
<b>20</b>	57	0	0.02631579	0	0.02631579
<b>Daño anual acumulado</b>		0.034306637	0.04341077	0.015668905	0.06127879
<b>Vida la Fatiga (años)</b>		29	23	64	16

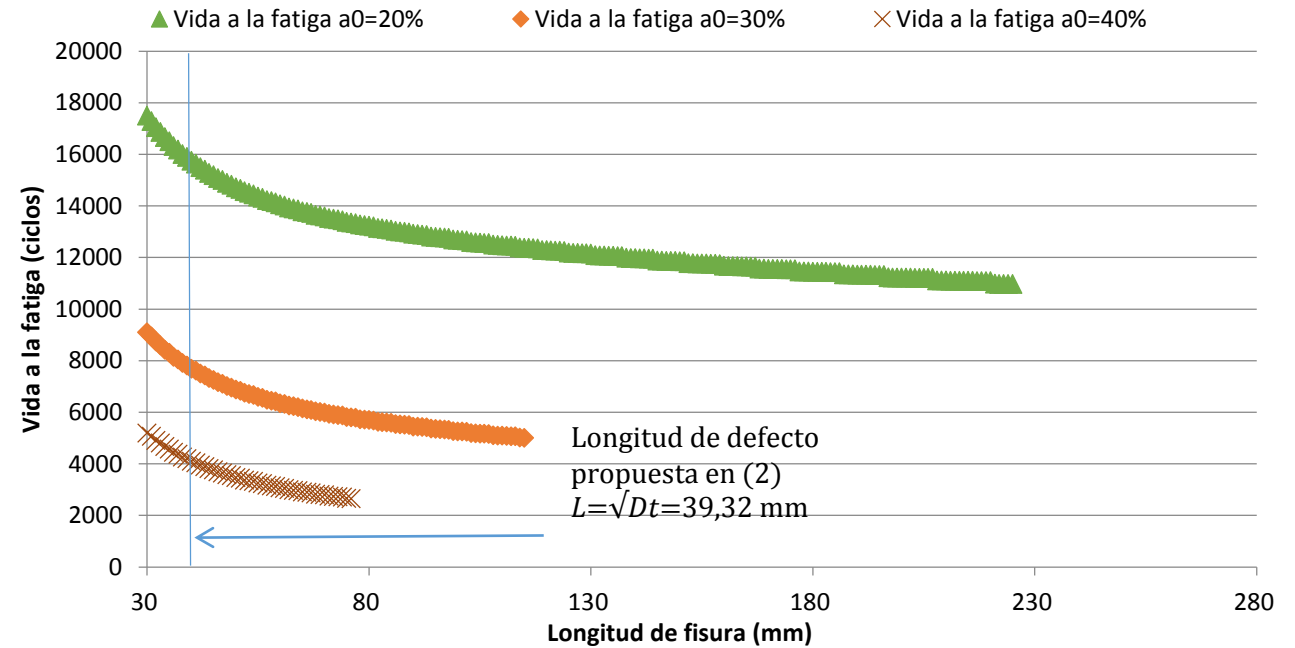


### ROTURA DE CAÑERÍA ERW, ANÁLISIS DE FALLA Y DESARROLLO DE METODO DE CÁLCULO DE VIDA A LA FATIGA: UN CASO DE ÉXITO

#### 3) APLICACIÓN AL SISTEMA DE ALTA PRESIÓN DE CAMUZZI GAS

<b>Diámetro</b>	<b>12"</b>
<b>Espesor</b>	3,96 mm
<b>Material</b>	API 5L X 56
<b>MAPO</b>	60 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>% TFME</b>	62,31
<b>CVN</b>	27 J
<b>Factor de PH</b>	1,5

#### Efecto de la longitud del defecto y la profundidad inicial sobre la Vida a la Fatiga ( $\Delta P=5 \text{ Kg/cm}^2$ )





**ROTURA DE CAÑERÍA ERW, ANÁLISIS DE FALLA Y DESARROLLO DE METODO  
DE CÁLCULO DE VIDA A LA FATIGA: UN CASO DE ÉXITO**  
**3) APLICACIÓN AL SISTEMA DE ALTA PRESIÓN DE CAMUZZI GAS**

<b>Diámetro</b>	<b>12"</b>
Esesor	3,96 mm
Material	API 5L X 56
MAPO	60 Kg/cm <sup>2</sup>
% TFME	62,31
CVN	27 J
Factor de PH	1,5

<b>Factor de PH</b>	<b>Longitud de defecto típico (mm)</b>	<b>Profundidad inicial (d/t)</b>	<b>Profundidad final (d/t)</b>	<b>N ΔP= 5 Kg/cm<sup>2</sup></b>
<b>1,25</b>	92,2	51 %	65 %	845
<b>1,4</b>	92,2	42 %	65 %	1986
<b>1,5</b>	92,2	35 %	65 %	3580
<b>1,7</b>	92,2	18 %	65 %	15511





ROTURA DE CAÑERÍA ERW, ANÁLISIS DE FALLA Y DESARROLLO DE METODO  
DE CÁLCULO DE VIDA A LA FATIGA: UN CASO DE ÉXITO  
4) CONCLUSIONES

- La vida a la fatiga por solicitaciones de amplitud variable está determinada por el **daño acumulado**.
- El daño acumulado depende de las propiedades de la cañería, de la geometría y dimensiones del defecto y de las variaciones de sollicitación a las que fue sometido.
- Para analizar la vida a la fatiga de un gasoducto se deben identificar y **caracterizar los defectos existentes** y **proyectar las variaciones de presión futuras**.
- Un método conservativo para analizar la vida a la fatiga está basado en la determinación de las dimensiones de **defectos de mayor profundidad que hayan sobrevivido a la prueba hidráulica**.



ROTURA DE CAÑERÍA ERW, ANÁLISIS DE FALLA Y DESARROLLO DE METODO  
DE CÁLCULO DE VIDA A LA FATIGA: UN CASO DE ÉXITO  
4) CONCLUSIONES

- Pequeños aumentos en el **factor de prueba hidráulica** provocan un aumento considerable en la vida a la fatiga.
- Un aumento en la **profundidad inicial del defecto** disminuye notablemente la vida a la fatiga.
- Variaciones de presión elevadas producen vida a la fatiga corta.



2º Concurso de  
**Jóvenes Profesionales**  
de la Industria de los Hidrocarburos

 4º Congreso de Integridad  
y Corrosión en la Industria  
del Petróleo y del Gas   
31 Mayo al 02 Junio 2021 - Congreso Virtual

**ROTURA DE CAÑERÍA ERW, ANÁLISIS DE FALLA Y  
DESARROLLO DE METODO DE CÁLCULO DE VIDA A  
LA FATIGA: UN CASO DE ÉXITO**

Muchas gracias!!

**camuzzi**