

APÉNDICES

Apéndice A: Datos y Constantes

A continuación se muestran los datos correspondientes a los doce pozos suministrados y a las constantes utilizadas en el desarrollo de la herramienta computacional.

Tabla 16. Datos Correspondientes a los Pozos Suministrados

Pozo	Temp. fondo [°F]	WHP [psia]	Temp. cabezal [°F]	Material	D int [pulg]	Prof. [pie]	Q _{gas} [MPCED]	Sp _{gas}
1	180	1419	126	13%Cr	2.441	6993	11.8	0.695
2	176	1004	134	13%Cr	2.441	6875	18.2	0.695
3	180	2306	140	13%Cr	3.958	6267	17.5	0.688
4	185	2415	130	13%Cr	3.958	8145	21.9	0.690
5	178	2330	157	13%Cr	3.958	6910	38.9	0.716
6	178	1860	157	13%Cr	3.958	6910	38.92	0.716
7	180	2265	145	13%Cr	2.992	6594	20.5	0.716
8	180	1760	145	13%Cr	2.992	6594	20.59	0.716
9	190	2204	135	13%Cr	2.992	7095	24.8	0.694
10	190	1694	135	13%Cr	2.992	7095	24.93	0.694
11	180	1731	140	CS	2.922	7826	26.3	0.716
12	180	1269	140	CS	2.922	7826	26.35	0.716

Tabla 17. Composiciones de los doce pozos suministrados

Compuesto	Pozo											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N ₂	7.510E-04	7.510E-04	8.515E-04	7.937E-04	7.545E-04	7.545E-04	7.585E-04	7.585E-04	8.540E-04	8.540E-04	7.525E-04	7.525E-04
CO ₂	1.400E-02	1.400E-02	1.290E-02	1.320E-02	1.400E-02	1.400E-02	1.410E-02	1.410E-02	1.290E-02	1.290E-02	1.400E-02	1.400E-02
H ₂ S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Metano	8.718E-01	8.718E-01	8.707E-01	8.729E-01	8.758E-01	8.758E-01	8.805E-01	8.805E-01	8.732E-01	8.732E-01	8.735E-01	8.735E-01
Etano	4.620E-02	4.620E-02	4.680E-02	4.680E-02	4.640E-02	4.640E-02	4.660E-02	4.660E-02	4.690E-02	4.690E-02	4.630E-02	4.630E-02
Propano	1.980E-02	1.980E-02	2.070E-02	2.130E-02	1.990E-02	1.990E-02	2.000E-02	2.000E-02	2.080E-02	2.080E-02	1.980E-02	1.980E-02
I-Butano	4.140E-03	4.140E-03	4.317E-03	5.953E-03	4.160E-03	4.160E-03	4.182E-03	4.182E-03	4.330E-03	4.330E-03	4.149E-03	4.149E-03
Butano	6.868E-03	6.868E-03	7.248E-03	6.945E-03	6.900E-03	6.900E-03	6.936E-03	6.936E-03	7.269E-03	7.269E-03	6.881E-03	6.881E-03
I-Pentano	2.915E-03	2.915E-03	3.050E-03	2.977E-03	2.929E-03	2.929E-03	2.944E-03	2.944E-03	3.059E-03	3.059E-03	2.921E-03	2.921E-03
Pentano	2.638E-03	2.638E-03	2.763E-03	3.373E-03	2.651E-03	2.651E-03	2.665E-03	2.665E-03	2.771E-03	2.771E-03	2.644E-03	2.644E-03
Hexano	3.281E-03	3.281E-03	7.921E-04	7.937E-03	3.296E-03	3.296E-03	3.313E-03	3.313E-03	4.260E-03	4.260E-03	3.287E-03	3.287E-03
Heptano	1.400E-02	1.400E-02	1.914E-02	9.723E-03	1.410E-02	1.410E-02	1.420E-02	1.420E-02	1.455E-02	1.455E-02	1.410E-02	1.410E-02
Eicosano	3.261E-03	3.261E-03	1.089E-04	1.984E-04	3.276E-03	3.276E-03	3.293E-03	3.293E-03	1.261E-03	1.261E-03	3.267E-03	3.267E-03
Agua	1.040E-02	1.040E-02	9.866E-03	7.821E-03	5.801E-03	5.801E-03	5.248E-04	5.248E-04	6.991E-03	6.991E-03	8.429E-03	8.429E-03

Tabla 18. Propiedades Características de los Compuestos

Compuesto	M	Pc (psia)	Tc (°R)	ω	Tb(°R)	Vc(pie ³ /lb)
N ₂	28.013	492.310	227.250	0.045	139.564	0.051
CO ₂	44.010	1070.600	547.540	0.231	350.765	0.034
H ₂ S	34.079	1306.470	672.390	0.100	383.510	0.046
Metano	16.043	667.200	342.990	0.010	201.280	0.099
Etano	30.070	708.340	549.810	0.099	332.540	0.078
Propano	44.097	616.350	665.680	0.153	416.270	0.073
I-Butano	58.124	529.050	734.630	0.177	470.780	0.071
Butano	58.124	551.100	765.270	0.201	491.080	0.070
I-Pentano	72.151	490.400	828.700	0.229	542.090	0.068
Pentano	72.151	488.640	845.370	0.251	556.890	0.070
Hexano	86.178	430.590	913.230	0.294	615.700	0.069
Heptano	100.206	396.790	972.270	0.350	669.070	0.068
Eicosano	282.558	161.650	1380.870	0.904	1110.840	0.066
Agua	18.015	3208.120	1165.230	0.348	671.953	0.050

Nota: Tabla elaborada con datos tomados de "Principio Básicos y Calculos en Ingeniería Química" D., Himmelblau, 1997

Tabla 19. Parámetros de Interacción Binaria

	C ₁	C ₂	C ₃	iC ₄	nC ₄	iC ₅	nC ₅	C ₆	C ₇	C ₂₀	N ₂	CO ₂	H ₂ S
C ₂	-7.80E-03												
C ₃	9.00E-03	-2.20E-03											
iC ₄	0.0241	-1.00E-02	-1.00E-02										
nC ₄	5.60E-03	6.70E-03	0	1.10E-03									
iC ₅	-7.80E-03	0	7.80E-03	0	0								
nC ₅	0.019	5.60E-03	0.0233	0	0.0204	0							
C ₆	0.0374	-0.0156	-2.20E-03	0	-0.0111	0	0						
C ₇	0.0307	4.10E-03	4.40E-03	0	-4.00E-04	0	1.90E-03	-1.10E-03					
C ₂₀	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
N ₂	0.03	0.06	0.09	0.113	0.113	0.14	0.14	0.166	0.2	0.2			
CO ₂	0.0933	0.1363	0.1289	0.1285	0.143	0.131	0.131	0.112	0.11	0.13	-0.03		
H ₂ S	0.09	0.085	0.076	0.06	0.06	0.065	0.068	0.068	0.068	-0.035	0.17	0.1	
H ₂ O	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.53	0.23	0.135

Nota: Tabla elaborada con datos tomados de "Multivariable Production Systems Optimization" por S., Carroll, 1990

Tabla 20. Función de pH

Temp. [°C]	pH	$f(pH)$
5	$3.5 \leq pH < 4.6$	$f(pH) = 2.0676 - (0.2309 pH)$
	$4.6 \leq pH \leq 6.5$	$f(pH) = 4.342 - (1.051 pH) + (0.0708 pH^2)$
15	$3.5 \leq pH < 4.6$	$f(pH) = 2.0676 - (0.2309 pH)$
	$4.6 \leq pH \leq 6.5$	$f(pH) = 4.986 - (1.191 pH) + (0.0708 pH^2)$
20	$3.5 \leq pH < 4.6$	$f(pH) = 2.0676 - (0.2309 pH)$
	$4.6 \leq pH \leq 6.5$	$f(pH) = 5.1885 - (1.2353 pH) + (0.0708 pH^2)$
40	$3.5 \leq pH < 4.6$	$f(pH) = 2.0676 - (0.2309 pH)$
	$4.6 \leq pH \leq 6.5$	$f(pH) = 5.1885 - (1.2353 pH) + (0.0708 pH^2)$
60	$3.5 \leq pH < 4.6$	$f(pH) = 1.836 - (0.1818 pH)$
	$4.6 \leq pH \leq 6.5$	$f(pH) = 15.444 - (6.1291 pH) + (0.8204 pH^2) - (0.0371 pH^3)$
80	$3.5 \leq pH < 4.6$	$f(pH) = 2.6727 - (0.3636 pH)$
	$4.6 \leq pH \leq 6.5$	$f(pH) = 331.68 EXP(-1.2618 pH)$
90	$3.5 \leq pH < 4.57$	$f(pH) = 3.1355 - (0.4673 pH)$
	$4.57 \leq pH < 5.62$	$f(pH) = 21254 EXP(-2.1811 pH)$
	$5.62 \leq pH \leq 6.5$	$f(pH) = 0.4014 - (0.0538 pH)$
120	$3.5 \leq pH < 4.3$	$f(pH) = 1.5375 - (0.125 pH)$
	$4.3 \leq pH < 5$	$f(pH) = 5.9757 - (1.157 pH)$
	$5 \leq pH \leq 6.5$	$f(pH) = 0.546125 - (0.071225 pH)$
150	$3.5 \leq pH < 3.8$	$f(pH) = 1$
	$3.8 \leq pH < 5$	$f(pH) = 17.634 - (7.0945 pH) + (0.715 pH^2)$
	$5 \leq pH \leq 6.5$	$f(pH) = 0.037$

Nota: tabla elaborada con datos tomados de "Norsok Standard M-506: CO₂ Corrosion rate model" por Norsk Sökkels Konkuransesisjon, 2005.

Tabla 21. Constantes de Equilibrio Químico

Reacción	Constante de Equilibrio
Disolución del CO ₂	$K_H = \frac{14.5}{1.00258} 10^{-(2.27+5.65 \times 10^{-3} T_f - 8.06 \times 10^{-6} T_f^2 + 0.075 I)}$
Disociación del agua	$K_W = 10^{-(29.3868 - 0.0737549 T_K + 7.4788 \times 10^{-5} T_K)}$
Hidratación del CO ₂	$K_0 = 2.58 \times 10^{-3}$
Disociación del H ₂ CO ₃	$K_1 = 387.6 \times 10^{-(6.41 - 1.594 \times 10^{-3} T_f + 8.52 \times 10^{-6} T_f^2 - 3.07 \times 10^{-5} P - 0.4772 I^{0.5} + 0.118 I)}$
Disociación del HCO ₃ ⁻	$K_2 = 10^{-(10.61 - 4.97 \times 10^{-3} T_f + 1.331 \times 10^{-5} T_f^2 - 2.624 \times 10^{-5} P - 1.166 I^{0.5} + 0.3466 I)}$
Precipitación del FeCO ₃	$K_{SP} = 10^{-(10.13 + 0.018 T_{CEL} - 2.44 I^{0.5} + 0.72 I)}$

Nota: Tabla elaborada con datos tomados de "A Mechanistic Model for Carbon Dioxide Corrosion of Mild Steel in the Presence of Protective Iron Carbonate Films-Part 1: Theory and Verification" por M. Nordsveen, S. Nestic, R. Nyborg y A. Stangeland, 2003, *Corrosion*, 59(5), 444

Apéndice B: Resultados

A continuación se muestran los perfiles de temperatura, presión y factor de compresibilidad para los doce pozos analizados.

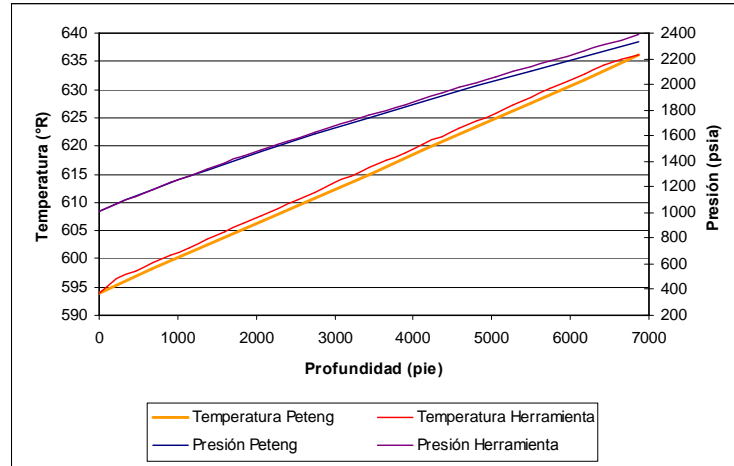


Figura 20. Perfil de Presión y Temperatura generado a través de la Herramienta desarrollada y el modelo de cálculo de Peteng para el Pozo N° 2

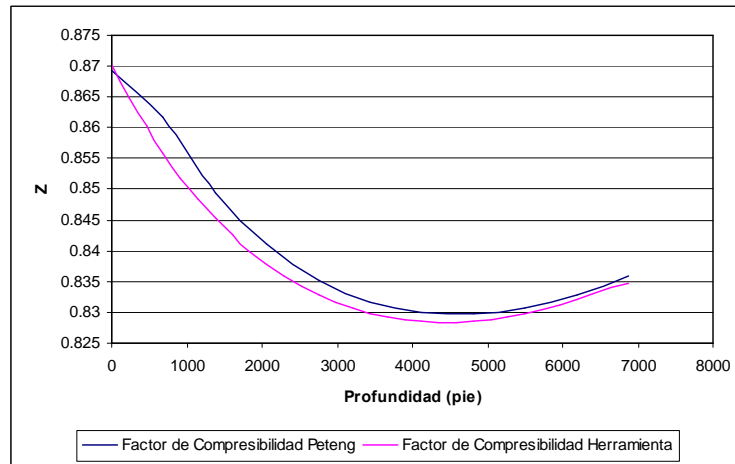


Figura 21. Factor de Compresibilidad para el Perfil de Presión y Temperatura generado a través de la Herramienta desarrollada y el modelo de cálculo de Peteng para el Pozo N° 2

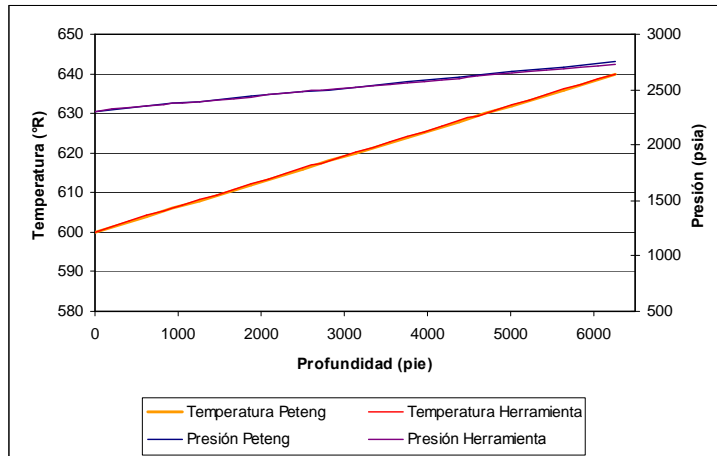


Figura 22. Perfil de Presión y Temperatura generado a través de la Herramienta desarrollada y el modelo de cálculo de Peteng para el Pozo N° 3

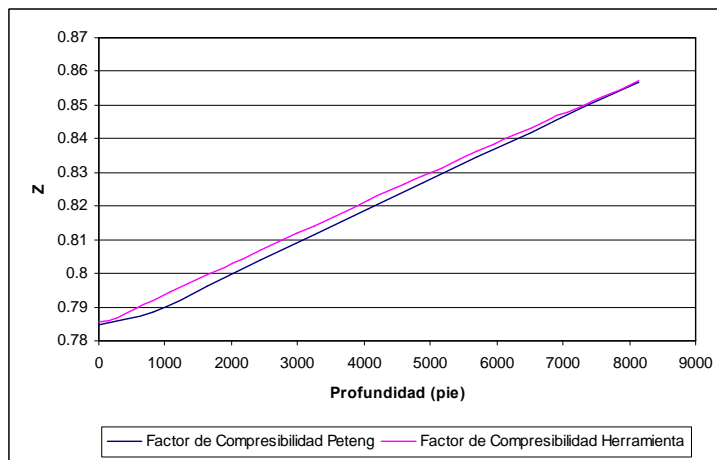


Figura 23. Factor de Compresibilidad para el Perfil de Presión y Temperatura generado a través de la Herramienta desarrollada y el modelo de cálculo de Peteng para el Pozo N° 3

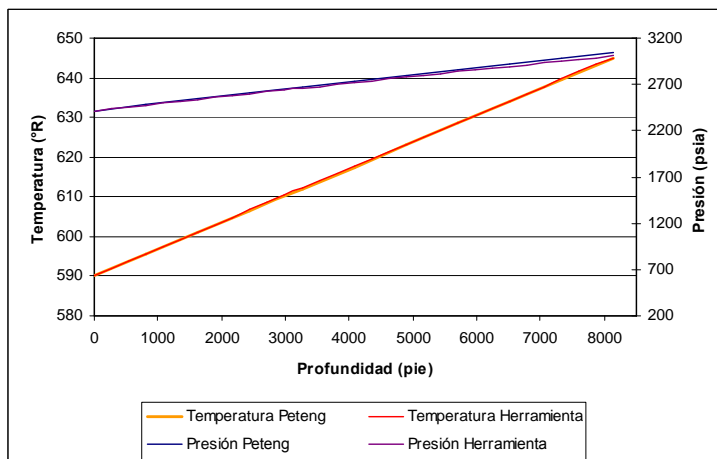


Figura 24. Perfil de Presión y Temperatura generado a través de la Herramienta desarrollada y el modelo de cálculo de Peteng para el Pozo N° 4

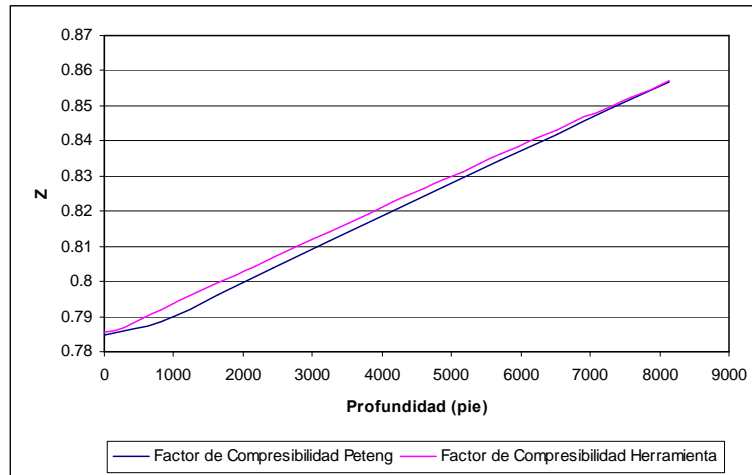


Figura 25. Factor de Compresibilidad para el Perfil de Presión y Temperatura generado a través de la Herramienta desarrollada y el modelo de cálculo de Peteng para el Pozo N° 4

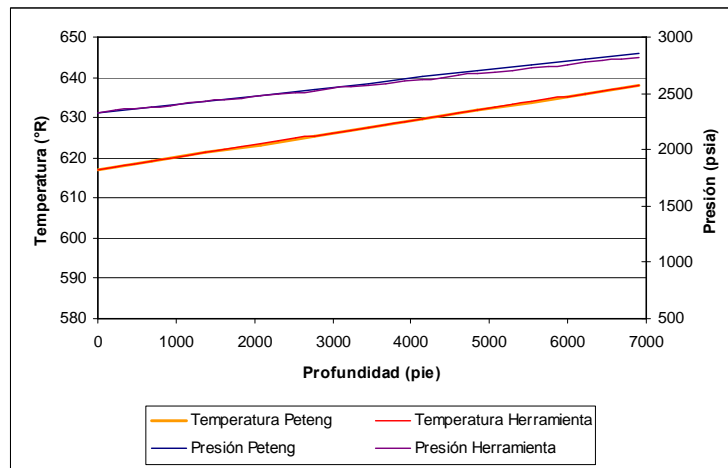


Figura 26. Perfil de Presión y Temperatura generado a través de la Herramienta desarrollada y el modelo de cálculo de Peteng para el Pozo N° 5

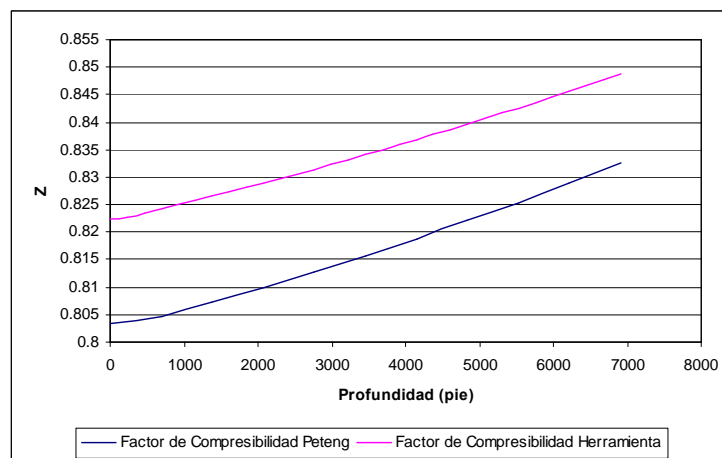


Figura 27. Factor de Compresibilidad para el Perfil de Presión y Temperatura generado a través de la Herramienta desarrollada y el modelo de cálculo de Peteng para el Pozo N° 5

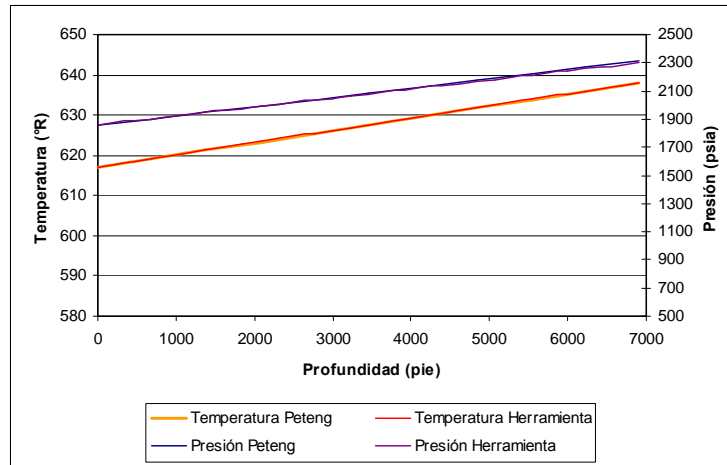


Figura 28. Perfil de Presión y Temperatura generado a través de la Herramienta desarrollada y el modelo de cálculo de Peteng para el Pozo N° 6

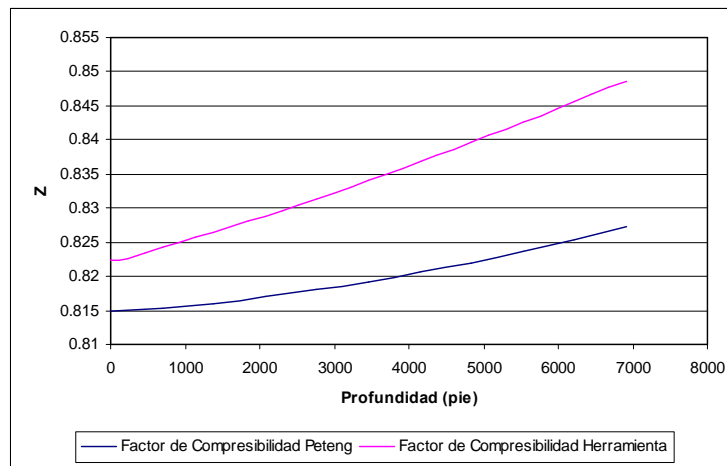


Figura 29. Factor de Compresibilidad para el Perfil de Presión y Temperatura generado a través de la Herramienta desarrollada y el modelo de cálculo de Peteng para el Pozo N° 6

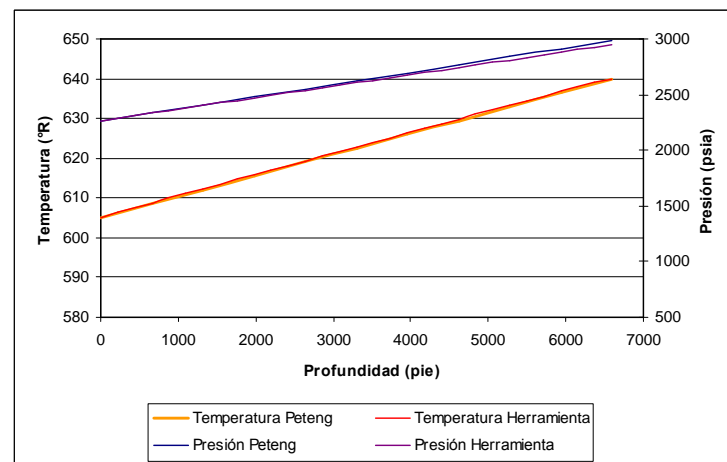


Figura 30. Perfil de Presión y Temperatura generado a través de la Herramienta desarrollada y el modelo de cálculo de Peteng para el Pozo N° 7

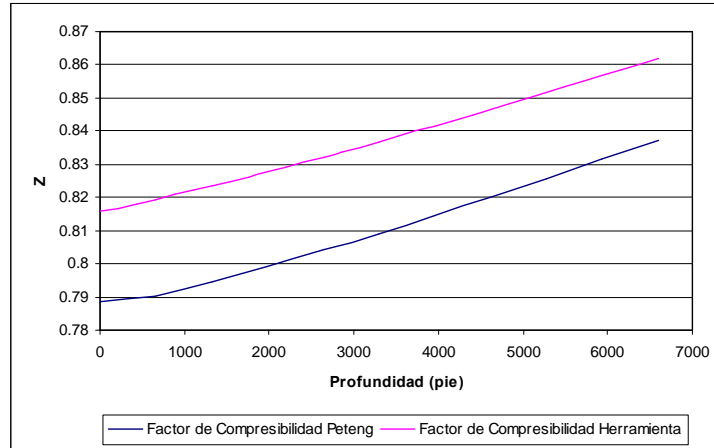


Figura 31. Factor de Compresibilidad para el Perfil de Presión y Temperatura generado a través de la Herramienta desarrollada y el modelo de cálculo de Peteng para el Pozo N° 7

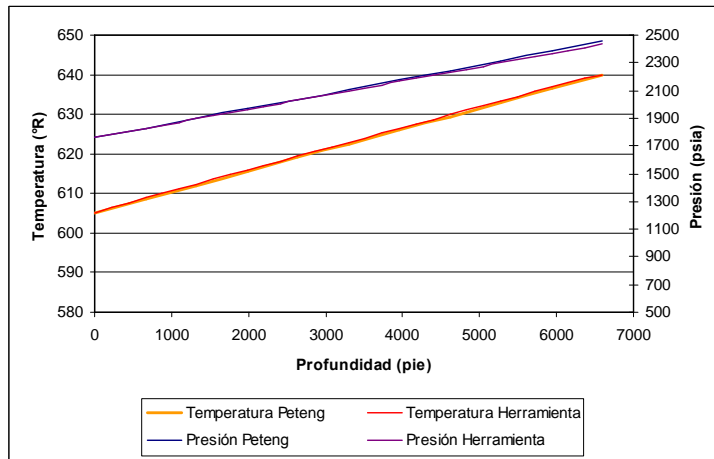


Figura 32. Perfil de Presión y Temperatura generado a través de la Herramienta desarrollada y el modelo de cálculo de Peteng para el Pozo N° 8

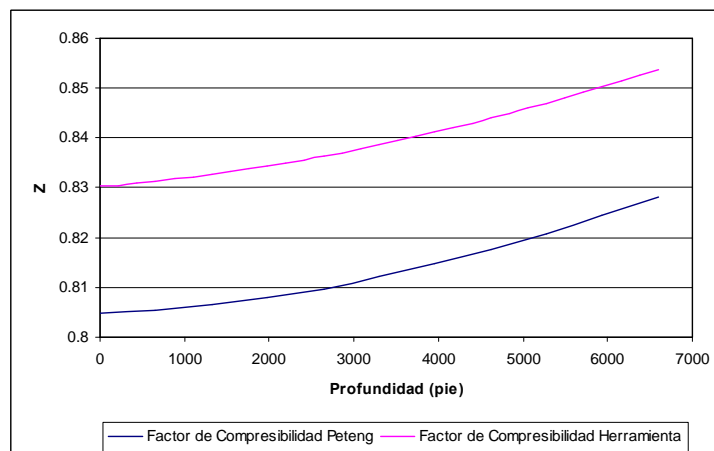


Figura 33. Factor de Compresibilidad para el Perfil de Presión y Temperatura generado a través de la Herramienta desarrollada y el modelo de cálculo de Peteng para el Pozo N° 8

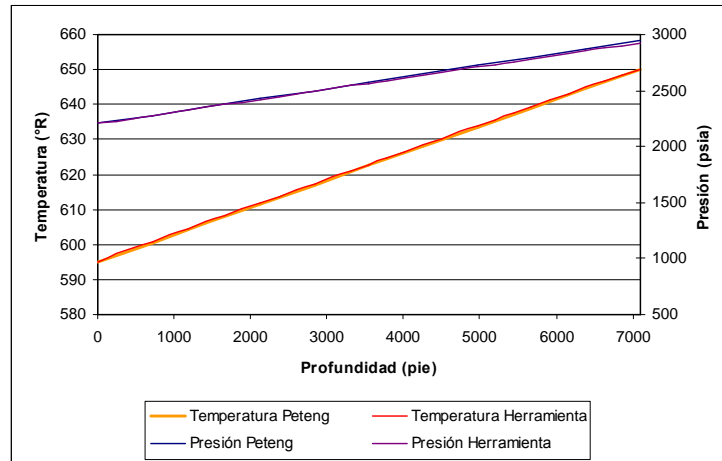


Figura 34. Perfil de Presión y Temperatura generado a través de la Herramienta desarrollada y el modelo de cálculo de Peteng para el Pozo N° 9

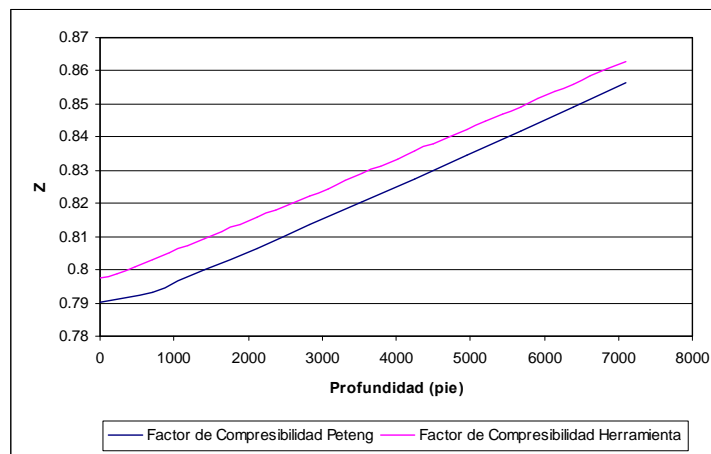


Figura 35. Factor de Compresibilidad para el Perfil de Presión y Temperatura generado a través de la Herramienta desarrollada y el modelo de cálculo de Peteng para el Pozo N° 9

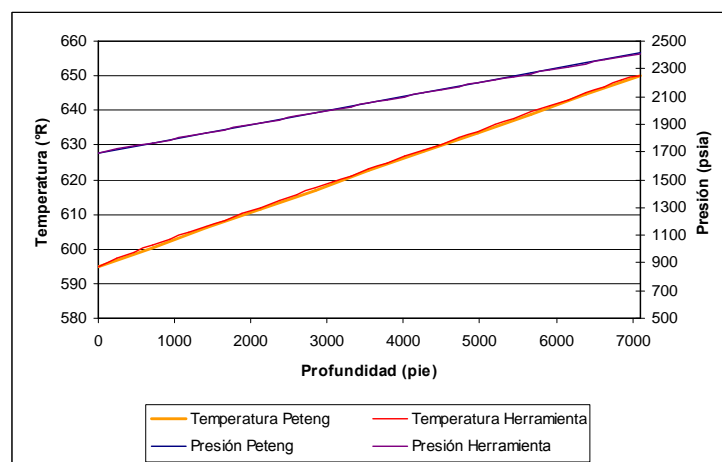


Figura 36. Perfil de Presión y Temperatura generado a través de la Herramienta desarrollada y el modelo de cálculo de Peteng para el Pozo N° 10

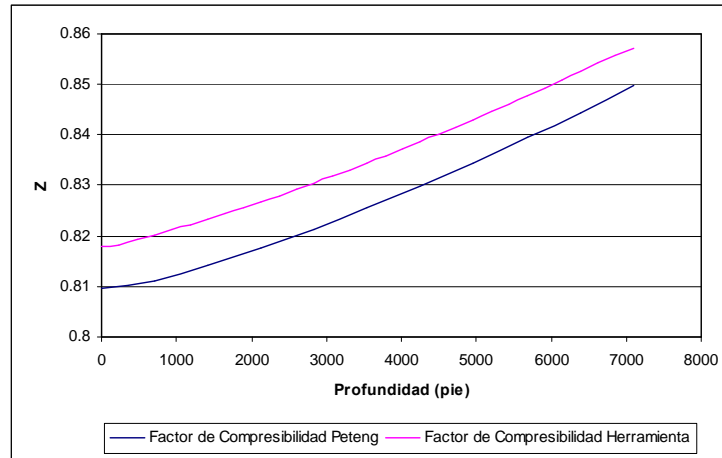


Figura 37. Factor de Compresibilidad para el Perfil de Presión y Temperatura generado a través de la Herramienta desarrollada y el modelo de cálculo de Peteng para el Pozo N° 10

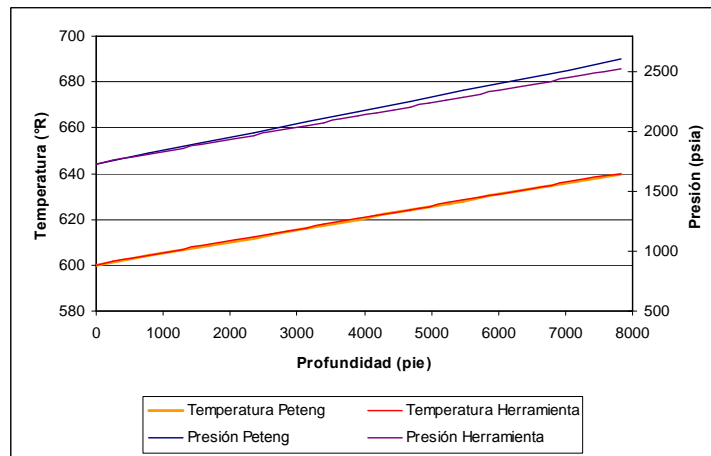


Figura 38. Perfil de Presión y Temperatura generado a través de la Herramienta desarrollada y el modelo de cálculo de Peteng para el Pozo N° 11

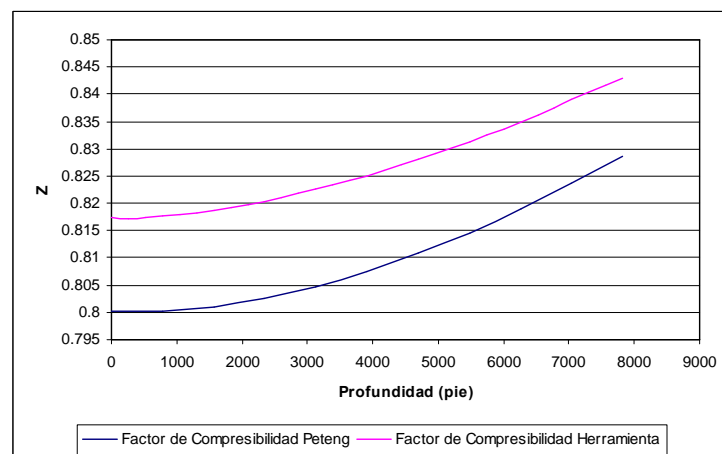


Figura 39. Factor de Compresibilidad para el Perfil de Presión y Temperatura generado a través de la Herramienta desarrollada y el modelo de cálculo de Peteng para el Pozo N° 11

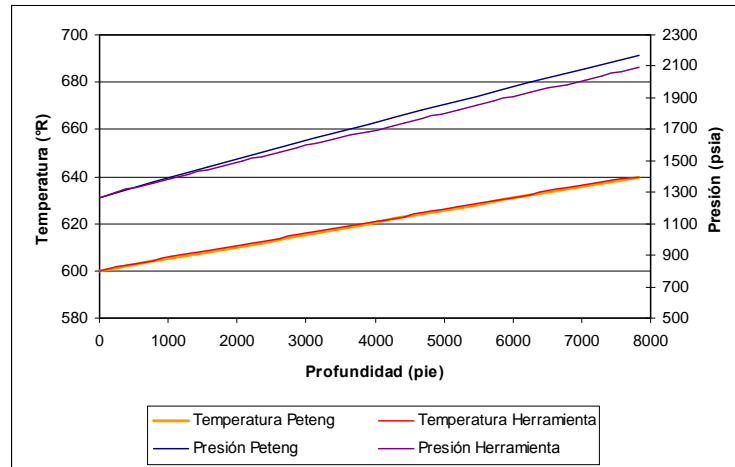


Figura 40. Perfil de Presión y Temperatura generado a través de la Herramienta desarrollada y el modelo de cálculo de Peteng para el Pozo N° 12

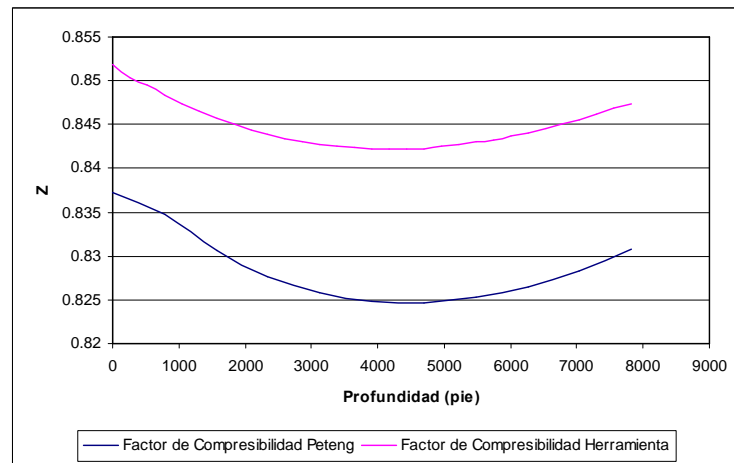


Figura 41. Factor de Compresibilidad para el Perfil de Presión y Temperatura generado a través de la Herramienta desarrollada y el modelo de cálculo de Peteng para el Pozo N° 12

A continuación se muestran las propiedades del vapor y del líquido, así como también la fracción vaporizada para los seis pozos seleccionados.

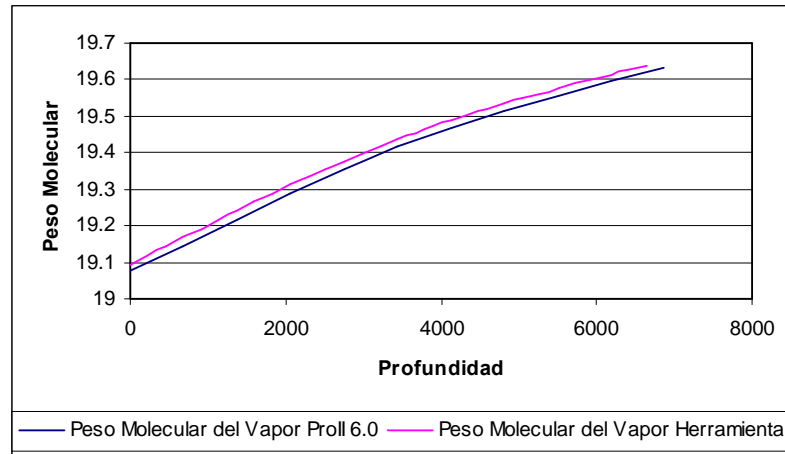


Figura 42. Peso Molecular de la fase Vapor calculado utilizando el software comercial Pro II 6.0 y la herramienta desarrollada para el pozo N° 2.

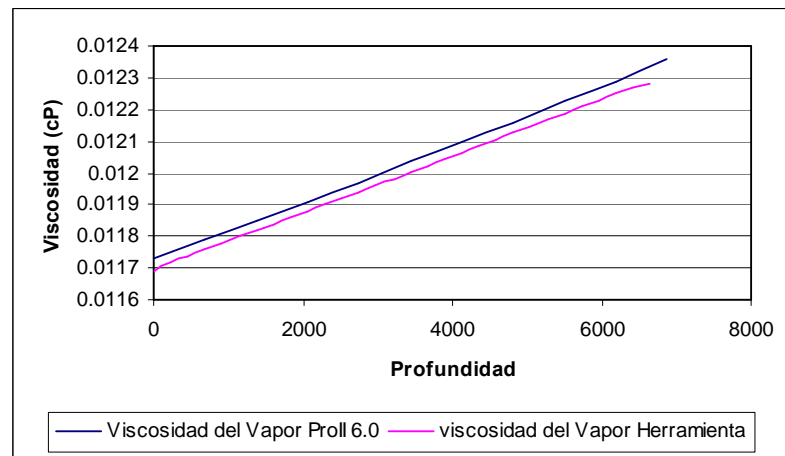


Figura 43. Viscosidad de la fase Vapor calculada utilizando el software comercial Pro II 6.0 y la herramienta desarrollada para el pozo N° 2.

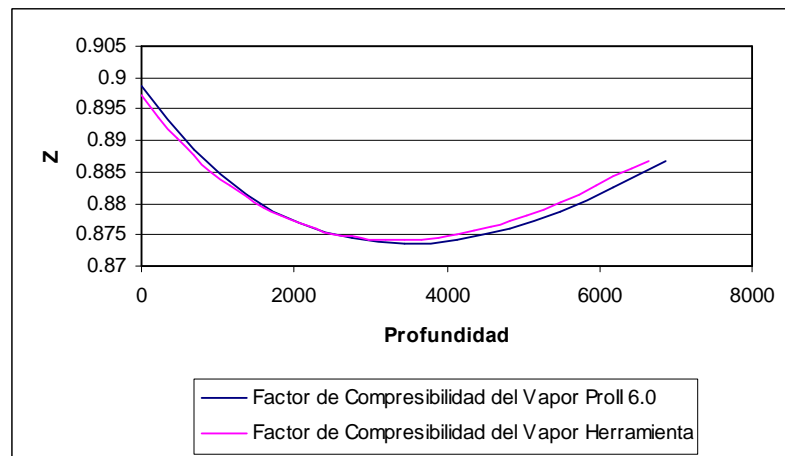


Figura 44. Factor de compresibilidad de la fase Vapor calculado utilizando el software comercial Pro II 6.0 y la herramienta desarrollada para el pozo N° 1.

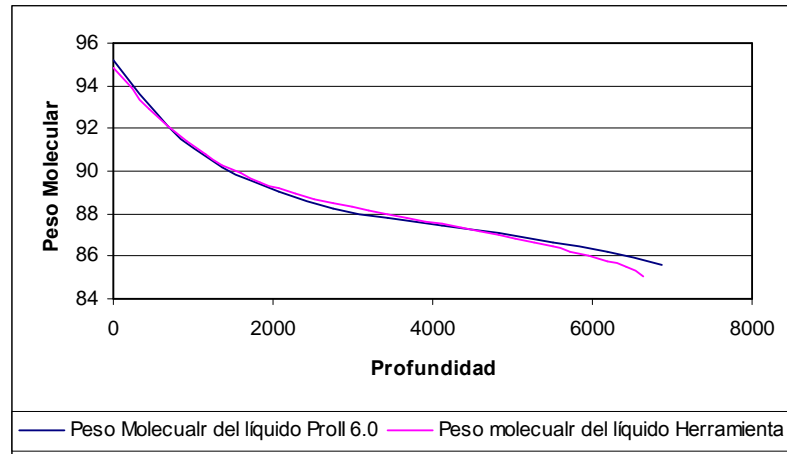


Figura 45. Peso Molecular de la fase Líquida calculado utilizando el software comercial Pro II 6.0 y la herramienta desarrollada para el pozo N° 2.

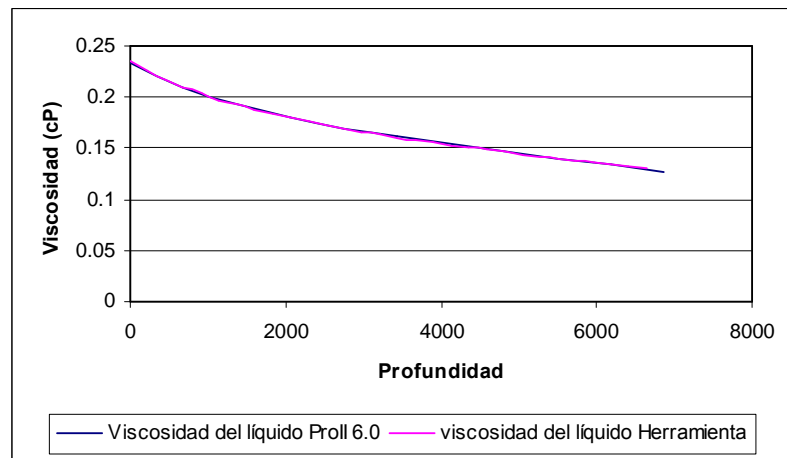


Figura 46. Viscosidad de la fase Líquida calculada utilizando el software comercial Pro II 6.0 y la herramienta desarrollada para el pozo N° 2.

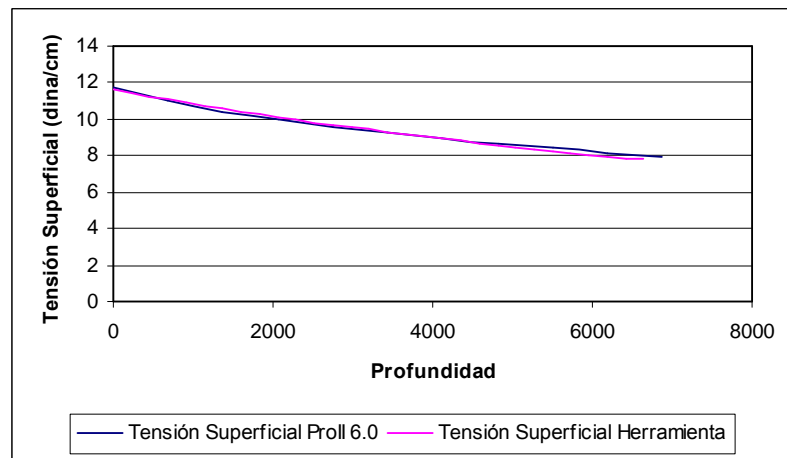


Figura 47. Tensión Superficial calculada utilizando el software comercial Pro II 6.0 y la herramienta desarrollada para el pozo N° 2.

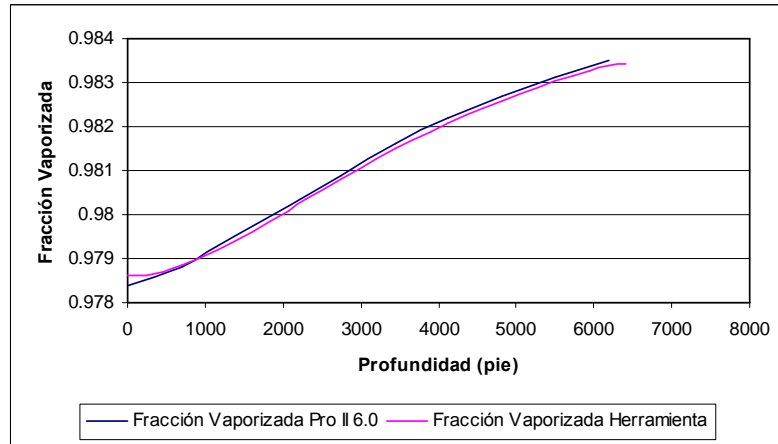


Figura 48. Fracción Vaporizada calculada utilizando el software comercial Pro II 6.0 y la herramienta desarrollada para el pozo N° 2.

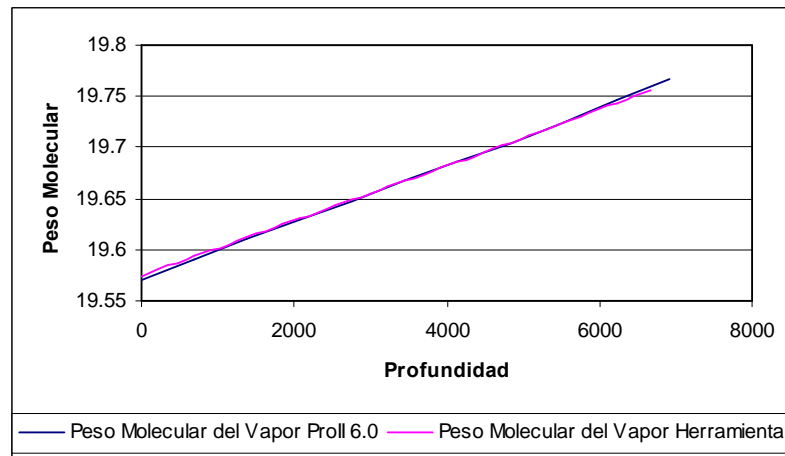


Figura 49. Peso Molecular de la fase Vapor calculado utilizando el software comercial Pro II 6.0 y la herramienta desarrollada para el pozo N° 5.

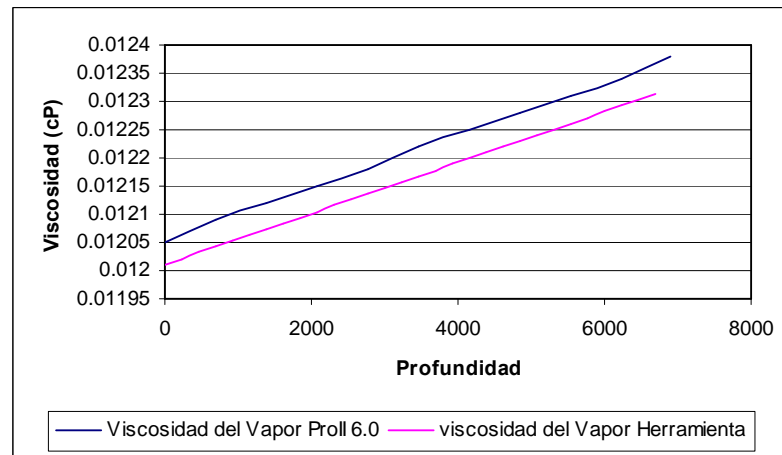


Figura 50. Viscosidad de la fase Vapor calculada utilizando el software comercial Pro II 6.0 y la herramienta desarrollada para el pozo N° 5.

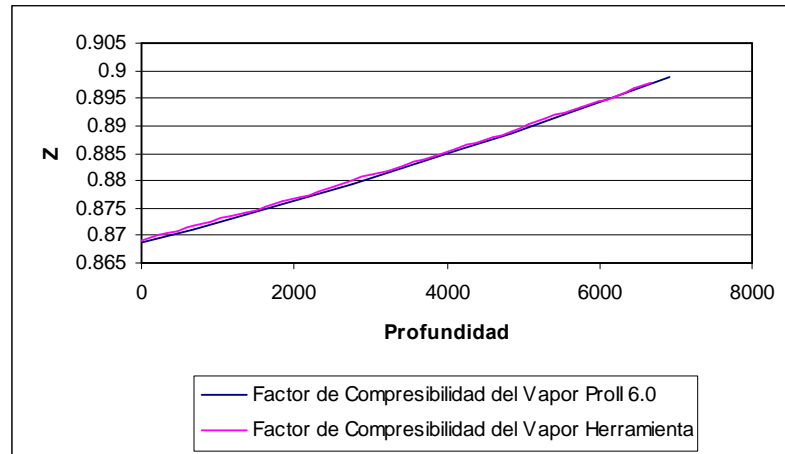


Figura 51. Factor de Compresibilidad de la fase Vapor calculado utilizando el software comercial Pro II 6.0 y la herramienta desarrollada para el pozo N° 5.

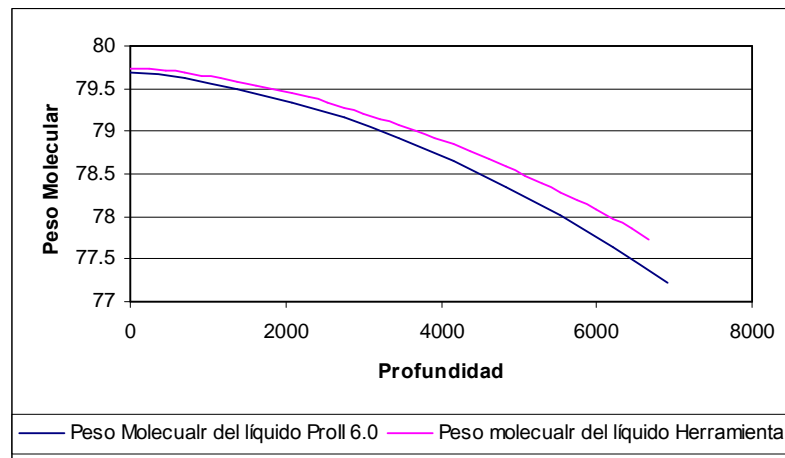


Figura 52. Peso Molecular de la fase Líquida calculado utilizando el software comercial Pro II 6.0 y la herramienta desarrollada para el pozo N° 5.

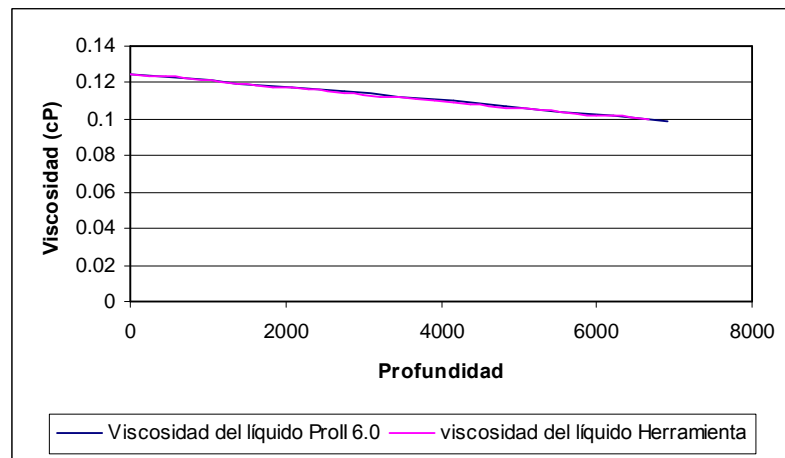


Figura 53. Viscosidad de la fase Líquida calculada utilizando el software comercial Pro II 6.0 y la herramienta desarrollada para el pozo N° 5.

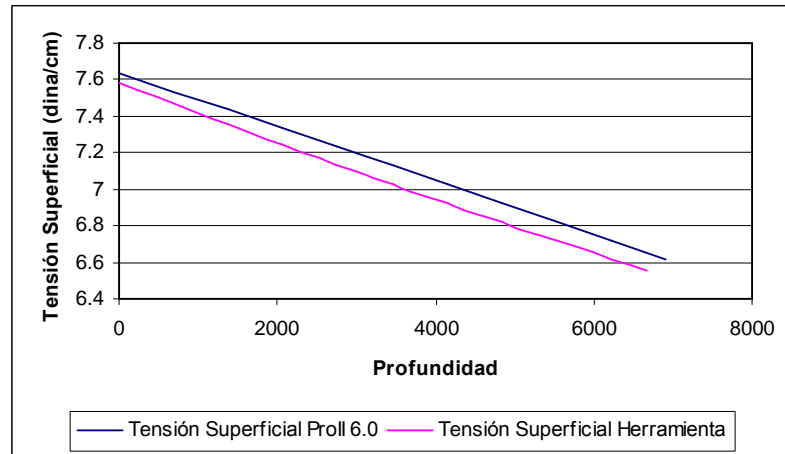


Figura 54. Tensión Superficial calculada utilizando el software comercial Pro II 6.0 y la herramienta desarrollada para el pozo N° 5.

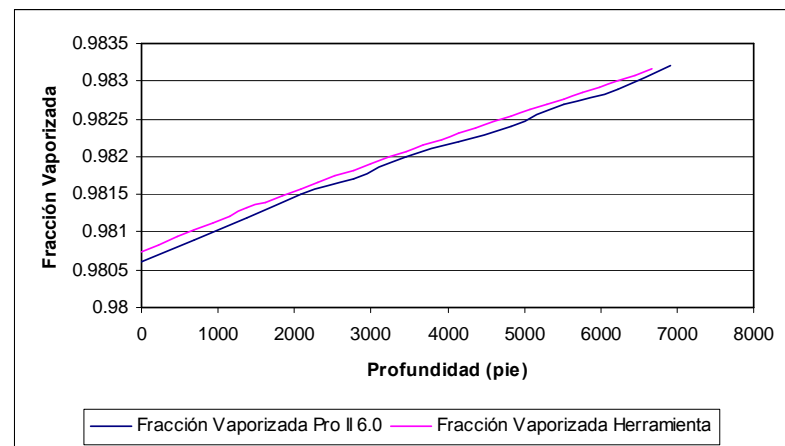


Figura 55. Fracción Vaporizada calculada utilizando el software comercial Pro II 6.0 y la herramienta desarrollada para el pozo N° 5.

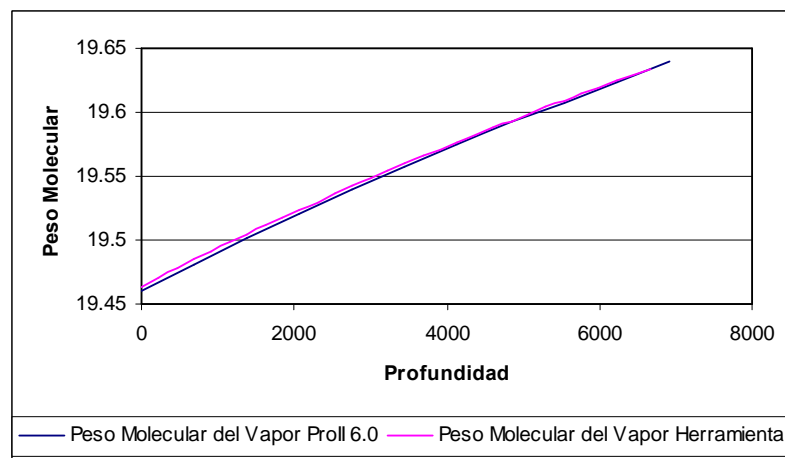


Figura 56. Peso Molecular de la fase Vapor calculado utilizando el software comercial Pro II 6.0 y la herramienta desarrollada para el pozo N° 6.

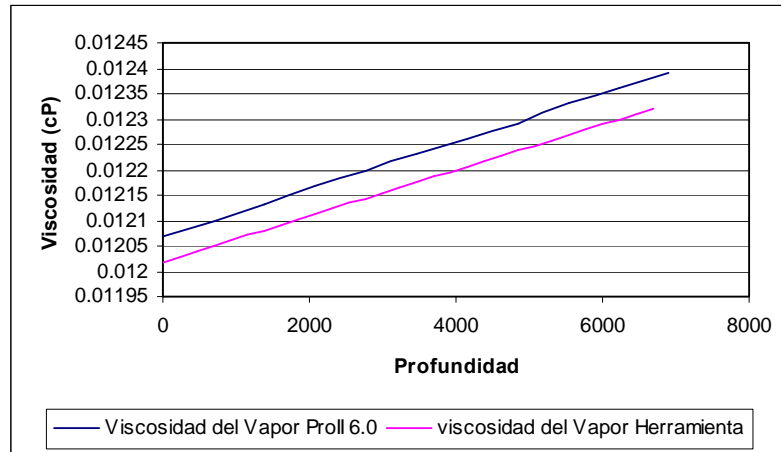


Figura 57. Viscosidad de la fase Vapor calculada utilizando el software comercial Pro II 6.0 y la herramienta desarrollada para el pozo N° 6.

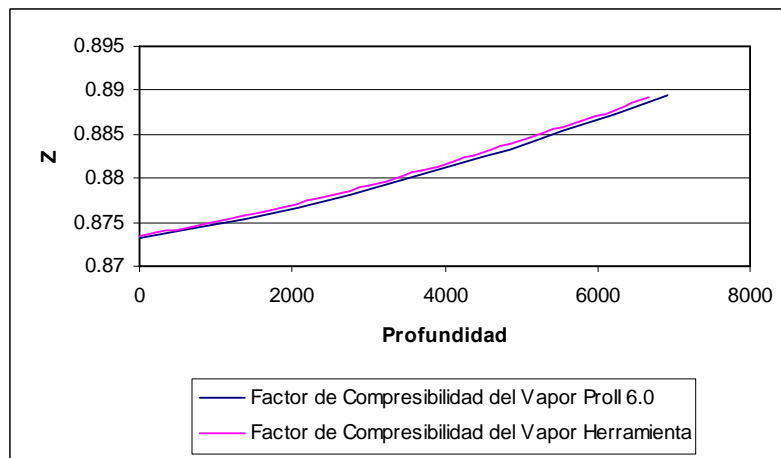


Figura 58. Factor de Compresibilidad de la fase Vapor calculado utilizando el software comercial Pro II 6.0 y la herramienta desarrollada para el pozo N° 6.

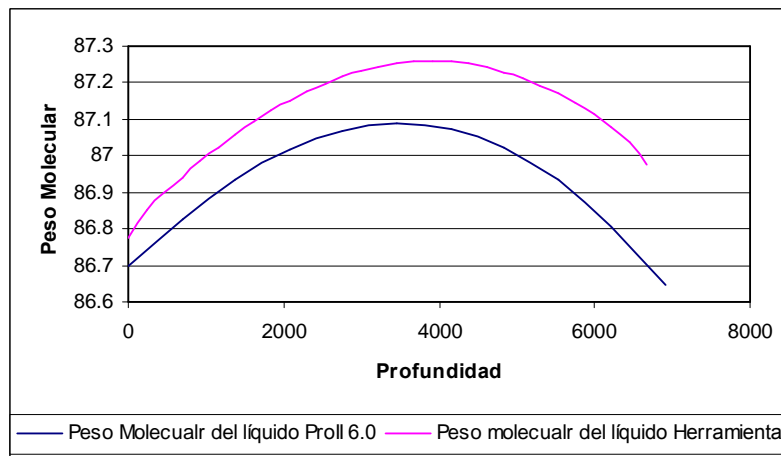


Figura 59. Peso Molecular de la fase Líquida calculado utilizando el software comercial Pro II 6.0 y la herramienta desarrollada para el pozo N° 6.

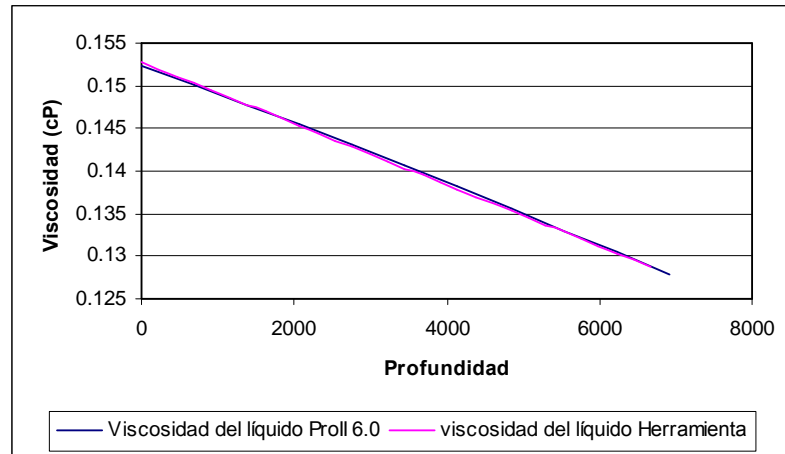


Figura 60. Viscosidad de la fase Líquida calculada utilizando el software comercial Pro II 6.0 y la herramienta desarrollada para el pozo N° 6.

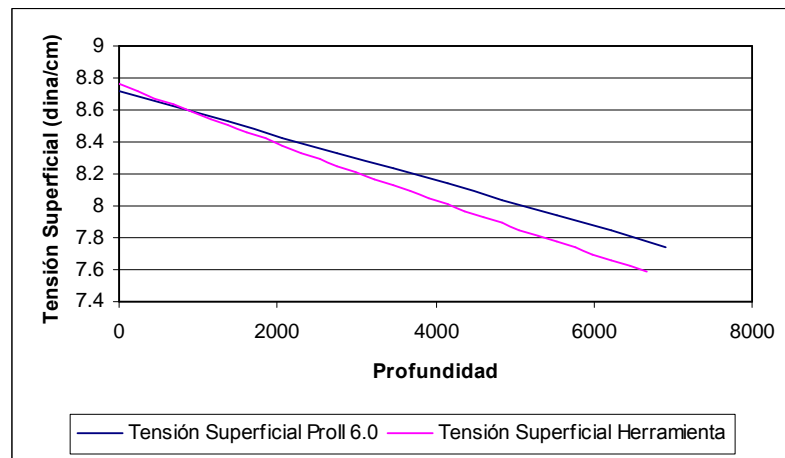


Figura 61. Tensión Superficial calculada utilizando el software comercial Pro II 6.0 y la herramienta desarrollada para el pozo N° 6.

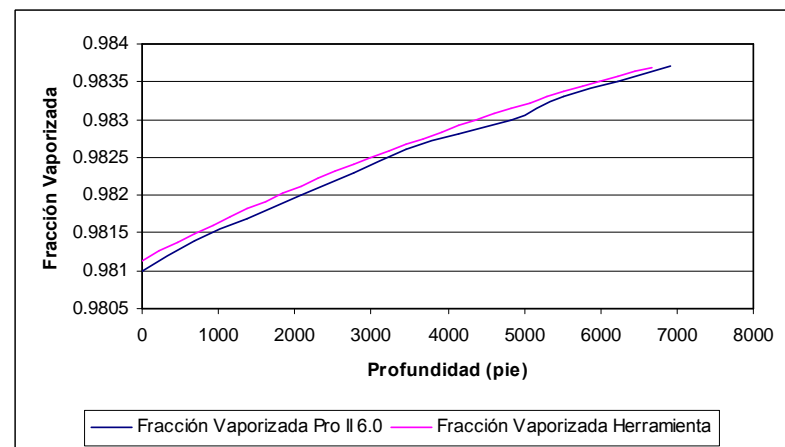


Figura 62. Fracción Vaporizada calculada utilizando el software comercial Pro II 6.0 y la herramienta desarrollada para el pozo N° 6.

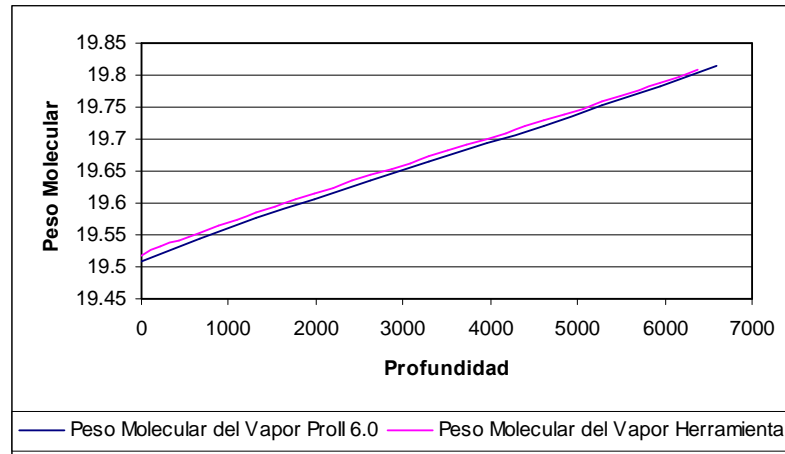


Figura 63. Peso Molecular de la fase Vapor calculado utilizando el software comercial Pro II 6.0 y la herramienta desarrollada para el pozo N° 7.

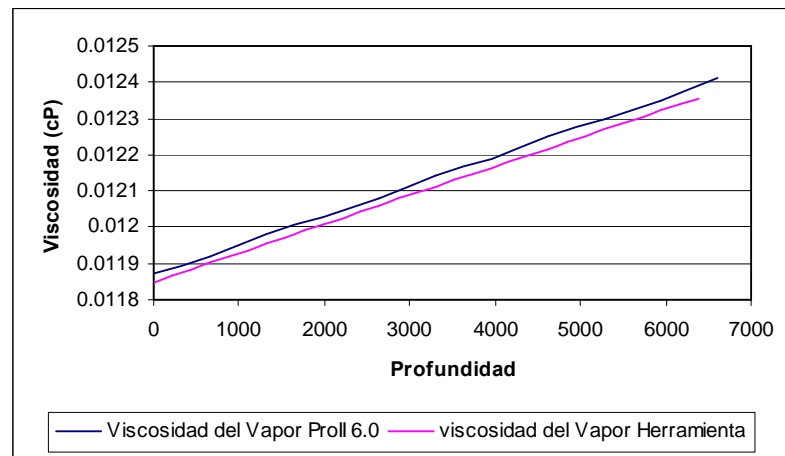


Figura 64. Viscosidad de la fase Vapor calculada utilizando el software comercial Pro II 6.0 y la herramienta desarrollada para el pozo N° 7.

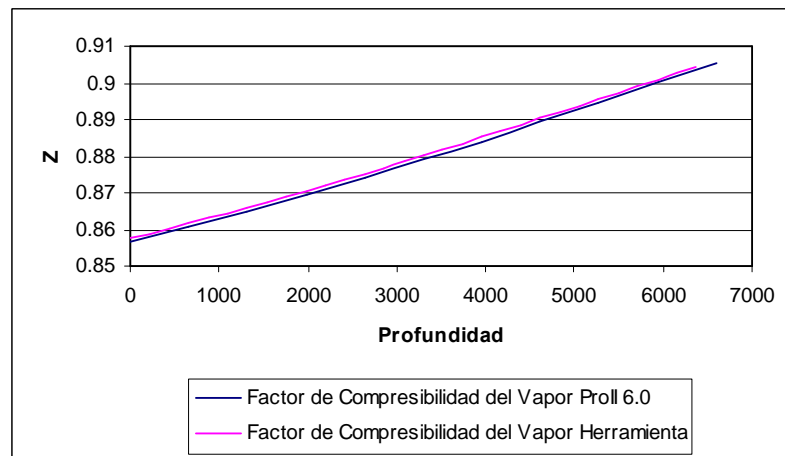


Figura 65. Factor de Compresibilidad de la fase Vapor calculado utilizando el software comercial Pro II 6.0 y la herramienta desarrollada para el pozo N° 7.

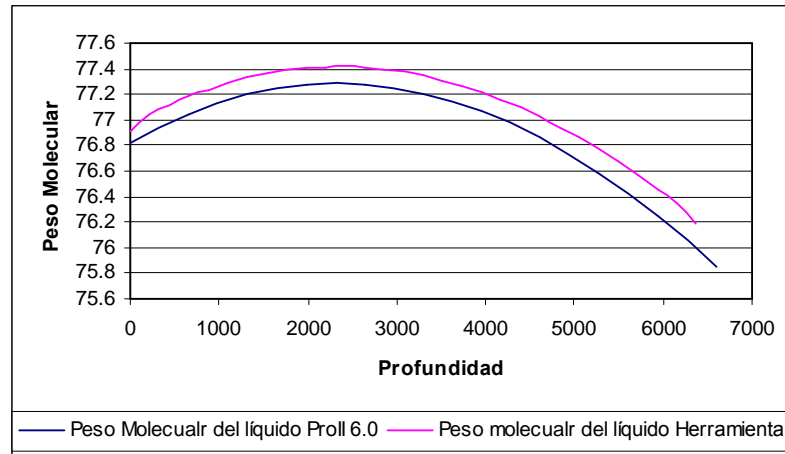


Figura 66. Peso Molecular de la fase Líquida calculado utilizando el software comercial Pro II 6.0 y la herramienta desarrollada para el pozo N° 7.

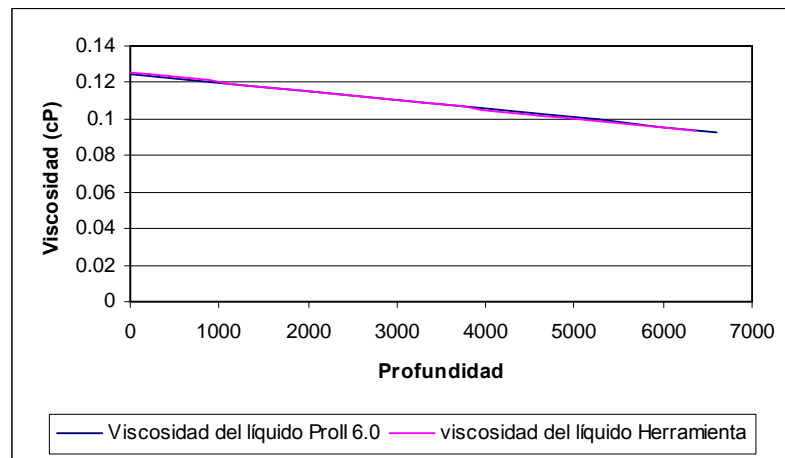


Figura 67. Viscosidad de la fase Líquida calculada utilizando el software comercial Pro II 6.0 y la herramienta desarrollada para el pozo N° 7.

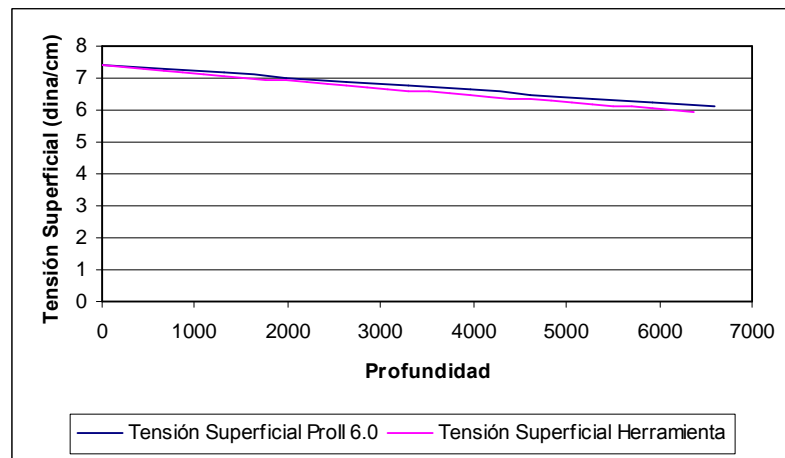


Figura 68. Tensión Superficial calculada utilizando el software comercial Pro II 6.0 y la herramienta desarrollada para el pozo N° 7.

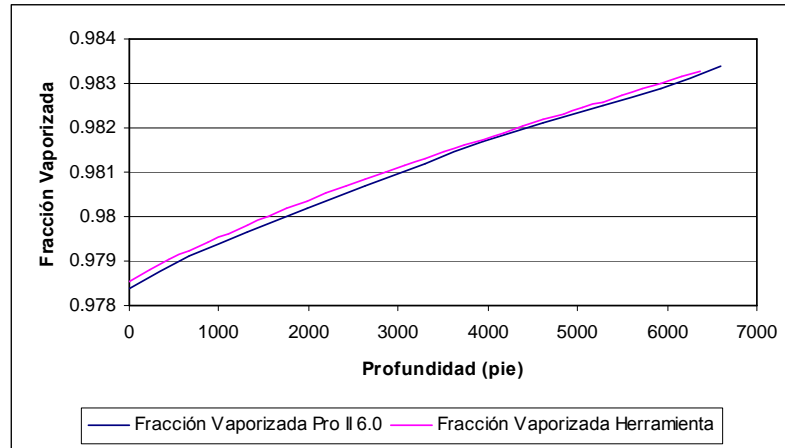


Figura 69. Fracción Vaporizada calculada utilizando el software comercial Pro II 6.0 y la herramienta desarrollada para el pozo N° 7.

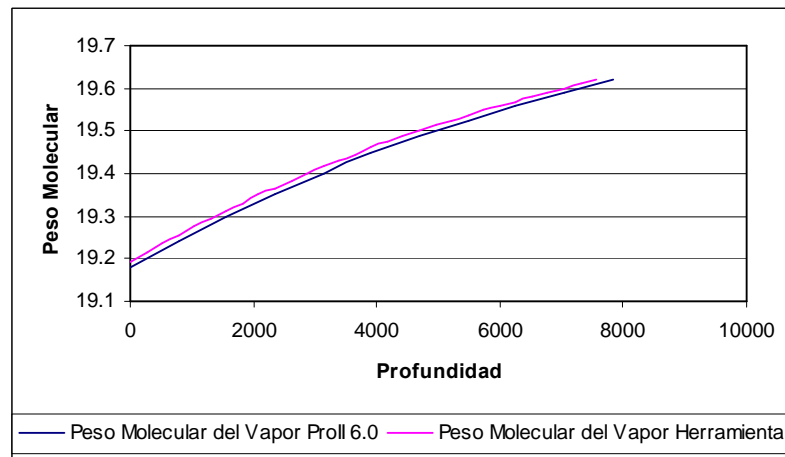


Figura 70. Peso Molecular de la fase Vapor calculado utilizando el software comercial Pro II 6.0 y la herramienta desarrollada para el pozo N° 12.

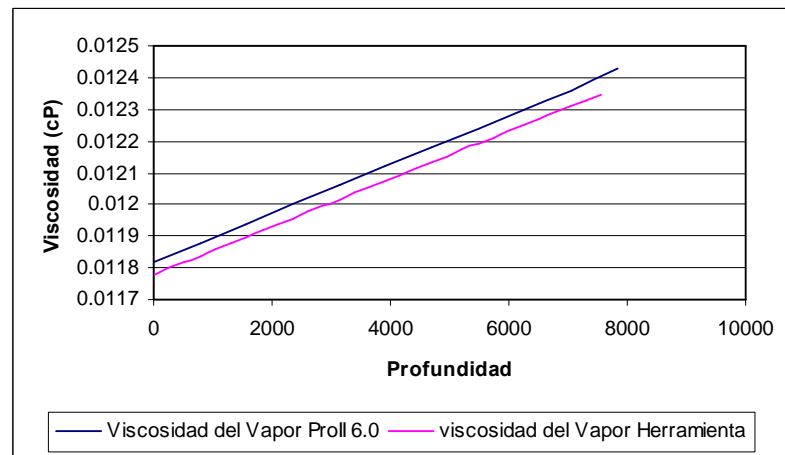


Figura 71. Viscosidad de la fase Vapor calculada utilizando el software comercial Pro II 6.0 y la herramienta desarrollada para el pozo N° 12.

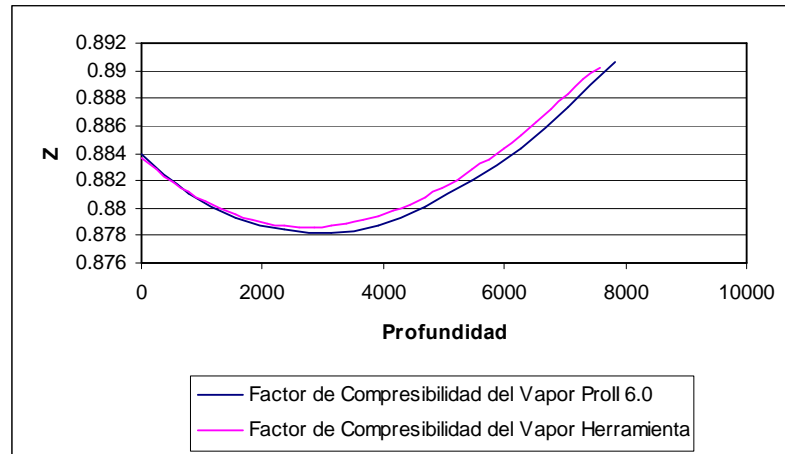


Figura 72. Factor de Compresibilidad de la fase Vapor calculado utilizando el software comercial Pro II 6.0 y la herramienta desarrollada para el pozo N° 12.

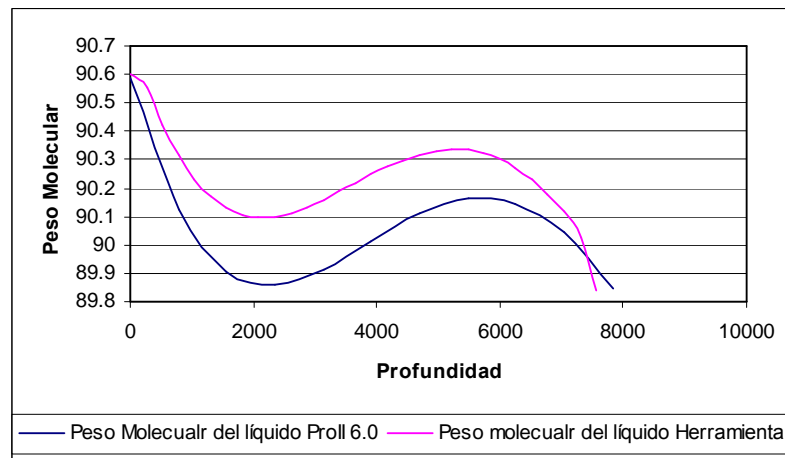


Figura 73. Peso Molecular de la fase Líquida calculado utilizando el software comercial Pro II 6.0 y la herramienta desarrollada para el pozo N° 12.

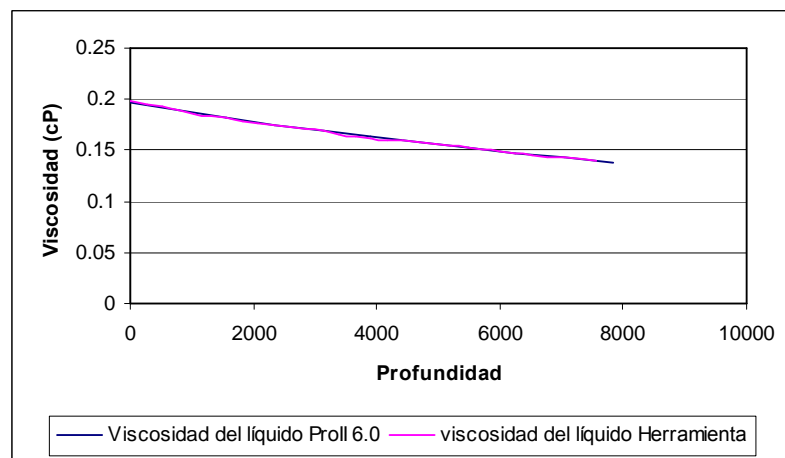


Figura 74. Viscosidad de la fase Líquida calculada utilizando el software comercial Pro II 6.0 y la herramienta desarrollada para el pozo N° 12.

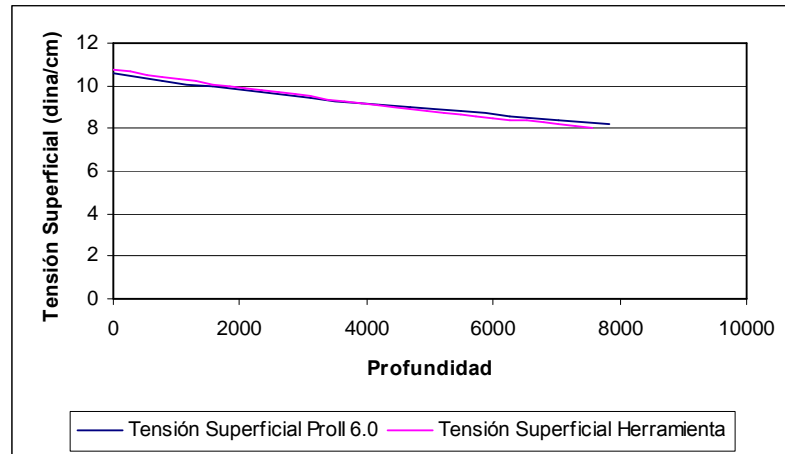


Figura 75. Tensión Superficial calculada utilizando el software comercial Pro II 6.0 y la herramienta desarrollada para el pozo N° 12.

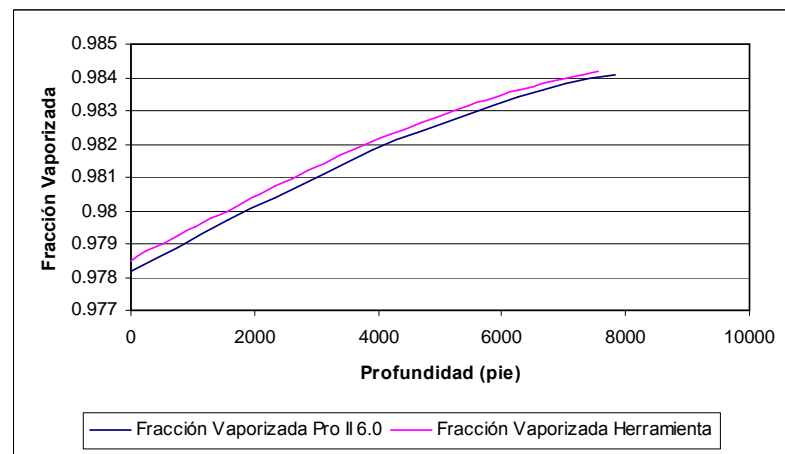


Figura 76. Fracción Vaporizada calculada utilizando el software comercial Pro II 6.0 y la herramienta desarrollada para el pozo N° 12.

A continuación se muestran las velocidades de corrosión para los seis pozos seleccionados.

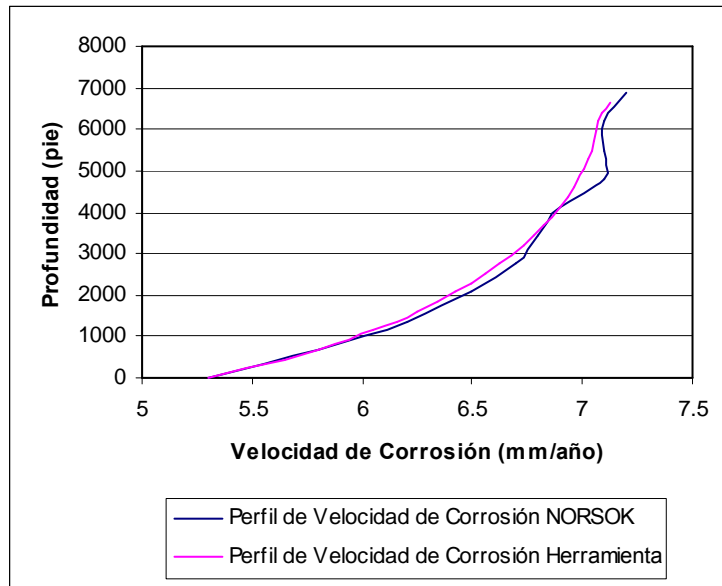


Figura 77. Velocidad de Corrosión por CO₂ generado a través del software NORSOK y la Herramienta Desarrollada para el pozo N° 2

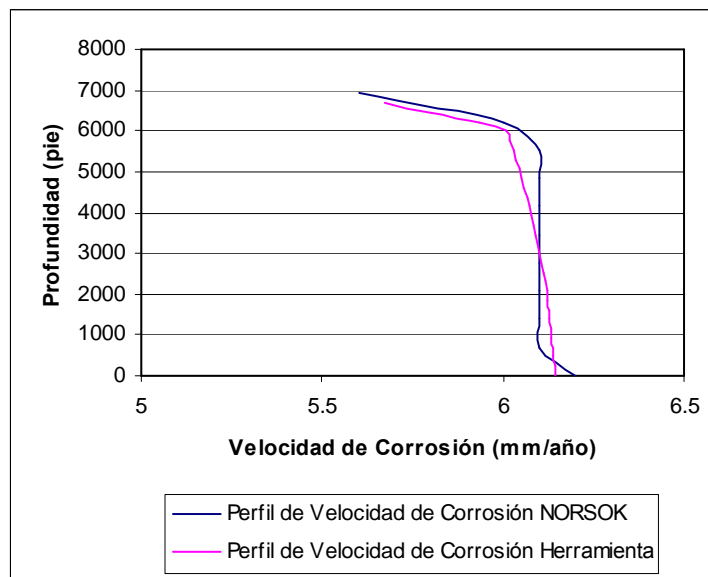


Figura 78. Velocidad de Corrosión por CO₂ generado a través del software NORSOK y la Herramienta Desarrollada para el pozo N° 5

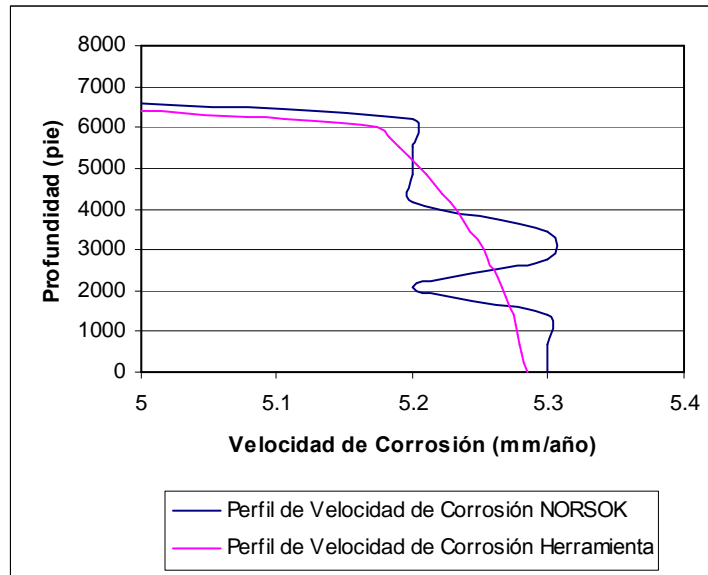


Figura 79. Velocidad de Corrosión por CO₂ generado a través del software NORSOK y la Herramienta Desarrollada para el pozo N° 6

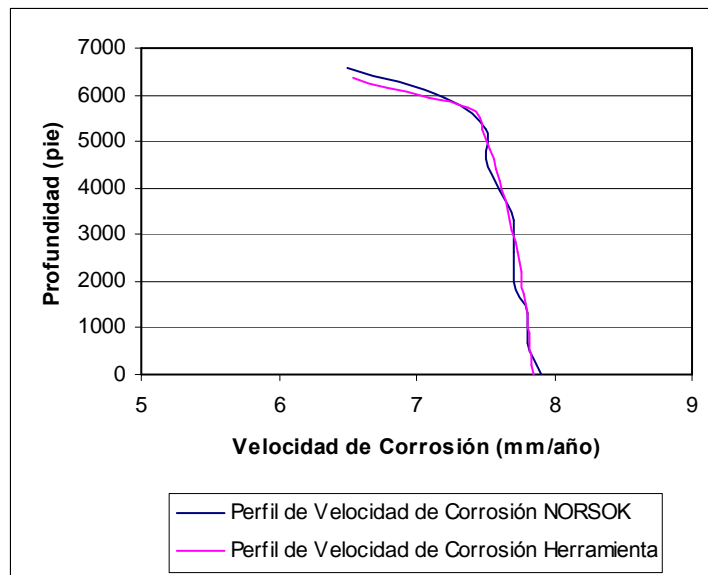


Figura 80. Velocidad de Corrosión por CO₂ generado a través del software NORSOK y la Herramienta Desarrollada para el pozo N° 7

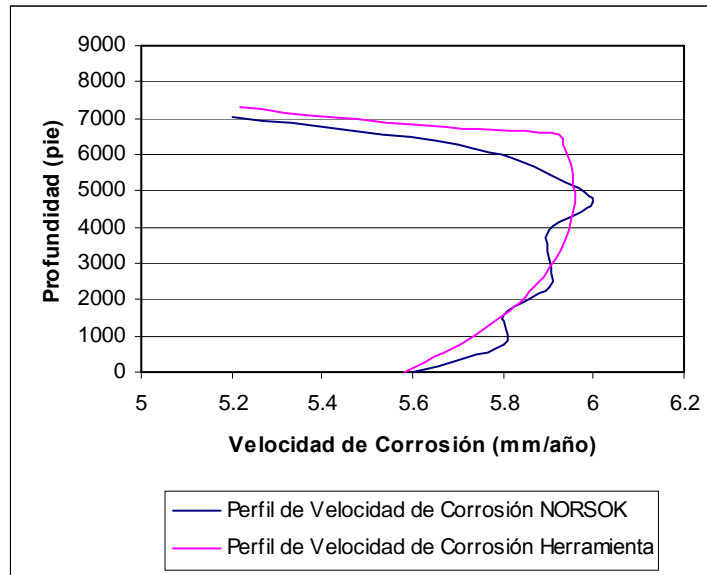


Figura 81. Velocidad de Corrosión por CO₂ generado a través del software NORSOK y la Herramienta Desarrollada para el pozo N° 12

Apéndice C: Herramientas Computacionales

A continuación se presentan las vistas de las pantallas de las herramientas computacionales o software utilizados en el presente Trabajo Especial de Grado.

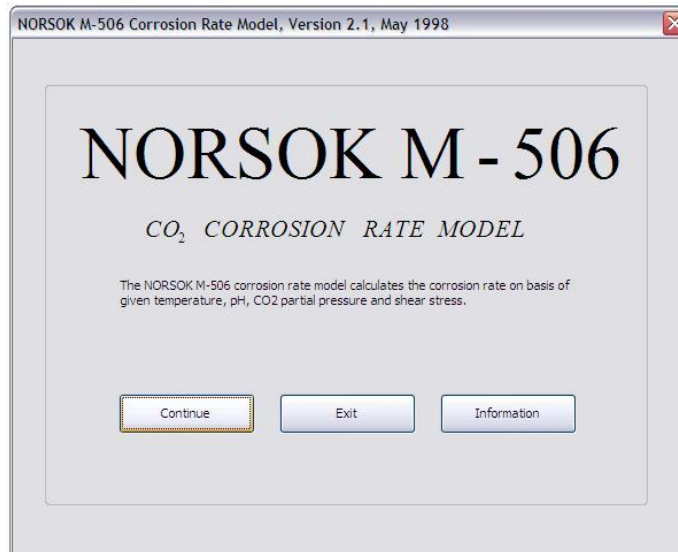


Figura 82. Presentación del Software NOROK

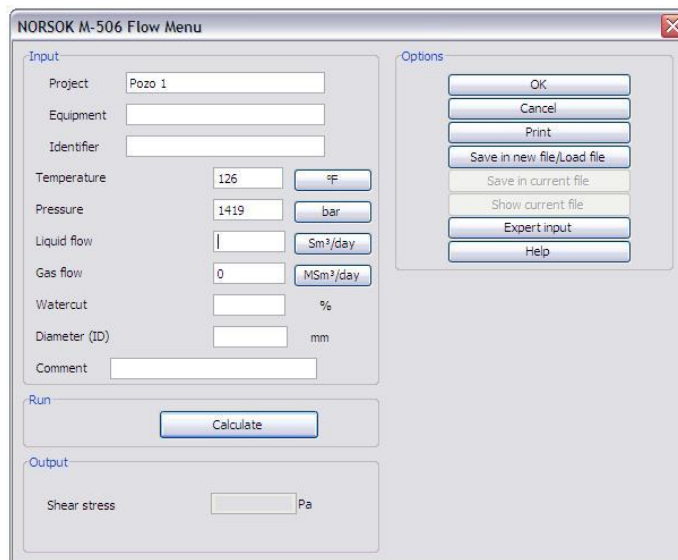


Figura 83. Módulo de Esfuerzo de Pared del Software NOROK

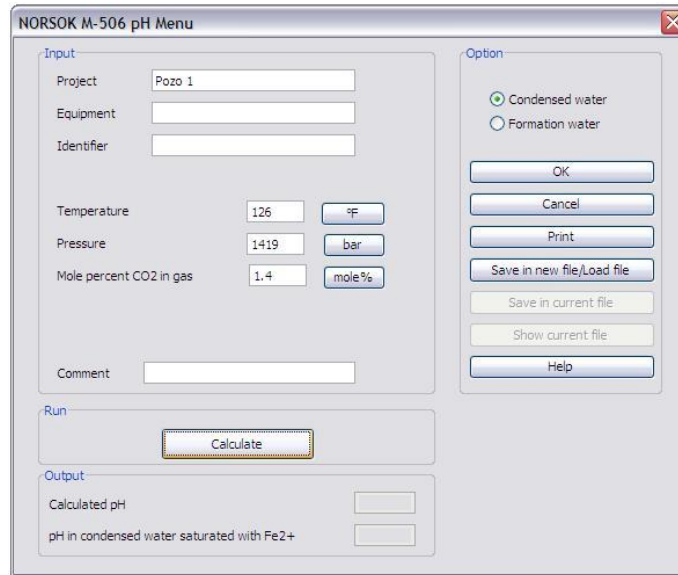


Figura 84. Módulo de pH del Software NORSOK

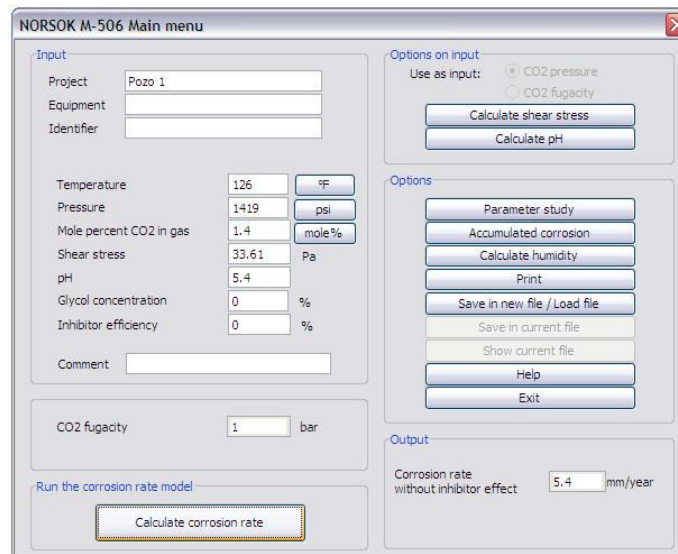


Figura 85. Cálculo de Velocidad de Corrosión del Software NORSOK

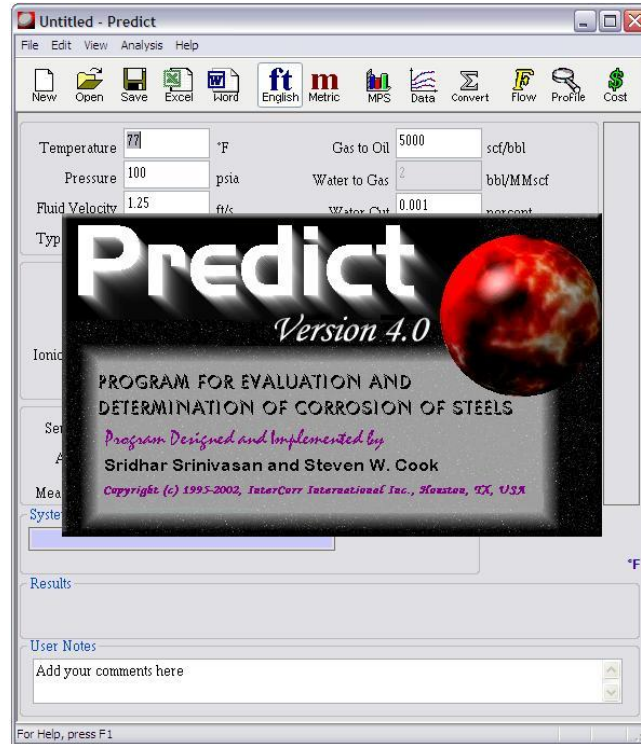


Figura 86. Presentación del Software Predict 4.0

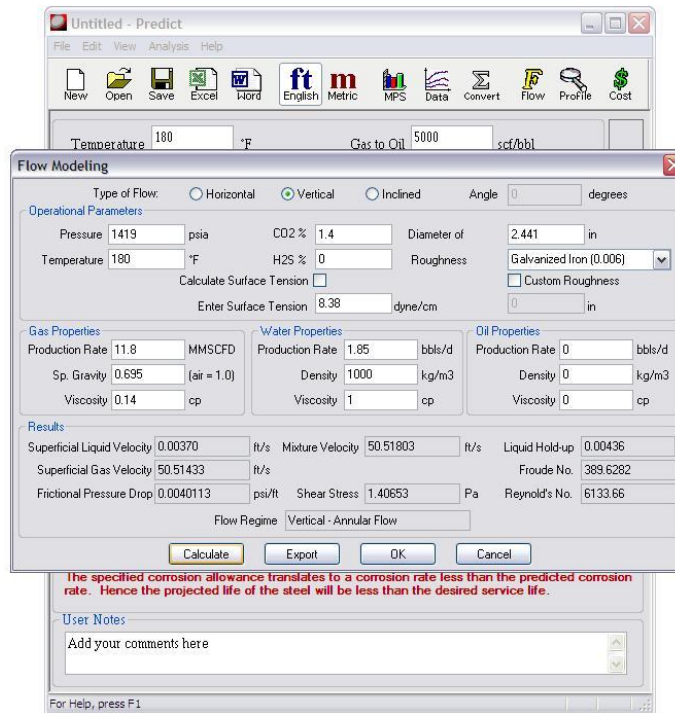


Figura 87. Modelo de Flujo del Software Predict 4.0

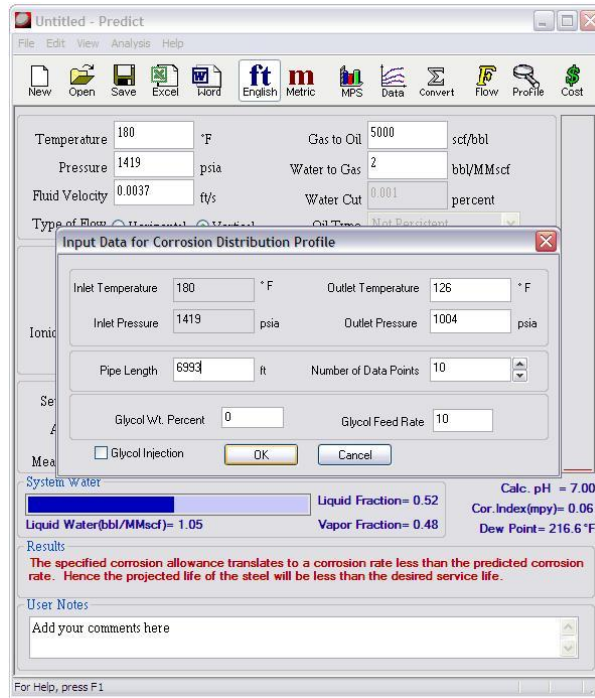


Figura 88. Modelo para el Perfil de Velocidad de Corrosión, Presión y Temperatura del Software Predict 4.0

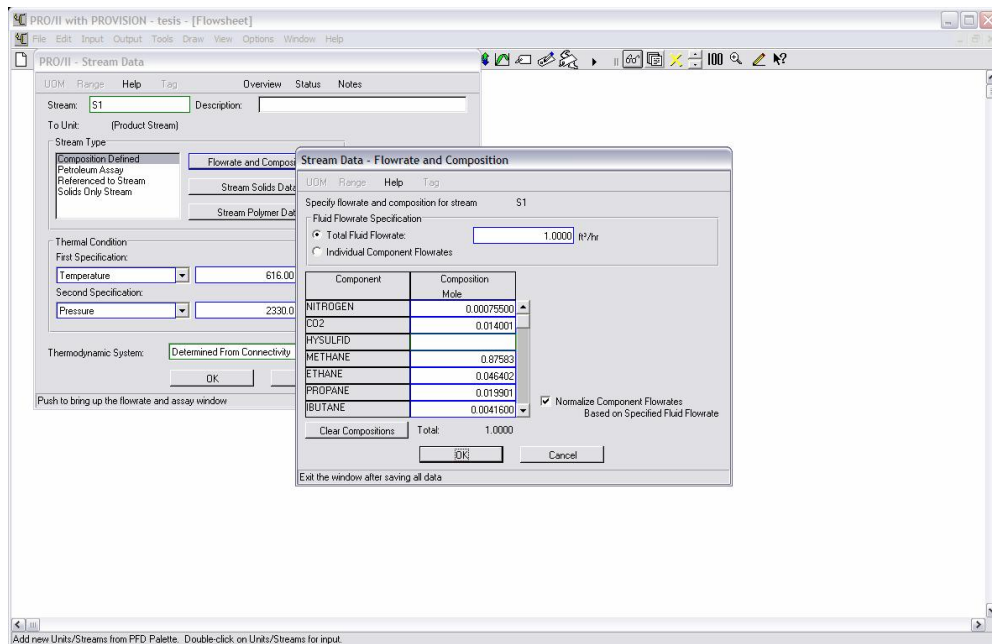


Figura 89. Vista del Software Pro II 6.0

	A	B	C	D	E	F
1	DATOS DE ENTRADA					
2		Presión de Cabezal	1795	psia	▼	
3		Temperatura de Cabezal	135	°F	▼	
4		Temperatura de Fondo	176	°F	▼	
5		Diámetro Interno	2.441	pulg		
6		Longitud de Tubería	6875	pies	▼	
7		Flujo de Gas	18530	MPCED		
8						
9		Composición del Gas		fracción molar	▼	
10						
11		C1	0.5	C6	0.02	
12		C2	0.3	C7	0.02	
13		C3	0.02	N ₂	0.02	
14		iC4	0.02	CO ₂	0.02	
15		nC4	0.02	H ₂ S	0	
16		iC5	0.02	H ₂ O	0.02	
17		nC5	0.02			
18						
19						
20						

Calcular

Figura 90. Vista de la Herramienta Desarrollada

La interfaz de resultados de la herramienta desarrollada corresponde al conjunto de figuras incluidas en el apéndice B y en el capítulo IV (y las tablas referidas a tales figuras).

Apéndice D: Cálculo Tipo

Perfil de Presión y Temperatura

Cálculo de las constantes iniciales, gradiente geotérmico, temperatura reducida de la mezcla y covolumen tipo van der Waals, a través de la ecuación 42.

$$G_T = \frac{180 - 126}{6993} = 7.722E - 3 \frac{^{\circ}F}{pie}$$

$$T_R = \frac{T}{T_c} = \frac{586}{389.16} = 1.505$$

$$b = 0.245 \text{EXP}[-1.2(1-t)^2] \frac{RT_c}{P_c}$$

$$b = 0.245 \text{Exp}(-1.2(1-1/1.505)^2) 10.73 \times 389.16 / 687.18 = 1.30$$

Cálculo del Factor de Compresibilidad usando las ecuaciones 40 y 41

$$y = \frac{b\rho}{4}$$

$$y = \frac{1.30 \times 0.225}{4} = 7.335E - 2$$

$$Z = \frac{1 + y + y^2 - y^3}{(1 - y^3)} - (14.76t - 9.76t^2 + 4.58t^3)y + (90.7t - 242.2t^2 + 42.4t^3)y^{(1.18+2.82t)}$$

$$Z = 1.355 - 0.501 - 1.17E - 2 = 0.84$$

Cálculo de las pérdidas hidrodinámicas utilizando las ecuaciones 36, 37 y 38 del marco referencial:

$$s = 0.0375 \frac{Gh}{T_A Z_A}$$

$$s = 0.0375 \frac{0.714 \times 233.1}{586.90 \times 0.5} = 2.12E - 2$$

$$f = \frac{0.0175}{d^{0.224}}$$

$$f = \frac{0.0175}{2.441^{0.224}} = 1.43E - 2$$

$$P_S^2 - e^s P_w^2 = 6.67 \times 10^{-4} \frac{(QT_A Z_A)^2 (e^s - 1) f}{d^5}$$

$$P_S^2 = e^{2.12E-2} 1419^2 + 6.67 \times 10^{-4} \frac{(11800 \times 586.90 \times 0.5)^2 (e^{2.12E-2} - 1) 1.43E - 2}{2.441^5} = 1444.06 \text{ psia}$$

Cálculo de la temperatura de entrada al segmento utilizando la ecuación 34

$$K = \frac{43.37}{7.45 \times 6.77 \times 40.19} = 2.28E - 2$$

$$T_{LX} = T_1 - G_T \{L_X - K^{-1} [1 - EXP(-KL_X)]\}$$

$$T_{LX} = 640 - 7.722E - 3 \{6759.9 - (2.28E - 2)^{-1} [1 - EXP(-2.28E - 2 \times 6759.9)]\} = 588.13$$

Régimen de Flujo

Estimación de las constantes de distribución de las especies utilizando la ecuación número 28:

$$K_i = \frac{EXP[5.37(1 + \omega_i)(1 - t)]}{P_{Ri}}$$

$$K_1 = \frac{EXP[5.37(1 + 0.0104)(1 - 1/1.71)]}{2.14} = 4.44$$

Tabla 22. Constantes de Distribución o Constantes de Equilibrio

Compuestos	K _i
Metano	4.447
Etano	0.719
Propano	0.188
i-Butano	0.075
Butano	0.054
i-Pentano	0.023
Pentano	0.018
Hexano	0.006
Heptano	0.002
Eicosano	0.000
Nitrógeno	10.718
CO ₂	1.167
H ₂ S	0.387
Agua	0.002

Estimación del reparto de las especies en las fases y fracción vaporizada a través de la ecuación 32 y 33:

$$f\left(\frac{V}{F}\right) = \sum_{i=1}^n \frac{(K_i - 1)z_i}{1 + (K_i - 1)\frac{V}{F}} = 0$$

$$f\left(\frac{V}{F}\right)_1 = \frac{(4.447 - 1)0.8718}{1 + (4.447 - 1)1} = 0.19$$

$$\left(\frac{V}{F}\right)_{K+1} = \left(\frac{V}{F}\right)_K + \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(K_i - 1)z_i}{1 + (K_i - 1)\frac{V}{F}}}{\sum_{i=1}^n \frac{(K_i - 1)^2 z_i}{\left[1 + (K_i - 1)\frac{V}{F}\right]^2}}$$

$$\left(\frac{V}{F}\right)_{K+1} = 1 - \frac{29168.13 - 1}{260670388824.269} = 0.9999$$

$$x_1 = \frac{0.8718}{1 + (4.44 - 1)0.9373} = 0.206 \quad y_1 = 0.206 \times 4.44 = 0.91$$

Tabla 23. Composiciones del líquido y del vapor

Compuesto	Xi	Yi
Metano	0.206	0.916
Etano	0.062	0.045
Propano	0.082	0.016
i-Butano	0.031	0.002
Butano	0.060	0.003
i.Pentano	0.034	7.863E-4
Pentano	0.033	5.908E-4
Hexano	0.047	3.023E-4
Heptano	0.215	5.135E-4
Eicosano	0.051	5.81468E-09
Nitrógeno	7.429E-05	7.962E-4
CO ₂	0.012	0.014
H ₂ S	0	0
Agua	0.161	2.900E-4

Cálculo del volumen molar del vapor utilizando la ecuación número 13, y su coeficiente de fugacidad usando la ecuación 23 de la sección de marco referencial:

$$P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a(T)}{v(v+b)}$$

$$v = \frac{10.73 \times 587}{1431.7} + 0.5 - \frac{7292.98 \times (4.39 - 0.5)}{1431.7 \times 4.39(4.39 + 0.5)} = 3.98 \frac{ft^3}{lbmol}$$

$$A = \frac{1431.7 \times 7292.68}{10.73^2 \times 587^2} = 0.263$$

$$B = \frac{1431.7 \times 0.5}{10.73 \times 587} = 0.115$$

$$\ln \Phi_i = \frac{b_i}{b_{MIX}} (Z - 1) - \ln(Z - B) - \frac{A}{B} \left[\frac{2 \sum x_j a_{ij} + E_i}{a_{MIX}} - \frac{b_i}{b_{MIX}} \right] \ln \left(1 + \frac{B}{Z} \right)$$

$$\Phi_i = EXP \left\{ \frac{0.477}{0.5} (0.885 - 1) - \ln(0.885 - 0.115) - \frac{0.263}{0.115} \left[1.8479 - \frac{0.477}{0.5} \right] \ln \left(1 + \frac{0.115}{0.885} \right) \right\} = 0.9$$

Cálculo del volumen molar y coeficiente de fugacidad del líquido utilizando las ecuaciones 13 y 23 respectivamente

$$v = 1.51^3 - \frac{10.73 \times 587 \times 1.51^2}{1431.7} + \frac{76611.94 - 1.51 \times 10.73 \times 587 - 1431.7 \times 1.51^2}{1431.7} \times 1.51 - \frac{1.51 \times 76611.94}{1431.7} = 2.038 \frac{ft^3}{lbmol}$$

$$A = \frac{1431.7 \times 76611.94}{10.73^2 \times 587^2} = 2.76$$

$$B = \frac{1431.7 \times 1.51}{10.73 \times 587} = 0.34$$

$$\Phi_1 = EXP \left\{ \frac{0.477}{1.51} (0.46 - 1) - \ln(0.46 - 0.34) - \frac{2.76}{0.34} \left[0.56 - \frac{0.477}{1.51} \right] \ln \left(1 + \frac{0.34}{0.46} \right) \right\} = 2.38$$

Cálculo de las constantes de distribución a través de la ecuación 29

$$K_i = \frac{y_i}{x_i} = \frac{\Phi_i^l}{\Phi_i^v}$$

$$K_1 = \frac{2.38}{0.905} = 2.63$$

Tabla 24. Coeficientes de fugacidad

Compuesto	Φ_V	Φ_L
Metano	0.9050	2.3812
Etano	0.6455	0.5767
Propano	0.5038	0.2107
i-Butano	0.4192	0.1006
Butano	0.3865	0.0749
i.Pentano	0.3070	0.0351
Pentano	0.3057	0.0294
Hexano	0.2433	0.0110
Heptano	0.1890	0.0044
Eicosano	0.0057	0.0000
Nitrógeno	1.1031	6.4317
CO ₂	0.7718	1.0235
H ₂ S	0.6731	0.3853
Agua	0.7851	0.6577

Tabla 25. Constante de Equilibrio Líquido-Vapor

Compuesto	Ki
Metano	2.631
Etano	0.893
Propano	0.418
i-Butano	0.240
Butano	0.194
i-Pentano	0.114
Pentano	0.096
Hexano	0.045
Heptano	0.023
Eicosano	0.000
Nitrógeno	5.831
CO ₂	1.326
H ₂ S	0.572
Agua	0.838

Cálculo del régimen de Flujo

Cálculo de las velocidades de las fases usando las ecuaciones 43, 44 y 45

$$V_{SL} = \frac{q_L}{A}$$

$$V_{SL} = \frac{2.45E-2}{3.24E-2} = 0.75 \frac{pie}{s}$$

$$V_{SG} = \frac{q_G}{A}$$

$$V_{SG} = \frac{1.32}{3.24E-2} = 40.90 \frac{pie}{s}$$

$$V_M = V_{SL} + V_{SG}$$

$$V_M = 0.75 + 40.90 = 41.66 \frac{pie}{s}$$

Cálculo de las velocidades modificadas y régimen de flujo utilizando las ecuaciones 46 y 47 mencionadas en el marco referencial

$$V_{MSL} = V_{SL} \left(\frac{\rho_L \sigma_{WA}}{\rho_W \sigma} \right)^{1/4}$$

$$V_{MSL} = 0.75 \left(\frac{31.08 \times 72}{62.4 \times 10.48} \right)^{1/4} = 1.025 \frac{pie}{s}$$

$$V_{MSG} = V_{SG} \left(\frac{\rho_G}{\rho_{AIRE}} \right)^{1/3} \left(\frac{\rho_L \sigma_{WA}}{\rho_W \sigma} \right)^{1/4}$$

$$V_{MSG} = V_{SG} \left(\frac{5.03}{0.0764} \right)^{1/3} \left(\frac{31.08 \times 72}{62.4 \times 10.48} \right)^{1/4} = 224.71 \frac{pie}{s}$$

$$V_{MSL} \leq 4$$

$$70 \left[(100 \times 1.025)^{-0.152} \right] = 34.62 \leq 224.71 \frac{pie}{s}$$

Régimen Anular

Cálculo de las pérdidas hidrostáticas y por fricción a través de las ecuaciones 66, 67, 68 y 69

$$\lambda_L = \frac{q_L}{q_L + q_G}$$

$$\lambda_L = \frac{1.32}{1.32 + 2.45E - 2} = 0.018$$

$$\left(\frac{dP}{dZ}\right)_{HH} = \frac{g}{g_c} (\rho_L \lambda_L + \rho_G (1 - \lambda_L))$$

$$\left(\frac{dP}{dZ}\right)_{HH} = \frac{32.2}{32.2} (31.08 \times 0.018 + 5.03(1 - 0.018)) = 5.50$$

$$\left(\frac{dP}{dZ}\right)_F = \frac{f_M \rho_G V_{SG}^2}{2g_c d}$$

$$\left(\frac{dP}{dZ}\right)_F = \frac{1.8E - 25.03 \times 40.90^2}{2 \times 32.2 \times 0.2} = 11.78$$

$$\left(\frac{dP}{dZ}\right)_{ANULAR} = \left(\frac{dP}{dZ}\right)_{HH} + \left(\frac{dP}{dZ}\right)_F$$

$$\left(\frac{dP}{dZ}\right)_{ANULAR} = 5.50 + 11.78 = 17.28 \frac{lbf}{pie^2}$$

Determinación de la Velocidad de Corrosión

Cálculo del valor del pH utilizando la ecuación 8:

$$\left(\frac{2K_{SP}}{K_H K_0 K_1 K_2 pCO_2}\right) C_{H^+}^4 + C_{H^+}^3 + C_{BICARB} C_{H^+}^2 - (K_H K_0 K_1 pCO_2 + K_W) C_{H^+} - 2K_H K_0 K_1 K_2 pCO_2 = 0$$

$$114343399.32 C_{H^+}^4 + C_{H^+}^3 + 0 C_{H^+}^2 - 1.45E - 8 \times C_{H^+} - 1.23E - 17 = 0$$

$$C_{H^+} = 5.027E - 6$$

$$pH = -\log_{10}(5.027E - 6) = 5.29$$

Cálculo del esfuerzo de pared a través de la ecuación nueve, el factor de fricción es calculado a través de la ecuación 10:

$$f_M = 0.001375 \left[1 + \left(2000 \frac{\varepsilon}{d} + 10^6 \frac{\mu_M}{(\rho_L \lambda_L + \rho_G (1 - \lambda_L)) d V_M} \right) \right]$$

$$f_M = 0.001375 \left[1 + \left(2000 \frac{0.00015}{0.2} + 10^6 \frac{9.86E - 6}{4729050.911} \right) \right] = 4.73E - 3$$

$$S = 0.5(\rho_L \lambda_L + \rho_G (1 - \lambda_L)) f_M V_M^2$$

$$S = 0.5 \times 5.5 \times 4.73E - 3 \times 41.61^2 = 33.64 Pa$$

Cálculo de la velocidad de corrosión a través de la ecuación 4:

$$CR_T = K_T fCO_2^{0.62} \left(\frac{S}{19} \right)^{0.146 + 0.0324 \log(fCO_2)} f(pH)$$

$$CR_T = 8.927 \times 1.06^{0.62} \left(\frac{33.64}{19} \right)^{0.146 + 0.0324 \log(1.06)} \times 0.63 = 6.36$$

$$CR_T = 10.695 \times 1.06^{0.62} \left(\frac{33.64}{19} \right)^{0.146 + 0.0324 \log(1.06)} \times 0.48 = 5.82$$

Finalmente, interpolando entre estos dos valores se tiene una velocidad de corrosión $CR_T = 6.02 \text{ mm/año}$.