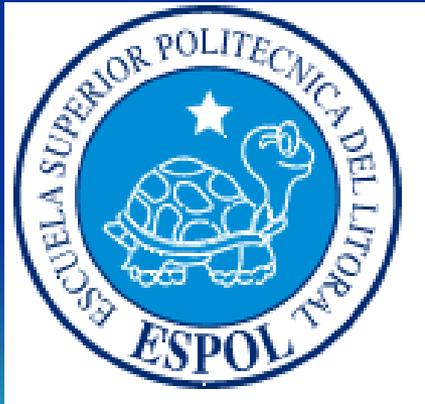


# “EVALUACIÓN DE UN PROYECTO DE INYECCIÓN DE NITRÓGENO EN EL CAMPO ANCÓN”



- **Realizado por:**
  - Jaled José Juez Juez
  - Ronald Lizandro Ruiz Alvear
- **Director:**
  - Ing. Ricardo Gallegos O.

# INTRODUCCIÓN

El mercado actual petrolero, con su marcada tendencia al alza del precio del barril crudo de petróleo, nos obliga a incentivar el aumento de producción petrolera en el país.

Es muy conveniente el incremento de la producción actual petrolera junto a las futuras acciones de exploración, para lo cual existen técnicas de recuperación como la “Inyección de Nitrógeno”

El aplicar esta técnica en el país lo convierte en un proyecto piloto de recuperación de petróleo, y debemos aprovechar los actuales precios altos del mercado internacional.



# CAPÍTULOS

1. Generalidades
2. Datos del Campo Ancón
3. Selección del Área para la Prueba Piloto de Inyección de Nitrógeno
4. Análisis Sobre Pruebas de Inyectividad
5. Análisis de Facilidades de Superficie
6. Estudio Técnico – Económico de la Inyección de Nitrógeno
7. Conclusiones y Recomendaciones

# CAPÍTULOS

1. Generalidades
2. Datos del Campo Ancón
3. Selección del Área para la Prueba Piloto de Inyección de Nitrógeno
4. Análisis Sobre Pruebas de Inyectividad
5. Análisis de Facilidades de Superficie
6. Estudio Técnico – Económico de la Inyección de Nitrógeno
7. Conclusiones y Recomendaciones

# CAPÍTULO I

## GENERALIDADES



# HISTORIA DEL CAMPO ANCÓN

- Los campos petroleros de la Península de Santa Elena, fueron los primeros productores de petróleo del Ecuador. El petróleo en la Península, era conocido desde tiempos prehispánicos (La Libertad y Baños de San Vicente)
- Estos manaderos de hidrocarburos despertaron interés de empresas Británicas, como Ancón Oil Company, la cual, inició el descubrimiento de estos campos con fines comerciales. El pozo ANC0001 fue perforado en 1911 en las proximidades de Anconcito, con una profundidad final de 2116 pies (Formación Socorro).





# HISTORIA DEL CAMPO ANCÓN

- Ancón Oil Company 1911
- Anglo-Ecuadorian Oildfields Ltd (AEO) 1917 (Zona Sur)
- Ecuador Oildfields Ltd 1934
- Manabí Exploration Co. (MEC) 1951
- Tenesse Ecuador (TenEc.) 1958
- Cautivo Empresa Petrolera Ecuatoriana (CEPECA) 1963



# HISTORIA DEL CAMPO ANCÓN

- Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana CEPE 1976 (700 BPPD)
- Acuerdo entre Petroproducción y la ESPOL. Decreto ejecutivo N 2186 del 11 de octubre de 1994.
- En abril de 1996, la ESPOL suscribió con la Compañía General de Combustibles (CGC), un contrato de operación por 20 años del bloque de producción y exploración.
- Actualmente opera PACIFPETROL. Se han producido cerca de 120 MMBP de 36 API promedio con una producción promedio de 2000 BPPD.



# HISTORIA DE LA INYECCIÓN DE NITRÓGENO EN EL MUNDO

- Existen pocos antecedentes acerca de la inyección de Nitrógeno a nivel mundial, pero podremos citar brevemente el desarrollo de un proyecto de Inyección de Nitrógeno con similar condiciones al de nuestro Campo como lo es el Campo Cantarell.



# INYECCIÓN DE NITRÓGENO EN EL CAMPO CANTARELL

- Cantarell es el más grande de México y ocupa el sexto lugar en importancia en el mundo.
- Inició en 1979 y dos años llegó a 1.15 MMBPPD, luego descendió a 1 MMBPPD, nivel que se mantuvo hasta 1995.
- En forma natural, se redujo la presión del yacimiento de modo que se necesitaba contrarrestar esto suministrando energía al yacimiento, inyectándole algún fluido.



- Pemex, el Instituto Mexicano del Petróleo, el Instituto Francés del Petróleo, así como otros laboratorios en México y en el extranjero realizaron estudios para Cantarell.
- El costo del ciclo completo de producir, comprimir e inyectar el nitrógeno, es mucho menor que la reinyección de gas natural.
- Suministro de nitrógeno a boca de pozo por 15 años a \$0.36 por millar de pies cúbicos.



# CAPÍTULO II

## DATOS DEL CAMPO ANCÓN



- A partir de los datos del mapa geológico del bloque y de la sísmica realizada por CGC junto con los datos de los perfiles de los pozos, se pudo construir un mapa estructural.
- Ancón corresponde a terrenos de origen marino, inclinados hacia el continente, afectados por una considerable sedimentación durante el Paleoceno y Eoceno.



- Como consecuencia, cuatro mega discordancias regionales definen a las siguientes Formaciones:
  - Santa Elena
  - Azúcar
  - Passage Beds-Santo Tomás (PB-ST)
  - Clay Pebble Beds (CPB).



# PRODUCCIÓN ACUMULADA DEL CAMPO ANCÓN

SECCIÓN	Np
066	4'343.889
067	21'147.619
068	7'135.010
069	6'362.476
070	6'097.004
071	5'257.992
072	10'629.062
073	13'459.548
074	9'438.257
CARMELA	1'362.353
CERTEZA	3'680.824
MORRILLO	1.605
PETROPOLIS	2'078.050
SANTA PAULA	5'392.351
TIGRE	11'251.228
<b>Np. Total</b>	<b>107'637.271</b>



# CAPÍTULO III

## SELECCIÓN DEL ÁREA PARA LA PRUEBA PILOTO DE INYECCIÓN DE NITRÓGENO



# CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DEL ÁREA SELECCIONADA

- Para realizar la prueba de inyección de nitrógeno se deben tener presentes parámetros geológicos y petrofísicos.
- Se analizó las diferentes estructuras existentes en el Campo “Gustavo Galindo Velasco”, de entre las cuales, la estructuras que mejor se adapta para la realización de éste proyecto corresponde a la *“Sección 67”*.

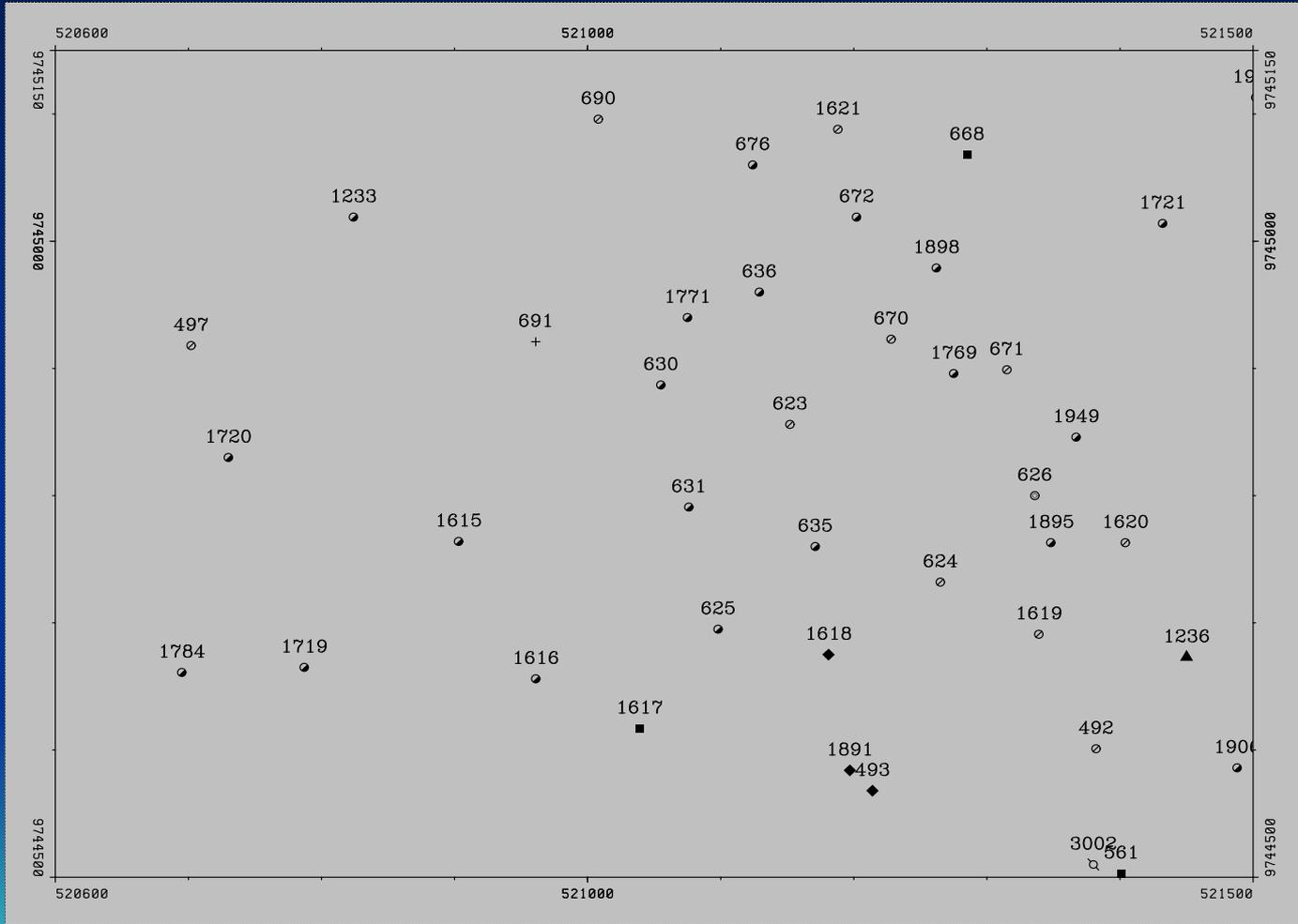


- Dicha selección se realizó en base a su casi homogeneidad, puesto que presenta canales casi uniformes, así existirá un mejor aprovechamiento del  $N_2$  como gas “barredor” del petróleo existente en la arenisca C2 de la Formación CPB.
- La formación CPB fue depositadas en ambientes de talud. Las rocas existentes ahí son arcillas conglomeráticas formadas en el Eoceno medio del Terciario.





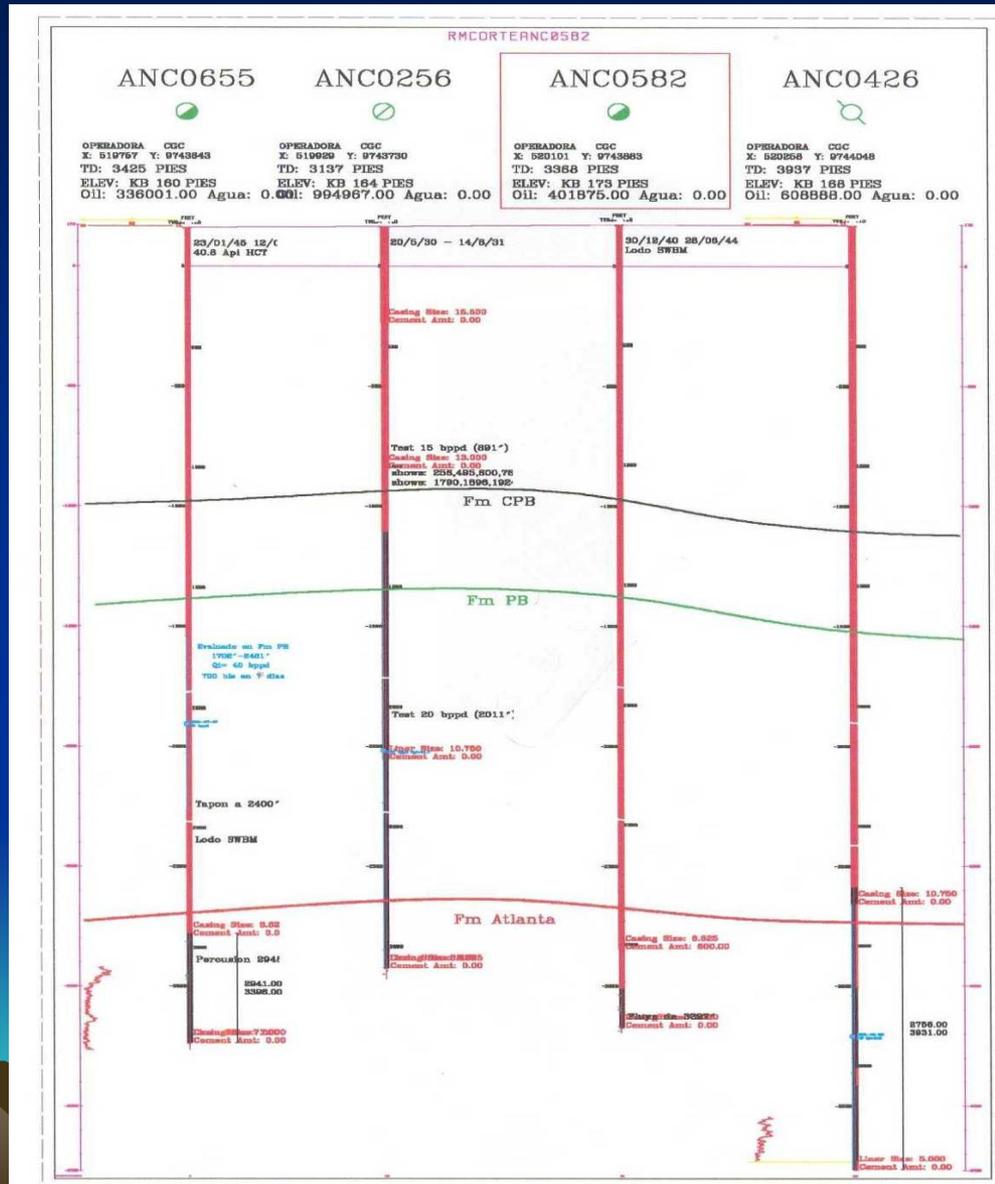
# MAPA DEL ÁREA SELECCIONADA



# POZOS SELECCIONADOS

Pozo Inyector	Pozo Productor	Distancia a pozo productor (m)	Espesor de pozo productor (pies)
1615	691	165	46
	1617	200	46
	1719	150	31
	1720	185	33

# CANAL DE LA FORMACIÓN CPB



# DATOS PETROFÍSICOS

- $P = 400$  psi
- $K = 50$  md
- $\phi = 11$  %
- $\beta_o = 1.115$  rb/STB
- $GOR = 350$  SCF/STB
- $S_o = 70$  %

SW

ANC1617



TD: 1100 PIES

Pet(bls): 8362.80

Agua(bls): 421.80

ANC0625



TD: 1127 PIES

Pet(bls): 13380.00

Agua(bls): 65.80

ANC0623

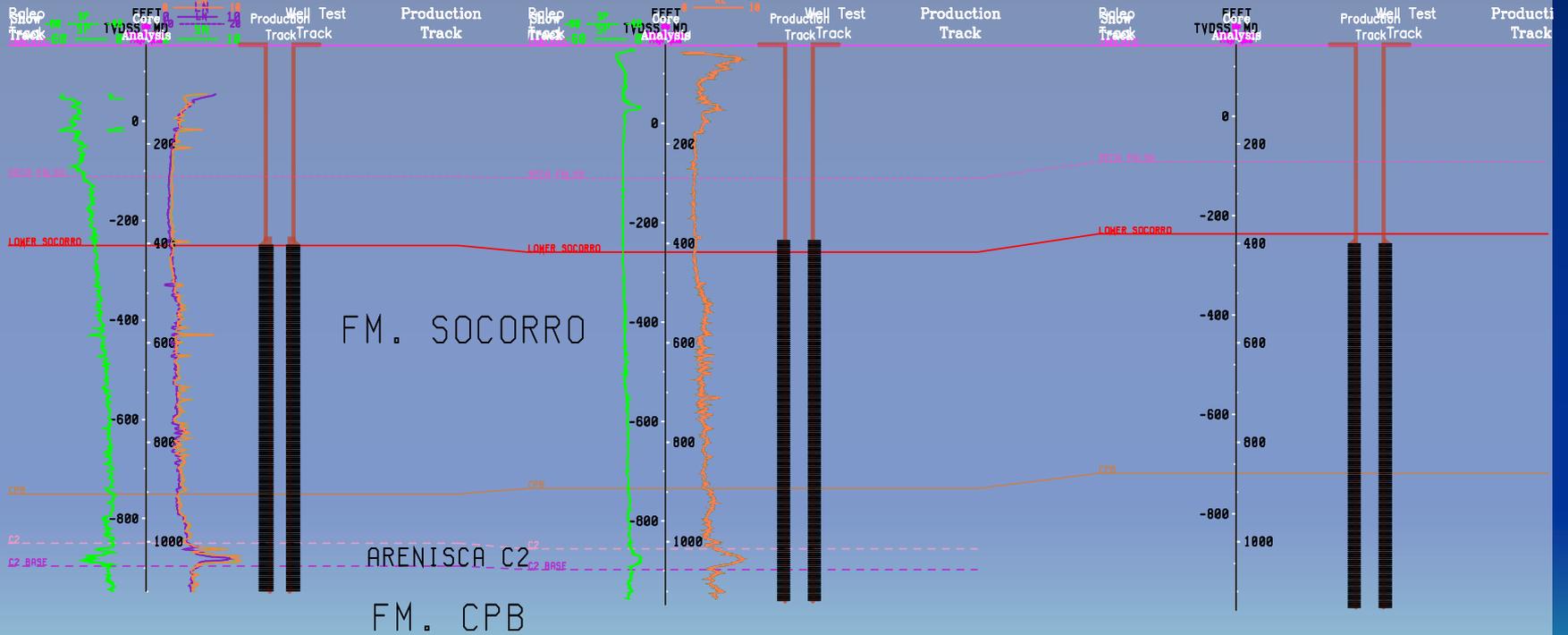


TD: 1138 PIES

Pet(bls): 47235.00

Agua(bls): 0.00

NE



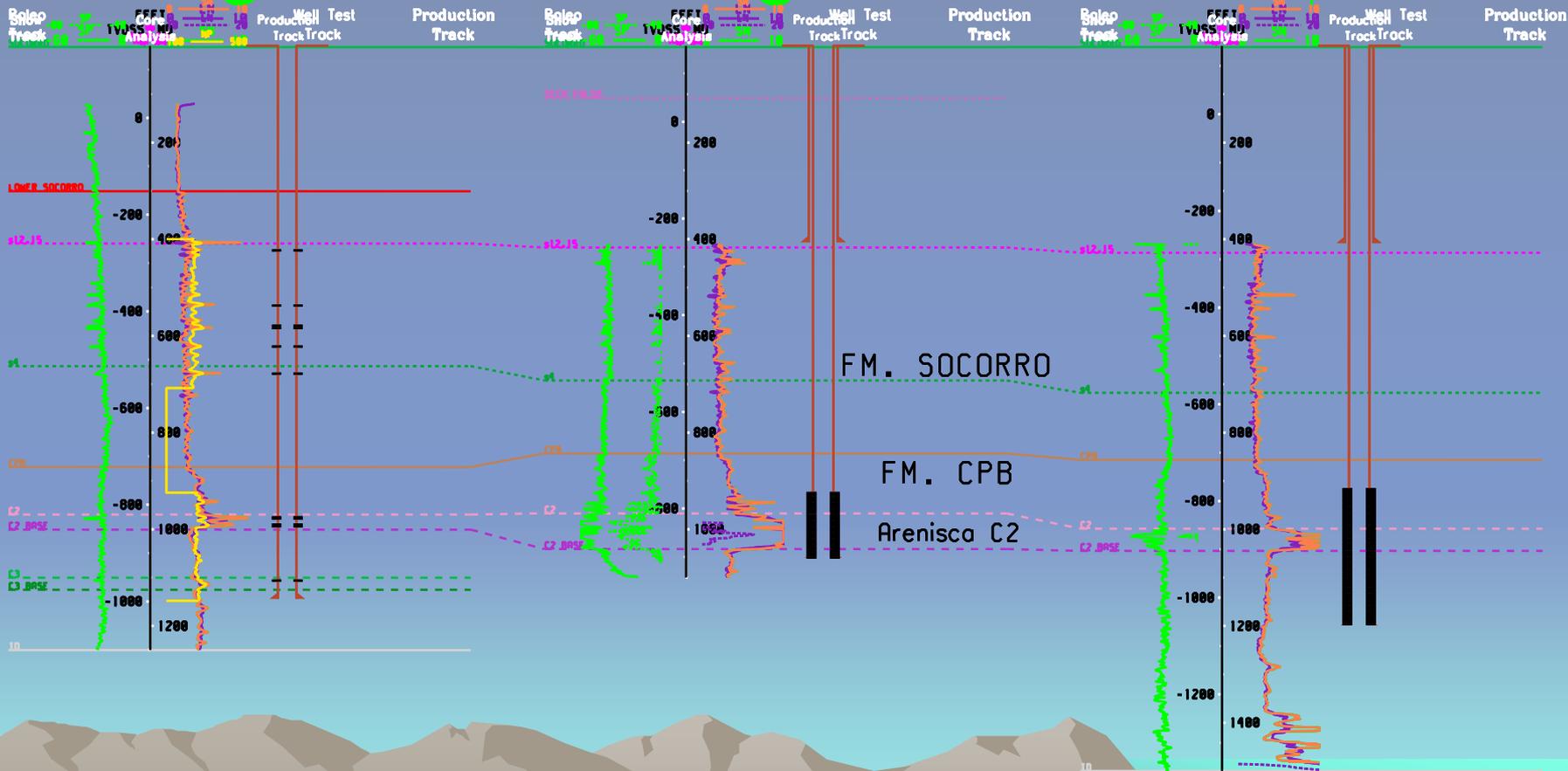
SW

ANC1719

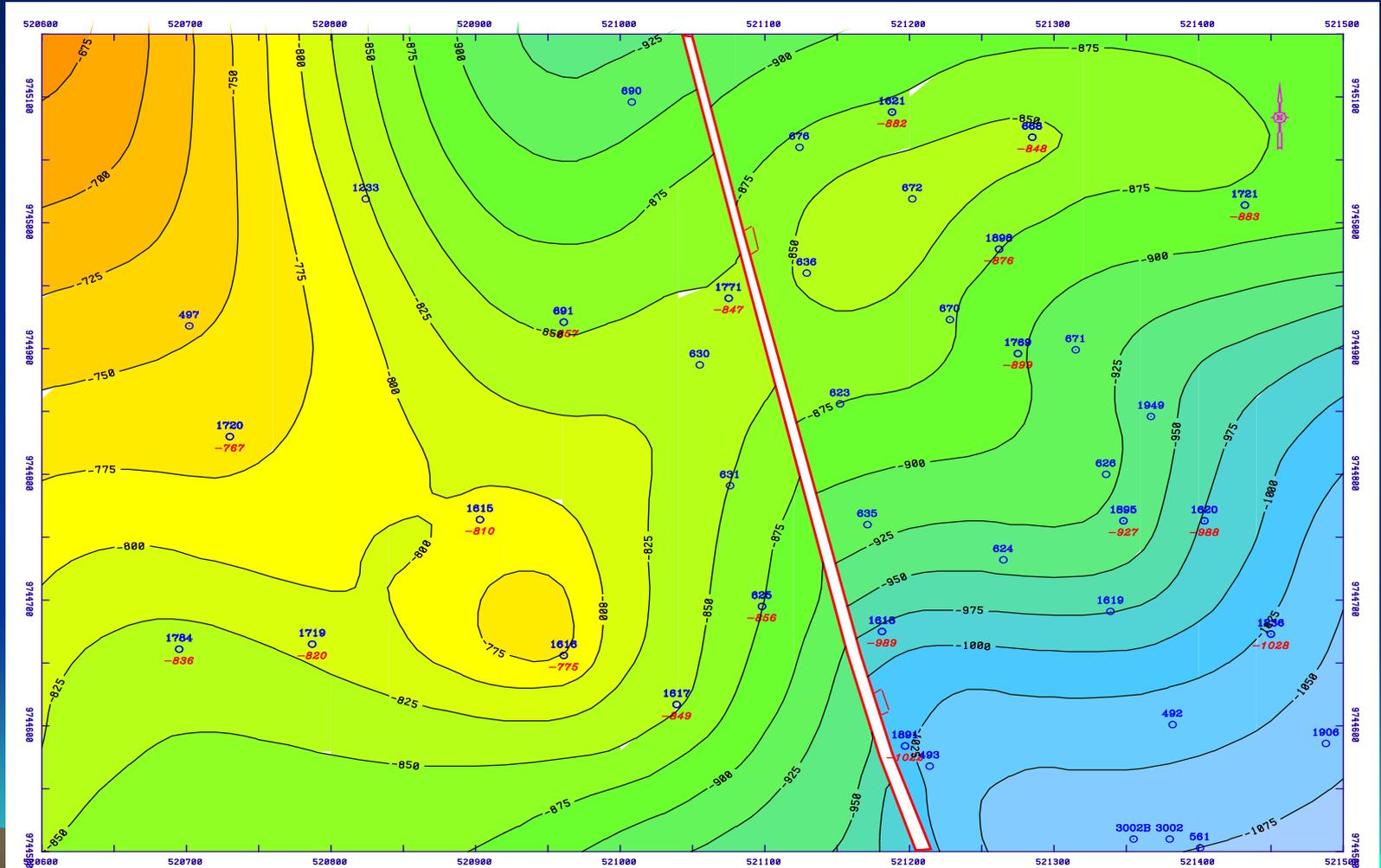
ANC1615

ANC0691

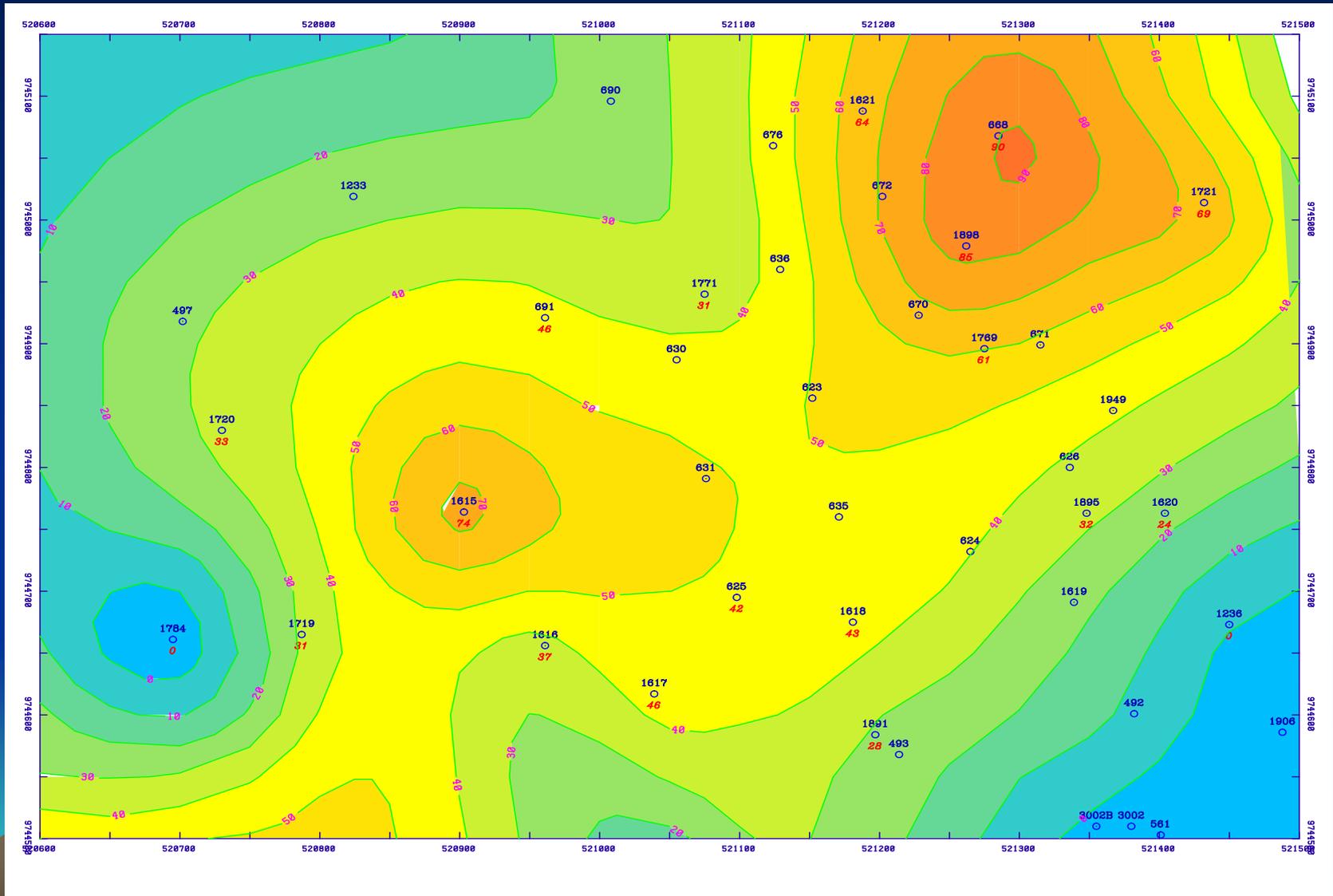
NE



# MAPA ESTRUCTURAL DEL AREA SELECCIONADA



# MAPA ISÓPACO DEL AREA SELECCIONADA



# CAPÍTULO IV

## ANÁLISIS SOBRE LAS PRUEBAS DE INYECTIVIDAD

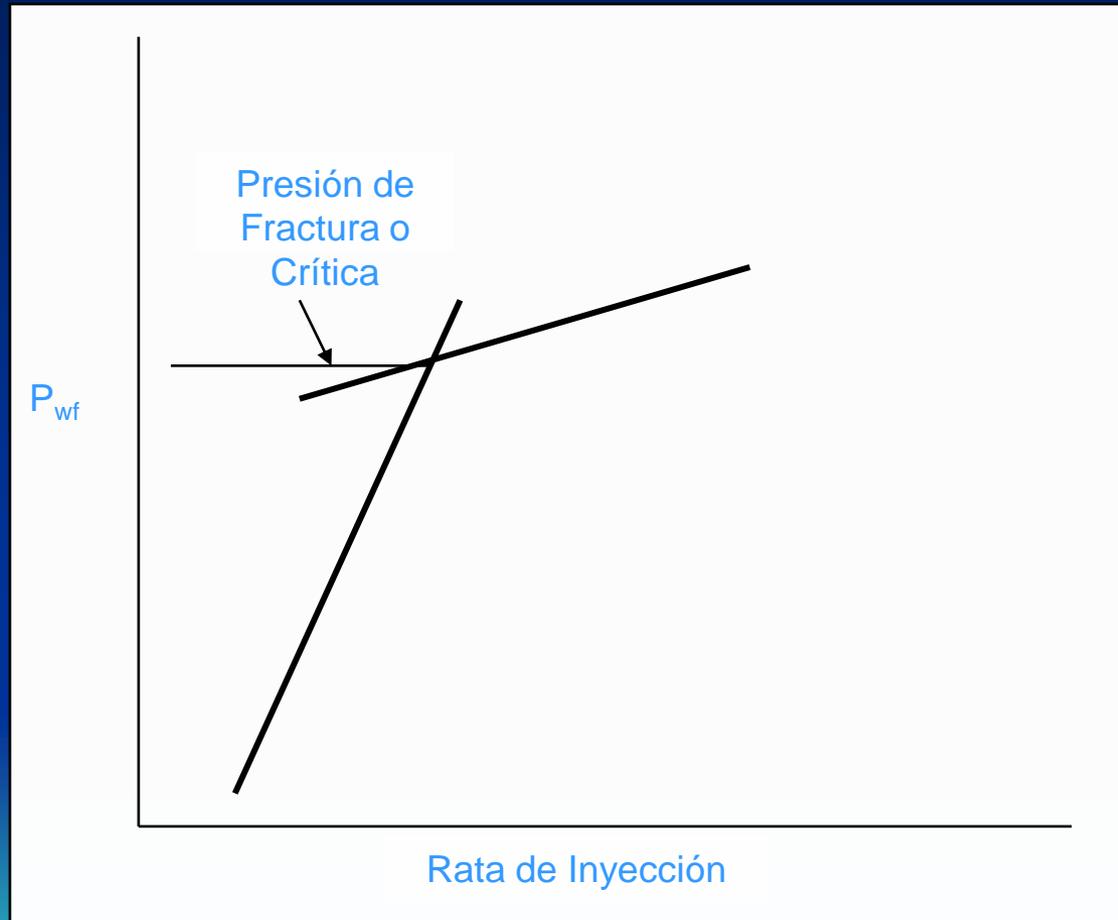


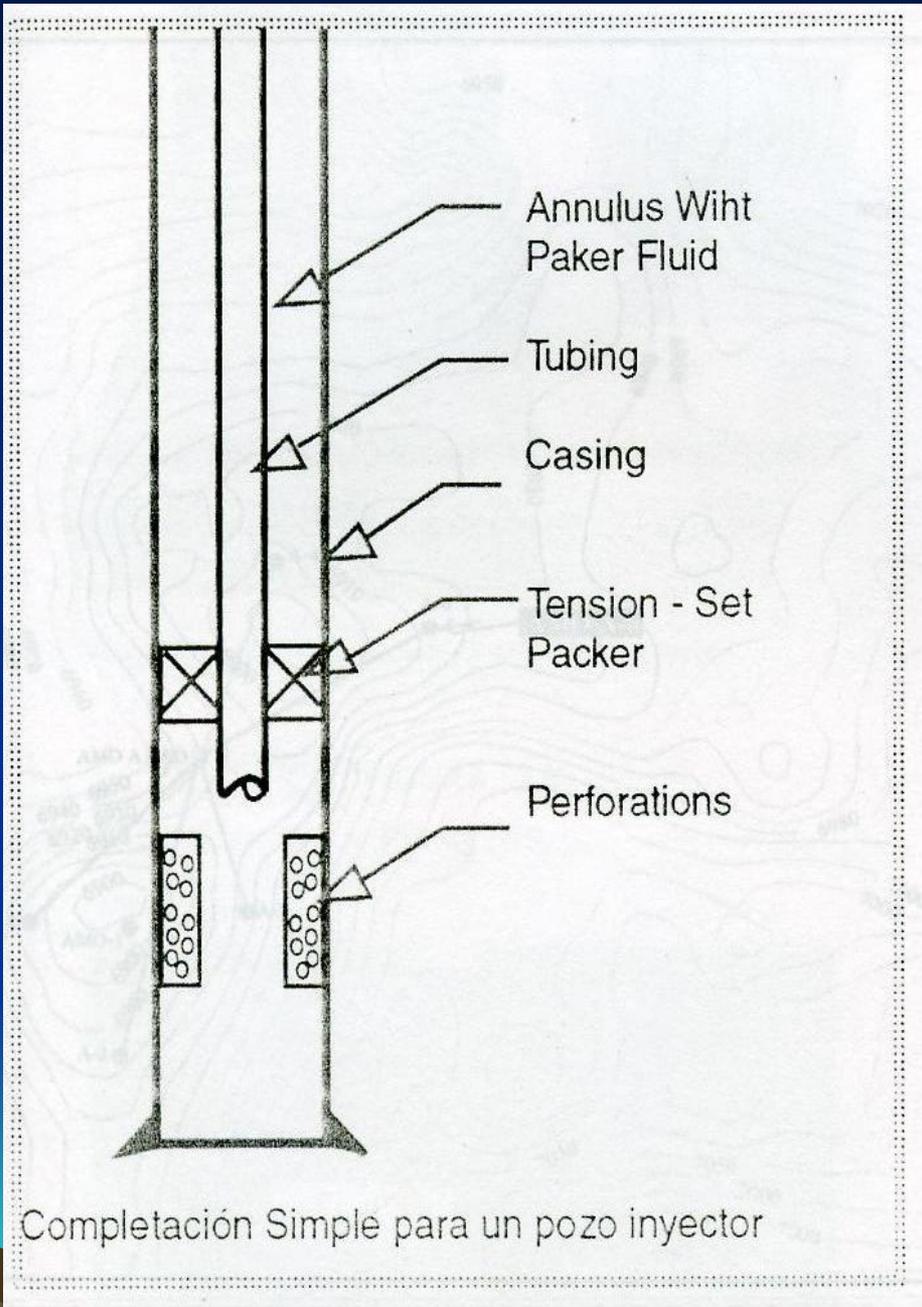
# DISEÑO DE LA PRUEBA DE INYECTIVIDAD

- Permite conocer comportamiento a distintas presiones y tener una idea más clara de la capacidad de admisión de la arena C2
- Si la tasa de inyección no es acorde al aumento de la presión de fondo sino mucho mayor, se crea una ruptura o fractura en la formación debido a una presión llamada presión de fractura ( $P_f$ ).



# DETERMINACIÓN DE $P_f$





Completación Simple para un pozo inyector

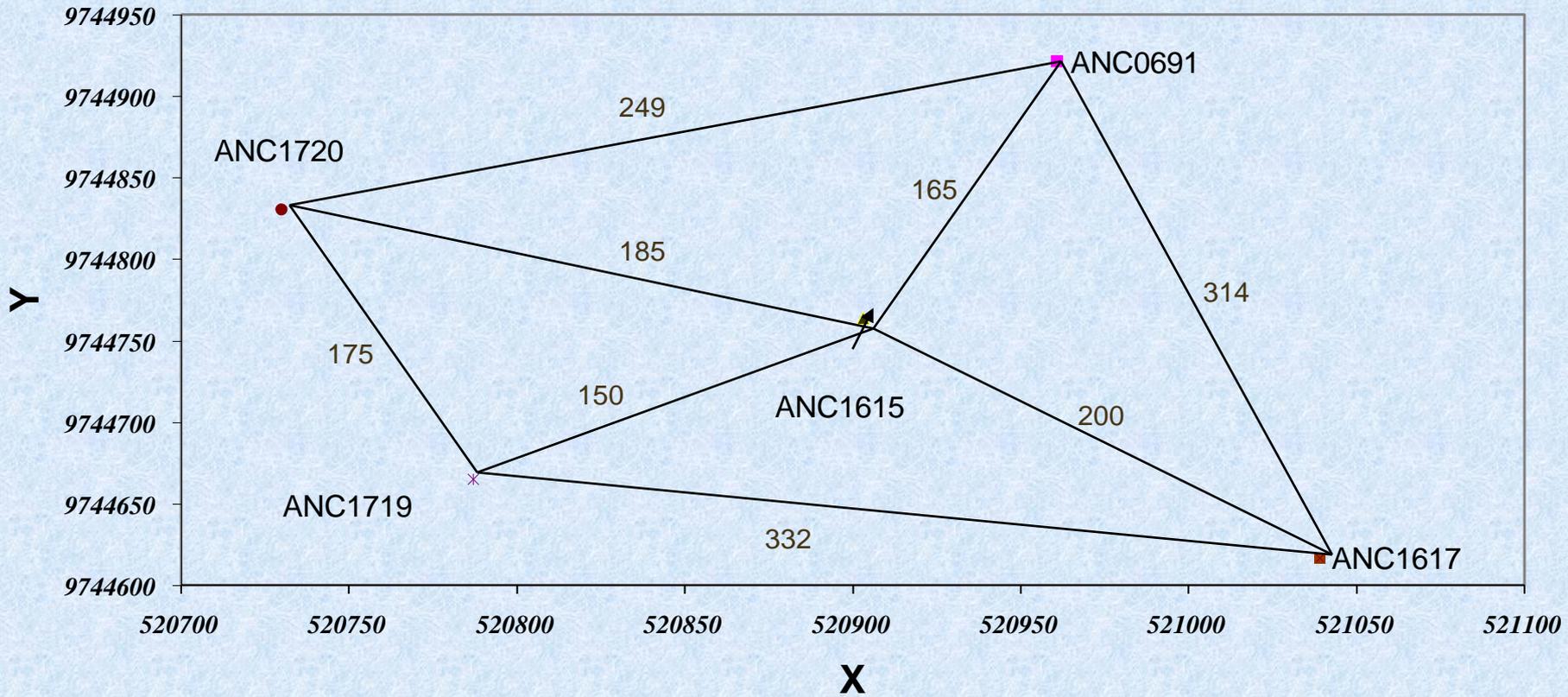
# ANÁLISIS DEL INCREMENTO DE LAS RESERVAS RECUPERABLES

- Primeramente, se calculó el volumen de petróleo de la arena C2 (4 triángulos).

$$P = \left( \frac{a + b + c}{2} \right)$$

$$A = \sqrt{P(P - a)(P - b)(P - c)}$$

# ARREGLO DE POZOS



**ARREGLO INYECTOR 1615**

<b>POZOS</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>P</b>	<b>Área m<sup>2</sup></b>	<b>Área pie<sup>2</sup></b>
<b>1720-1615-0691</b>	<b>185</b>	<b>249</b>	<b>165</b>	<b>299.5</b>	<b>15261.88</b>	<b>164277.5</b>
<b>0691-1615-1617</b>	<b>165</b>	<b>314</b>	<b>200</b>	<b>339.5</b>	<b>14516.93</b>	<b>156258.9</b>
<b>1617-1615-1719</b>	<b>200</b>	<b>332</b>	<b>150</b>	<b>341</b>	<b>9091.27</b>	<b>97857.6</b>
<b>1719-1615-1720</b>	<b>150</b>	<b>175</b>	<b>185</b>	<b>255</b>	<b>12245</b>	<b>131804.1</b>
<b>ÁREA TOTAL</b>					<b>51115.1</b>	<b>550198.2</b>

<b>POZO</b>	<b>h (pies)</b>
<b>691</b>	<b>46</b>
<b>1615</b>	<b>74</b>
<b>1617</b>	<b>46</b>
<b>1719</b>	<b>31</b>
<b>1720</b>	<b>33</b>
<b>h promedio</b>	<b>46,00</b>

- Ahora, teniendo las longitudes del espesor y el área del terreno, y sabiendo que el buzamiento es aproximadamente cero, logramos obtener el volumen de la arenisca C2 del arreglo multiplicando ambos valores:

$$V_{C2} = A \times h_{promedio}$$

$$V_{C2} = 550198,15 \times 46$$

$$V_{C2} = 25'309,114.82 \text{ pies}^3$$

$$POES_{C_2} = \frac{V_{C_2} \times \phi \times S_o}{5.615}$$

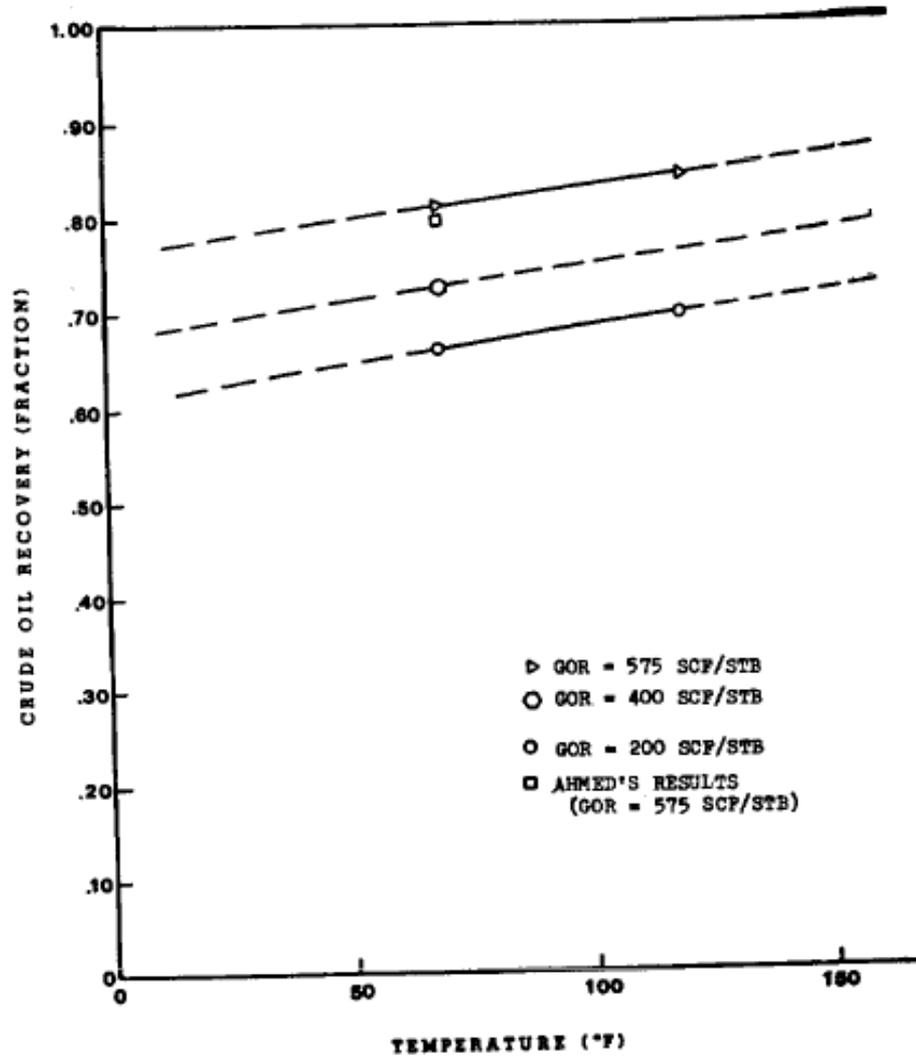
$$POES_{C_2} = 347070.68 \text{ } rb$$

$$N = \frac{POES_{C_2}}{\beta_o}$$

$$N = 311274.15 \text{ } STB$$

# ESTUDIOS DEL FACTOR DE RECOBRO (R) DEL Ph.D. CHARLES F. ALCOCER

SUMARIO DE EXPERIMENTOS					
Experimento	T (°F)	GOR (SCF/S TB)	S <sub>o</sub>	β <sub>o</sub>	R
1	72	575	77	1,29	83%
2	69,5	575	76,38	1,29	81,10%
3	70,5	400	78	1,2	75,40%
4	69,5	200	77	1,1	66%
5	120	575	80,2	1,29	84,50%
6	120	200	80,88	1,1	69,40%
7	120	575	80,2	1,29	68,80%
8	120	575	25	1,29	10,20%
9	120	200	79	1,1	88,90%



# ECUACIÓN DEL FACTOR DE RECOBRO (R) DEL Ph.D. CHARLES F. ALCOCER

$$R = 0.5546756 + 0.00053705 \times T + 0.00041454 \times GOR$$

El coeficiente de correlación para la ecuación del *Ph.D. Charles F. Alcocer* es de 0.99590.

$$R = 0.5546756 + 0.00053705 \times 120 + 0.00041454 \times 350$$

$$R = 0,7642106$$

- En el cálculo del factor de recobro del presente estudio utilizamos un factor de seguridad del 20% lo que nos permite obtener el siguiente factor de recobro, valor que será utilizado para las predicciones de producción

$$R_{proyecto} = R - 0.20 \times R$$

$$R_{proyecto} = 0,7642106 - 0.20 \times 0,7642106$$

$$R_{proyecto} = 0,61136848$$

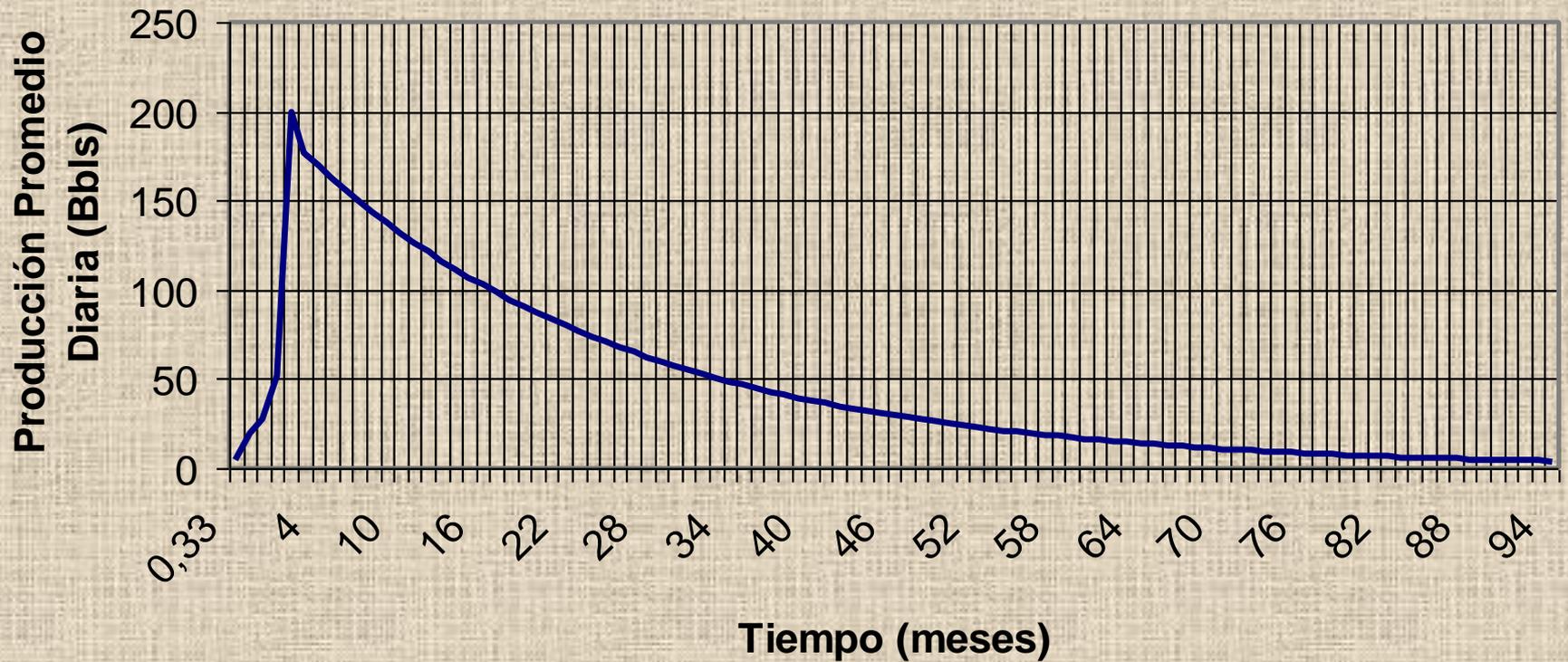
$$N_p = N \times R_{\text{proyecto}}$$

$$N_p = 311274,148 \times 0,61136848$$

$$N_p = 190303,203 \text{ Bbls}$$

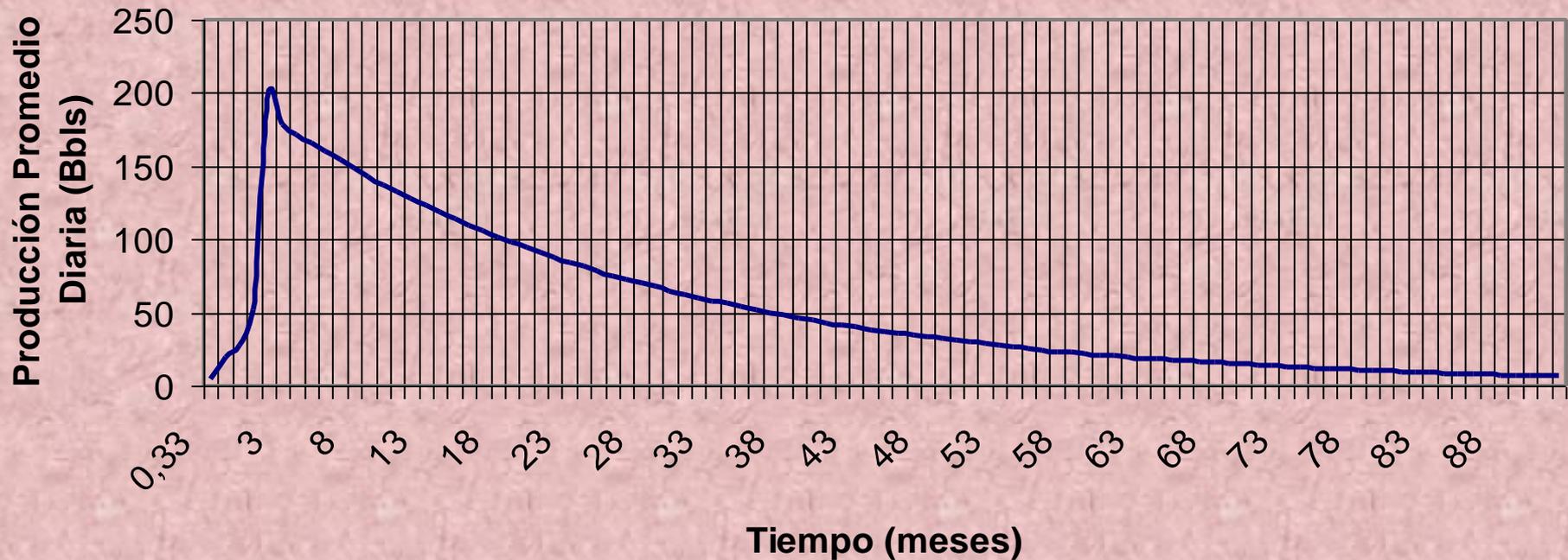
# CURVA DE DECLINACIÓN DE LA PRODUCCIÓN A UNA $S_0$ DE 50%

## CURVA DE DECLINACIÓN



# CURVA DE DECLINACIÓN DE LA PRODUCCIÓN A UNA $S_0$ DE 60%

Curva de Declinación



# CURVA DE DECLINACIÓN DE LA PRODUCCIÓN A UNA $S_0$ DE 70%

Curva de Declinación



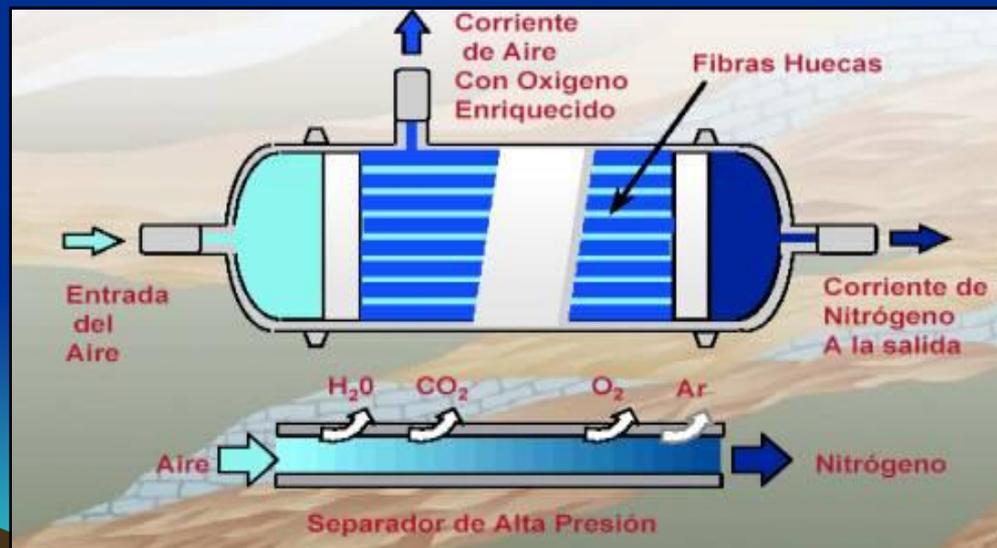
# CAPÍTULO V

## ANÁLISIS DE FACILIDADES DE SUPERFICIE



# EQUIPOS A UTILIZARSE EN LA INYECCIÓN

- El sistema de generación de Nitrógeno en sitio está basado en la tecnología de membranas filtrantes o tamices moleculares.
- El Aire está compuesto de aproximadamente 78% de Nitrógeno, 21% de Oxígeno y 1% de Gases raros e impurezas.



# PAQUETE ESTÁNDAR DE GENERACIÓN E INYECCIÓN DE N<sub>2</sub> DE WEATHERFORD PARA 1350 SCFM Y 2000 PSI DE INYECCIÓN

- Compresor de aire primario Ingersoll-Rand XHP 900/350
- Unidad de membrana de nitrógeno NPU 1500
- Compresor reciprocante booster Joy WB12
- Compresor reciprocante booster Joy WB11
- Personal requerido



# COMPRESOR DE AIRE PRIMARIO INGERSOLL-RAND XHP 900/350

- Dos fases de compresores de tornillos helicoidales
- Rata de 900SCFM@ 350PSI@ STP. Ratas de 380BHP @1800RPM
- 325 PSI de presión después del enfriamiento.
- Controles neumáticos y mecánicos.
- Velocidad del motor sincronizada con la succión del compresor.
- Movidos por motor Caterpillar 3406 TA a Diesel, cuatro ciclos.
- Montado en el campo sobre patines para reducción de sonido.





# UNIDAD DE MEMBRANA DE NITRÓGENO NPU 1500

- Entrada mínima de aire: 600 SCFm
- Entrada máxima de aire: 2800 SCFm
- Salida mínima de nitrógeno: 300 SCFm
- Salida máxima de nitrógeno: 1500 SCFm
- Presión máxima de entrada: 200 PSI
- Presión máxima de descarga: 175 PSI
- Temperatura máxima de entrada: 120 °F
- Temperatura de descarga del nitrógeno: 50 a 110 °F
- Contenido máximo de oxígeno: 10% por volumen
- Contenido mínimo de oxígeno: 0.5% por volumen
- Propia planta generatriz de energía de 440 VDC/75 KVA
- Movida por un motor DEUTZ de 6 cilindros, 148 BHP a 2100 RPM
- Equipado con un sistema de control el cual monitorea la pureza y presión de flujo, y realiza ajustes automáticamente a la Unidad de membrana de nitrógeno.
- La unidad se haya montado sobre patines.
- Rango de pureza de descarga de nitrógeno: Mínimo 95% y máxima 97%



# COMPRESOR RECIPROCANTE BOOSTER JOY WB12

- Dos cilindros, una o dos etapas, reciprocante.
- Capacidad de compresión con una presión de entrada de 165 PSI:
  - Una etapa: 3000 SCFm a 650 PSI de salida
  - Dos etapas: 2150 SCFm a 1400 PSI de salida mínima
  - Dos etapas: 1550 SCFm a 1850 PSI de salida máxima
- Rangos de presión certificados por la ASME y Alberta Boiler Code
- Movido por Motor DETROIT 12V a Diesel de 2 strokes, control computarizado.
- Emisión de sonido menores a 10.000 decibeles, a 10 pies de distancia desde la unidad.
- Montado sobre patines para atenuar el sonido de operación.





# COMPRESOR RECIPROCANTE BOOSTER JOY WB11

- Un cilindro, reciprocante. Una etapa.
- Capacidad de compresión con una presión de entrada de 1400 PSI:
  - 1500 SCFm a 4000 PSI de salida
- Rangos de presión certificados por los códigos ASME
- Movido por Motor DETROIT 6V a Diesel de 2 strokes.
- Emisión de sonido menores a 100 decibeles, a 10 pies de distancia desde la unidad.
- Montado sobre patines para atenuar el sonido de operación.





# PERSONAL REQUERIDO

Para la ejecución de las labores se requieren cuatro personas trabajando en dos turnos de 12 horas que serán provistos por WEATHERFORD para cubrir las siguientes posiciones:

- Dos supervisores
- Dos operadores de equipos



# NECESIDADES DEL CAMPO PARA LA UBICACIÓN DE LAS FACILIDADES DE SUPERFICIE

- En base a las medidas de largo y ancho de los equipos, se procedió a realizar los cálculos de las áreas que ocupan los mismos.

$$A_{TOTAL} = A_{comp\ prim} + A_{UGN} + A_{JOY\ WB12} + A_{JOY\ WB11} + A_{CAS\ OPE} + A_{CON\ REP}$$

$$A_{TOTAL} = 47.79 + 31.68 + 29.46 + 13.20 + 15 + 15$$

$$A_{TOTAL} = 152.13 \text{ m}^2$$



- Cabe recalcar, que la caseta de operación y monitoreo y el container de repuestos y mantenimiento deben estar alejados de los otros equipos debido a las funciones que cumplen éstos últimos.
- Así se debe utilizar un área mayor a la arriba indicada en base a la distancia en la que la compañía operadora desee colocar la caseta y el container.



# CAPÍTULO VI

## ESTUDIO TÉCNICO – ECONÓMICO DE LA INYECCIÓN DE NITRÓGENO



# ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

<b>Item</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Tarifa Diaria US\$/Día</b>
1	Arme de Equipos	Día	1	8,000
2	Equipo en Operación	Día	1	13,000
3	Equipo en espera con personal	Día	1	8,000
4	Equipo en Espera sin personal	Día	1	4,000
5	Disponibilidad de Equipo	Día	1	3,500
6	Desarme de Equipos	Día	1	8,000

Costos de Alquiler de Sistema de N2 – Weatherford



$$I_{venta} = Q \times p_{Bbl}$$

$$I_{venta} = 200 \times 60$$

$$I_{venta} = US\$12000$$

Costo de operación diaria: US\$ 13,000

Compañía Ingersoll Rand: US\$. 1'500,000.

Costo de mantenimiento mensual: US\$ 10,000

- Para cuando el sistema de inyección de nitrógeno se halle en operación al mes número 11, se tendrá una producción acumulada de 49023 Bbls. de petróleo

$$Ganancia = N_p \times p_{barril} - C_{equipo} - M_{equipo} \times t$$

$$Ganancia = 49023 \times 35 - 1'500.000 - 10.000 \times 11$$

$$Ganancia = US\$ 105798$$

# LIMITE DE OPERACIÓN

Podemos observar que la producción necesaria para seguir obteniendo alguna renta corresponde al mes número 73, mediante la siguiente ecuación lo podemos apreciar:

$$Ganancia = Q_{mes} \times P_{barril} - M_{equipo} \times t$$

$$Ganancia = 287 \times 35 - 10.000 \times 1$$

$$Ganancia = 45$$



# CAPÍTULO VII

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



# CONCLUSIONES

- Se comprobó que el proyecto de inyección de  $n_2$  en la Sección 67 del Campo Ancón si es rentable si se procede a la opción de compra del Paquete de Generación e Inyección de nitrógeno.
- La factibilidad de inyección a mayores presiones y caudales, no es posible por las bajas presiones de fractura que tiene la formación CPB ya que se encuentra a mil pies de profundidad.
- Las Secciones 66 y 67 son las más aptas para la inyección de nitrógeno en la arenisca C2 por su poca heterogeneidad y la poca presencia de fracturas lo que permite correcta comunicación entre pozos.



# CONCLUSIONES

- El petróleo y el nitrógeno poseen gran miscibilidad lo que permite la rápida combinación de ambos elementos.
- El Campo Ancón presenta las suficientes facilidades de terreno para la colocación e implementación de los equipos del Paquete de Generación e Inyección de nitrógeno.
- El Campo Ancón posee pozos someros, lo cual permite utilizar completaciones sencillas tanto para los pozos productores como para el pozo inyector.
- Por medio de la Ecuación del Ph. D. Charles Alcocer, se determinó un factor de Recobro del 61% para el arreglo de pozos escogido.



# RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar una prueba de inyektividad por año a la arena C2 en el pozo inyector para analizar el comportamiento de la arena receptora del nitrógeno.
- Se recomienda realizar corridas de registros eléctricos en los pozos tomados para los arreglos y futuros arreglos para poseer datos confiables para sus respectivos análisis de producción.
- Buscar otra zona con características similares a las de la Sección 66 y 67 que permitan aplicar correctamente la inyección de nitrógeno.

# RECOMENDACIONES

- Aplicar este proyecto en campos de mayor producción como los de la Cuenca Oriental del Ecuador donde se observará con mayor notoriedad la eficiencia del proyecto.
- Se recomienda un mantenimiento periódico mensual de los equipos utilizados en la inyección.
- Realizar un estudio de factibilidad para poder inyectar en dos zonas distintas a la vez lo que aumentaría la producción en los pozos del arreglo.



**GRACIAS TOTALES  
POR SU ATENCIÓN**

