



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL



Aplicación del Análisis Nodal para la Evaluación del Sistema de Levantamiento Artificial por Bombeo Electro-Sumergible del Campo ESPOL III

DANILO ARCENTALES BASTIDAS

MARCO CAIZAPANTA APOLO

Febrero - 2011

AGENDA

1. Introducción
2. Antecedentes
3. Objetivos
4. Recopilación de Información
5. Procedimiento y Análisis de los datos
6. Resultados Obtenidos
7. Conclusiones
8. Recomendaciones

Introducción

Análisis Nodal pozos con levantamiento artificial por bombeo electrosumergible.

Centrilift – Baker Hughes

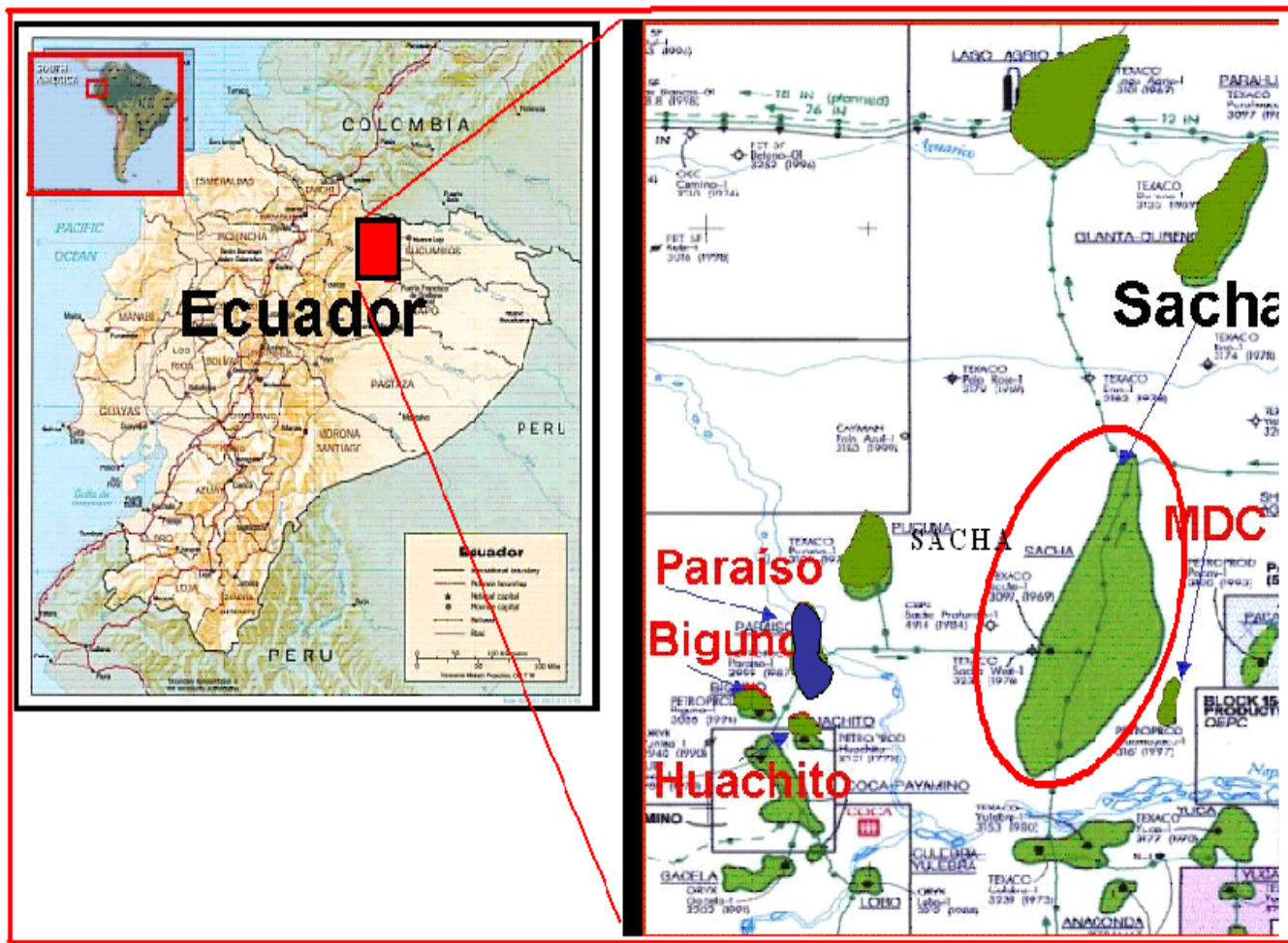
Antecedentes

EL mayor porcentaje de petróleo producido en nuestro país proviene de campos maduros, es decir que ya no cuentan con la suficiente energía para levantar el petróleo a la superficie naturalmente.

Campo ESPOL III

Para nuestro posterior análisis y evaluación hemos recopilado datos de información real de un campo el cual lo hemos llamado ESPOL III el mismo que se refiere al campo sacha.

Ubicación e Historia

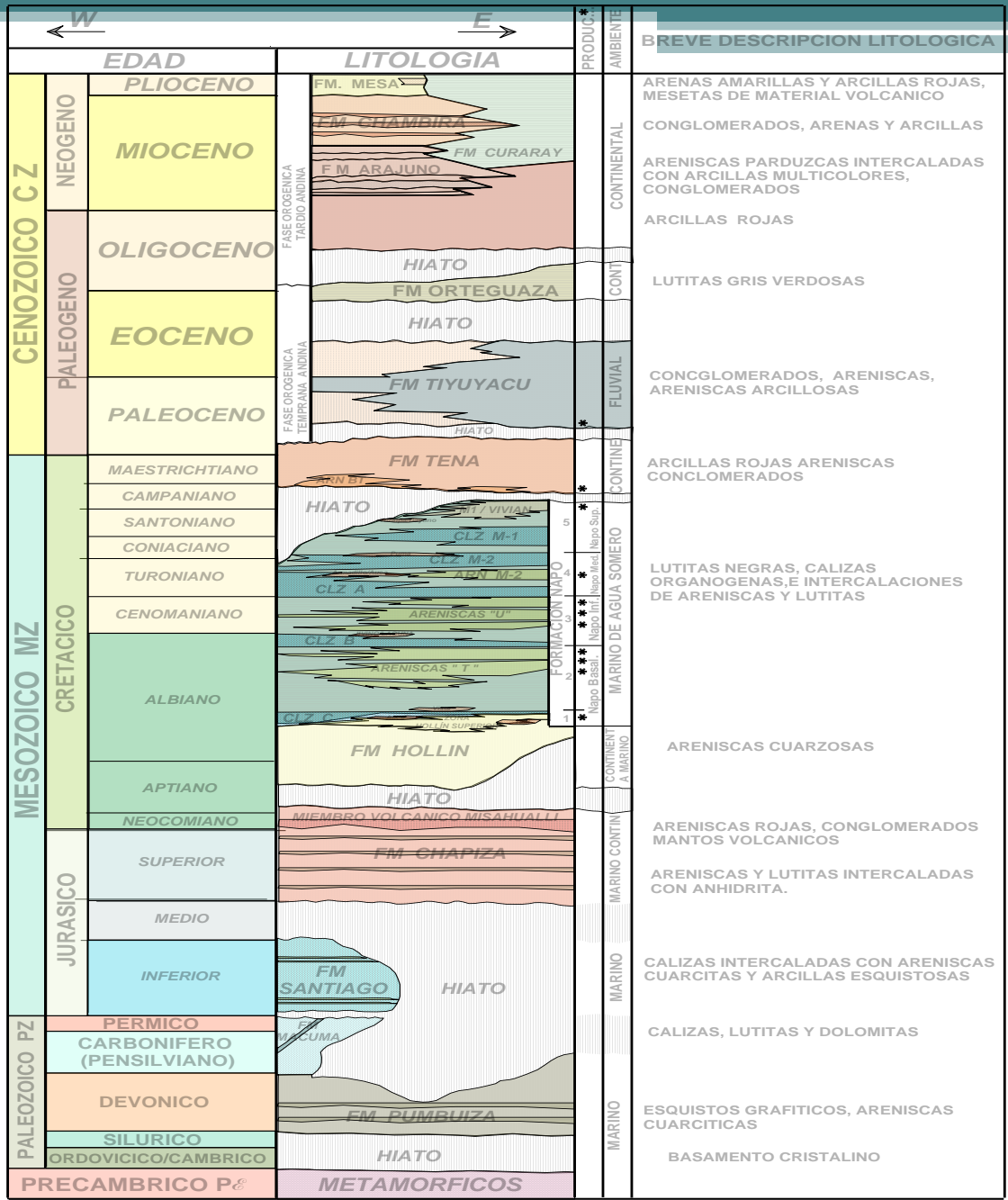


Características del Campo ESPOL III

- Es el segundo campo mas grande
- Con una longitud de 28.5 Km
- Tiene una producción promedio de alrededor de 49.000 BPPD de un crudo de 28° API, proveniente de las arenas Hollin, Basal Tena, Napo U, Napo T.
- Tiene 225 pozos perforados, de los cuales 158 son productores

Estratigrafía del Campo ESPOL III

COLUMNA ESTRATIGRAFICA CUENCA ORIENTE



Características Petrofísicas de los Yacimientos

RESERVORIO	VALORES PROMEDIOS				
	Espesor (ft)	Ø (%)	Sw (%)	So (%)	K mD
BT	9	18	34.3	65.7	300
U	20-60	17	12.8	67.2	100
Ts					
Ti	20-44	15.6	20	80	200
Hs	30-70	14	33.3	66.7	70
Hi	30-110	18	29.4	70.6	500

CAMPO	FORM.	PRESION DE BURBUJA	TEMP. YACIM.	GRADO API	GOR	Bo	GRAVEDAD DEL GAS
SACHA	Hinf	78	225	27.1	24	1.1625	1.5767
	Hsup	550	225	27.3	124	1.1334	1.3561
	T	1310	216	30.3	436	1.3726	1.2518
	U	1052	211	26.7	270	1.2423	1.1324
	Uinf	1170	218	22.8	224	1.2302	1.21
	BT	807	181	24.1	150	1.117	1.099

Descripción Técnica del Equipo de Bombeo Electro Sumergible

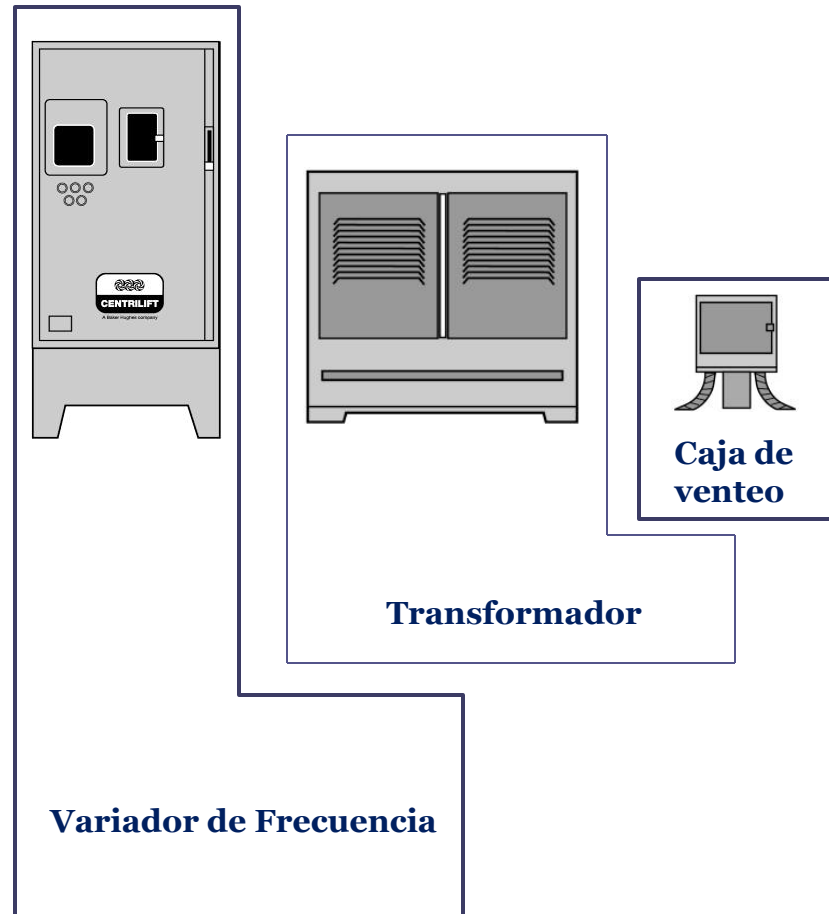
- En la actualidad existen en nuestro país pocos pozos terminados que poseen aun la suficiente energía en el yacimiento, para que el flujo llegue hasta la estación de producción a una tasa que sea rentable
- Por lo que se hace necesario proporcionar energía externa para levantar la columna de fluido desde los yacimientos hasta el centro de producción.

SISTEMA BES

EQUIPO DE FONDO

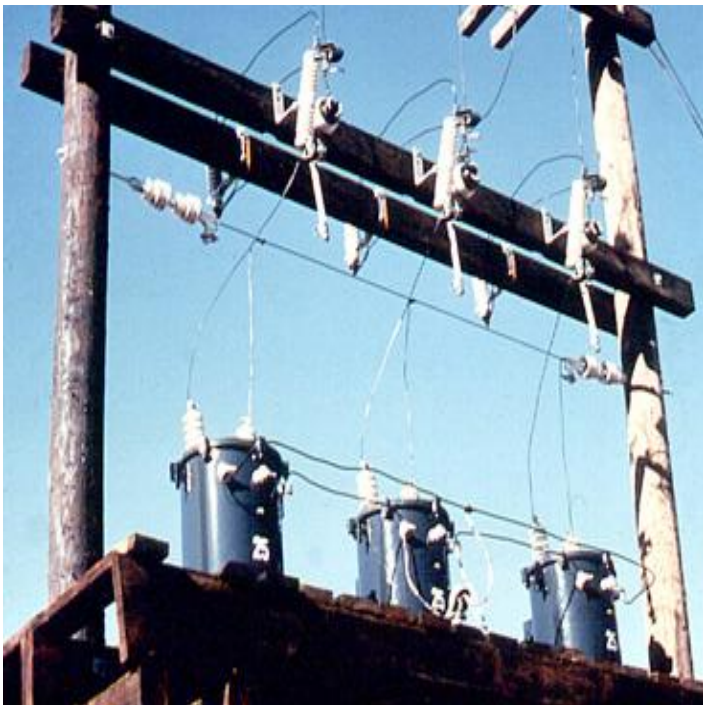


EQUIPO DE SUPERFICIE



Equipos de Superficie

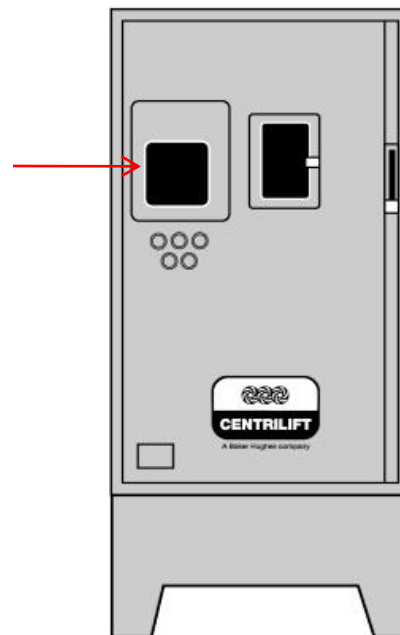
Transformador



Fuente: Ingeniería de Petróleo –

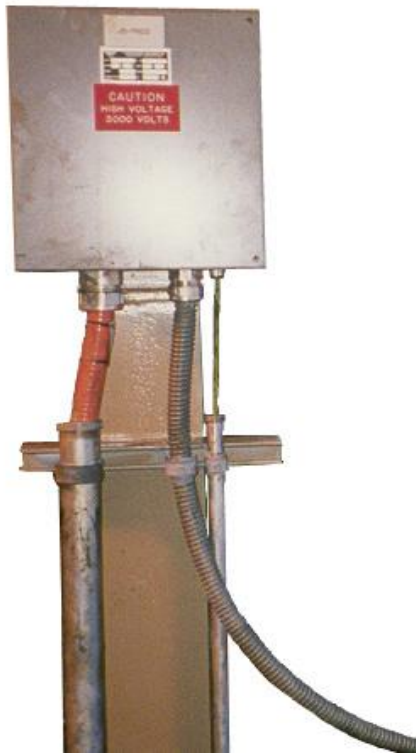
Variador

Carta
Amperimetrica



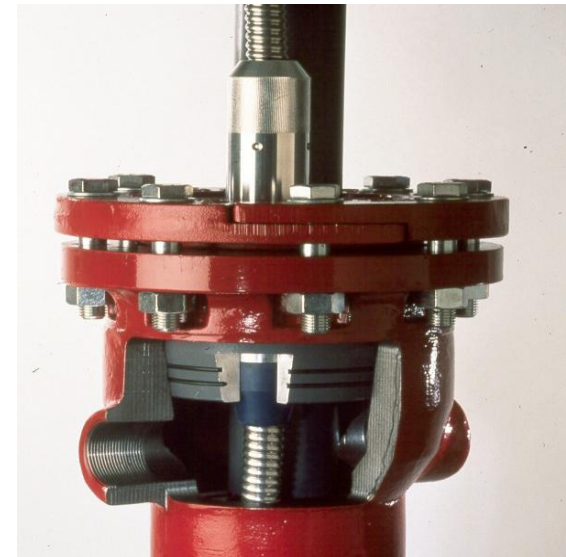
Fuente: Ingeniería de Petróleo –

Caja de Venteo



Fuente: Ingeniería de Petróleo –

Cabezal



Fuente: Ingeniería de Petróleo –

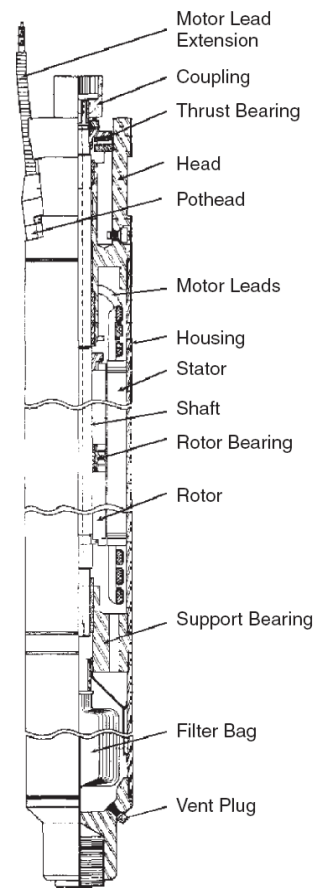
Equipos de Fondo

Sensor



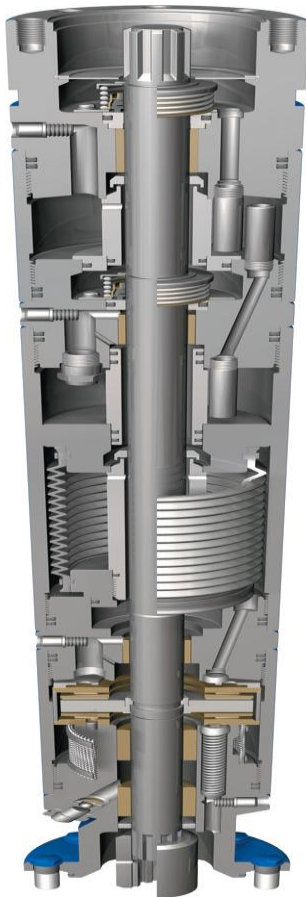
Fuente: Ingeniería de Petróleo –

Motor



Fuente: Ingeniería de Petróleo –

Protector



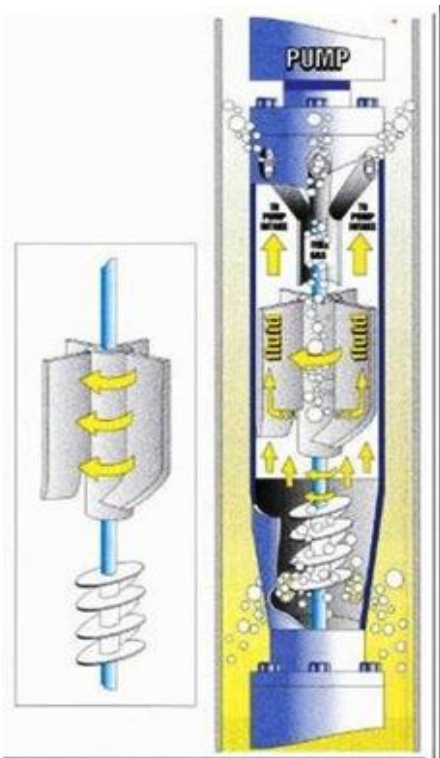
Fuente: Ingeniería de Petróleo –

Separador de gas o Intake



Fuente: Ingeniería de Petróleo –

Bomba



Cable de Potencia



**Producción de
altos volúmenes
de crudos**

**Usadas en pozos
desviados y costa
afuera**

**No dispone
de partes
movibles en
superficie**

VENTAJAS

**Disminucion del
impacto
ambietal**

**Se puede
monitorear a
traves de
controles
automatizados**

Altos costos

DESVENTAJAS

**No es conveniente
en pozos con alto
GOR y con
problemas de arena**

**La fuente de
electricidad debe
ser fiable y
confiable**

**Selección del equipo básico de un
sistema de Bombeo Electro sumergible
BES**

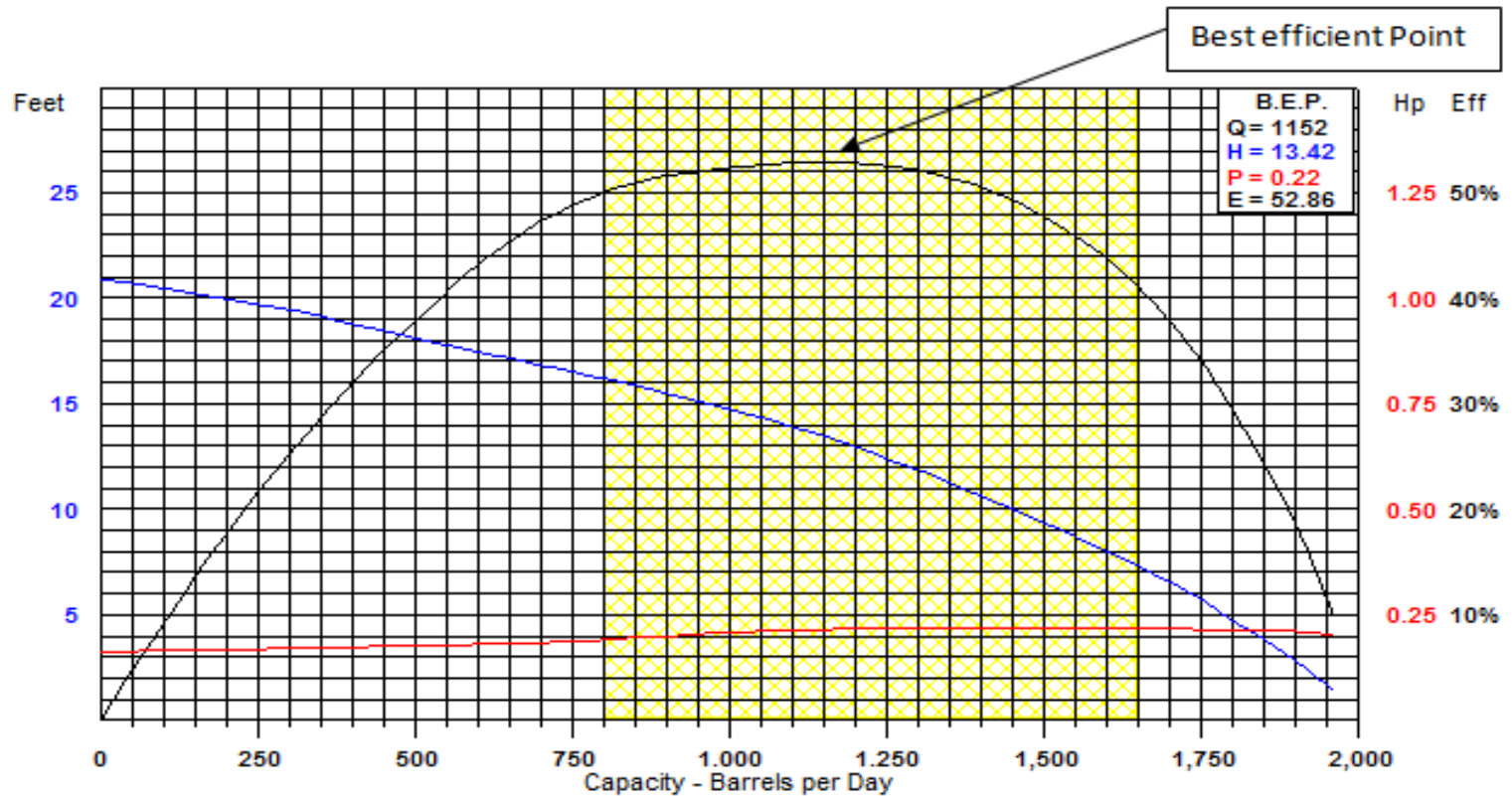
Datos básicos requeridos del pozo

- A continuación se describe la lista de parámetros básicos requeridos para el proceso de diseño:
- Datos del pozo:
- Datos de producción actuales
- Condiciones de fluido del pozo
- Fuentes de energía
- Posibles problemas del pozo

Selección de la Bomba Electro Sumergible

- Los principales parámetros que caracterizan una bomba son:
 - Serie de la Bomba
 - Tipo de bomba requerido
 - Número de etapas

CURVA DE RENDIMIENTO DE LA BOMBA



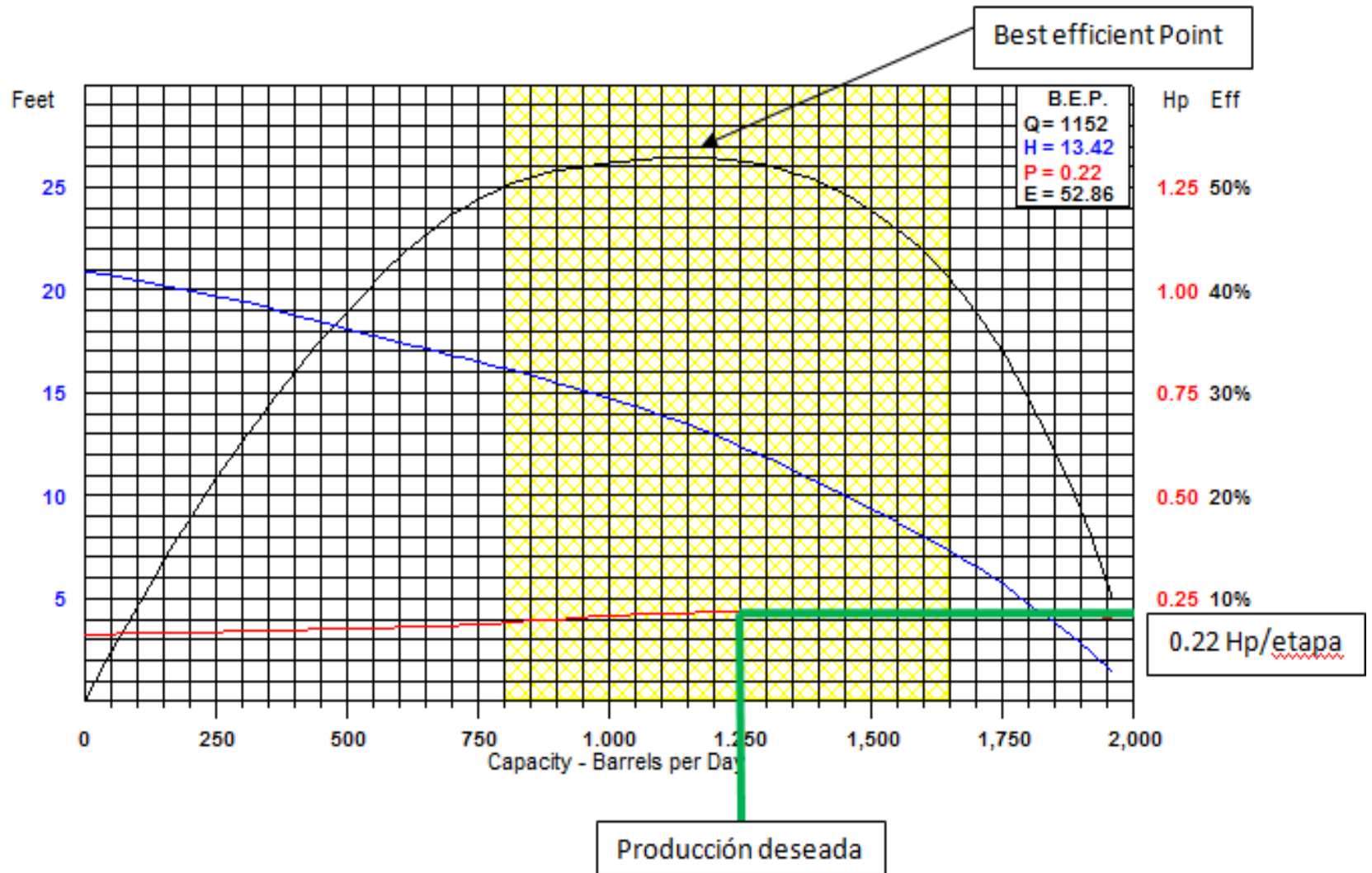
Downthrust

Rango óptimo de operación

Upthrust

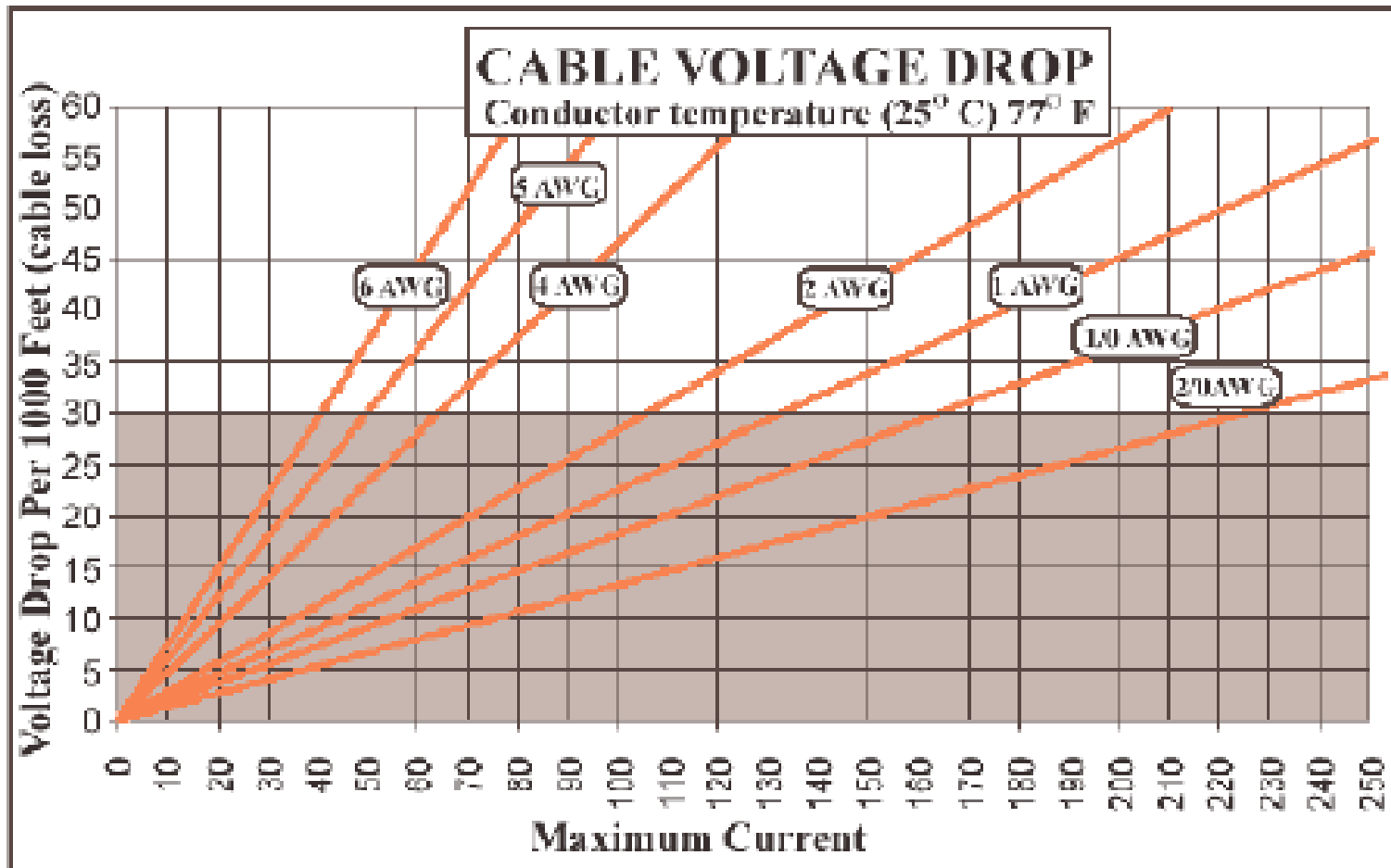
Selección del motor

- Debemos seleccionar el motor tomando en cuenta lo siguiente:
 - Diámetro del casing
 - Potencia requerida por la bomba en HP
 - Voltaje y amperaje disponible en superficie.



Selección del Cable de Potencia

- La selección del cable implica la determinación de:
 - diametro del cable
 - Tipo del cable
 - Longitud del cable

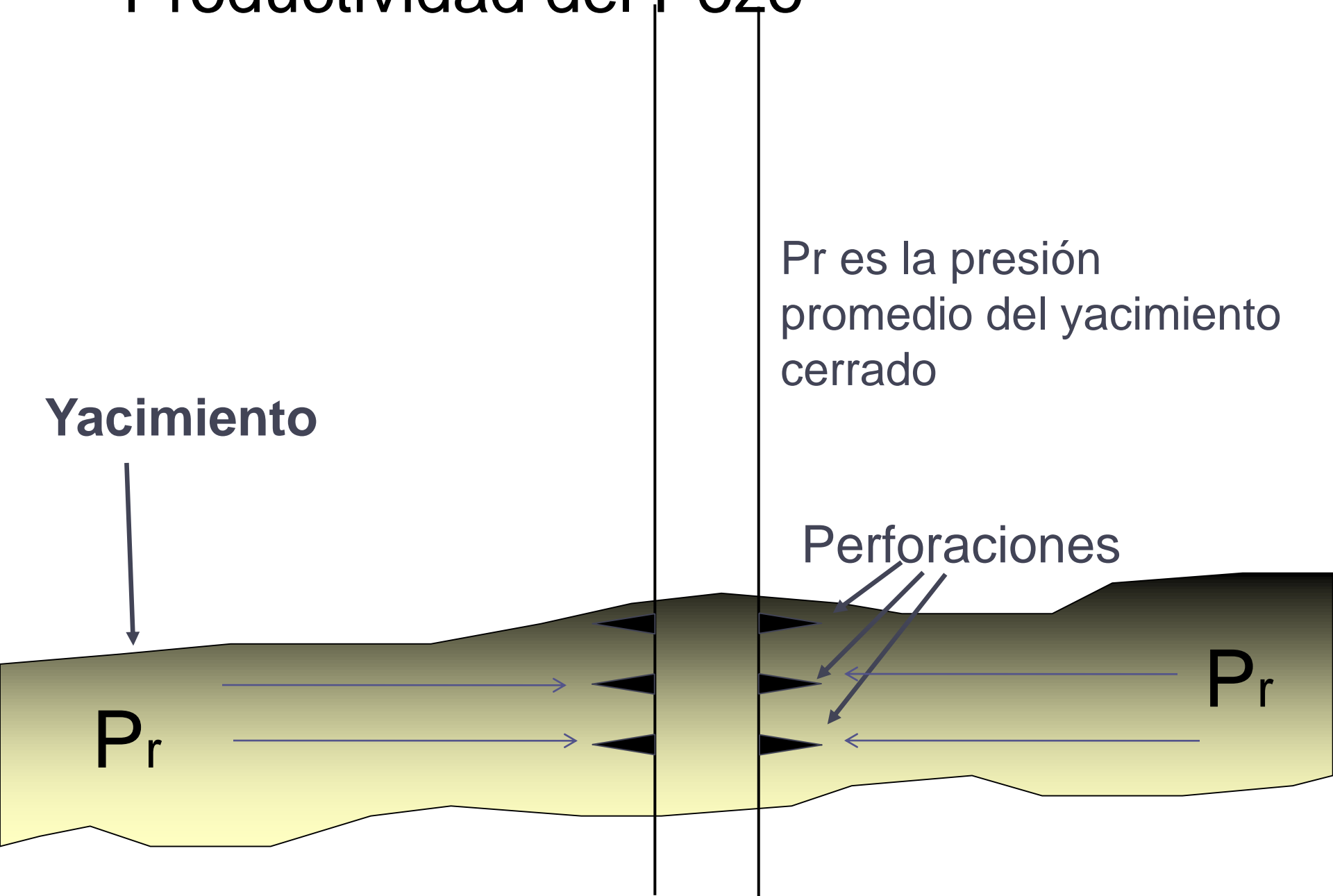




Dinámica de Yacimientos

Comportamiento Influjo

Productividad del Pozo



Yacimiento

P_r

Pr es la presión promedio del yacimiento cerrado

Perforaciones

P_r

Ley de Darcy para flujo radial hacia el pozo:



Límites del radio de "drenaje" externo r_e

Ley de Darcy para flujo radial hacia el pozo:

Para el sistema mostrado en la lámina anterior, la Ley de Darcy establece lo siguiente:

$$q_o = \frac{7.08 \times 10^{-3} k_o h (P_r - P_{wf})}{\mu_o B_o \left(\left(\ln \frac{r_e}{r_w} \right) - 0.75 \right)}$$

q_o = tasa de flujo

h = espesor efectivo de arena

P_r = presión del yacimiento

r_e = radio de drenaje

B_o = factor volumétrico

k_o = permeabilidad efectiva

μ_o = viscosidad promedio

P_{wf} = presión de fondo

r_w = radio del pozo

Ley de Darcy para flujo radial hacia el pozo:

Todos los datos necesarios en esta ecuación normalmente no están disponibles. Pero si asumimos que k_o , h , r_e , r_w , B_o y μ_o son constantes para un pozo en particular (esta es una buena asunción), la ecuación se convierte en:

$$q_o = \frac{C_1 C_2 C_3 (P_r - P_{wf})}{C_4 C_5 \left(\left(\ln \frac{C_6}{C_7} \right) - C_8 \right)}$$

Ley de Darcy para flujo radial hacia el pozo:

Simplificando...

$$q_o = c (P_r - P_{wf})$$

Despejando...

$$P_{wf} = -\frac{1}{c} q_o + P_r$$

Ley de Darcy para flujo radial hacia el pozo:

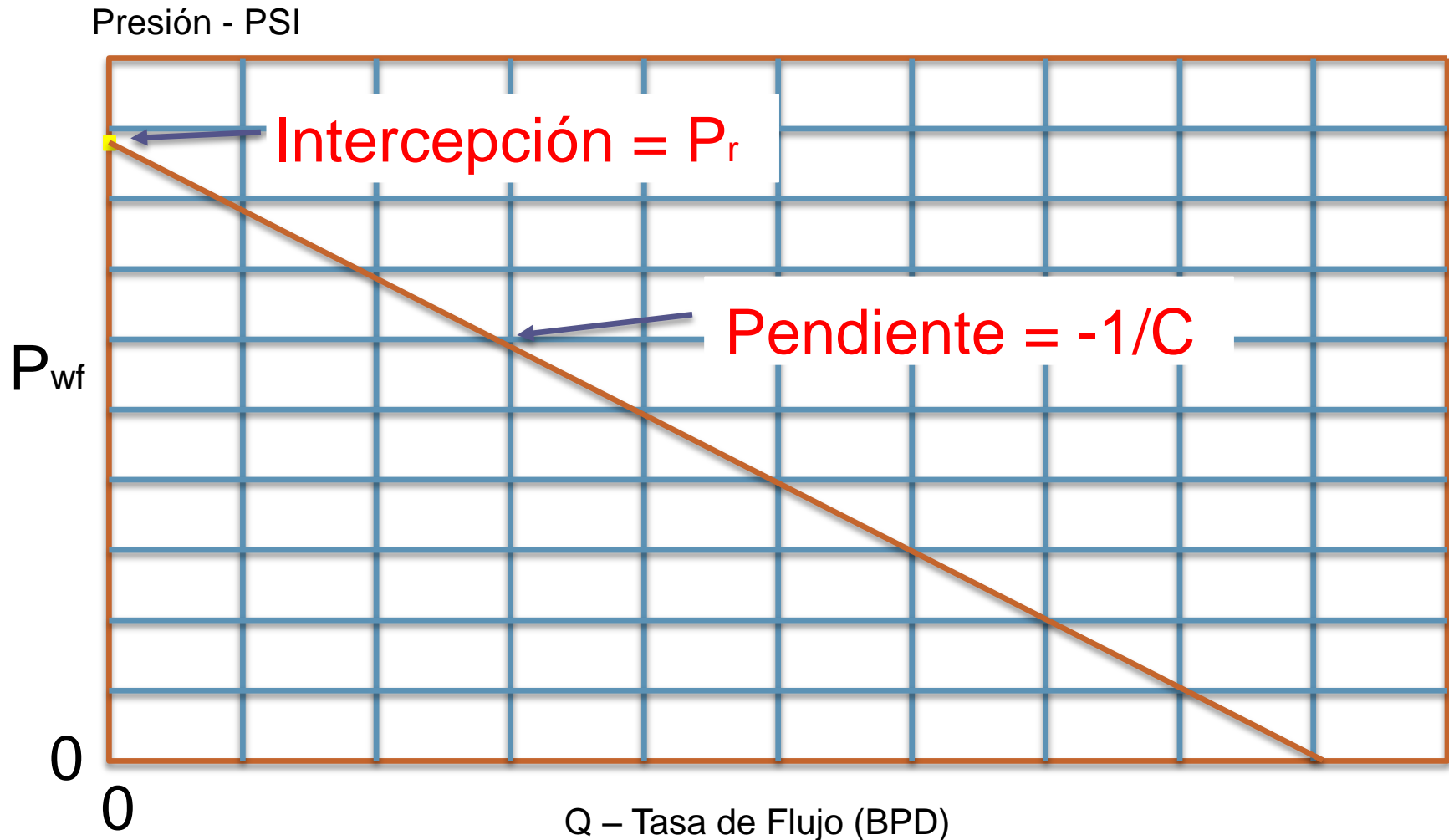
Esta es una ecuación de la forma “ $y=mx+b$ “ la cual representa una línea recta. Además, la línea tiene una pendiente “ m ” y la intercepción con el eje Y “ b ”.

La constante K es lo que llamamos: Índice de Productividad “IP”.

$$P_{wf} = -\frac{1}{c} q_o + P_r$$

Ley de Darcy para flujo radial hacia el pozo:

Gráficamente se representa así:



Ley de Darcy para flujo radial hacia el pozo:

El Índice de Productividad (IP) es igual a la tasa de flujo dividada por la reducción de presión por producción “drawdown“:

$$IP = \frac{q}{(P_r - P_{wf})}$$

Tasa Máxima

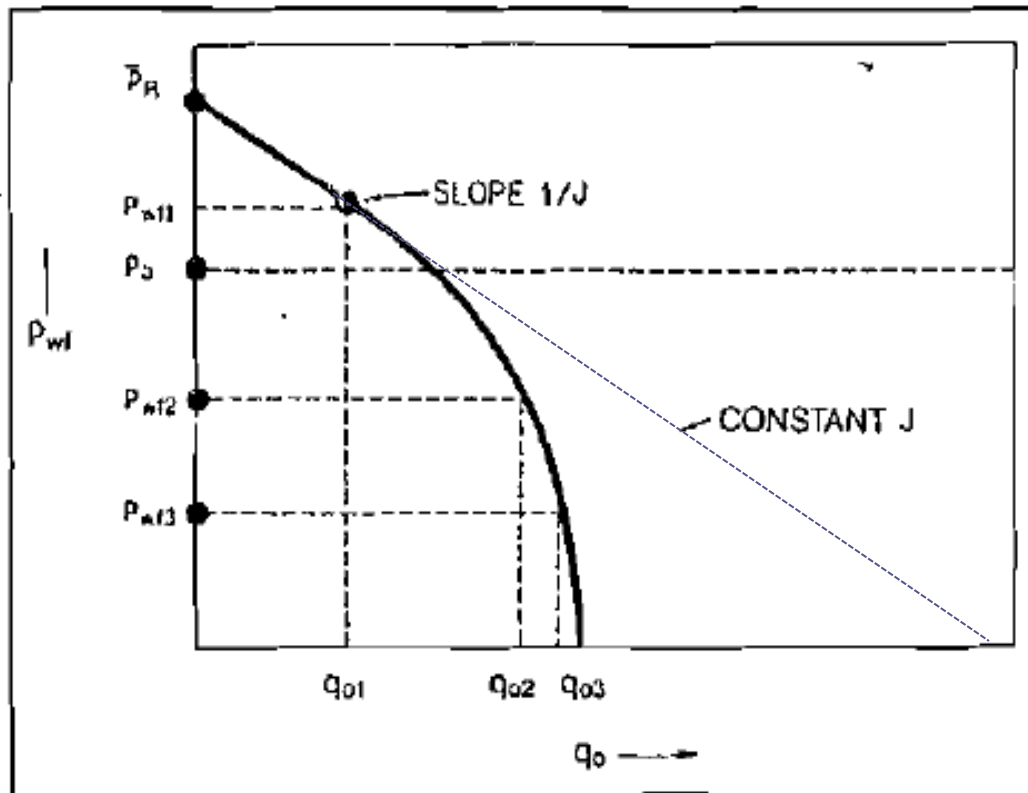
Cual es la máxima tasa de flujo que puede producir el pozo? La máxima tasa de flujo ocurre a la máxima reducción de presión por producción ($P_{wf} = 0$).

$$PI = \frac{q_{max}}{(P_r - 0)} \quad \text{or} \quad q_{max} = P_r \times PI$$

Ley de Darcy para flujo radial hacia el pozo:

La Ley de Darcy se cumple en pozos con una sola fase de fluidos (por ej. Agua, petróleo o agua/petróleo).

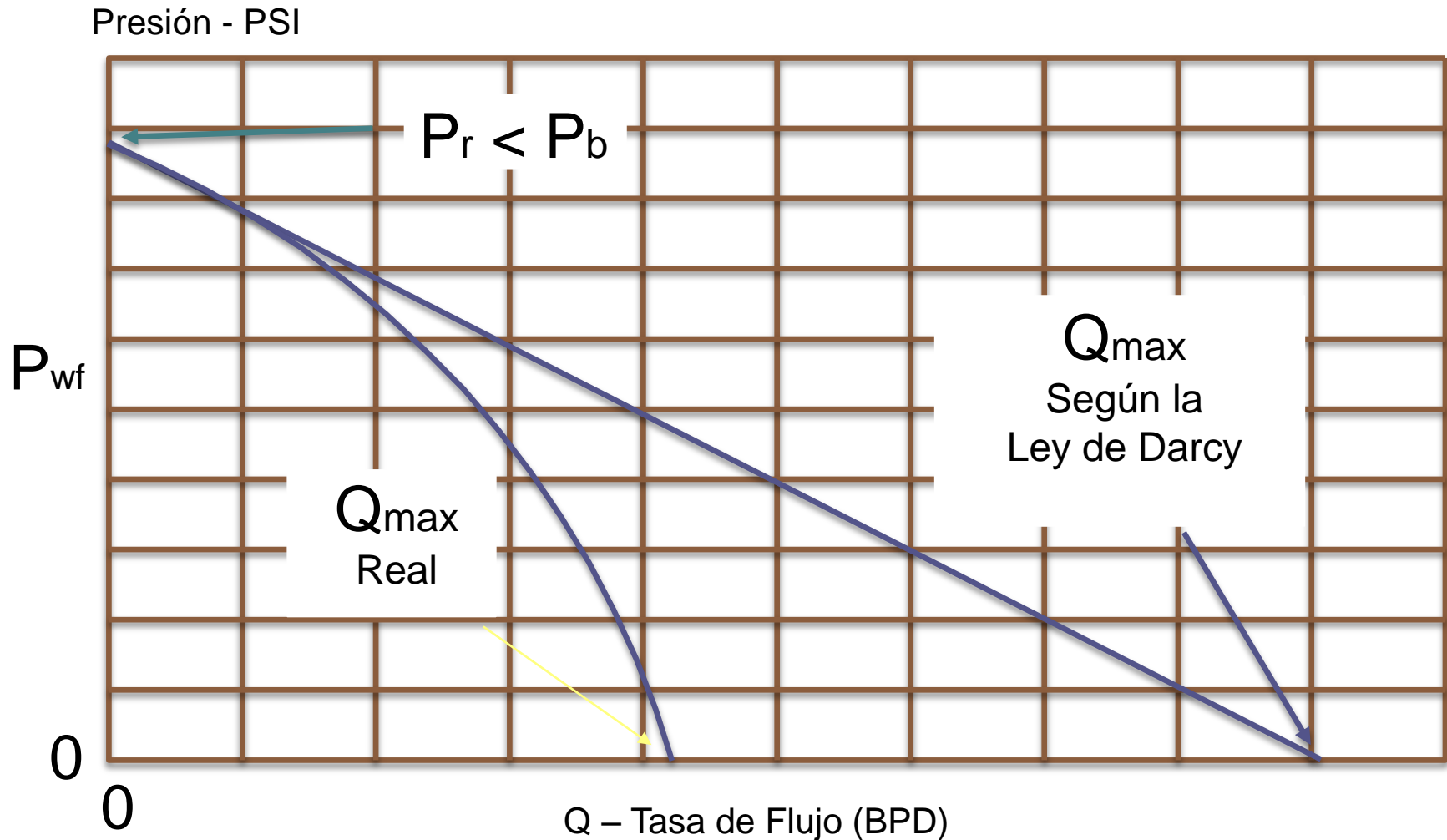
¿Pero que pasa si se libera gas en el yacimiento?



Yac. Subsaturado

Ley de Darcy para flujo radial hacia el pozo:

Yac. Saturado:



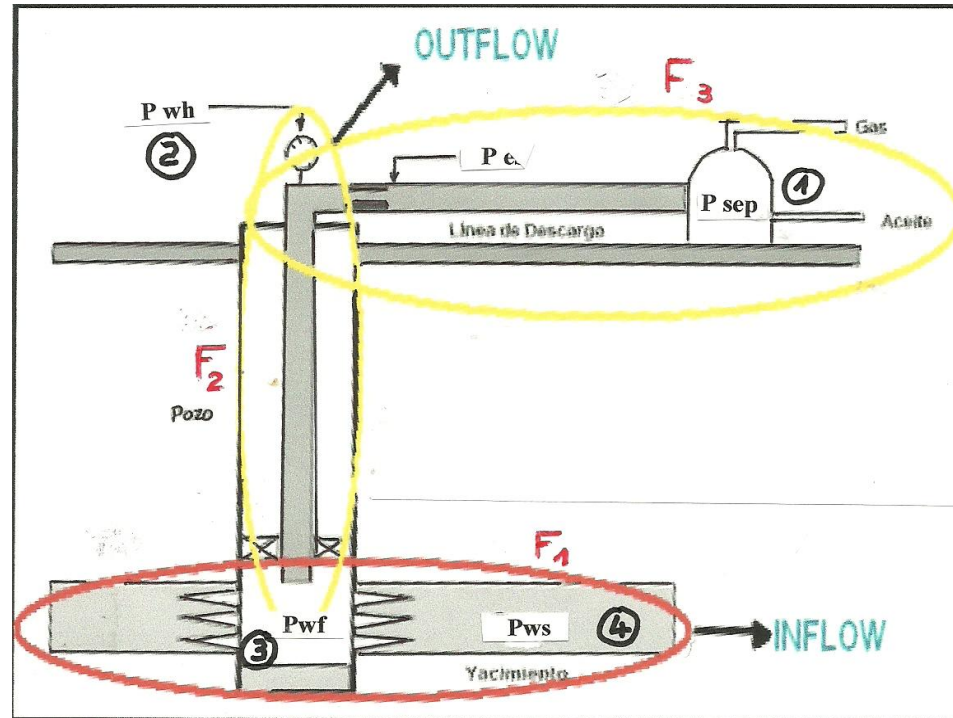
Comportamiento del Influjó – IPR Yacimiento Saturados o Sub-Saturados

En vez de la Ley de Darcy usamos la curva de Vogel – IPR La ecuación es:

$$\frac{q_o}{q_{o(\max)}} = 1 - 0.2 \left(\frac{P_{wf}}{P_r} \right) - 0.8 \left(\frac{P_{wf}}{P_r} \right)^2$$

donde $q_{o(\max)}$ es la máxima tasa de flujo que el pozo puede producir.

Análisis Nodal de un pozo



Calcula caídas de presión entre dos nodos, fluidos producidos, y de esta manera determinar curvas de comportamiento de afluencia y el potencial de producción del yacimiento en un pozo

Análisis Nodal, Pozo con BES

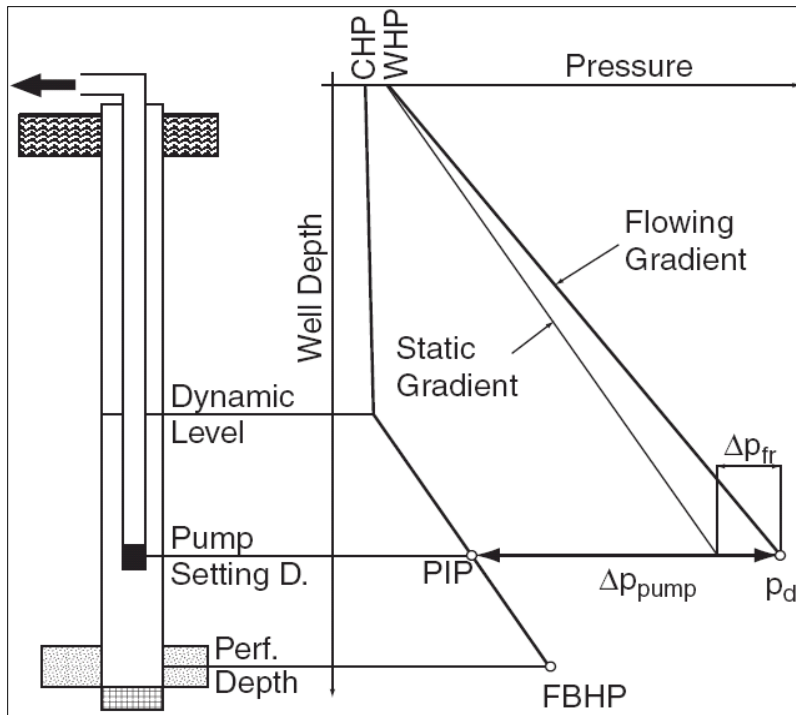
Se debe considerar:

- Bomba como un elemento independiente
- Presión de entrada y descarga de la bomba

Calcular:

- Curva de Rendimiento del pozo con levantamiento artificial por BES.

Curva de Rendimiento del Pozo con BES



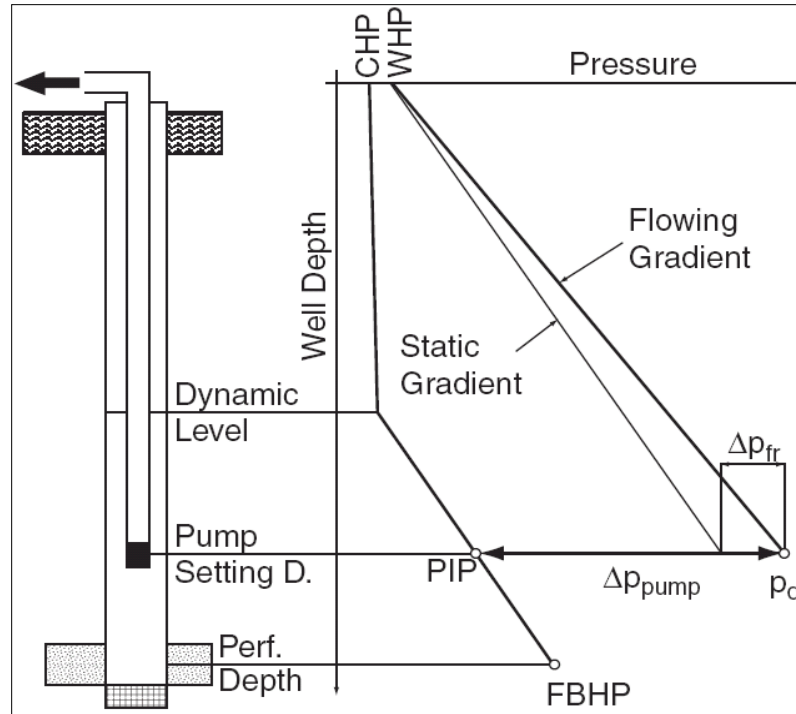
Donde:

- CHP = Presión en la tubería de revestimiento; psi
- WHP = Presión en el cabezal del pozo; psi
- PIP = Presión de entrada a la bomba; psi
- Pd = Presión de descarga; psi
- FBHP = Presión de fondo fluyente; psi

Dividiremos el perfil de las presiones del pozo en dos subsistema:

- Formación-bomba
- Cabezal-bomba

Subsistema Bomba-Cabezal



- Encontramos la presión de entrada de la bomba disponible (PIP) considerando la gravedad específica del fluido que la Presión de Fondo fluyente (P_{wf}) debe levantar desde el Punto medio de las Perforaciones (PMP) hasta la profundidad de la bomba (PB).

$$PIP = P_{wf} - \frac{\gamma_f}{2.31} (PMP - PB)$$

Donde:

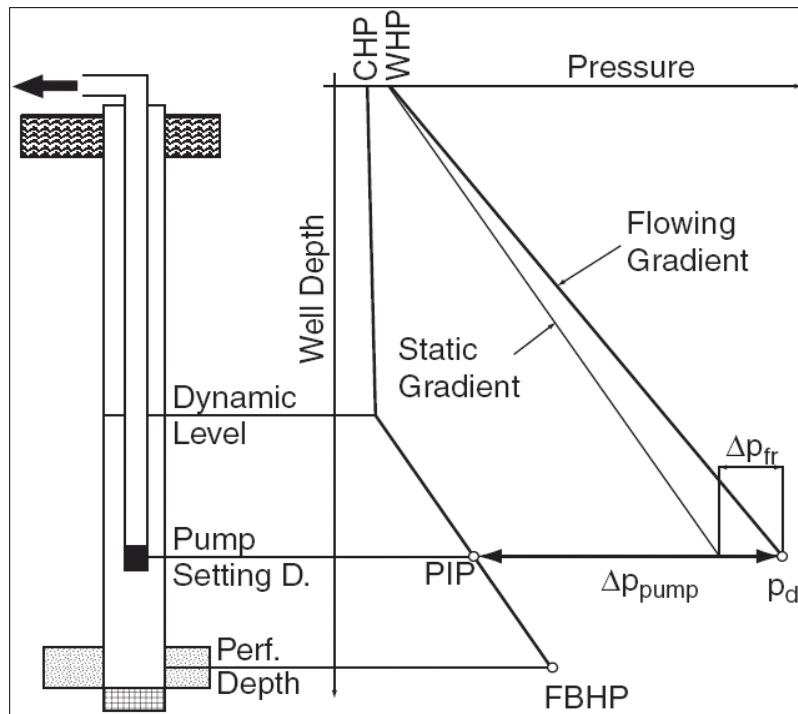
PIP = Pump Intake Pressure (Presión de entrada de la bomba)

P_{wf} = Presión de fondo fluyente

γ_f = gravedad específica del fluido

PB = Profundidad de la bomba

Subsistema Formación-Bomba



- Encontramos la Presión de descarga de la bomba requerida (P_{desc}) tomando en cuenta la Presión en el cabezal, perdidas por fricción en la tubería de producción y la columna de fluido presente en el tubing.

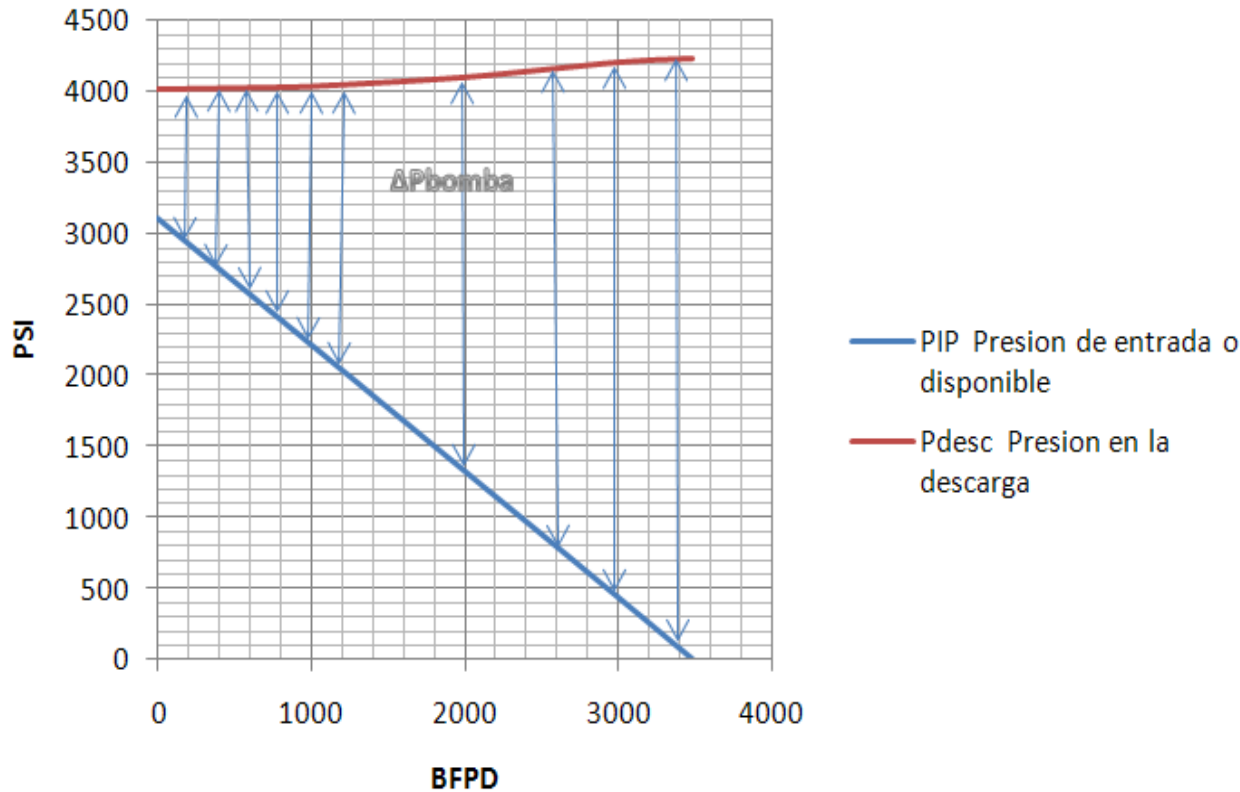
$$P_{desc} = P_{WH} + \Delta P_f + \frac{\gamma_f}{2.31} P_B$$

P_{desc} : **Presión** de descarga

P_{WH} = Presión de cabezal

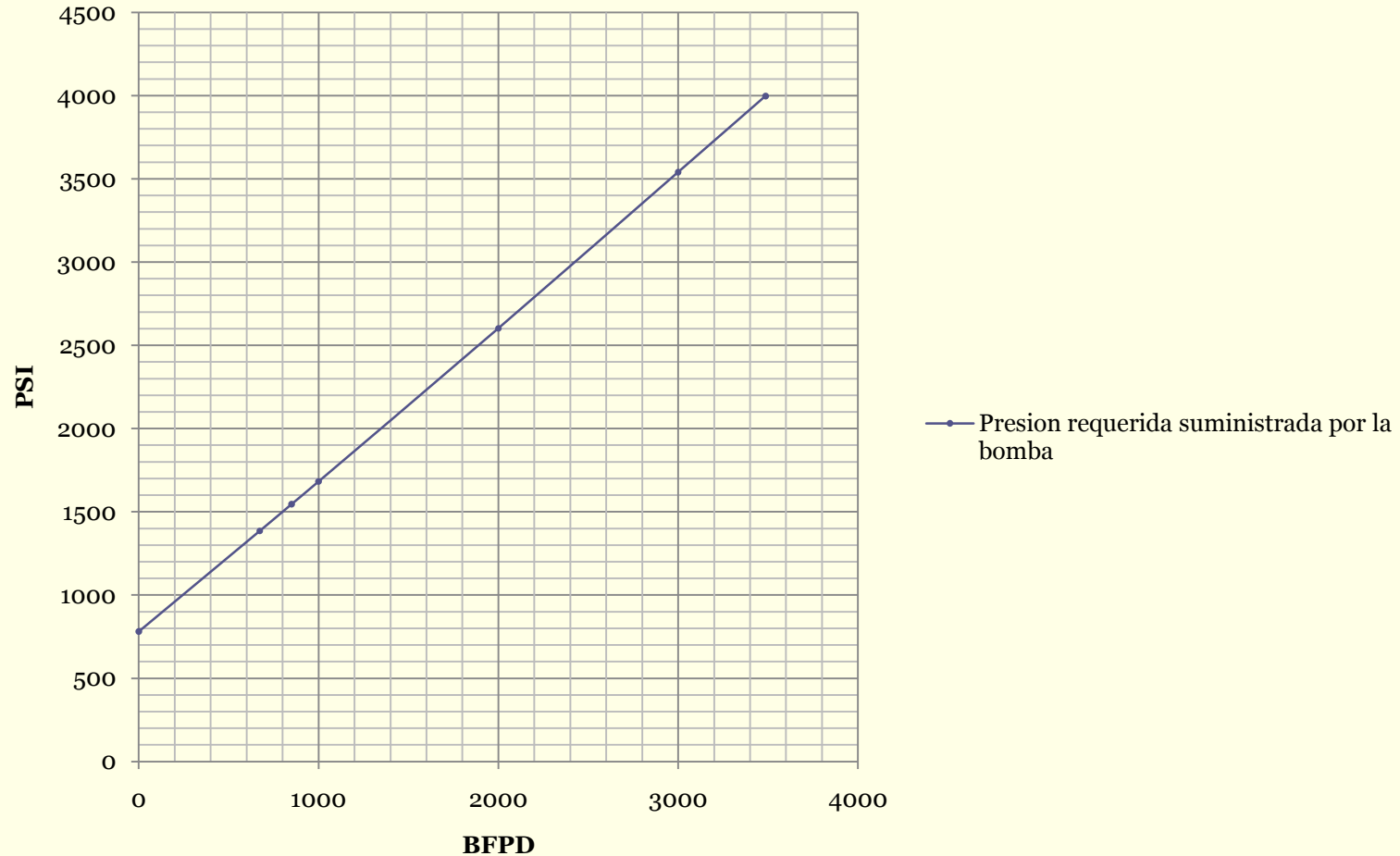
ΔP_f = Perdidas por fricción en la tubería de producción

Curva de Presión de Entrada y Descarga VS Tasa de producción



$$\Delta p_{bomba} = WHP + PMP * \frac{\gamma_f}{2.31} + \Delta p_{fr} - p_{wf}$$

Curva de Rendimiento del pozo con levantamiento artificial BES

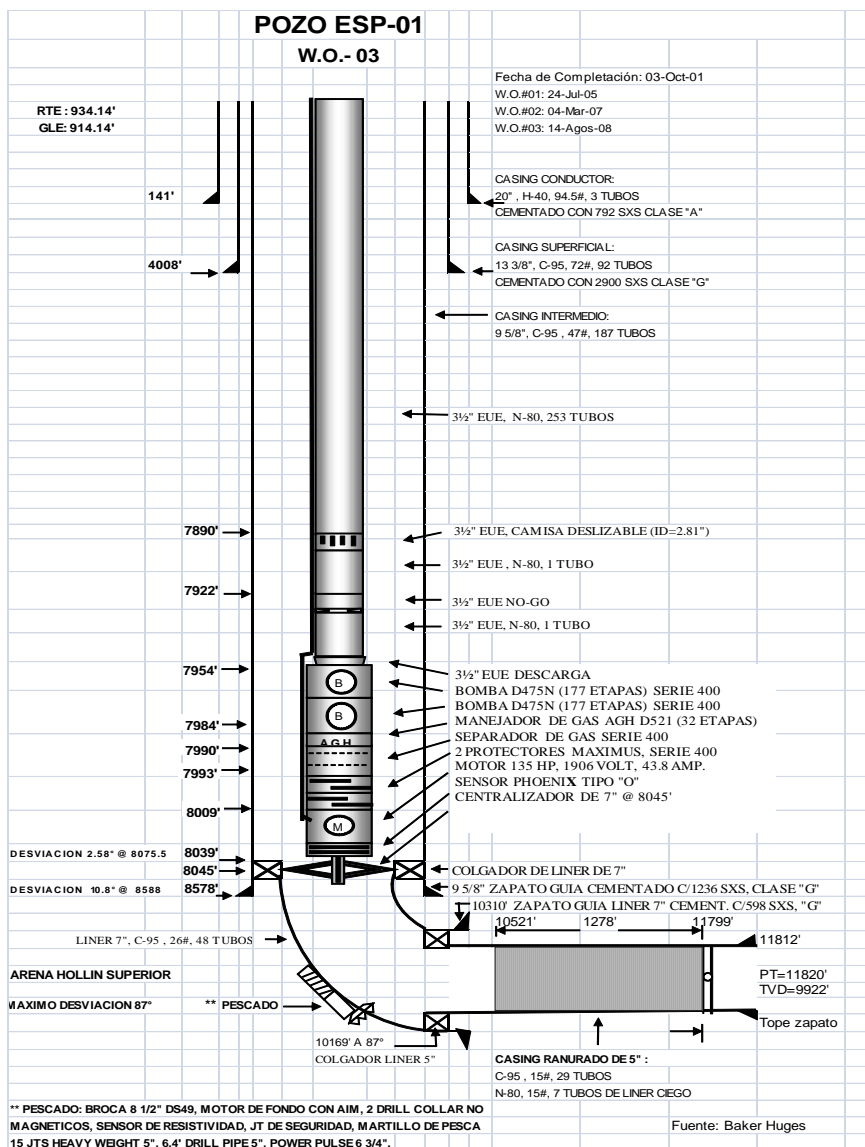


Evaluación del Pozo ESP-01 mediante análisis nodal

Objetivos:

- Evaluar si la producción actual del pozo se encuentra dentro del rango óptimo de operación, y a su vez determinar si la bomba actual en el pozo esta sobredimensionada.
- Optimizar el Pozo ESP-01 mediante el análisis nodal

Evaluación del Pozo ESP-01 mediante analisis nodal



Completación BES actual

2 bombas D475N de 177 etapas

2 Separadores de Gas

2 Protectores

1 Motor 135 HP

Información del pozo ESP-01

Presión de Reservorio	=	4207	Psi
Tubería de Producción ID	=	2.992	Pulgadas
Tubería Nueva C	=	120	adim.
Qo Actual @ Pwf = 3607ps i	=	673	BFPD/psi
Gravedad Específica del Líquido	=	1	adim.
Profundidad Presiones (Sensor)	=	1085	pies
Profundidad de Asentamiento de la Bomba	=	7984	pies
Presión en la Cabeza del Pozo	=	120	psi

FECHA	BFPD	BPPD	BSW %	Arena	Método
22/05/2002	1801	1747	3	Hi	BES
22/02/2005	1450	1392	3	Hi	BES
07/02/2008	1103	1059	4	Hi	BES
26/10/2008	1000	960	4	Hi	BES
02/03/2009	840	798	4	Hi	BES
04/02/2010	673	673	5	Hi	BES

Calculo del IP del Pozo ESP-01

De la información proporcionada por el cliente calculo el IP del pozo utilizando los siguientes datos:

$P_{wf} = 3607 \text{ psi}$ @ $Q = 3673 \text{ BFPD}$

$$IP = \frac{Q}{P_s - P_{wf}}$$

$$IP = \frac{673}{4207 - 3607}$$

$$IP = 1.12 \text{ BFPD/psi}$$

IPR del Pozo

De la información del pozo tengo:

$P_s = 4207$ psi

$P_b = 78$ psi

Q deseado = 850 BFPD

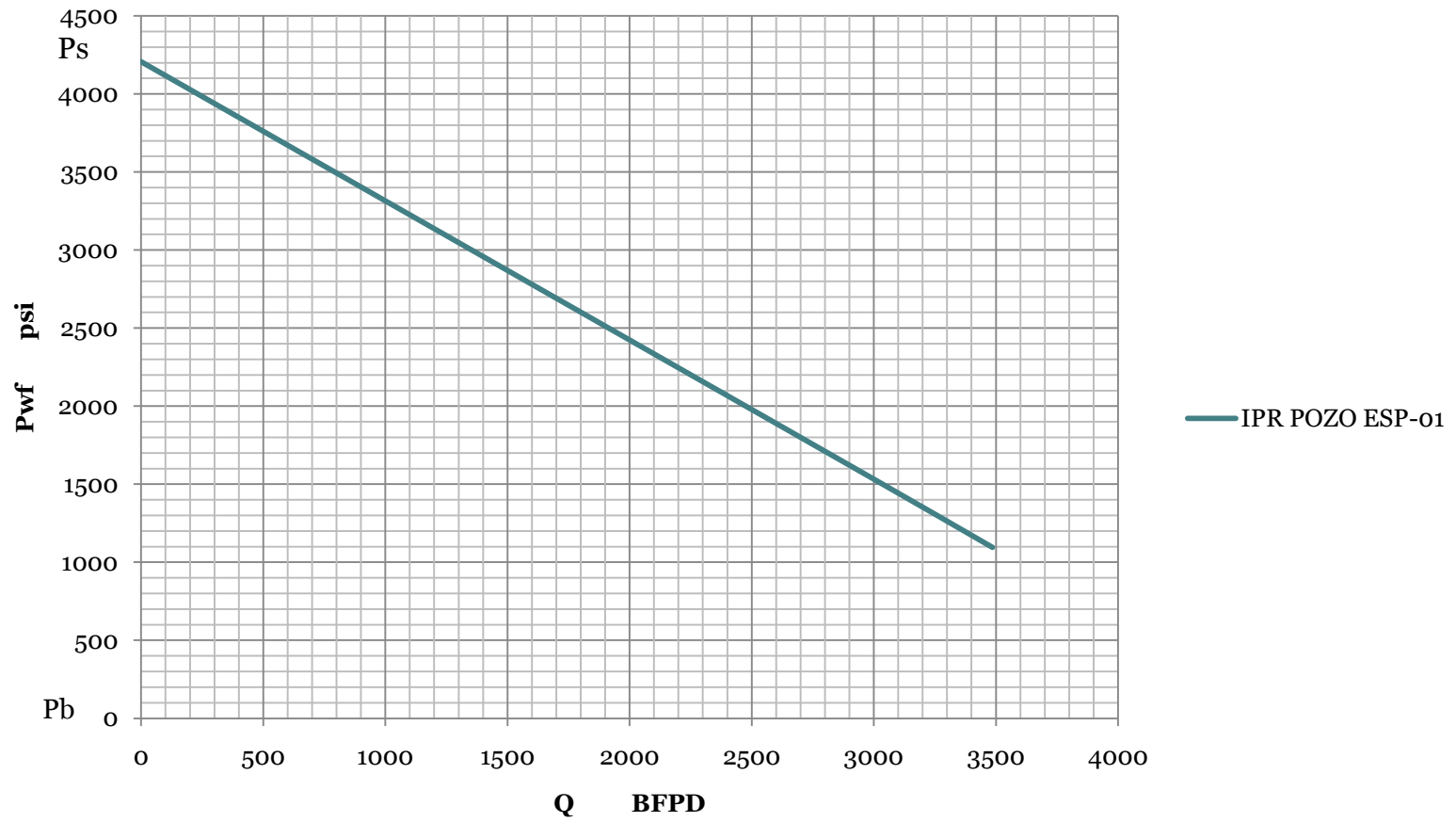
$$P_{wf} = P_s - \frac{Q}{IP}$$

$$P_{wf} = 4207 - \frac{850}{1.12}$$

$$P_{wf} = 3448 \text{ psi}$$

Q	PWF
0	4207
850	3449.20
1000	3315.47
2000	2423.94
3000	1532.41
3486	1095
3500	1086.64
3618	981.00
4000	640.88
4500	195.11
4624	78.43

IPR POZO ESP-01

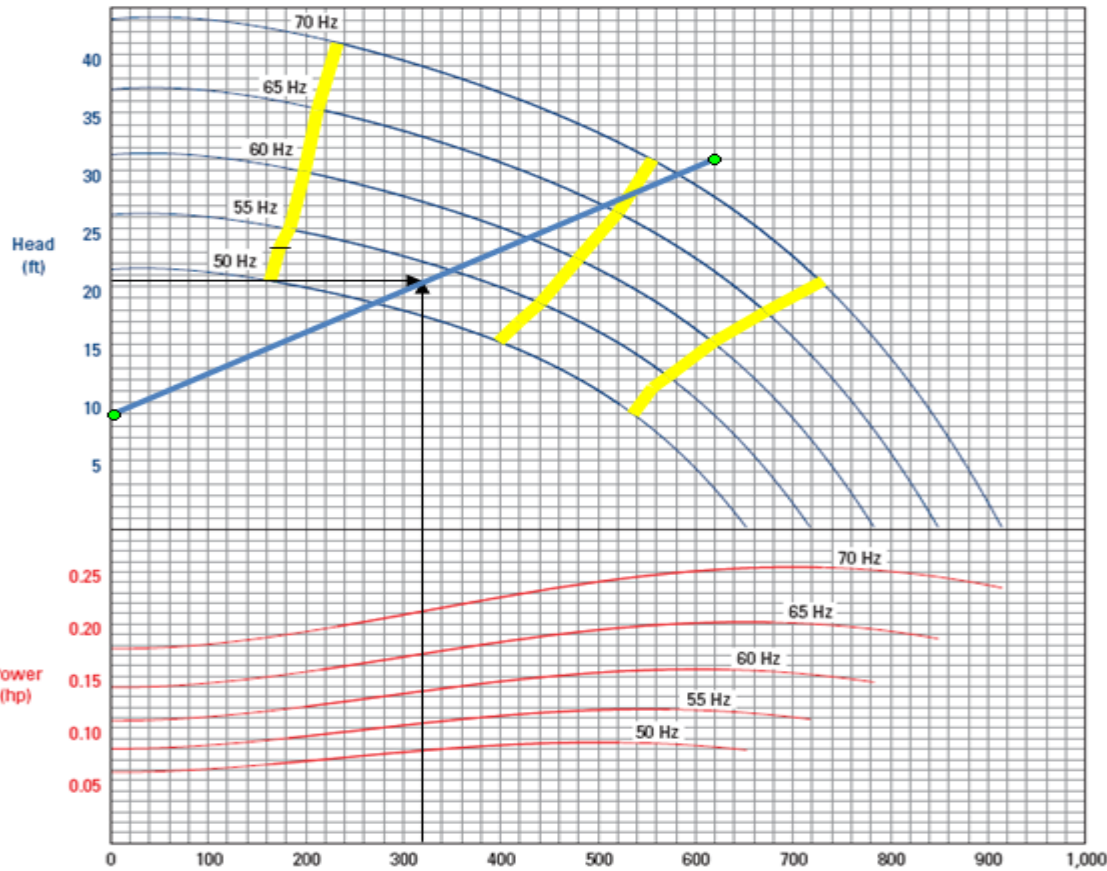


Perfil de Presiones en el pozo

Q(BFPD)	Pwf(psi)	PIP	PWH	Perd.friccion	Columna hidr.	Pdesc	ΔP_{bomba}
0	4207	3218	240	0	3767	4007	789
673	3607	2618	240	4	3767	4011	1393
850	3449	2460	240	7	3767	4014	1554
1000	3315	2326	240	9	3767	4016	1690
2000	2423	1435	240	38	3767	4045	2610
3000	1532	543	240	84	3767	4091	3548
3486.0	1095	106	240	104	3767	4111	4005
3500	1086	98	240	108	3767	4115	4017

Se determina que el sistema requiere una presión de 1393 psi o 2952 pies de cabeza suministrada por la bomba para levantar 637 BFPD.

Curva de Rendimiento del Pozo ESP-01



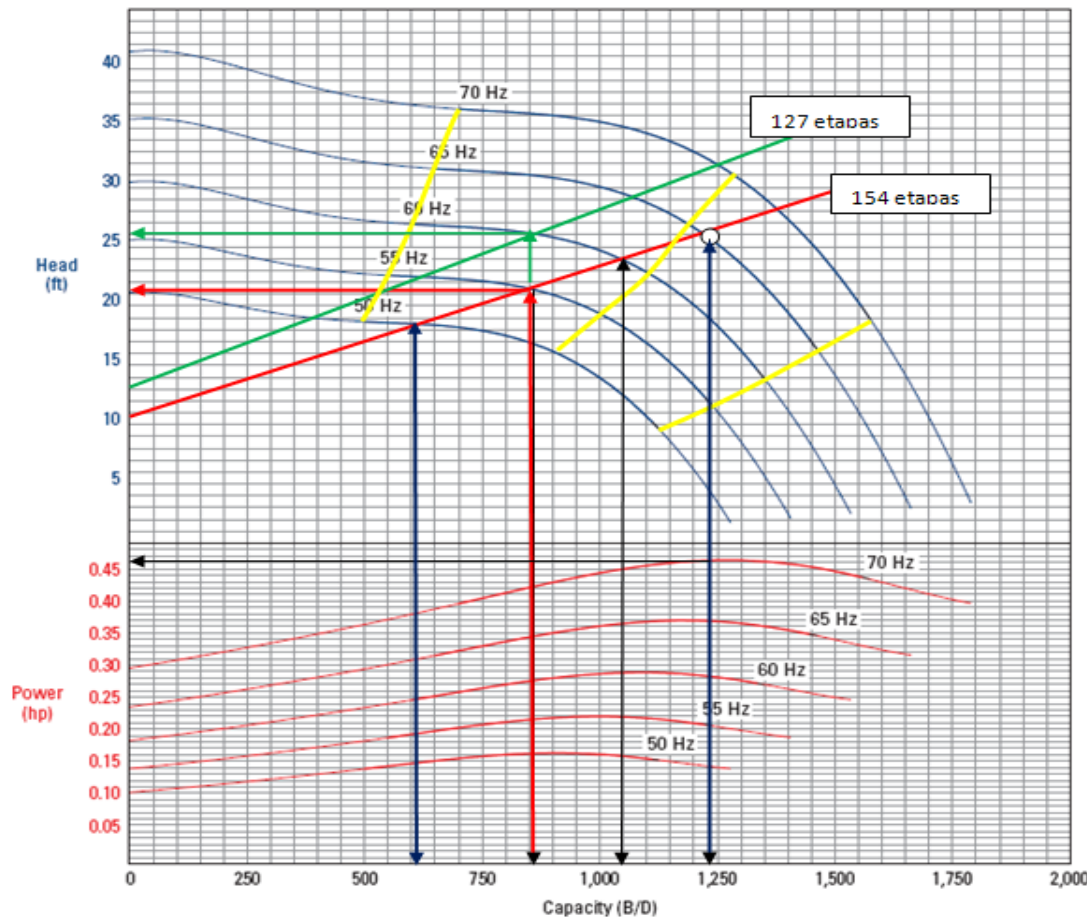
$$\#etapas = \frac{2952}{\frac{21pies}{etapa}} = 141 etapas$$

Optimización del pozo ESP-01

Requerimientos del cliente:

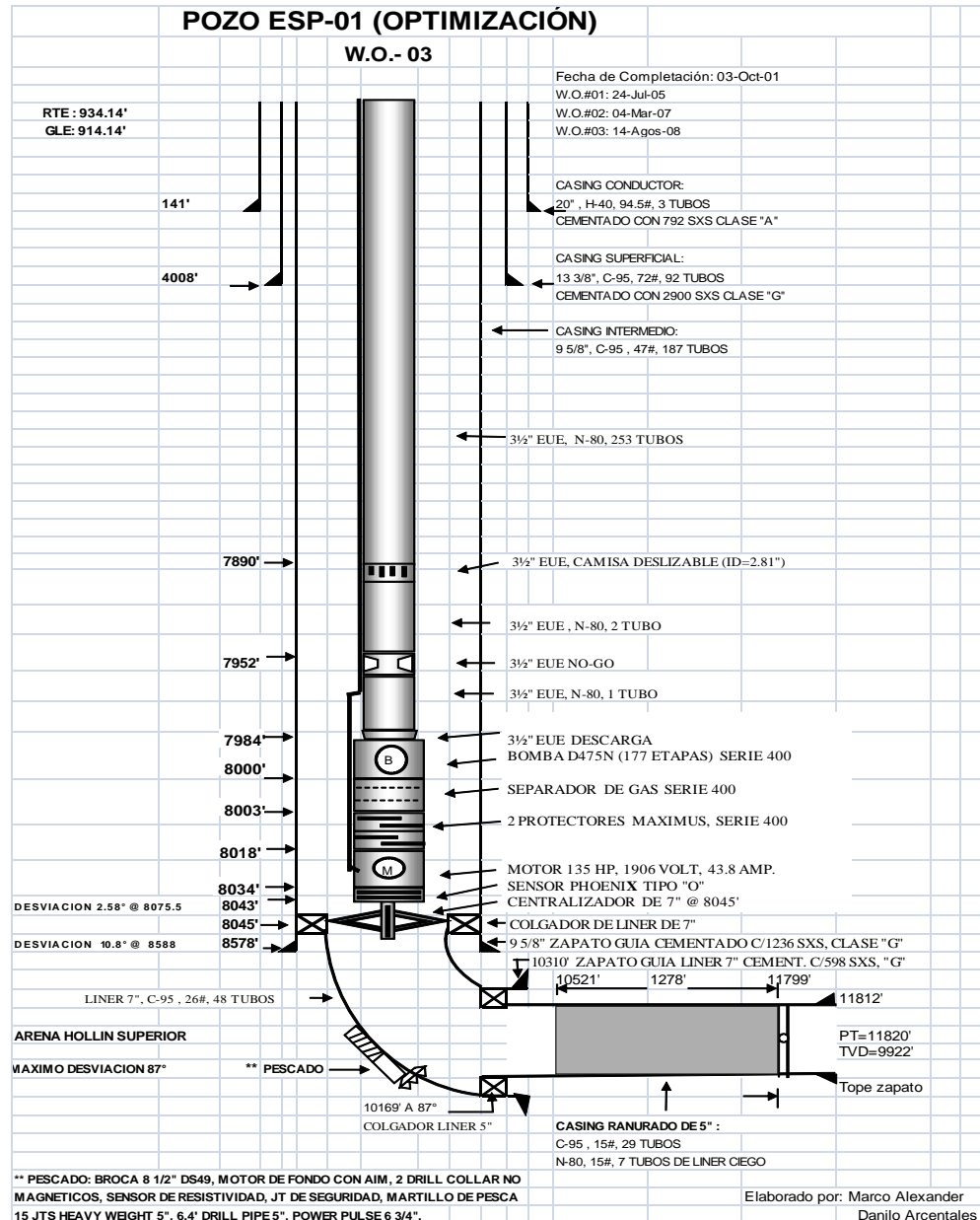
Q		850		bfpd
Rango de Q		750	1300	bfpd
Profundidad Bomba		8000		ft
T superficie			110	°F
Frecuencia			55	Hz
Rango de F		53	65	Hz

Curva de Rendimiento del Pozo ESP-01 Optimizado



Completación BES actual
1 bomba DN1100 de 166 etapas
1 Separador de Gas
2 Protectores
1 Motor 96 HP 1430 V 43 Amp

Diagrama de completación del Pozo ESP-01 Optimizado



Comparación

Completación BES actual	Completación BES propuesta
2 bombas D475N de 177 etapas	1 bomba DN1100 de 166 etapas
2 Separadores de Gas	1 Separador de Gas
2 Protectores	2 Protectores
1 Motor 135 HP	1 Motor 96 HP 1430 V 43 Amp

Conclusiones

- Un análisis nodal resulta ser muy beneficioso ya que nos permite **optimizar el comportamiento de la tasa de producción de un pozo** y el perfil de presiones del mismo con cualquier tipo de Completación.
- En los cálculos de optimización del sistema BES realizados , **no se ha considerado la producción de gas como un parámetro dentro del diseño** , debido a que el GOR en nuestro pozo es bastante bajo ya que la presión de burbuja en Hollin Inferior es muy baja.
- El sistema BES a pesar de ser un sistema de **levantamiento costoso para manejar bajos volúmenes de fluidos** , es beneficioso en el caso contrario cuando se manejan altos volúmenes de producción y puede trabajar en medios corrosivos.
- Una baja frecuencia del motor suele producir el **efecto de downthrust** , mientras que el efecto inverso se llama **Upthrust** .Sin embargo ninguno de los dos estados es recomendado como frecuencia de trabajo normal .
- La **vida útil de los equipos** de un Sistema BES es mayor si se cuenta con un Variador, ya que este permite arranques suaves eliminando picos de corriente que generalmente dañan los equipos.

Conclusiones

- Al realizar la **Curva de rendimiento del Pozo ESP-1** mediante el análisis nodal, **proponemos una nueva Completación**, la misma que cuenta con una Bomba DN1100 de 166 etapas, que producirá 800 BFPD a una frecuencia de 55 Hz, de igual manera podremos producir tasas mayores a esta, debido a que el cliente posee un VSD.

Recomendaciones

- Realizar una mayor cantidad de **pruebas de restauración de presión** con el sensor de fondo para actualizar los datos del yacimiento y poder realizar un **análisis nodal mas exacto**.
- En el caso de que se analicen yacimientos con **alto GOR** y con **presiones bajo el punto de burbuja** se debe considerar la presencia de Gas y se deberán usar las correlaciones de **Vogel**.
- Como se cuenta con **variador** y se tiene un rango de operación **entre 53Hz a 65 Hz**, se recomendó usar un motor que nos suministre la potencia requerida que en nuestro caso fue **96 HP**.

Bibliografía

- **Production Optimization using Nodal Analysis**, Dale Beggs
- **REDA Basic equipment Selection and Catalog**, Schlumberger
- **Catalogo de ESP REDA**, Schlumberger
- **Nine Steps ESP Design**, Baker Huges
- **Electrical Submersible Pumps Manual**, Gabor Takacs
- **Petroleum Engineering Handbook**, Bradley
- **Manual de Tuberías**, Tenaris
- **Apuntes Seminario de Graduación**, Dictado por el Ing. Bolivar Miranda, Director de la Tesina.

Gracias por la atención!