



MATSEL: UNA HERRAMIENTA PARA ORIENTAR LA SELECCIÓN DE MATERIALES PARA TUBERÍAS DE PRODUCCIÓN

Claudio Morales, Javier Etcheverry , Teresa Perez

REDE- AR TENARIS- SIDERCA



Agenda



Objetivo

Materiales considerados

Estructura del modelo

Descripción módulo de corrosión

Descripción módulo de flujo

Entradas y salidas del modelo

Cálculo estadístico

Objetivo del modelo



MATSEL es un software desarrollado por Tenaris Siderca R&D, que tiene por objetivo proveer una herramienta que ayude en la selección de materiales para tuberías de producción de petróleo y gas (Tubing and Casing), en base a su resistencia a la corrosión.

Agenda



Objetivo

Materiales considerados

Estructura del modelo

Descripción módulo de corrosión

Descripción módulo de flujo

Entradas y salidas del modelo

Cálculo estadístico

Materiales considerados



- Aceros al carbono y de baja aleación (hasta 3% Cr) – con y sin inhibidor.
(H40, J55, K55, M65, N80, L80, C90, C95, T95, P110, Q125, TN80Cr3, etc)
- CRAs (aleaciones resistentes de la corrosión)
(Cr13, Cr13S, Cr22, Cr25, aceros austeníticos de alta aleación, aleaciones austeníticas de alto níquel).

Agenda



Objetivo

Materiales considerados

Estructura del modelo

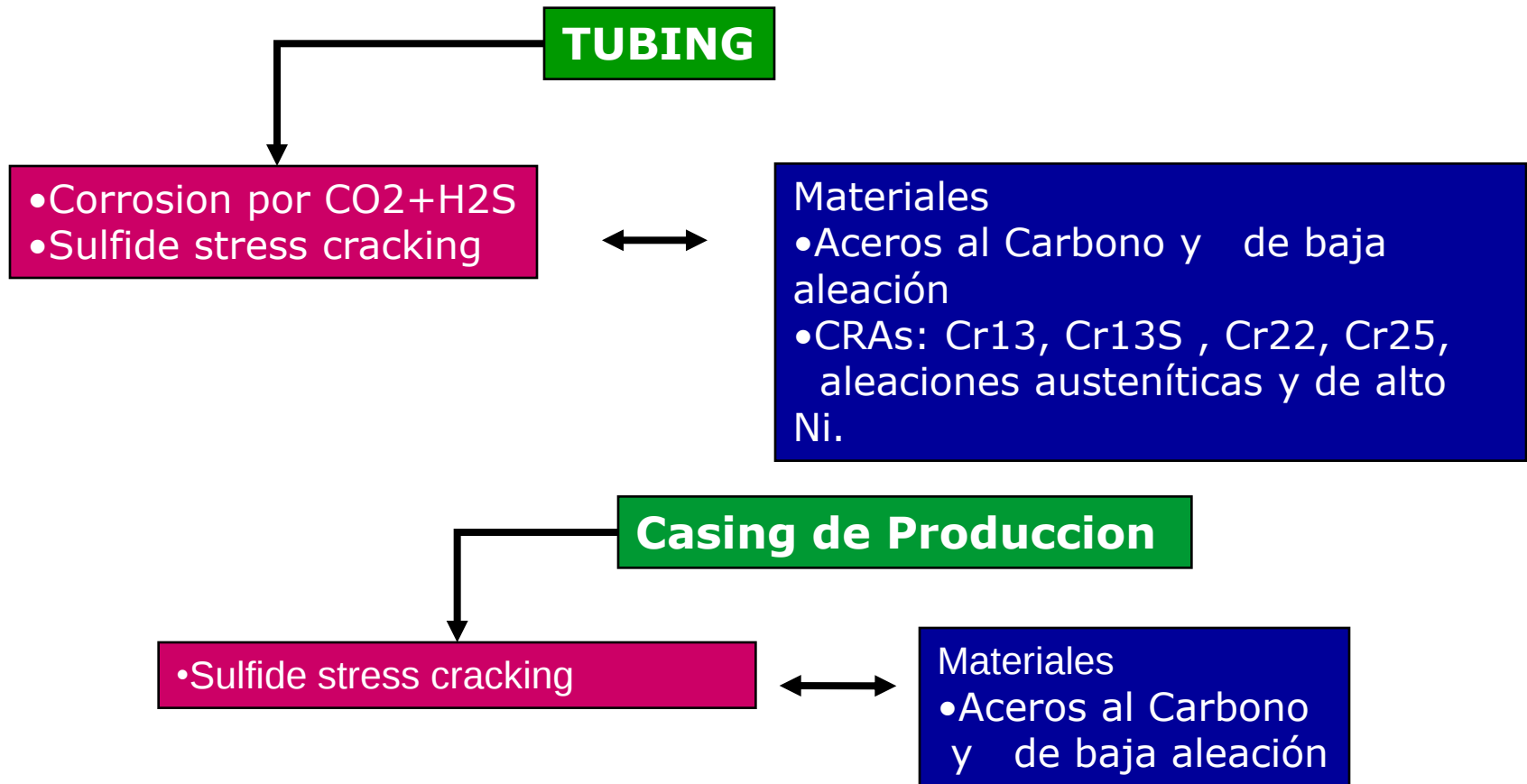
Descripción módulo de corrosión

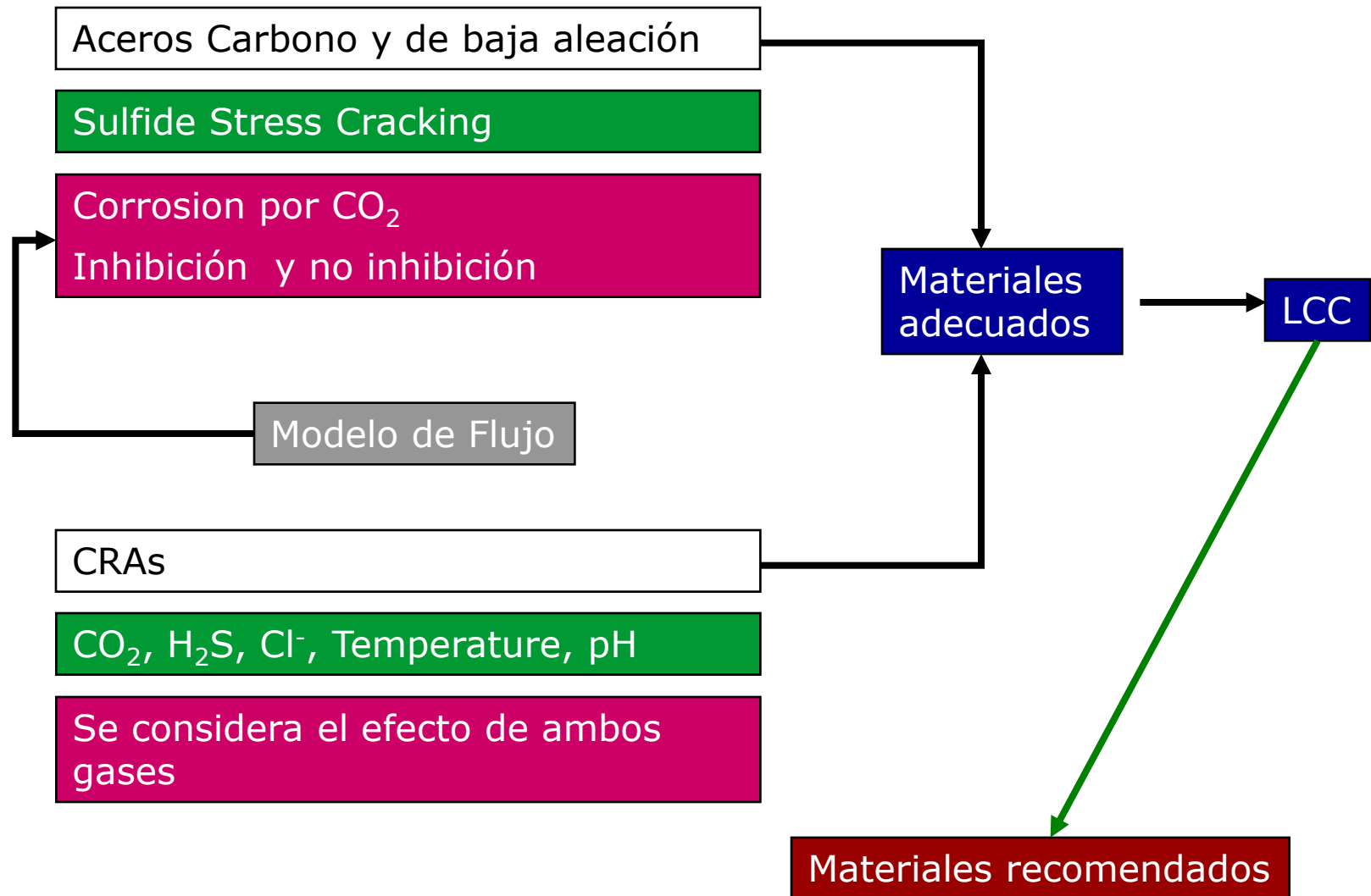
Descripción módulo de flujo

Entradas y salidas del modelo

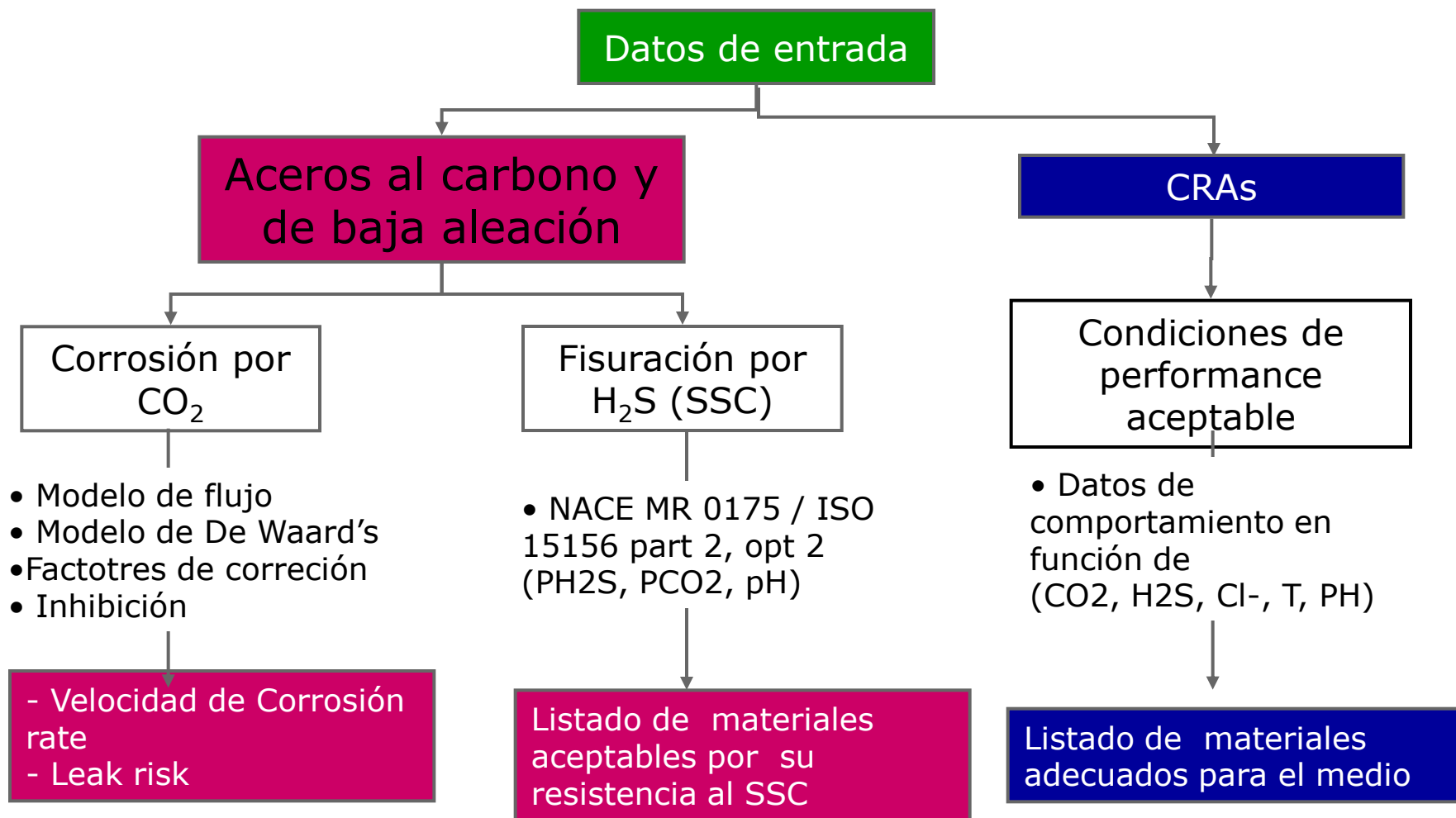
Cálculo estadístico

Estructura MATSEL





Estructura del modelo



Agenda



Objetivo

Materiales considerados

Estructura del modelo

Descripción módulo de corrosión

Descripción módulo de flujo

Entradas y salidas del modelo

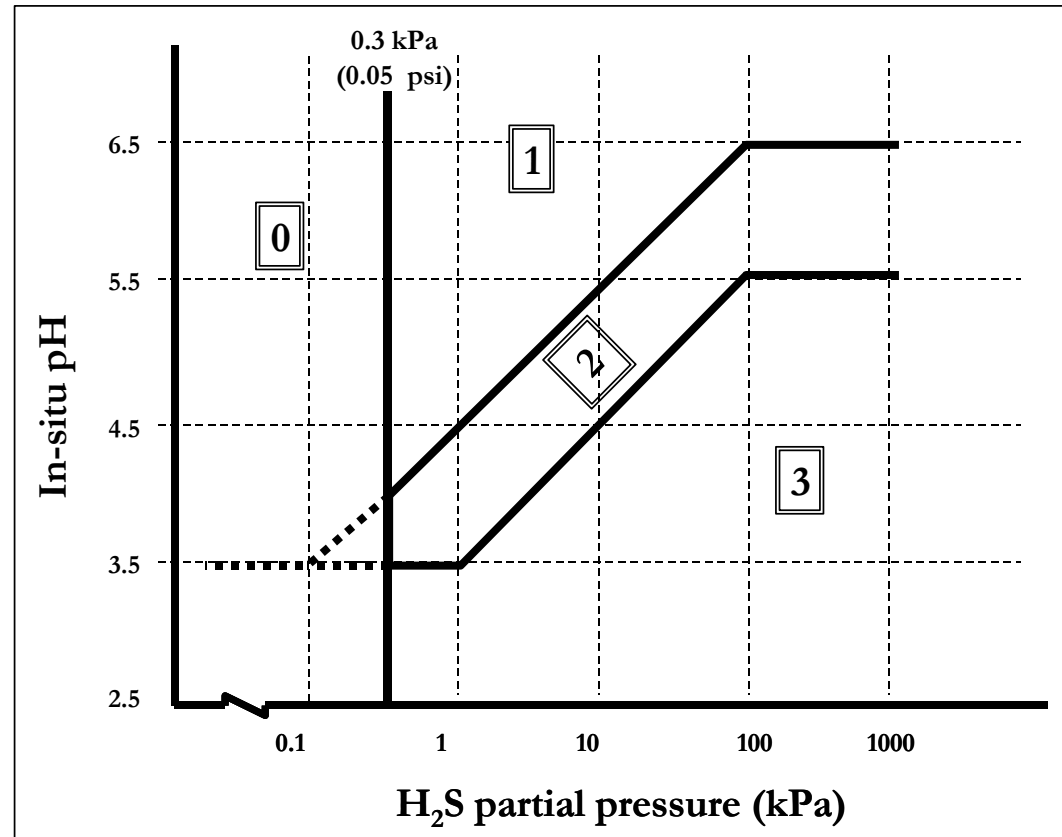
Cálculo estadístico

SSC Aceros al carbono y de baja aleación



NACE MR0175/ISO 15156 standard, part 2, Options 1 and 2

La opción 2 requiere el pH como input. Se estima con la ecuación de Odde





- Ecuación de Oddo

$$pH_{act} = \log\left(\frac{HCO_3^-}{P_{CO2}}\right) + 8.68 + 0.00405\left(t\frac{9}{5} + 32\right) + 4.58 \cdot 10^{-7}\left(t\frac{9}{5} + 32\right)^2 - 3.07 \cdot 10^{-5} P 14.5 - 0.477\left(\frac{TDS}{58500}\right)^{0.5} + 0.193\left(\frac{TDS}{58500}\right)$$

Corrosión por CO₂ en aceros al carbono y de baja aleación



Modelo de Waard (95)'s con sus correcciones del 2003.

Considera el efecto de la composición y microestructura del acero en la velocidad de corrosión

Efecto protector de carbonatos y el petróleo

Aceros al carbono y de baja aleación



Corrosión por CO₂

$$V_{cor} = \frac{F_{cr}}{\left(\frac{1}{V_r F_c} + \frac{1}{V_m} \right)}$$

Modelo de Waard (95)
y factor oil de Waard
oil (03)

V_r : Reacción en superficie

V_m : Transferencia de masa

F_{Cr} , F_C Factores que tienen en cuenta el efecto del carbono y cromo

Aceros al carbono y de baja aleación



Corrosión por CO₂

$$V_{cor} = \frac{F_{cr}}{\left(\frac{1}{V_r F_c} + \frac{1}{V_m} \right)}$$

Modelo de Waard (95)
y factor oil de Waard
oil (03)

Aceros Normalizados

Reacción en Superficie

$$\log(V_r) = 4.84 - \frac{1119}{T} + 0.58 \log(p_{CO_2}) - 0.34(pH - pH_{CO_2})$$

Transferencia de masa

$$V_m = 2.8 \frac{U^{0.8}}{d^{0.2}} p_{CO_2}$$

Efecto de la Composición

Cromo

$$F_{Cr} = \frac{1}{1 + 2.3Cr\%}$$

Carbono

$$F_C = 1 + 4.5C\%$$

Aceros templados y revenidos

Reacción en Superficie

$$\log(V_r) = 5.07 - \frac{1119}{T} + 0.58 \log(p_{CO_2}) - 0.34(pH - pH_{CO_2})$$

Transferencia de masa

$$V_m = 2.7 \frac{U^{0.8}}{d^{0.2}} p_{CO_2}$$

Efecto de la Composición

Cromo

$$F_{Cr} = \frac{1}{1 + 1.4Cr\%}$$

Carbono

$$F_C = 1$$

Aceros al carbono y de baja aleación

Factor protectivo por efecto del hidrocarburo

Maximo tenor de agua

$$W_{break} = -0.0166 \text{ API} + 0.83$$

$$F_{oil} = 0.059 \frac{W}{W_{break}} U + \frac{1.1 \cdot 10^{-4} \alpha}{W_{break}^2 90} + 0.059 \frac{W}{W_{break}} U \frac{\alpha}{90}$$

Factor de protección por efecto de la formación de productos protectivos

$$T_{scale} = \frac{2400}{6.7 + 0.44 \log p_{CO2}}$$

$$\log F_{scale} = \frac{2400}{T} - 0.44 \log(p_{CO2}) - 6.7 \quad F_{scale} \leq 1$$

Factor de protección por formación de sulfuros

$$FH2S = 1/(1+100000 [HS^-] \text{ (mol/liter)})$$

Up to 0.01% H2S

If > 0.01% the factor remains constant



Principales variables consideradas : CO_2 , H_2S , Cl^- , Temperatura, pH

La aplicabilidad se determina comparando condiciones de pozo con cartas que informan condiciones límites de aplicación

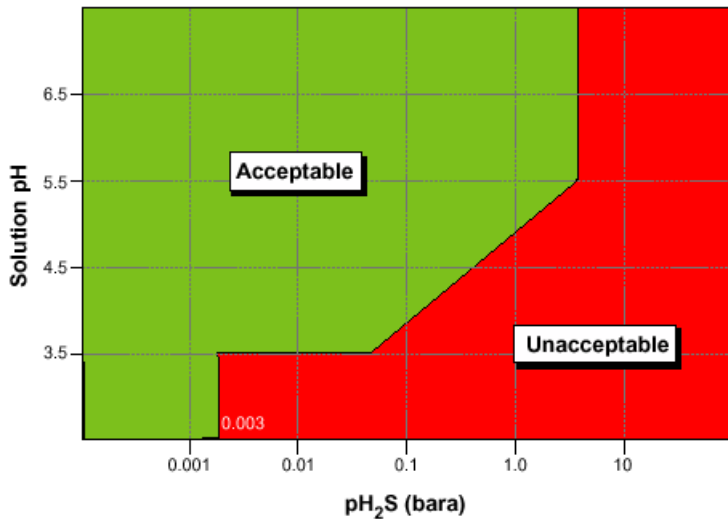
Definition of acceptable regions: Craig, BP, TENARIS



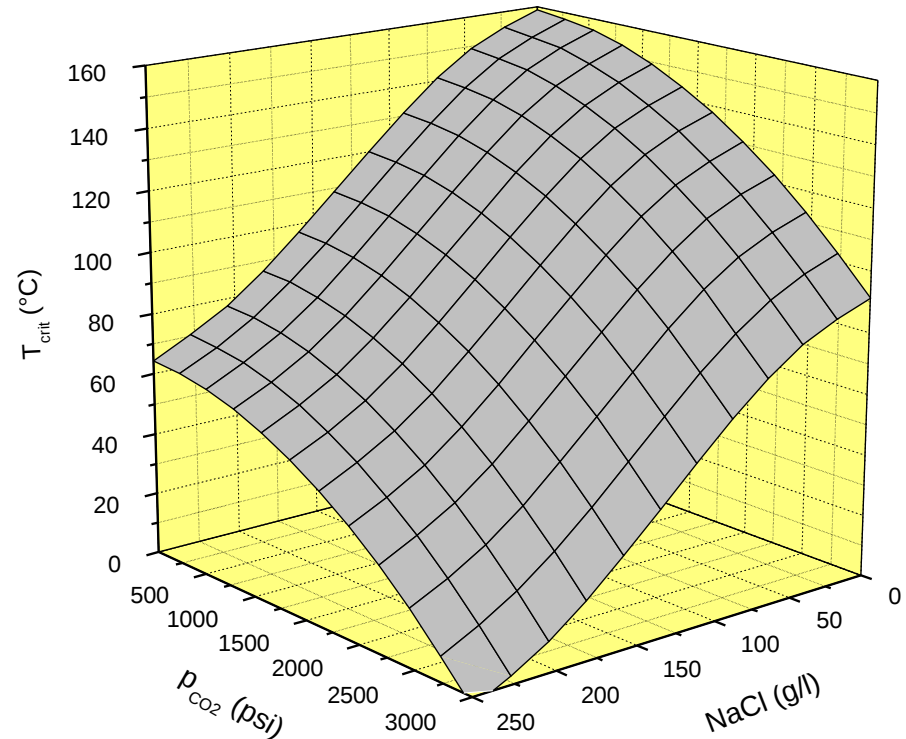
Variables consideradas : CO_2 , H_2S , Cl^- , T , pH

CRAs

Límites en las condiciones de servicio



Domain diagram for the Sulphide Stress Cracking Limits of API5CT L80 13Cr Steel



Límites para L80 13Cr, corrosión por CO_2

Agenda



Objetivo

Materiales considerados

Estructura del modelo

Descripción módulo de corrosión

Descripción módulo de flujo

Entradas y salidas del modelo

Cálculo estadístico

Modelo de flujo



Calcula en función de la profundidad :

Temperatura, presión, tipo de flujo, velocidad de gas , y líquido; flujos de gas , oil y agua

Existen dos versiones :

- Black oil : es el modelo actualmente incluido en el MATSEL.
- Black oil + Composicional : el composicional está en desarrollo.



Black Oil

Considera un petróleo con baja proporción de gas

Composicional

Se basa en ecuaciones de estado de gases reales y es aplicable a pozos de gas

Agenda



Objetivo

Materiales considerados

Estructura del modelo

Descripción módulo de corrosión

Descripción módulo de flujo

Entradas y salidas del modelo

Cálculo estadístico

Input para versión que incluye sólo Black oil



Profundidad, desviación, diámetro y espesor de las diferentes secciones de la tubería

The screenshot shows a software window titled "Sections". At the top, there are buttons for "Load Data" and "Save". Below these, there is a "Sections" label next to a text box containing the number "3", and a button labeled "Change Number of sections". The main area of the window contains a table with four columns: "Length (m)", "Tubing deviation (°) (0-15)", "Tubing External diameter (")", and "Thickness(mm)". There are three rows of input fields, labeled "Section 1", "Section 2", and "Section 3" on the left. Each row has four empty text boxes corresponding to the columns. At the bottom right of the window, there is a button labeled "Continue >>".

	Length (m)	Tubing deviation (°) (0-15)	Tubing External diameter (")	Thickness(mm)
Section 1				
Section 2				
Section 3				

Datos del pozo y materiales

- Producciones, temperatura y presión de tope. Características del agua, oil y gas .
- Tipo de acero : tenores de C y Cr; tratamiento térmico.
- Criterio evaluación sour .
- Posible uso de inhibidor.

Well and material data

Load Data Save

Oil Production (BOPD)

Water Production (BWPD)

Gas Production (MMSCFD)

Temperature

☐ T °C ☐ T °F

Wellhead Bottom

Water Chemical Composition (mg/l)

Na+ Ba2+ SO4 2-

K+ Sr2+ Fe2+

Ca2+ Cl-

Mg2+ HCO3- HCO3 > 50

Total Pressure

☐ P (bar) ☐ P (psi)

Wellhead

Steel Characteristics

C wt % % C <= 0.5 ☐

Cr wt % % Cr <= 3.5 ☐

Heat treatment

☐ N ☐ Q+T

Oil API Density

Gas Specific Gravity (0.5 - 1.2)

% CO2 gas

% H2S gas

Desired life

NACE MR 0175/ISO 15156-2

☐ Option 1 ☐ Option 2

Inhibition

☐ Yes ☐ No

Project Name

Run GOWFlow

Input para versión que incluye Black oil + Composicional



Además de la información indicada previamente

Gas and oil chemical composition

Save

C1		m-C4		N2	
C2		i-C5		H2S	
C3		m-C5		CO2	
i-C4		C6		TOTAL	

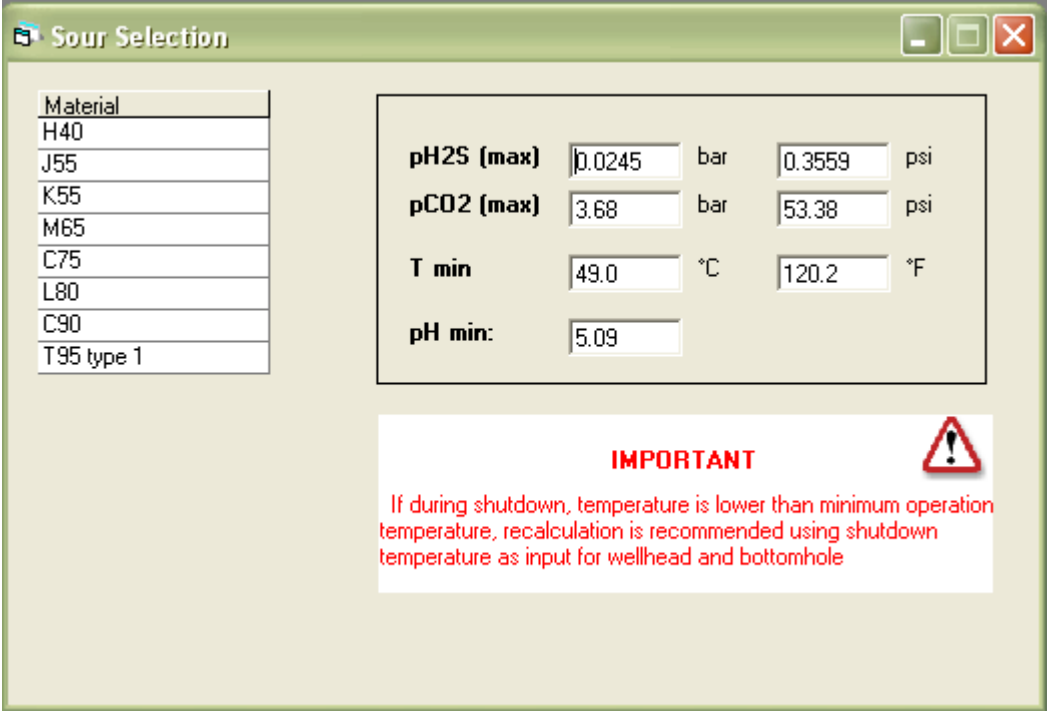
RUN

Output modelo de flujo



Depth (m)	Angle (°)	Temp. (°C)	Pressure (bar)	Liquid Vel. (m/s)	Gas Vel. (m/s)	Oil Density (Kg/m3)	Gas Density (Kg/m3)	API14E Density (Kg/m3)	Gas Fraction	Water Fraction	Oil Fraction	Flow Type	Watercut (%)
0.0	5.0	49.0	45.0	2.2	4.10	747.2	58.6	791.0	0.529	0.245	0.226	SLUG	52.05
17.6	5.0	49.2	45.8	2.1	4.04	746.2	59.8	791.6	0.524	0.247	0.229	SLUG	51.98
35.2	5.0	49.4	46.6	2.1	3.98	745.1	61.0	792.3	0.519	0.250	0.231	SLUG	51.90
52.7	5.0	49.6	47.4	2.1	3.92	744.1	62.2	792.9	0.514	0.252	0.234	SLUG	51.83
70.3	5.0	49.8	48.2	2.1	3.87	743.0	63.5	793.5	0.509	0.254	0.237	SLUG	51.75
87.9	5.0	50.0	49.1	2.1	3.81	742.0	64.7	794.1	0.505	0.256	0.239	SLUG	51.68
105.5	5.0	50.2	49.9	2.0	3.76	740.9	66.0	794.6	0.500	0.258	0.242	SLUG	51.60
123.1	5.0	50.4	50.7	2.0	3.71	739.8	67.3	795.1	0.495	0.260	0.245	SLUG	51.52
140.6	5.0	50.7	51.6	2.0	3.66	738.7	68.6	795.6	0.490	0.262	0.248	SLUG	51.45
158.2	5.0	50.9	52.4	2.0	3.61	737.6	69.9	796.1	0.485	0.264	0.250	SLUG	51.37
175.8	5.0	51.1	53.3	2.0	3.57	736.5	71.2	796.6	0.480	0.267	0.253	SLUG	51.29
193.4	5.0	51.3	54.1	2.0	3.52	735.4	72.6	797.0	0.475	0.269	0.256	SLUG	51.21
211.0	5.0	51.5	55.0	1.9	3.48	734.3	74.0	797.5	0.471	0.271	0.259	SLUG	51.13
228.5	5.0	51.7	55.9	1.9	3.43	733.2	75.3	797.9	0.466	0.273	0.262	SLUG	51.05
246.1	5.0	51.9	56.7	1.9	3.39	732.1	76.7	798.3	0.461	0.275	0.264	SLUG	50.97
263.7	5.0	52.1	57.6	1.9	3.35	730.9	78.1	798.6	0.456	0.277	0.267	SLUG	50.89
281.3	5.0	52.3	58.5	1.9	3.31	729.8	79.6	799.0	0.451	0.279	0.270	SLUG	50.80
298.9	5.0	52.5	59.4	1.9	3.27	728.6	81.0	799.4	0.446	0.281	0.273	SLUG	50.72
316.4	5.0	52.7	60.3	1.9	3.24	727.5	82.5	799.7	0.441	0.283	0.276	SLUG	50.64
334.0	5.0	52.9	61.2	1.8	3.20	726.3	83.9	800.0	0.437	0.285	0.279	SLUG	50.55
351.6	5.0	53.1	62.1	1.8	3.16	725.2	85.4	800.3	0.432	0.287	0.281	SLUG	50.47
369.2	5.0	53.3	63.0	1.8	3.13	724.0	86.9	800.6	0.427	0.289	0.284	SLUG	50.39
386.8	5.0	53.6	64.0	1.8	3.09	722.8	88.4	800.9	0.422	0.291	0.287	SLUG	50.30
404.3	5.0	53.8	64.9	1.8	3.06	721.6	90.0	801.2	0.417	0.293	0.290	SLUG	50.21
421.9	5.0	54.0	65.8	1.8	3.03	720.4	91.5	801.4	0.412	0.295	0.293	SLUG	50.13
439.5	5.0	54.2	66.8	1.8	3.00	719.2	93.1	801.7	0.408	0.296	0.296	SLUG	50.04
457.1	5.0	54.4	67.7	1.8	2.97	718.0	94.6	801.9	0.403	0.298	0.299	SLUG	49.95
474.7	5.0	54.6	68.7	1.7	2.94	716.8	96.2	802.2	0.398	0.300	0.302	SLUG	49.87
492.2	5.0	54.8	69.6	1.7	2.91	715.6	97.8	802.4	0.393	0.302	0.305	SLUG	49.78
509.8	5.0	55.0	70.6	1.7	2.88	714.4	99.5	802.6	0.389	0.304	0.308	SLUG	49.69
527.4	5.0	55.2	71.6	1.7	2.85	713.2	101.1	802.8	0.384	0.306	0.311	SLUG	49.60
545.0	5.0	55.4	72.5	1.7	2.83	712.0	102.7	803.0	0.379	0.307	0.313	SLUG	49.51
562.6	5.0	55.6	73.5	1.7	2.80	710.7	104.4	803.2	0.374	0.309	0.316	SLUG	49.42
580.1	5.0	55.8	74.5	1.7	2.78	709.5	106.1	803.4	0.370	0.311	0.319	SLUG	49.33
597.7	5.0	56.0	75.5	1.7	2.75	708.3	107.7	803.6	0.365	0.313	0.322	SLUG	49.24
615.3	5.0	56.2	76.5	1.7	2.73	707.0	109.4	803.7	0.360	0.314	0.325	SLUG	49.15
632.9	5.0	56.5	77.5	1.7	2.71	705.8	111.1	803.9	0.356	0.316	0.328	SLUG	49.06
650.5	5.0	56.7	78.5	1.6	2.68	704.5	112.9	804.0	0.351	0.318	0.331	SLUG	48.96

Output módulo sour para aceros al carbono y de baja aleación



The screenshot shows a software window titled "Sour Selection". On the left is a list of materials: H40, J55, K55, M65, C75, L80, C90, and T95 type 1. On the right, there are input fields for pH2S (max), pCO2 (max), T min, and pH min, each with values in both bar and psi units. Below these fields is a red "IMPORTANT" warning box with a triangle icon and text about shutdown temperature recalculation.

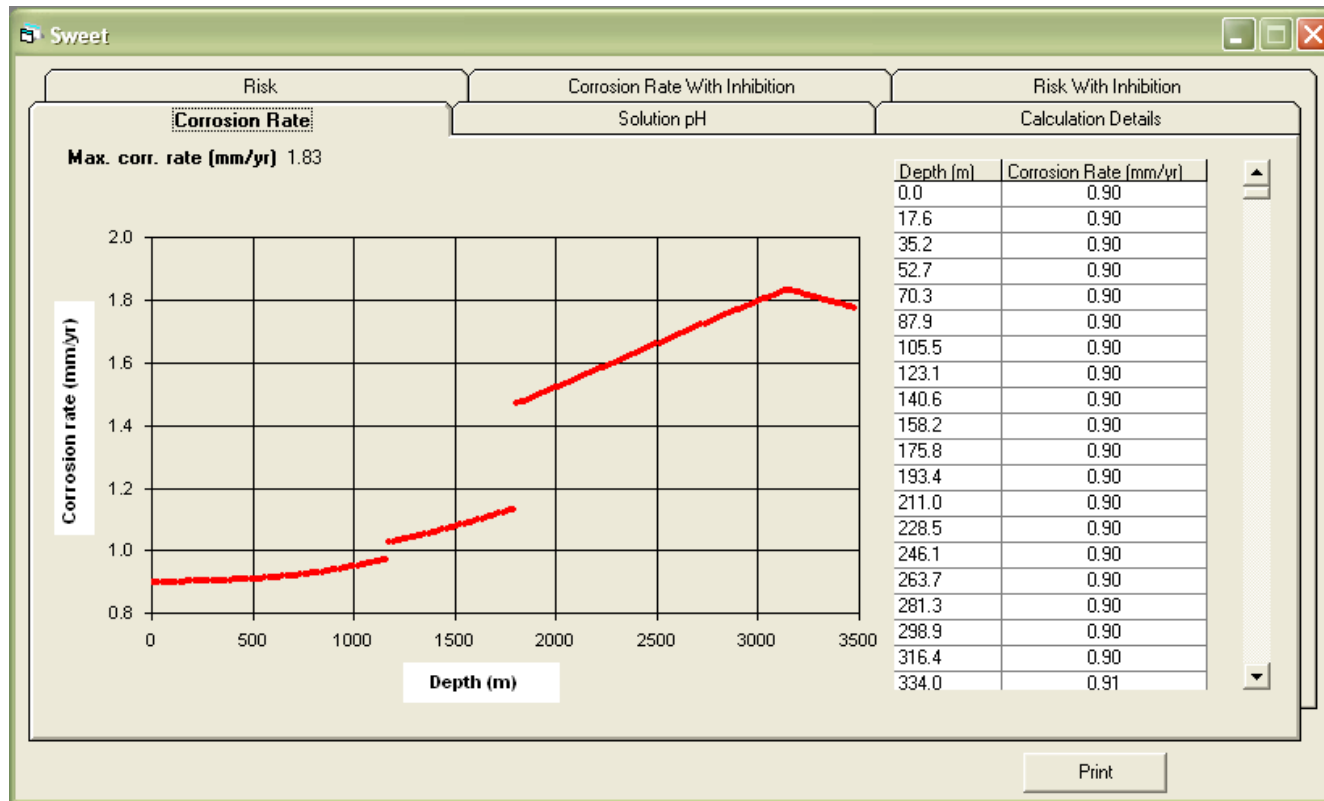
Material
H40
J55
K55
M65
C75
L80
C90
T95 type 1

pH2S (max)	0.0245	bar	0.3559	psi
pCO2 (max)	3.68	bar	53.38	psi
T min	49.0	°C	120.2	°F
pH min:	5.09			

IMPORTANT

If during shutdown, temperature is lower than minimum operation temperature, recalculation is recommended using shutdown temperature as input for wellhead and bottomhole

Output módulo corrosión por CO₂ de aceros al carbono y de baja aleación



Output módulo CRA

The screenshot shows the CRAS software window. At the top, there's a title bar with the name 'CRAS' and standard window controls. Below this is a grid of buttons for selecting materials: Alloy 825, Super Cr 13 110, Alloy 2550, Alloy 625, Alloy C276, Cr 13 L 80 (which is highlighted with a dashed border), Super Cr 13 95, Duplex 22% Cr, Duplex 25% Cr, and Alloy 28. Below the material selection grid, there are input fields for simulation parameters: Tcrit (°C) set to 115.48, P CO2 max (bar) set to 3.68, pH min set to 5.09, T max (°C) set to 90.00, and PH2S max (bar) set to 0.0245. At the bottom, there is a 'Results' section containing a table of material compatibility results. A 'Print' button is located at the bottom right of the window.

Results			
Cr13 L 80	Could Be Applied	Alloy 28	Could Be Applied
Super Cr 13 95	Could Be Applied	Alloy 825	Could Be Applied
Super Cr 13 110	Should Not Be Applied	Alloy 2550	Could Be Applied
Duplex 22 % Cr	Could Be Applied	Alloy 625	Could Be Applied
Duplex 25 % Cr	Could Be Applied	Alloy C276	Could Be Applied

Print



Sections: 2

	Length	Deviation	Ext. Diameter	Thickness
Section: 1	1800	5	3.5	9
Section: 2	1700	7	3	5

Input:

Water Chemical Composition (mg/lt)		Wellhead - temperature (°C)	49
Na+	45000	Bottom - temperature (°C)	90
K+	0	Wellhead-pressure (bar)	45
Ca2+	0	% CO2 gas	1.5
Mg2	0	% H2S gas	0.01
Ba2+	0	Desired life (years)	20
Sr2+	0		
Cl-	75000		
HCO3-	350		
SO4 2-	0		
Fe2+	0		

CRAS selection

Cr13 L 80	Could Be Applied
Super Cr 13 95	Could Be Applied
Super Cr 13 110	Should Not Be Applied
Duplex 22 % Cr	Could Be Applied
Duplex 25 % Cr	Could Be Applied
Alloy 28	Could Be Applied
Alloy 825	Could Be Applied
Alloy 2550	Could Be Applied
Alloy 625	Could Be Applied
Alloy C276	Could Be Applied

Agenda



Objetivo

Materiales considerados

Estructura del modelo

Descripción módulo de corrosión

Descripción módulo de flujo

Entradas y salidas del modelo

Cálculo estadístico



Cálculo estadístico

Se aplica a la estimación de la velocidad de corrosión por CO₂ para aceros al carbono y de baja aleación. Permite analizar el efecto relativo de distintas variables.

Permite seleccionar un rango para las principales variables en vez de un solo valor. Usando el método el programa permite armar set con distintas combinaciones de variables .

Para cada set se corre el modelo de flujo y calcula velocidades de corrosión en función de la profundidad y hace un análisis estadístico de los resultados : valores medios, distribuciones .


Input

Save Open

Sections

No.	Length (m)	Deviation	Diameter (in)	Thickness (mm)
1	250	0	2.875	5.5
2	250	0	2.875	5.5
3	250	5	2.875	5.5
4	250	10	2.875	5.5
5				
6				

Water Chemical Composition (mg/ft)

	Min	Max
Na+	20000	80000
K+	0	100
Ca2+	0	100
Mg2+	0	100
Ba2+	0	0
Sr2+	0	0
Cl-	30000	120000
HCO3-	50	100
SO4 2-	0	0
Fe2+	0	0

> 50

	Min	Max	
Wellhead Total Pressure	15	20	bar
% CO2	1	2	
Gas Specific Gravity	0.8	1	(0.5 - 1.2)
Oil API Density	28	32	

Productions

	Min	Max	
Oil	400	600	BOPD
Water	300	550	BMWD
Gas	0.5	1.5	MMSCFD

Temperatures (°C)

	Min	Max
Wellhead	40	50
Bottom	90	100

Steel Characteristics

C wt % % C <= 0.5

Cr wt % % Cr <= 3.5

Heat treatment

☐ N
 ☒ Q+T

No. of iterations

