

**FACTIBILIDAD TÉCNICA DE LA
RECUPERACIÓN DE VAPORES EN TANQUES
DE ALMACENAMIENTO DE CRUDO
UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA JET COMO
MÉTODO DE EXTRACCIÓN**

**Tesis de Postgrado presentada por:
Ing. Maricé del Valle Urbina Beroes
Requisito parcial para optar al Título de:**

Magister Scientiarum en Ingeniería Mecánica

Realizado con la Asesoría de:
Tutor: Msc. José R. González C.

CONTENIDO

● **Introducción**

- ✓ **Planteamiento del Problema**
- ✓ **Objetivos**
- ✓ **Justificación**
 - ⇒ **Importancia para la Industria**
 - ⇒ **Importancia Científica**

● **Marco teórico**

● **Modelaje y simulación**

● **Pruebas experimentales**

● **Resultados**

● **Conclusiones y recomendaciones**

INTRODUCCIÓN



EL PROBLEMA

Recuperación de Vapores en
Tanques de Almacenamiento



MÉTODO DE
EXTRACCIÓN
Tecnología Jet

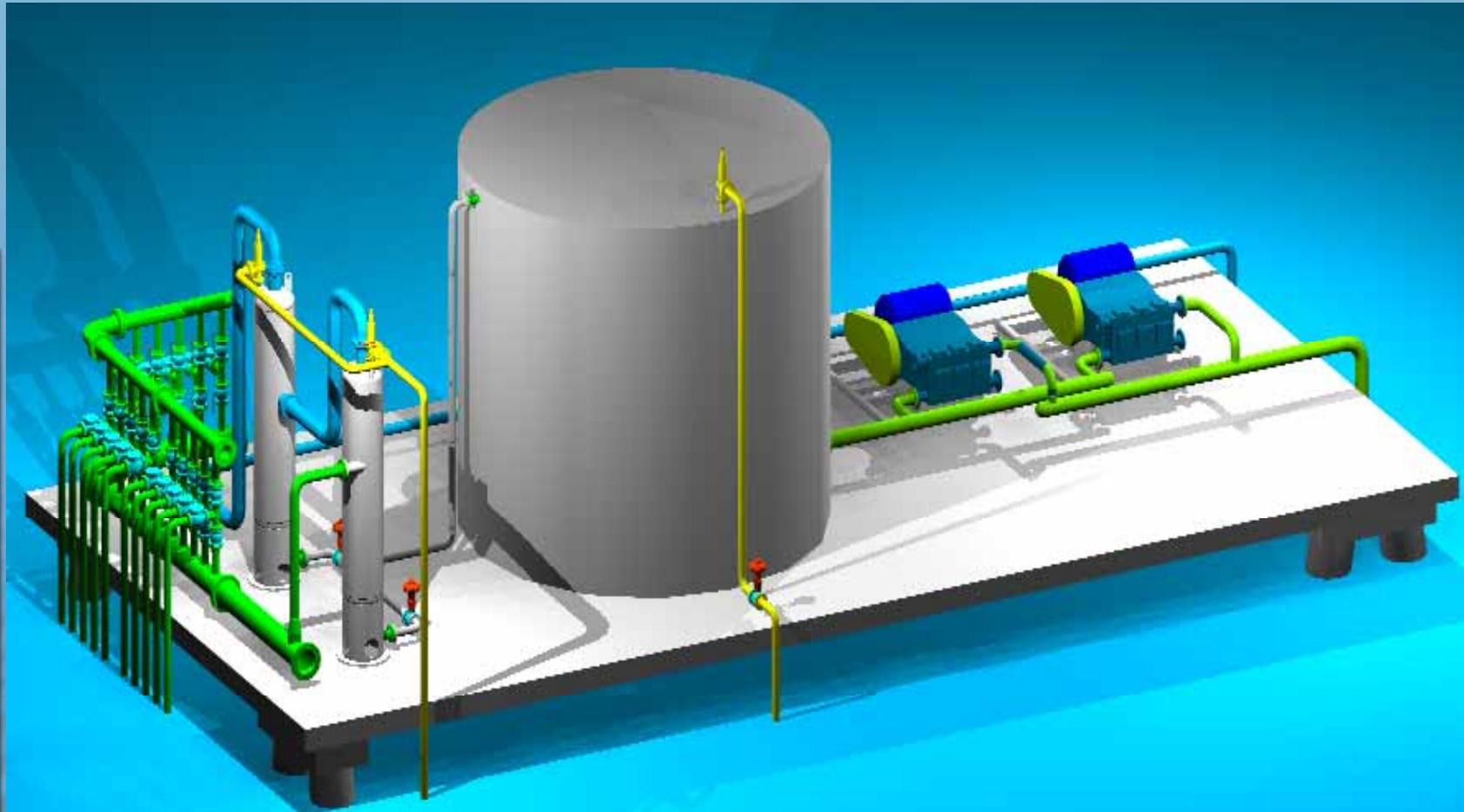
DISEÑO DEL EQUIPO
Jet de superficie

CONTENIDO

- **Introducción**
 - ✓ **Planteamiento del Problema**
 - ✓ **Objetivos**
 - ✓ **Justificación**
 - ⇒ **Importancia para la Industria**
 - ⇒ **Importancia Científica**
- **Marco teórico**
- **Modelaje y simulación**
- **Pruebas experimentales**
- **Resultados**
- **Conclusiones y recomendaciones**

INTRODUCCIÓN

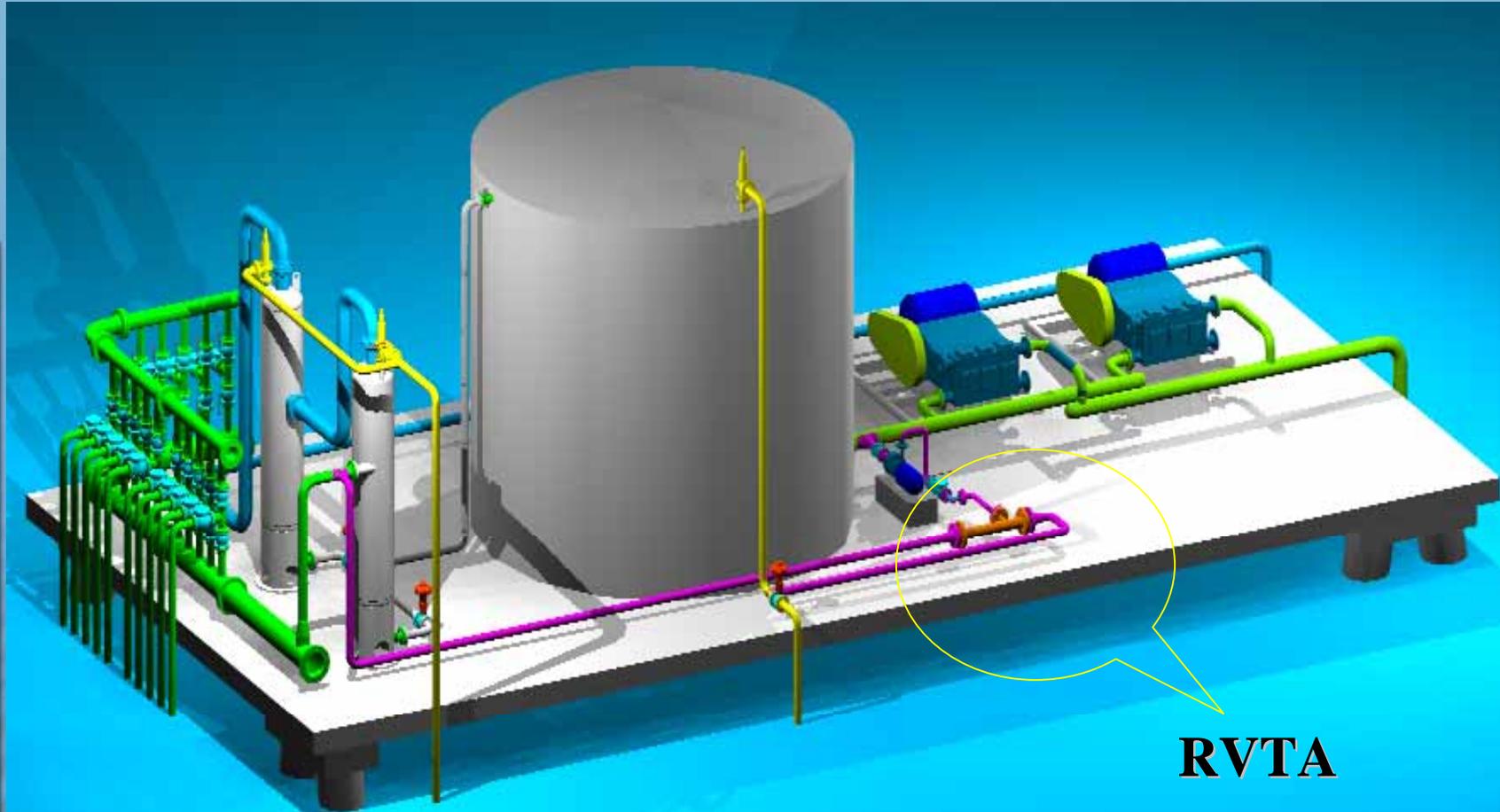
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA (Situación Actual)



INTRODUCCIÓN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

(Situación deseada)

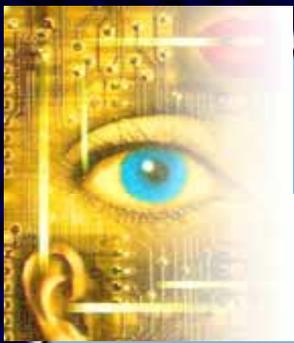


RVTA

CONTENIDO

- **Introducción**
 - ✓ Planteamiento del Problema
 - ✓ **Objetivos**
 - ✓ Justificación
 - ⇒ Importancia para la Industria
 - ⇒ Importancia Científica
- **Marco teórico**
- **Modelaje y simulación**
- **Pruebas experimentales**
- **Resultados**
- **Conclusiones y recomendaciones**

INTRODUCCIÓN



OBJETIVOS

GENERAL

- ✓ Conceptualizar un nuevo método de solución para la extracción de vapores en tanques

ESPECIFICOS

- ✓ Demostrar factibilidad técnica de RVTA
- ✓ Considerar bajo costo de implantación, operación y mantenimiento
- ✓ Desarrollar la Tecnología Jet
- ✓ Generar un nuevo método de evaluación, diseño y construcción
- ✓ Justificar mediante resultados de laboratorio, su aplicación económica a escala de campo (data inédita)

CONTENIDO

- **Introducción**
 - ✓ Planteamiento del Problema
 - ✓ Objetivos
 - ✓ **Justificación**
 - ⇒ **Importancia para la Industria**
 - ⇒ **Importancia Científica**
- **Marco teórico**
- **Modelaje y simulación**
- **Pruebas experimentales**
- **Resultados**
- **Conclusiones y recomendaciones**

IMPORTANCIA PARA LA INDUSTRIA



- Emisiones continuas de gas de baja presión en los tanques de almacenamiento podrán ser recuperadas para uso industrial.
- Asegura el desarrollo de las operaciones con el mínimo impacto ambiental posible.
- Explotación eficiente y rentable de las reservas de gas licuado de petróleo (GLP), disminuyendo riesgo de incendio.

INTRODUCCIÓN

Justificación

IMPORTANCIA CIENTIFICA



- Nuevo método para la recuperación de vapores que aportará una ventana de aplicación para incrementar la recuperación de gas.
- Desarrollo de la Tecnología Jet mediante un equipo de diseño propio, utilizado exitosamente a nivel de fondo de pozo, será caracterizado a nivel de superficie aportando conocimientos para nuevas aplicaciones (con fluidos reales).

CONTENIDO

- **Introducción**
 - ✓ Planteamiento del Problema
 - ✓ Objetivos
 - ✓ Justificación
 - ⇒ Importancia para la Industria
 - ⇒ Importancia Científica
- **Marco teórico**
- **Modelaje y simulación**
- **Pruebas experimentales**
- **Resultados**
- **Conclusiones y recomendaciones**

MARCO TEÓRICO

ANTECEDENTES

URRUTIA, P (2001)

**Comparación
esquemas RVTA**

*Costos de instalación,
alrededor de 20.000 MMBs*

CASIQUE, L (1999)

**Evaluación
Hidráulica**

*Emanaciones de gas varían
entre 0,09 - 80 MMPCED*

UE Lagocinco (1996)

**Análisis de
Proceso/Riesgo**

*Emanaciones de gas 10
MMPCED (instantánea)*

**Novedoso método para la
extracción de vapores
usando la tecnología Jet**

BIJOA JIAO (1987)

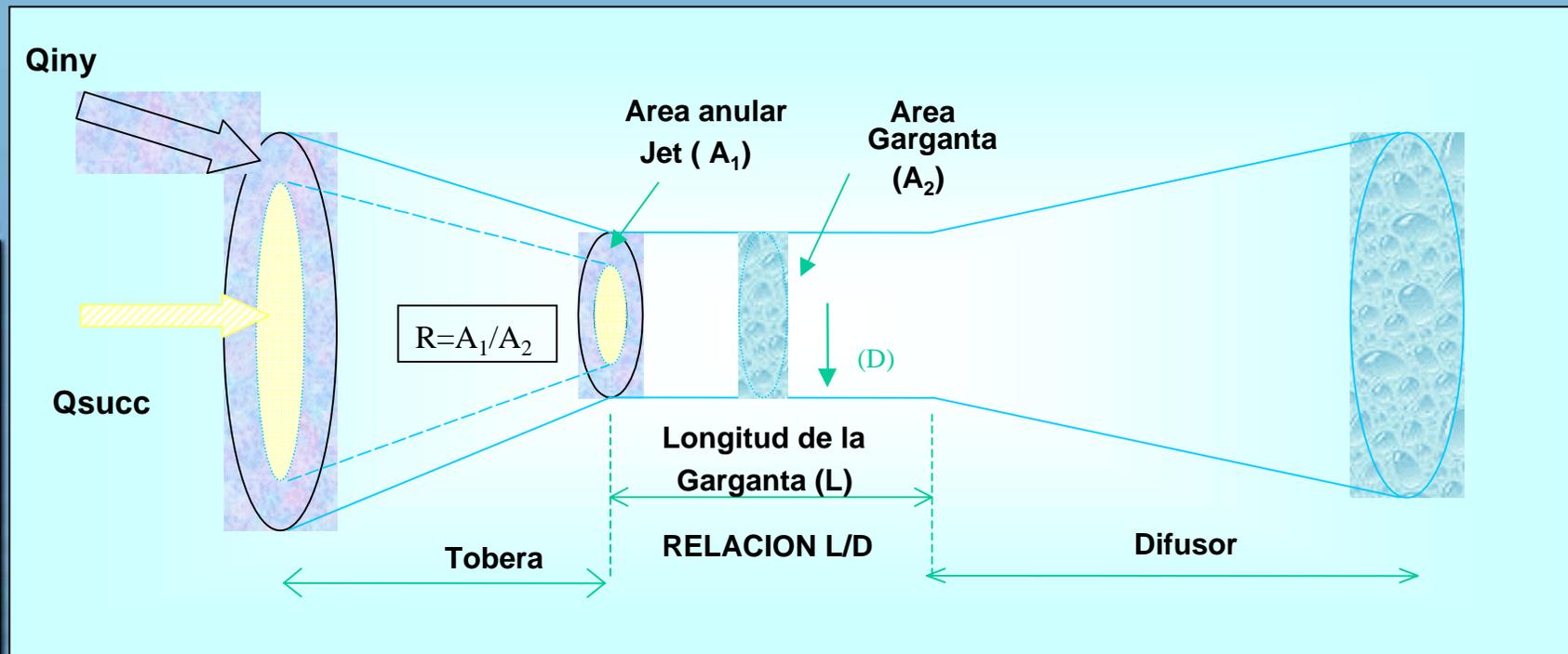
•Propuso
Modelo teórico

CUNNINGHAM (1988)

•Propuso Modelo
bifásico

MARCO TEÓRICO

TECNOLOGÍA JET: Principio de Operación



$$Q_{iny} = Q_b = V_{iny} A_{iny} = V_b A_b$$

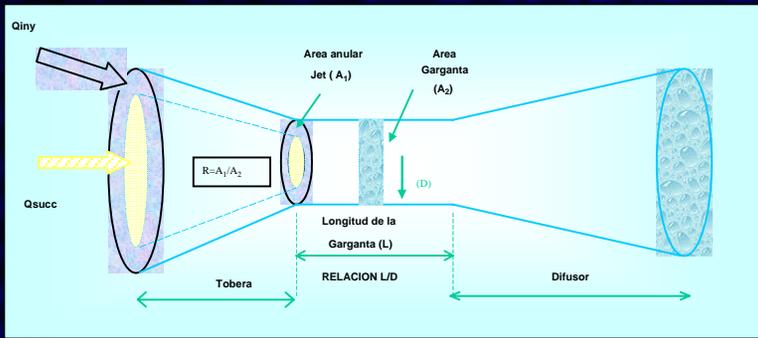
$$\frac{P_{iny}}{\gamma} + \frac{V_{iny}^2}{2g} + f_{iny} \frac{V_{iny}^2}{2g} = \frac{P_b}{\gamma} + \frac{V_b^2}{2g} + f_b \frac{V_b^2}{2g}$$

TECNOLOGÍA JET: Modelo Teórico

Suposiciones:

- ✓ Flujo unidireccional
- ✓ El fluido impulsor y bombeado se consideran incompresibles.
- ✓ Estado estacionario
- ✓ Flujo isotérmico
- ✓ La energía cinética a la entrada y salida del “Jet Pump” se considera despreciable.
- ✓ Perfecto mezclado de los fluidos a la salida de la garganta
- ✓ Se desprecian efectos de borde y fricción

MARCO TEÓRICO



TECNOLOGÍA JET

**Parámetros
Geométricos**

$$R = \frac{A_{boquilla}}{A_{garganta}} \quad \text{Longitud}_{Mezcla} = \frac{L}{D}$$

**Parámetros
Operacionales**

$$N = \frac{P_{descarga} - P_{succión}}{P_{inyección} - P_{descarga}} \quad M = \frac{M_{succión}}{M_{inyección}}$$

Eficiencia

$$Efic = N \times M$$

Modelo Jiao

$$N = \frac{2 \times R + (1 - 2 \times R) \times \left(\frac{R}{1 - R}\right)^2 \times M^2 - (1 + K_{td}) \times R^2 \times (1 + M)^2}{(1 + K_n) - 2 \times R - (1 - 2 \times R) \times \left(\frac{R}{1 - R}\right)^2 \times M^2 + (1 + K_{td}) \times R^2 \times (1 + M)^2}$$

MARCO TEÓRICO

Diseño de Jets

Curvas de eficiencia, determino relación de áreas R

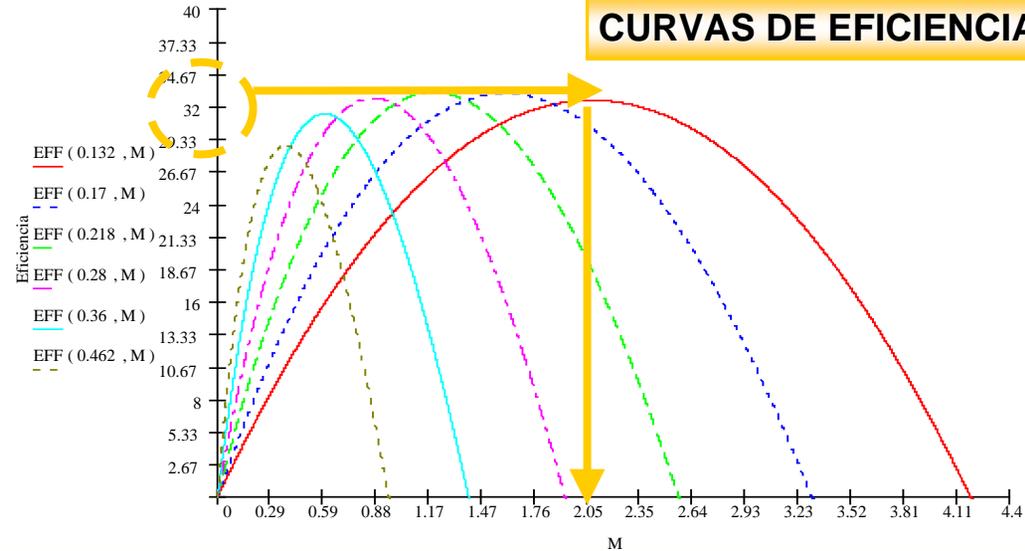
Ubico punto de máxima eficiencia y

Calculo M

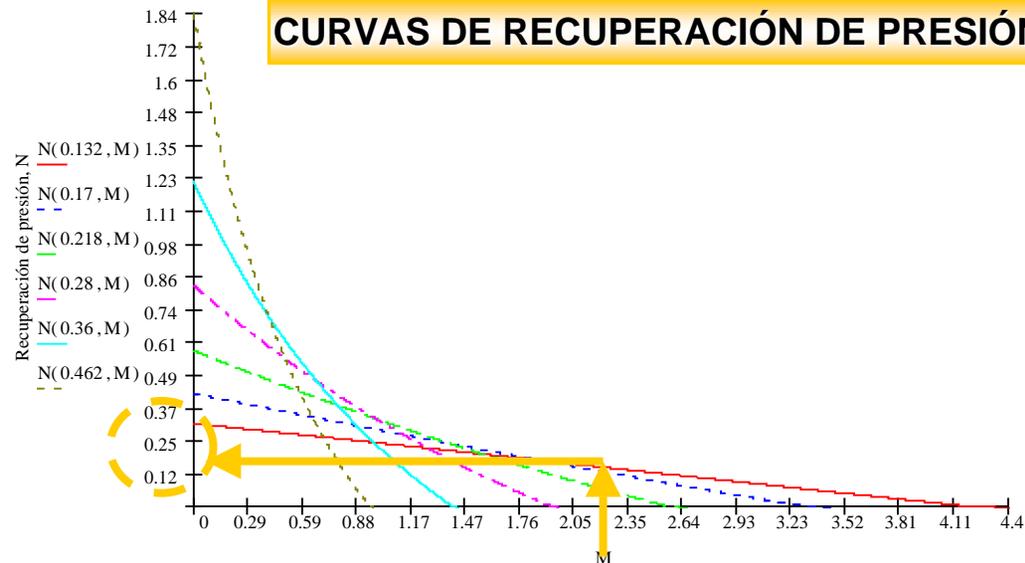
En curva N vs M ubico R y con M anterior

Calculo N

CURVAS DE EFICIENCIA

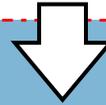


CURVAS DE RECUPERACIÓN DE PRESIÓN



METODOLOGÍA

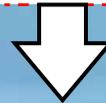
Modelos Teóricos



Simulación



Propuesta de diseño



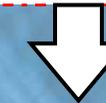
Prototipos



Evaluación



Análisis de datos



Verificación de la factibilidad técnica y económica

CONTENIDO

- **Introducción**
 - ✓ Planteamiento del Problema
 - ✓ Objetivos
 - ✓ Justificación
 - ⇒ Importancia para la Industria
 - ⇒ Importancia Científica
- **Marco teórico**
- **Modelaje y simulación**
- **Pruebas experimentales**
- **Resultados**
- **Conclusiones y recomendaciones**

MODELAJE Y SIMULACIÓN

DETALLES FLUIDODINÁMICOS

Gravedad API:	27,5
Viscosidad del crudo:	4 cP @ 100°F
Gravedad del gas:	0,707

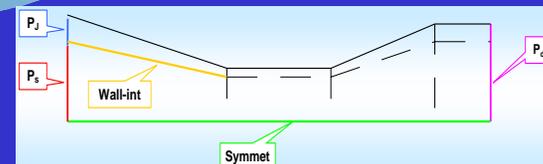
MODELO DE TURBULENCIA

- ✓ El modelo de turbulencia utilizado en todas las simulaciones fue k-ε

CFX

- ✓ Discretización del Mallado
- ✓ Máximo número de iteraciones
- ✓ Tolerancia del Flujo Másico

SOLUCIÓN DEL MODELO



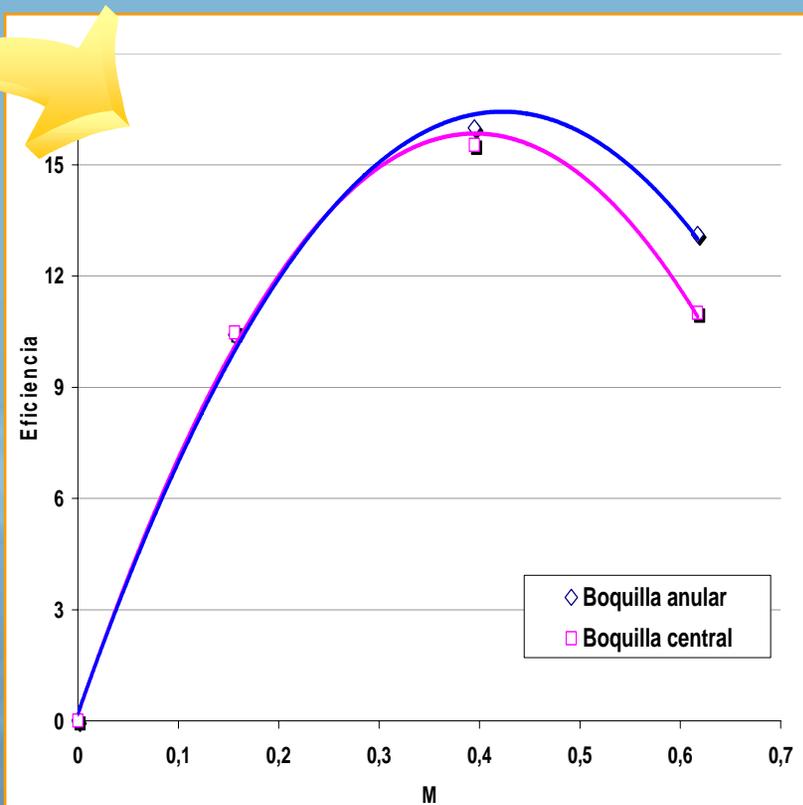
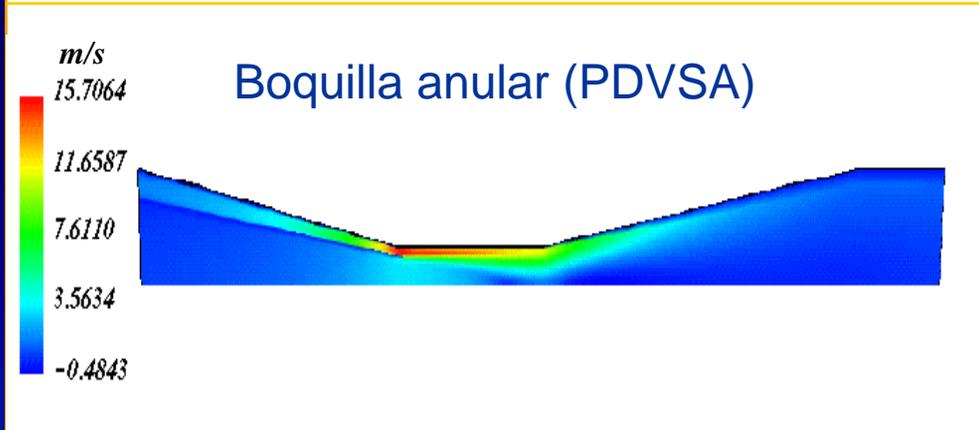
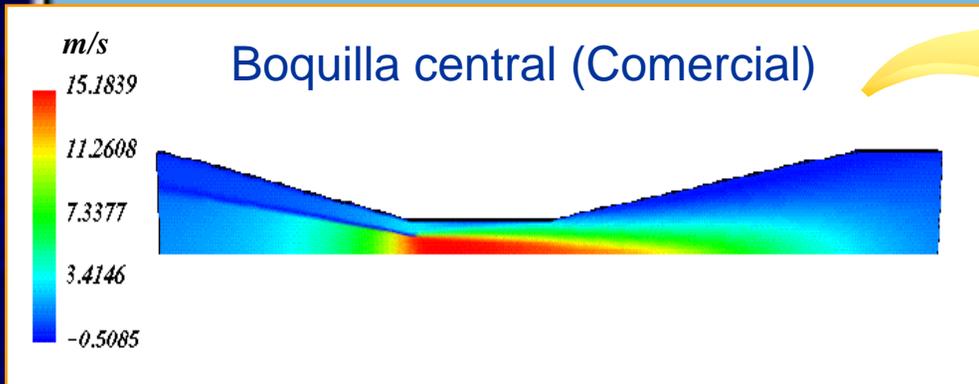
CONDICIONES DE BORDE

DETALLES DE LA SIMULACIÓN

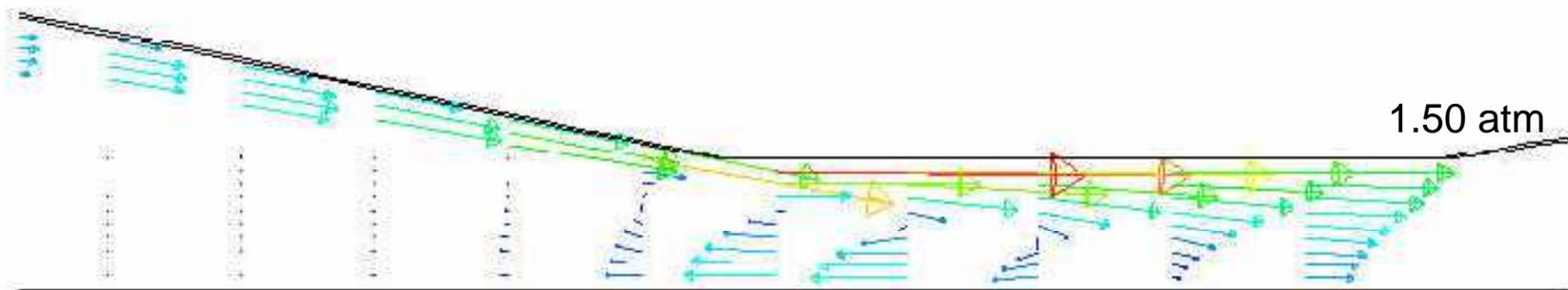
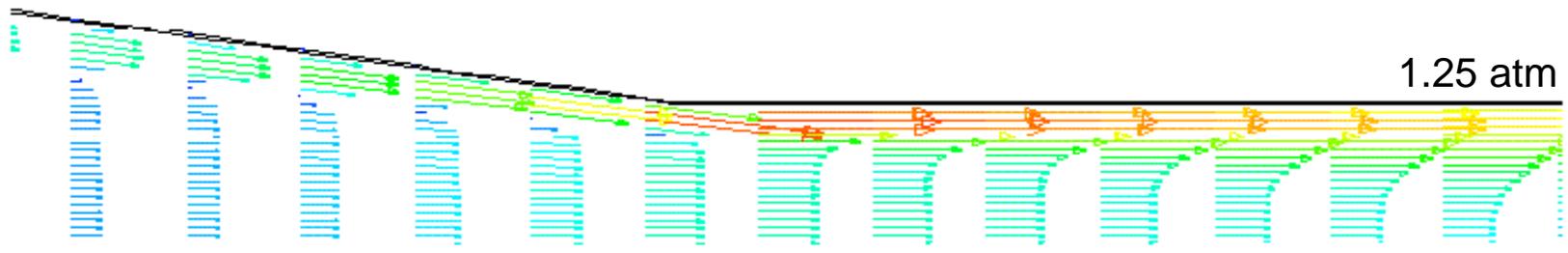
- ✓ Solución numérica mediante diferencias finitas y en dos dimensiones (2D) con un modelo axisimétrico
- ✓ Las ecuaciones fundamentales de conservación de la masa y momento en el interior de dicho dispositivo
- ✓ El modelo base está definido para los parámetros (R, M, L/D, N), y la relación de áreas de $R_1 = 0,132$

MODELAJE Y SIMULACIÓN

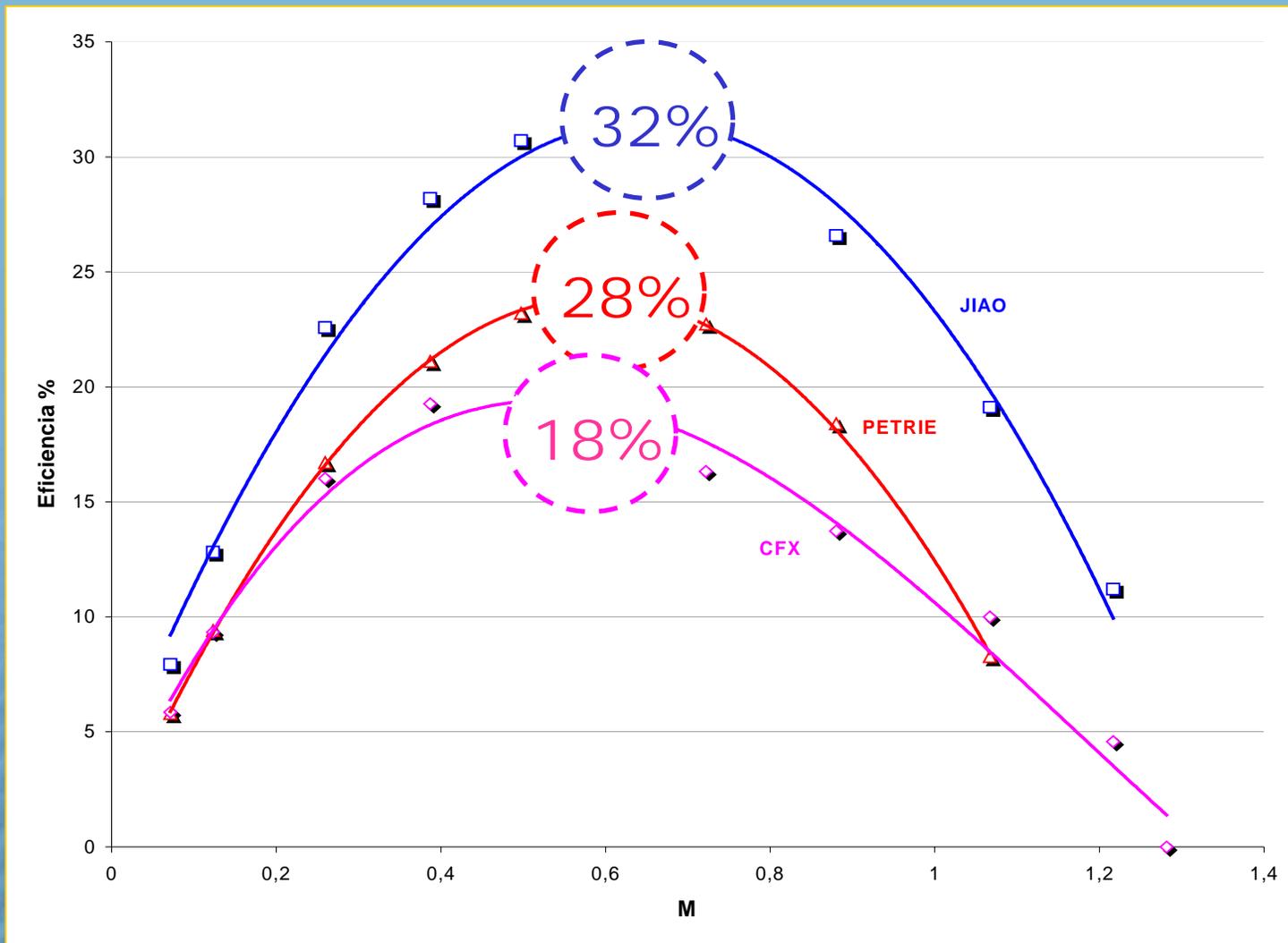
BOQUILLA ANULAR Y CENTRAL



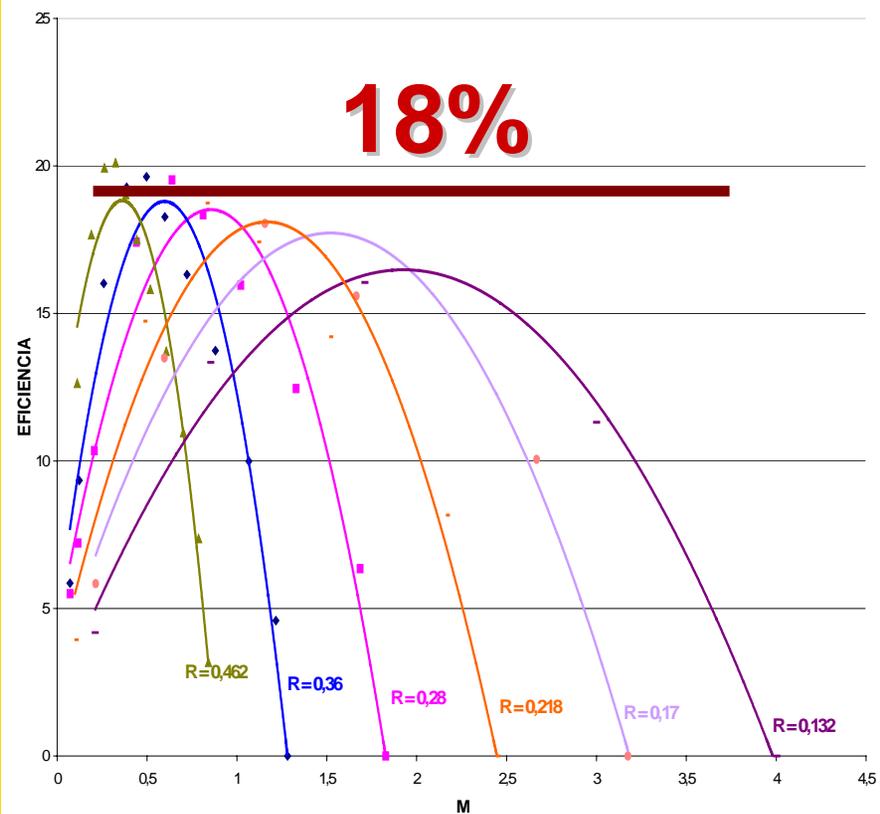
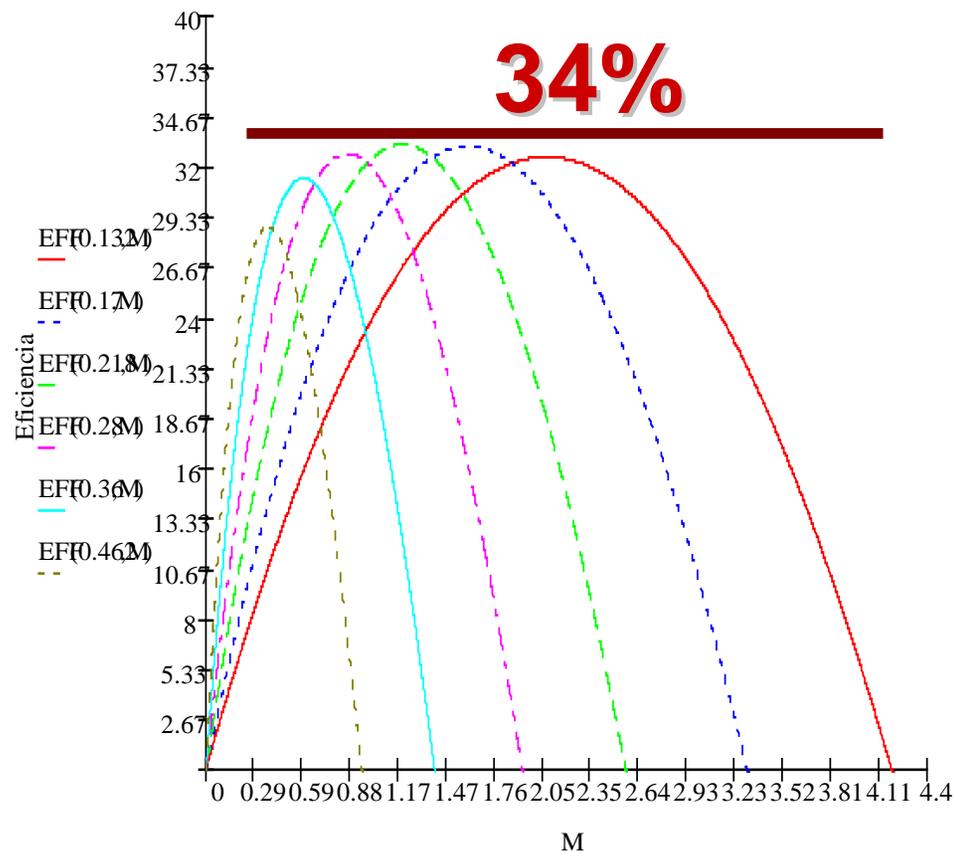
EFEECTO DE LA CONTRAPRESIÓN



CURVAS TEÓRICAS Y SIMULACIÓN

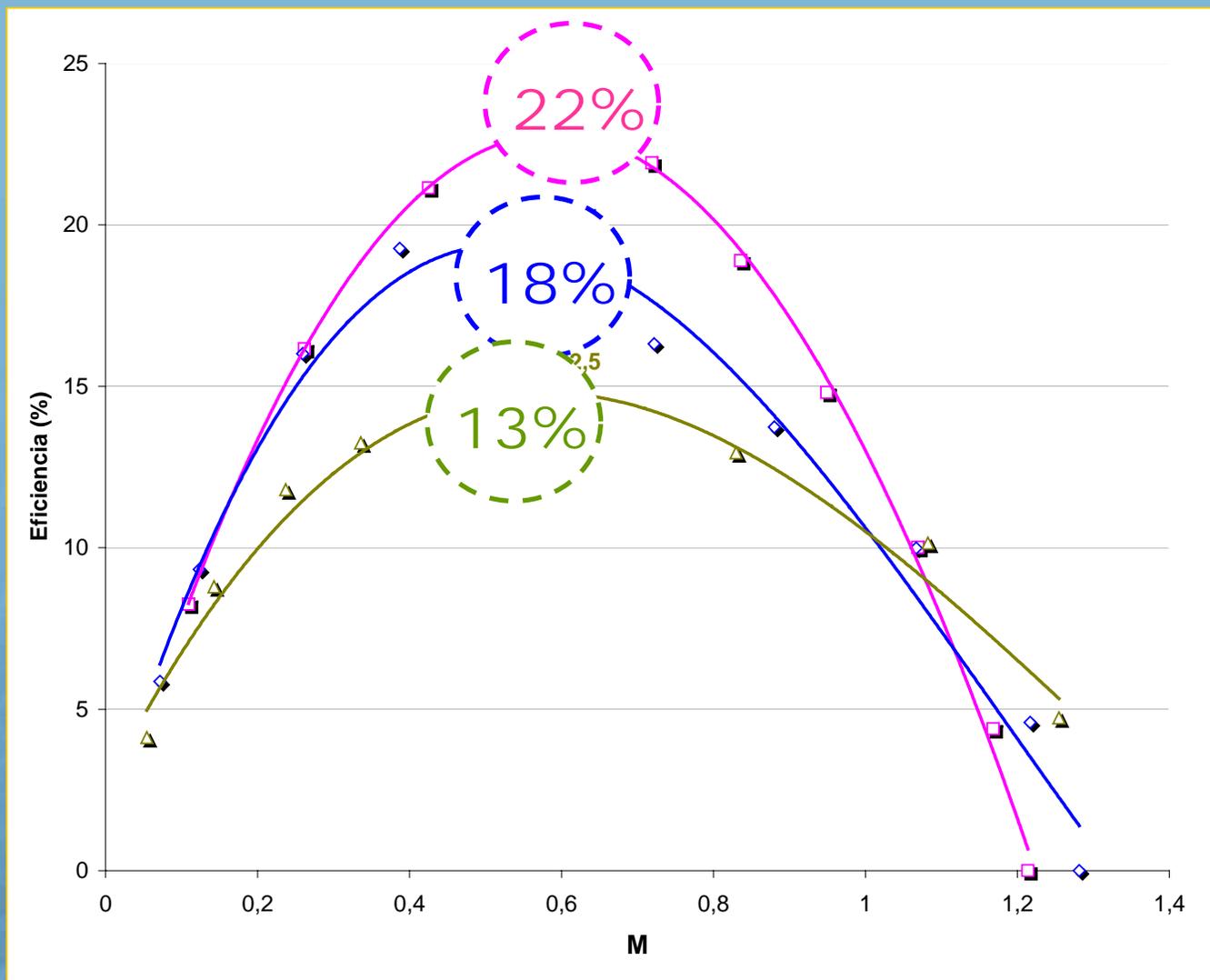


TENDENCIA CURVAS DE EFICIENCIA



MODELAJE Y SIMULACIÓN

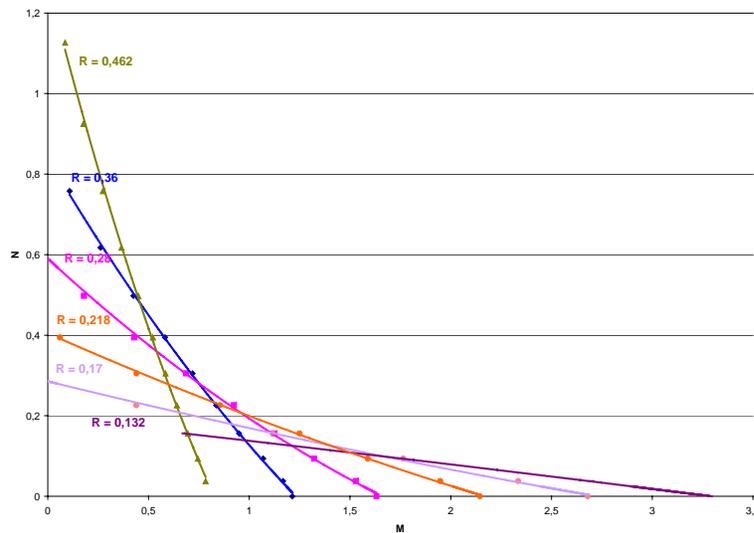
CURVAS DE EFICIENCIA PARA $R = 0,36$ Y DIFERENTES L/D



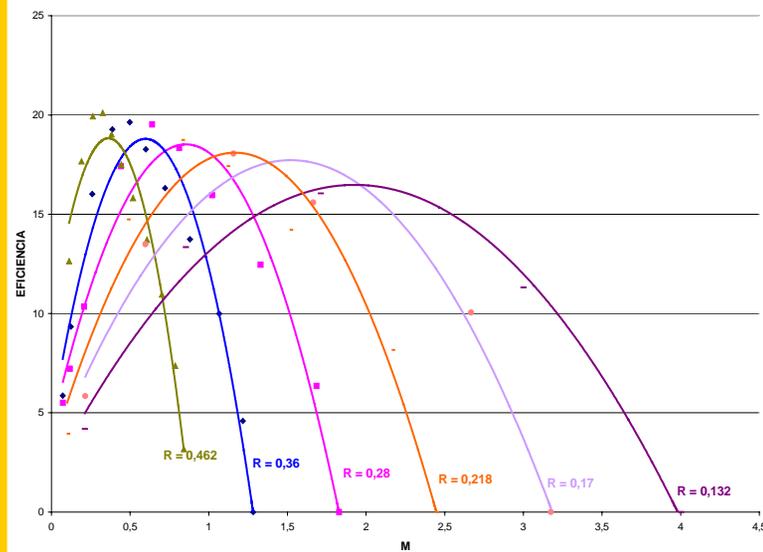
MODELAJE Y SIMULACIÓN

L/D = 5

CURVAS DE RECUPERACIÓN DE PRESIÓN

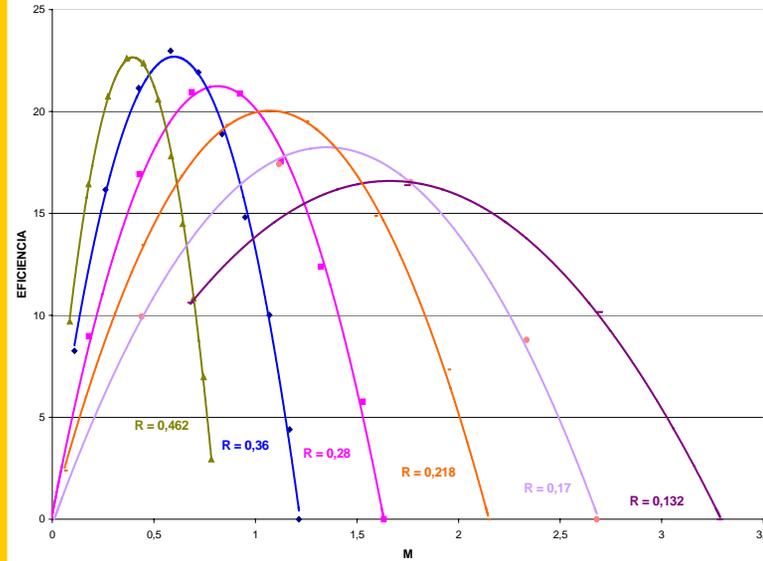
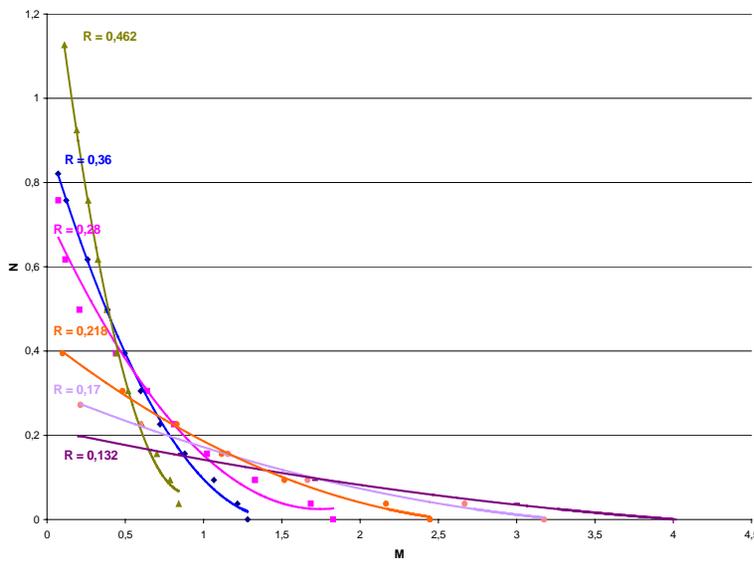


CURVAS DE EFICIENCIA

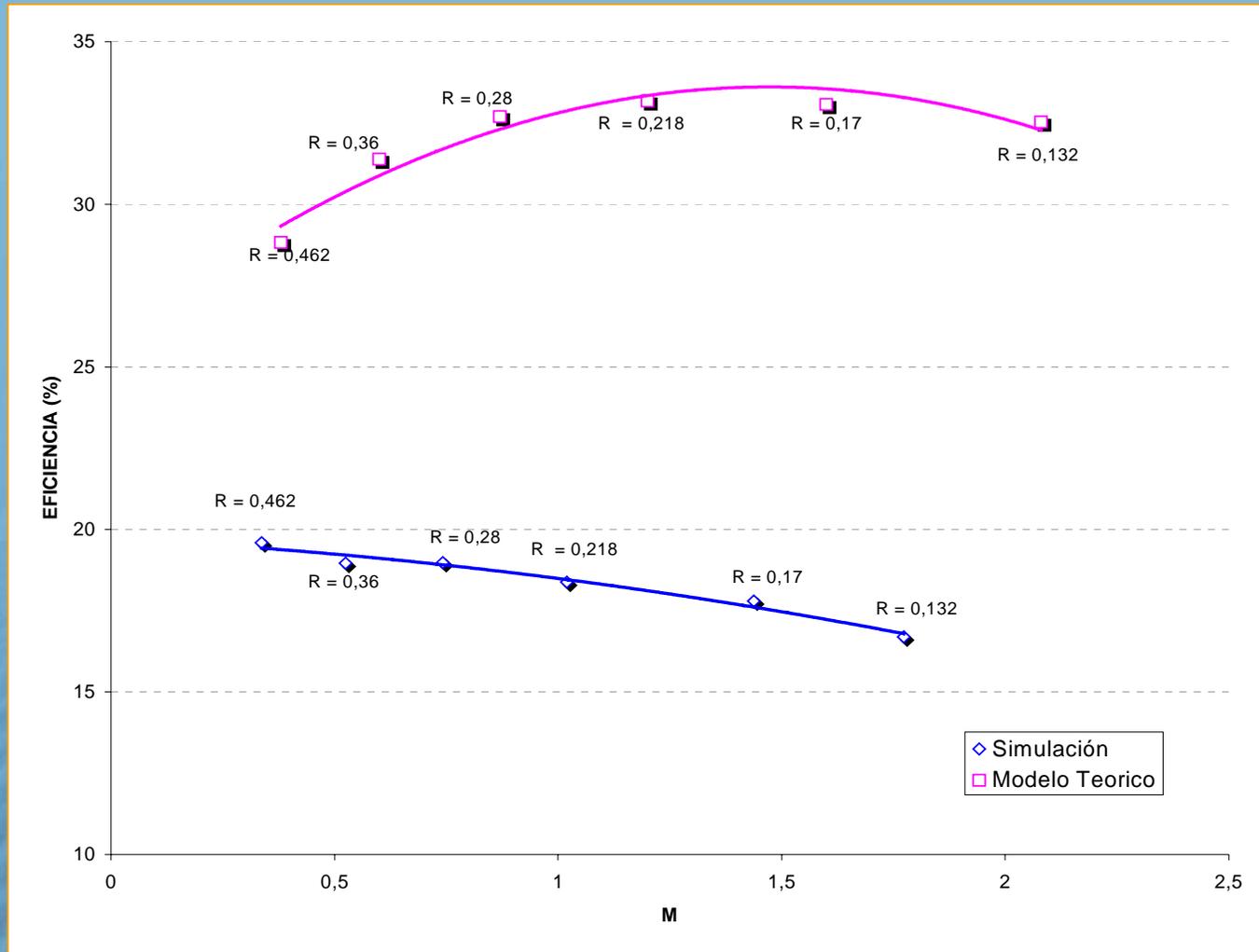


L/D = 10

CURVAS DE RECUPERACIÓN DE PRESIÓN



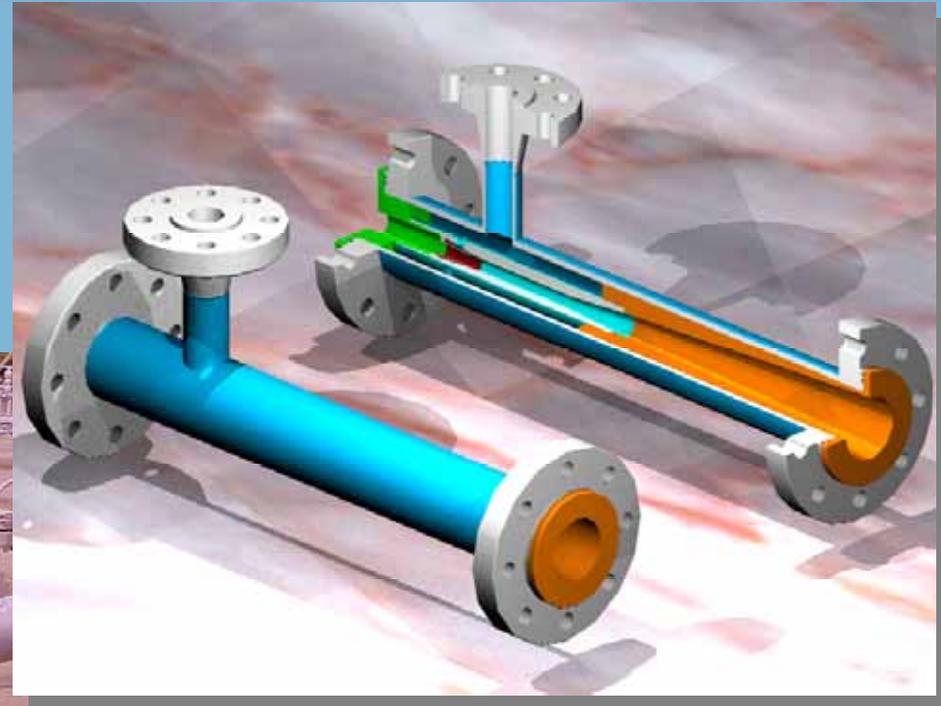
PUNTOS DE MÁXIMA EFICIENCIA



EQUIPO DISEÑADO

EQUIPO JET

- Seis (06) boquillas
- Construcción Acero 4140



- Entrada fluido Impulsor 2"
- Entrada succión 4"
- Descarga mezcla 4"

i Basados en aplicación exitosa a fondo de pozo

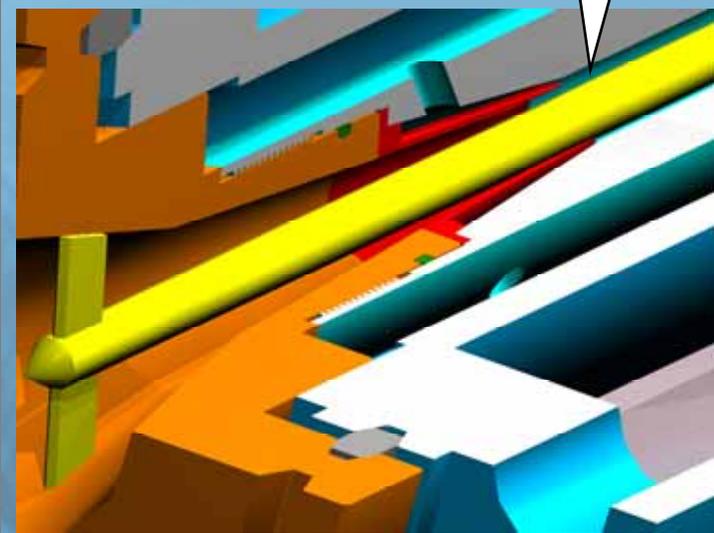
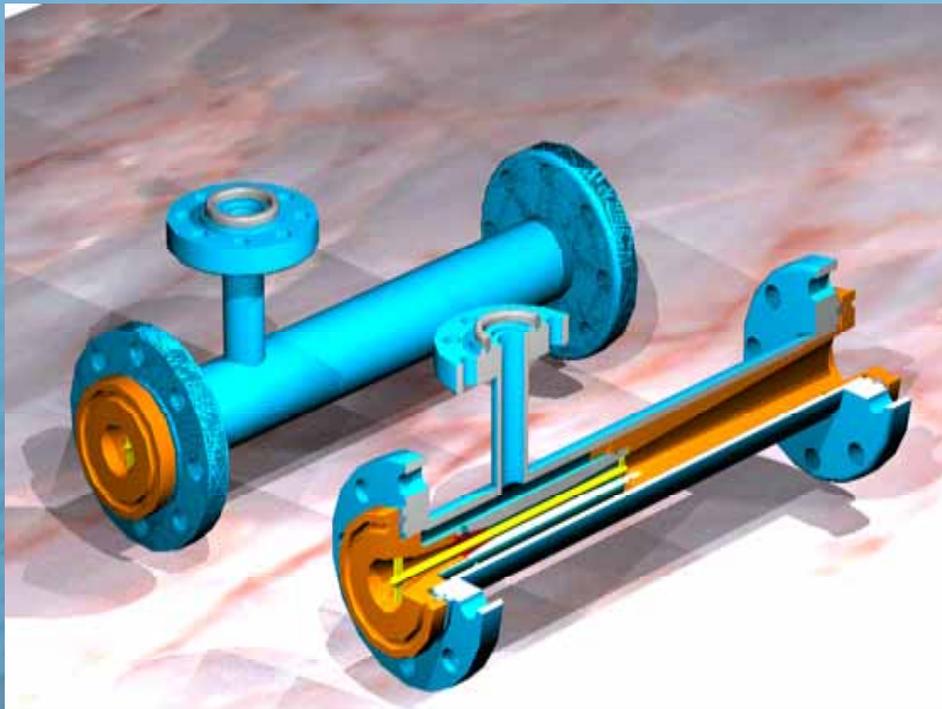
CARACTERÍSTICAS

Boquillas: R = 0,132; 0,170; 0,280

Inserto (opc): Garganta reducida 20 %

Jet de 3 1/2" (opc): Equipo 28% más grande que el diseñado

Garganta convergente - divergente (opc)



CONTENIDO

- **Introducción**
 - ✓ Planteamiento del Problema
 - ✓ Objetivos
 - ✓ Justificación
 - ⇒ Importancia para la Industria
 - ⇒ Importancia Científica
- **Marco teórico**
- **Modelaje y simulación**
- **Pruebas experimentales**
- **Resultados**
- **Conclusiones y recomendaciones**

PRUEBAS CEPRO

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL CEPRO

- **Fluido de trabajo:** Crudo 22,3 °API
- **Caudal de Bombeo:** 100 a 6000 Bls/día
- **Presión de las bombas:** 0 a 500 Psig



CARACTERÍSTICAS DEL CRUDO

Muestra	Fecha de muestreo	Hora	%AYS	Gravedad @ 60 F	API SECO	Viscosidad Din. (Centipoise)
TK-2 Rosa Mediano	02/07/2002	n/d	0,1	22,3	22,7	96 @78F

CARACTERÍSTICAS DEL GAS

Peso Molecular	19,632	lb/lbmol
Presión Seudocrítica	680.59	lpca.
Temperatura Seudocrítica	380.97	°R
Gravedad Específica	0,6773	aire = 1
Valor Calorífico Neto	999,9	BTU/PCN
Valor Calorífico Bruto	1105,6	BTU/PCN
Contenido Líquido	1,1726	Gal/1000 PCN
Viscosidad del Gas	0,0145	Centipoise
Factor Z del Gas	0,8015	adim.

PRUEBAS CEPRO

● Tanques de Almacenamiento

✓ Agua y Crudo

● Sistema de Gas

✓ Suministro Tia Juana V

● Sistema de Separación

✓ Separación Bifásica, Trifásica y Depurador



PRUEBAS CEPRO

INSTRUMENTACIÓN



PRUEBAS CEPRO

TIPO DE PRUEBAS

- Prueba Monofásica
- Prueba bifásica (Aplicación en EF): Se estima recuperar 1 MMScfd por cada EF.

✓ Procesos:

Proceso 1
Crudo

Proceso 2
Agua

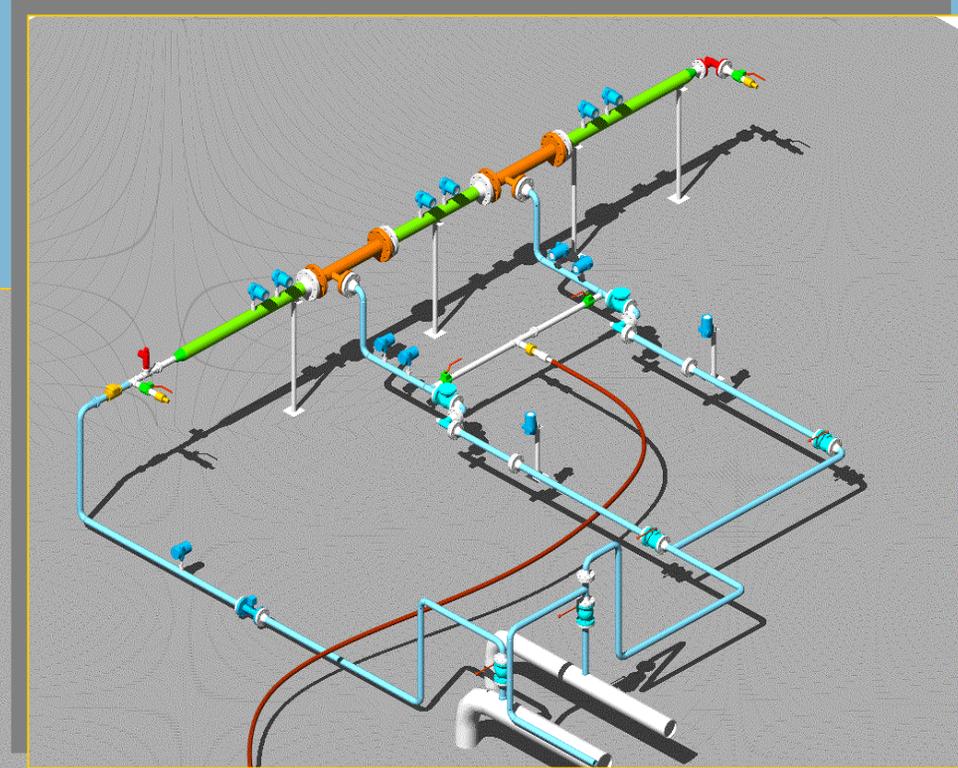
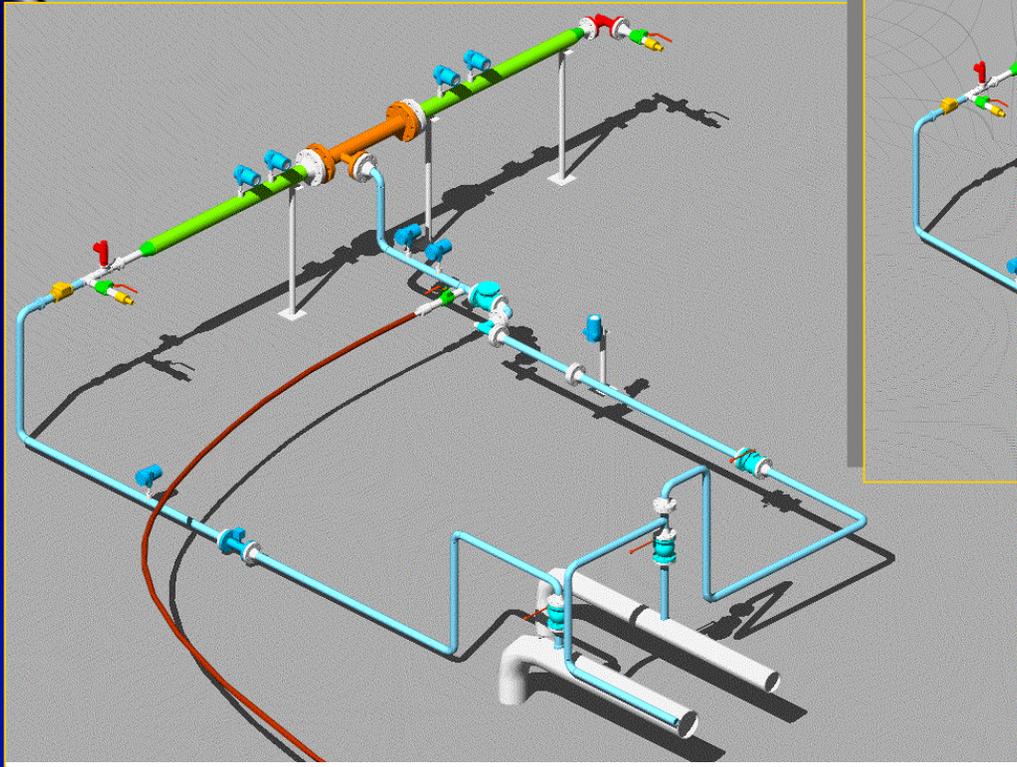
Proceso 3
Gas

MATRIZ EXPERIMENTAL

Boquilla	R = 0,132		R = 0,170		R = 0,280	
Fluidos de succión e inyección	Caudal de succión de gas (Mscfd)	Caudal de Inyección de crudo (BPD)	Caudal de succión de gas (Mscfd)	Caudal de Inyección de crudo (BPD)	Caudal de succión de gas (Mscfd)	Caudal de Inyección de crudo (BPD)
Proceso 1	500	200 - 1800	500	200 - 1800	500	200 - 1800
	1000	200 - 1800	1000	200 - 1800	1000	200 - 1800
	2000	200 - 1800	2000	200 - 1800	2000	200 - 1800
	3000	200 - 1800	3000	200 - 1800	3000	200 - 1800
Fluidos de succión e inyección	Caudal de succión de gas (Mscfd)	Caudal de Inyección de agua (BPD)	Caudal de succión de gas (Mscfd)	Caudal de Inyección de agua (BPD)	Caudal de succión de gas (Mscfd)	Caudal de Inyección de agua (BPD)
Proceso 2	500	200 - 1800	500	200 - 1800	500	200 - 1800
	1000	200 - 1800	1000	200 - 1800	1000	200 - 1800
	2000	200 - 1800	2000	200 - 1800	2000	200 - 1800
	3000	200 - 1800	3000	200 - 1800	3000	200 - 1800
Fluidos de succión e inyección	Caudal de succión de crudo (Mscfd)	Caudal de Inyección de gas (Mscfd)	Caudal de succión de crudo (BPD)	Caudal de Inyección de gas (Mscfd)	Caudal de succión de crudo (BPD)	Caudal de Inyección de gas (Mscfd)
Proceso 3	500	200 - 1800	500	200 - 1800	500	200 - 1800
	1000	200 - 1800	1000	200 - 1800	1000	200 - 1800
	2000	200 - 1800	2000	200 - 1800	2000	200 - 1800
	3000	200 - 1800	3000	200 - 1800	3000	200 - 1800

PRUEBAS CEPRO

CARACTERÍSTICAS DEL CIRCUITO DISEÑADO

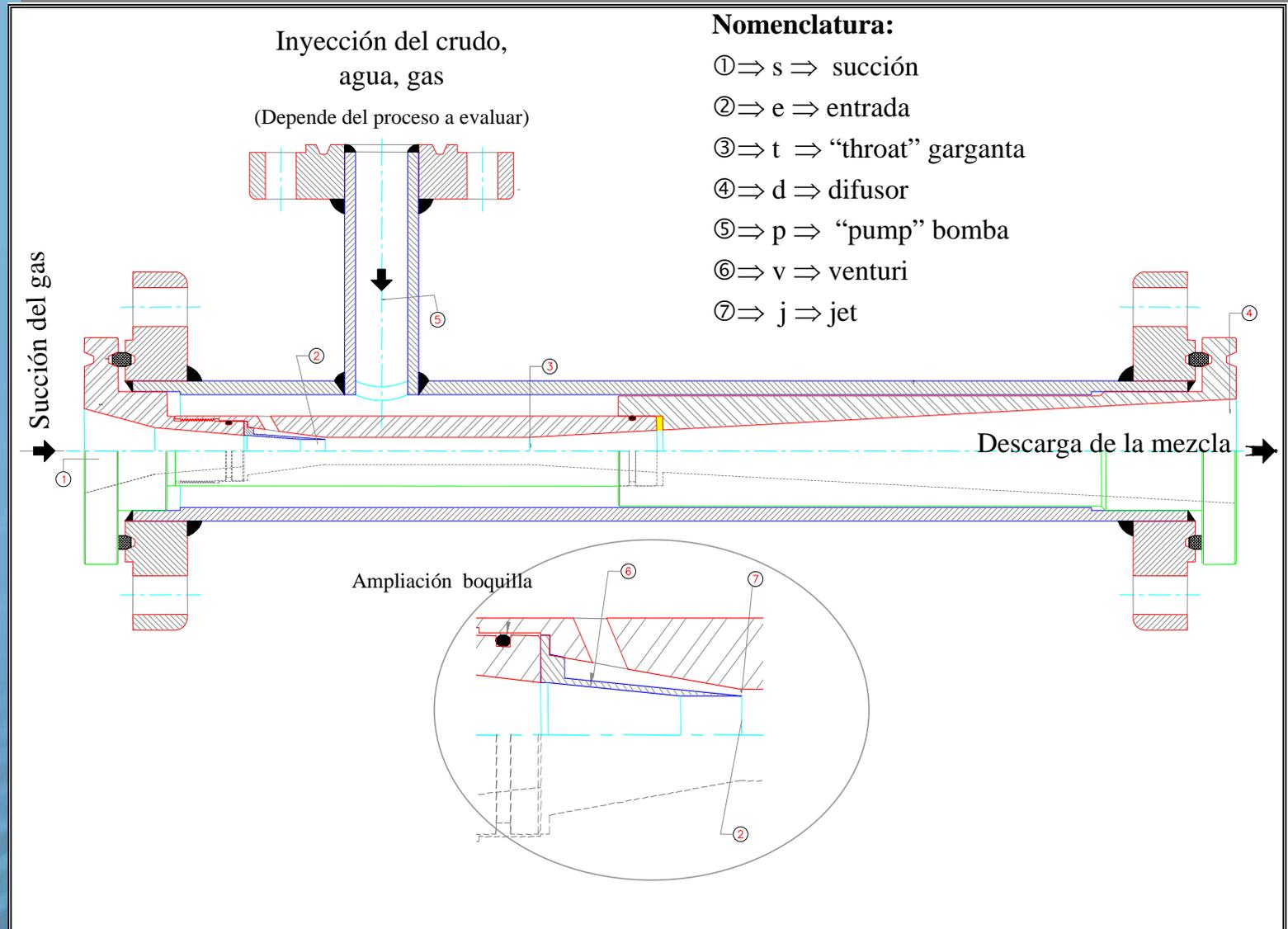


PRUEBAS CEPRO

CARACTERÍSTICAS DEL CIRCUITO CONSTRUIDO



ECUACIONES A RESOLVER



TECNOLOGÍA JET

Suposiciones:

- ✓ Fluido de succión compresible (densidad variable)
- ✓ Proceso politrópico
- ✓ Los coeficientes de pérdidas en el Jet, se consideran como pérdidas de accesorios
- ✓ Mezcla homogénea del gas en el líquido (mezclado), es decir, flujo neblina a la salida de la garganta (no existe deslizamiento entre las fases después del mezclado)
- ✓ Las ecuaciones de balance de energía, conservación de momento y continuidad para las partes del Jet se combinan para obtener el sistema de ecuaciones no lineales que originan el modelo solución

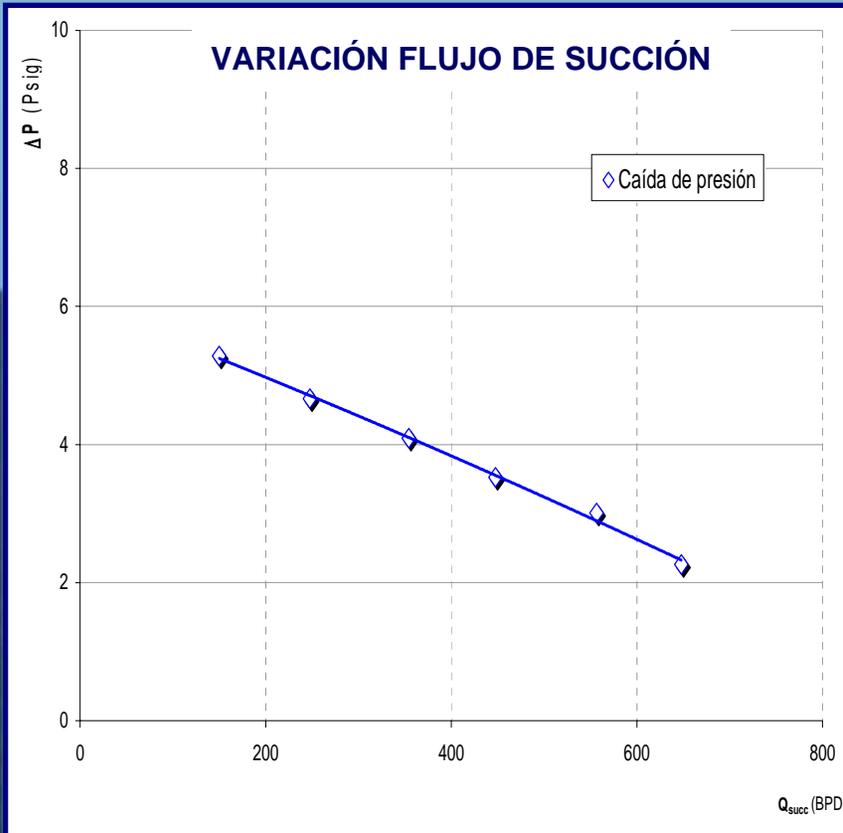
CONTENIDO

- **Introducción**
 - ✓ Planteamiento del Problema
 - ✓ Objetivos
 - ✓ Justificación
 - ⇒ Importancia para la Industria
 - ⇒ Importancia Científica
- **Marco teórico**
- **Modelaje y simulación**
- **Pruebas experimentales**
- **Resultados**
- **Conclusiones y recomendaciones**

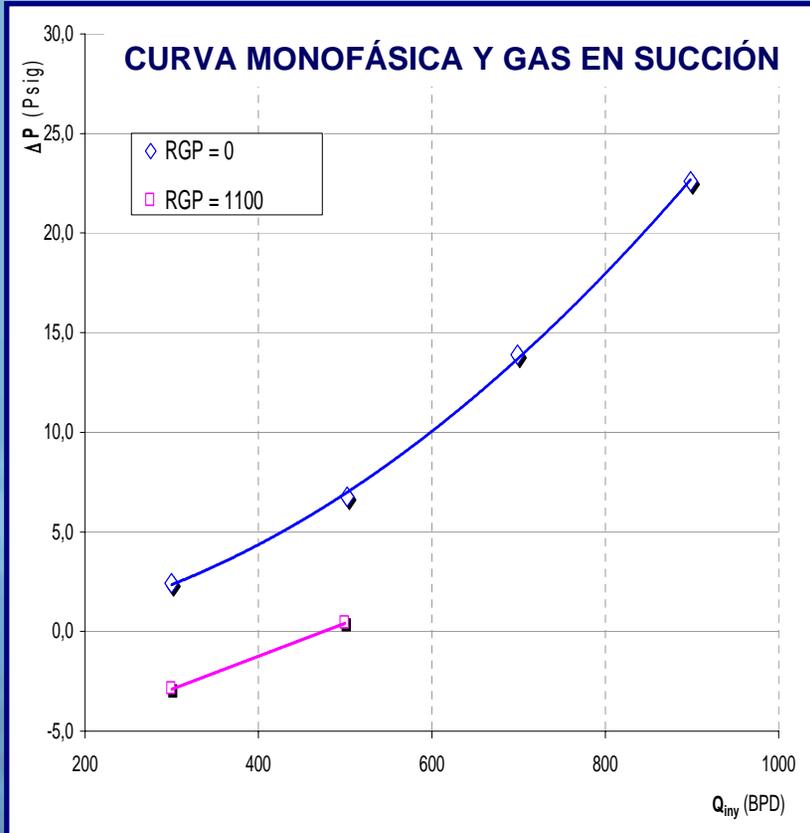
RESULTADOS

Prueba Monofásica

CAÍDA DE PRESIÓN VS FLUJO DE SUCCIÓN E INYECCIÓN

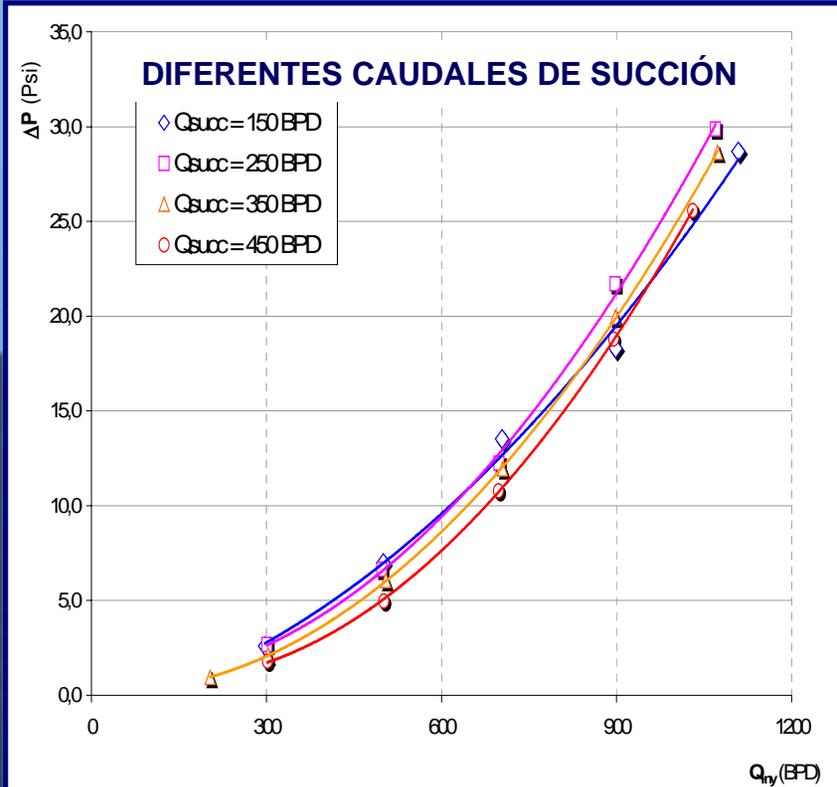


$R = 0,132$, $Q_{iny} = 300$ BPD, $P_d = 200$ Psig

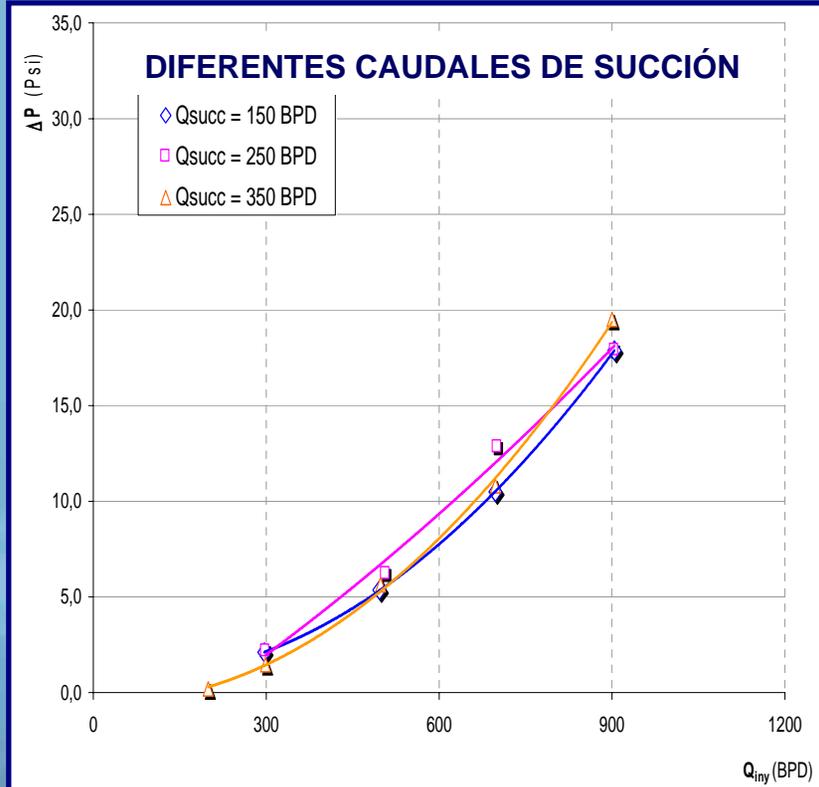


$R = 0,132$, $Q_{succ} = 150$ BPD, $P_d = 100$ Psig

CAÍDA DE PRESIÓN VS FLUJO DE INYECCIÓN



$R = 0,170$, $Q_{succ} = 150-450$ BPD
 $P_d = 100$ Psig



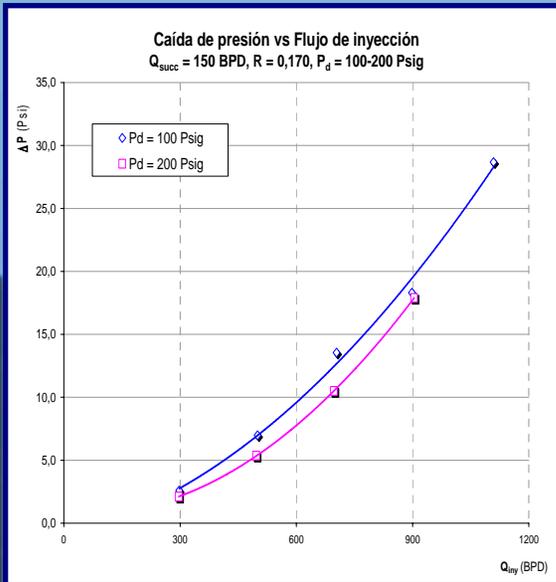
$R = 0,170$, $Q_{succ} = 150-350$ BPD
 $P_d = 200$ Psig

i Mayor P_d , menor ΔP

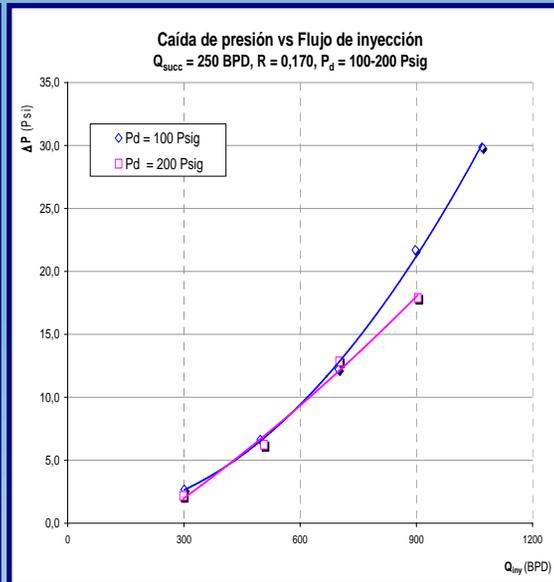
RESULTADOS

Prueba Monofásica

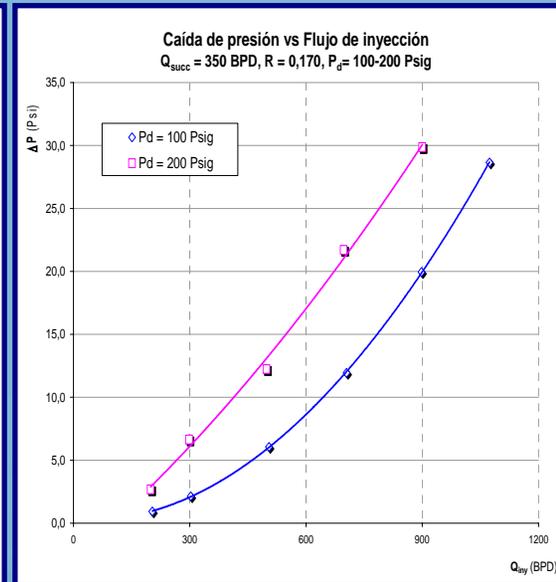
CAÍDA DE PRESIÓN VS FLUJO DE INYECCIÓN



$R = 0,170$, $P_d = 100-200$ Psig
 $Q_{succ} = 150$ BPD



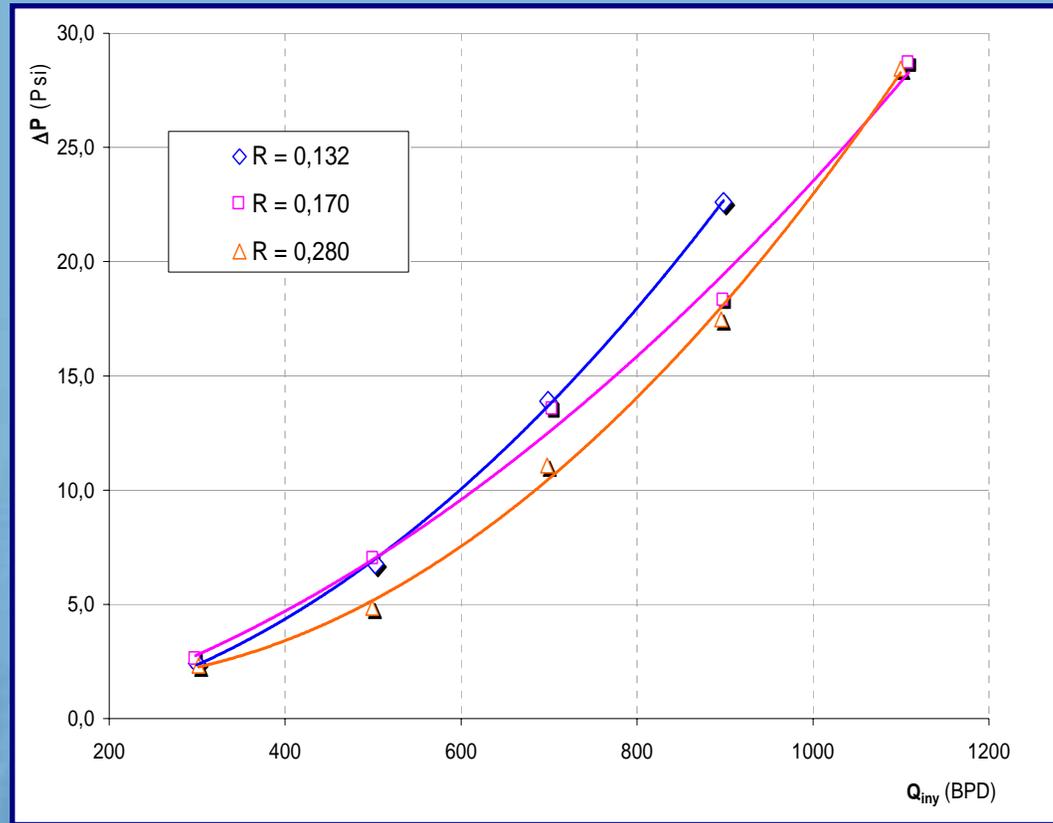
$R = 0,170$, $P_d = 100-200$ Psig
 $Q_{succ} = 250$ BPD



$R = 0,170$, $P_d = 100-200$ Psig
 $Q_{succ} = 350$ BPD

i A mayor caudal de succión y P_d , mejor ΔP

CAÍDA DE PRESIÓN VS FLUJO DE INYECCIÓN



$Q_{succ} = 150 \text{ BPD}$, $P_d = 100 \text{ Psig}$

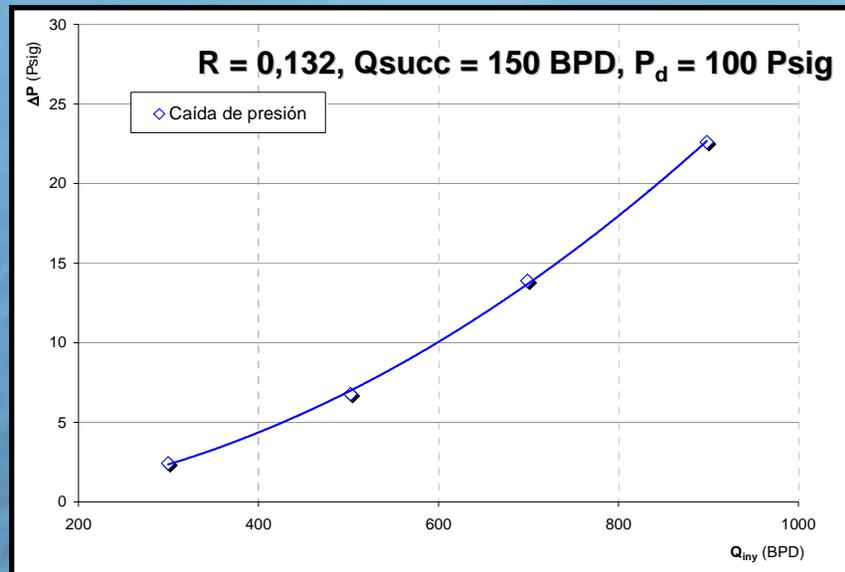
❗ Boquilla R = 0,132 es la más eficiente

RESULTADOS

Prueba Monofásica

METODOLOGÍA PARA LA COMPARACIÓN: $R = 0,132$, $Q_{succ} = 150$ BPD, $THP = 100$ Psig

PUNTO 1	Configuración	Q_{iny}	Q_{succ}	P_{succ}	P_{iny}	P_d
		FT-521 V Flujo crudo Motriz (bomba) (BPD)	FT-621V Flujo crudo desc. bomba (BPD)	PT-665 Presión entr. Jet N°1 (Psig)	PT-670 Presión Jet N°1 Fluido motriz (Psig)	PT-675 Presión salida Jet N°1 (Psig)
R=0,132 Q_{succ} 150 THP100		299,72	150,83	98,58	138,75	101,00
		502,38	155,42	91,47	211,55	98,25
		698,76	155,69	85,36	312,94	99,26
		898,37	149,45	78,93	409,04	101,54



Experimental		
N	M	Eficiencia (%)
0,0641	0,5032	3,23
0,0598	0,3094	1,85
0,0650	0,2228	1,45
0,0735	0,1664	1,22

Comparación simulación y modelo teórico

RESULTADOS

Prueba Monofásica

COMPARACIÓN EXPERIMENTOS, SIMULACIÓN Y MODELOS TEÓRICOS
 $R = 0,132$, $Q_{succ} = 150$ BPD, $P_d = 100$ Psig

N	Experimental		Simulación		Teorico Petrie		Teorico Jiao		% Error Eficiencia		
	M	Eficiencia (%)	M	Eficiencia (%)	M	Eficiencia (%)	M	Eficiencia (%)	% M _{error} simulación	% M _{error} Teorico Petrie	% M _{error} Teorico Jiao
0,0641	0,5032	3,23	2,2394	14,61	2,6970	17,30	3,3100	21,23	345	436	558
0,0598	0,3094	1,85	2,3100	14,11	2,7450	16,40	3,3690	20,13	647	787	989
0,0650	0,2228	1,45	2,2237	14,72	2,6870	17,47	3,2980	21,45	898	1106	1380
0,0735	0,1664	1,22	2,0825	15,51	2,5920	19,06	3,1840	23,41	1152	1458	1814

M	Experimental		Simulación		Teorico Petrie		Teorico Jiao		% Error Eficiencia		
	N	Eficiencia (%)	N	Eficiencia (%)	N	Eficiencia (%)	N	Eficiencia (%)	% M _{error} simulación	% M _{error} Teorico Petrie	% M _{error} Teorico Jiao
0,5032	0,0641	3,23	0,1650	8,54	0,2300	11,58	0,2730	13,75	157	259	326
0,3094	0,0598	1,85	0,1760	5,83	0,2430	7,52	0,2870	8,88	194	307	380
0,2228	0,0650	1,45	0,1810	2,64	0,2490	5,54	0,2930	6,53	178	283	350
0,1664	0,0735	1,22	0,1840	3,81	0,2530	4,20	0,2970	4,95	150	244	304

- ❗ 51 puntos experimentales: %Error Eficiencia 350 y 1100 %
- ❗ Es más sensible N que M, se recomienda este último

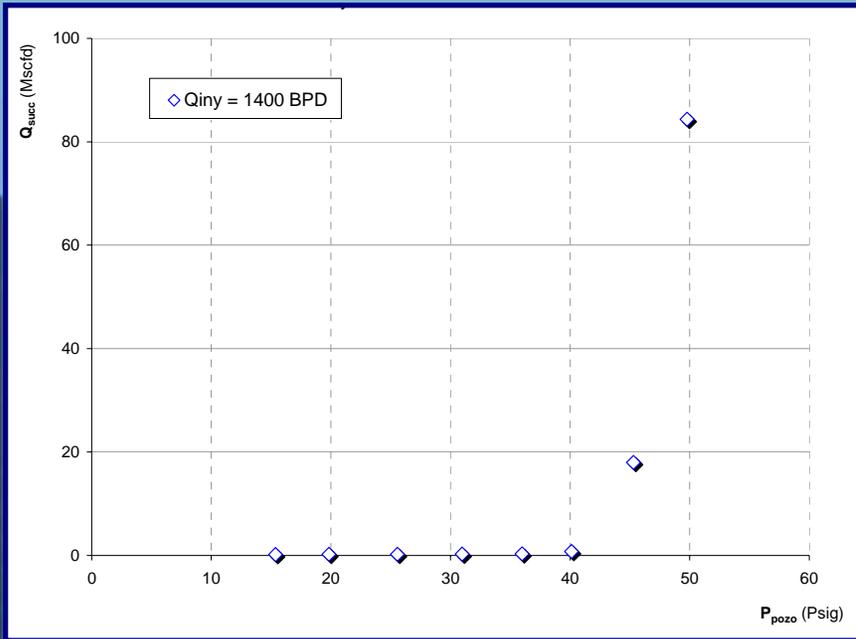
Comparación simulación y modelo teórico

RESULTADOS

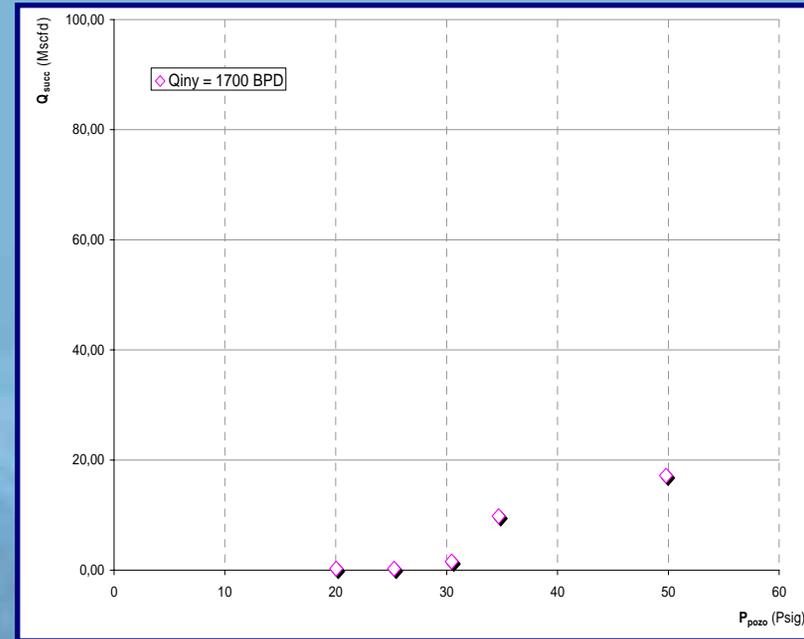
Prueba Bifásica

COMPRESIÓN DE GAS CON INYECCIÓN DE CRUDO

SUCCIÓN: GAS ALMACENADO EN EL POZO (PULMON)



R = 0,132, Qiny = 1400



R = 0,132, Qiny = 1700

ⓘ Un Jet, Presión del pozo inestable, bajo caudal de succión

Proceso 1 Compresión de gas con crudo

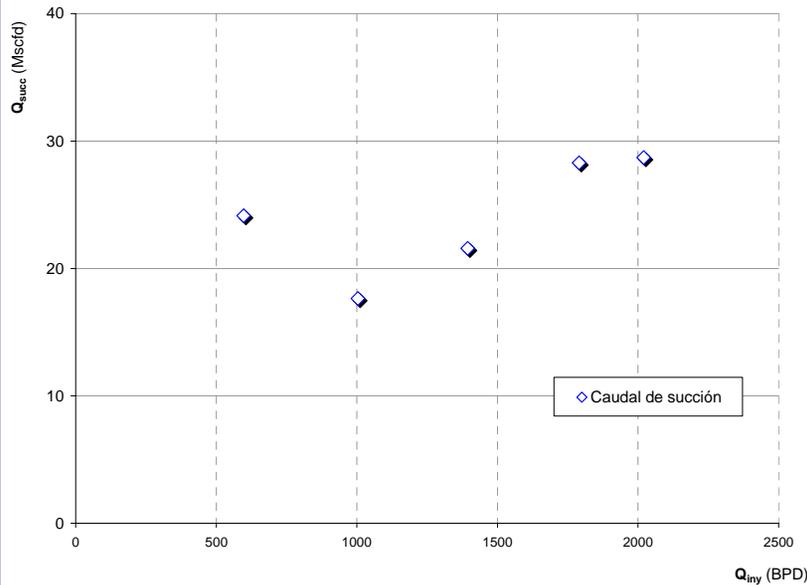
RESULTADOS *Prueba Bifásica*

COMPRESIÓN DE GAS CON INYECCIÓN DE CRUDO

SUCCIÓN: GAS DEL PULMÓN DEL POZO

Caudal de Succión vs Caudal de inyección

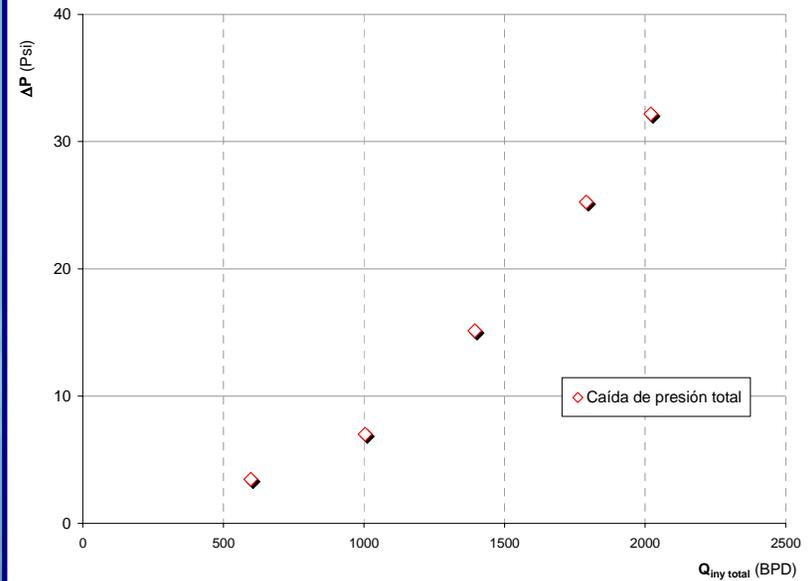
$P_{\text{pozo}} = P_{\text{atmosférica}}$; Jet No 1 y Jet No 2; $R = 0,132$



$R = 0,132$, $P_{\text{pozo}} = P_{\text{atm}}$, Arreglo Jet 1 y 2

Caída de presión vs Caudal de inyección

$P_{\text{pozo}} = P_{\text{atmosférica}}$; Jet No 1 y Jet No 2; $R = 0,132$



$R = 0,132$, $P_{\text{pozo}} = P_{\text{atm}}$, Arreglo Jet 1 y 2

ⓘ Arreglo Jet 1 y Jet 2, ΔP requerido, bajo caudal de succión

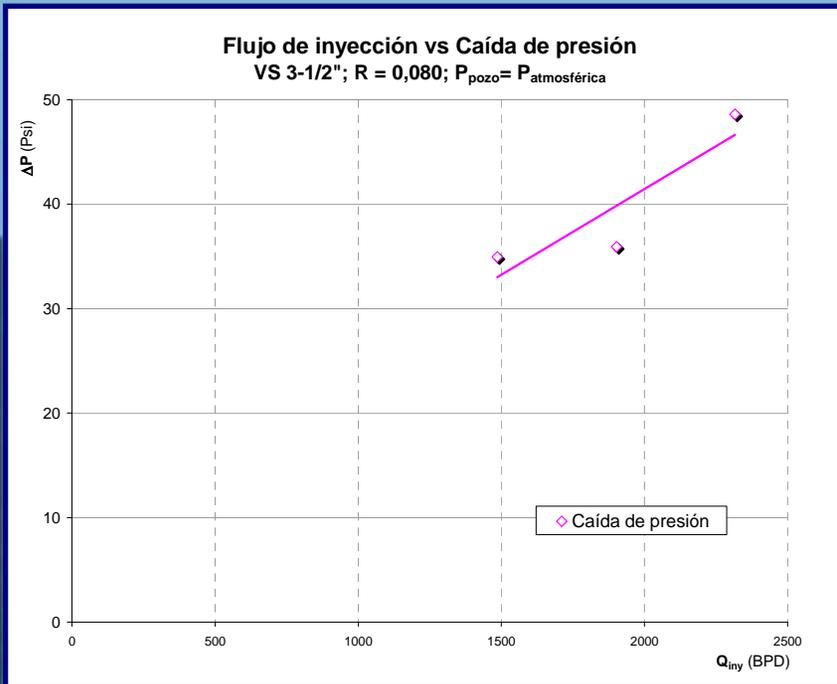
Proceso 1 Compresión de gas con crudo

RESULTADOS

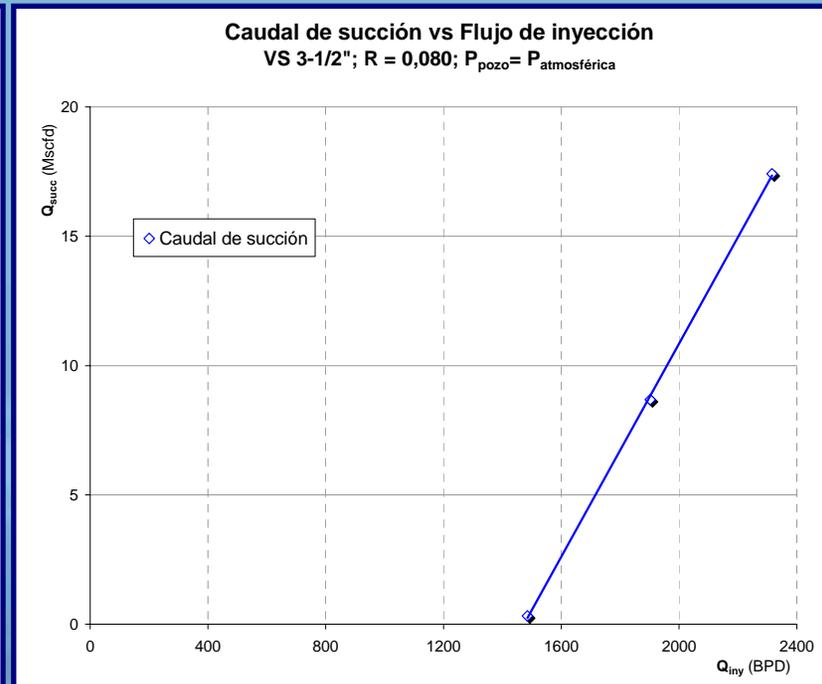
Prueba Bifásica

COMPRESIÓN DE GAS CON INYECCIÓN DE CRUDO

SUCCIÓN: GAS DEL PULMÓN DEL POZO



R = 0,080, P_{pozo} = P_{atm}, Arreglo Jet 1 y 2)



R = 0,132, P_{pozo} = P_{atm}, Arreglo Jet 1 y 2

ⓘ Arreglo Jet 3 1/2", ΔP requerido, bajo caudal de succión

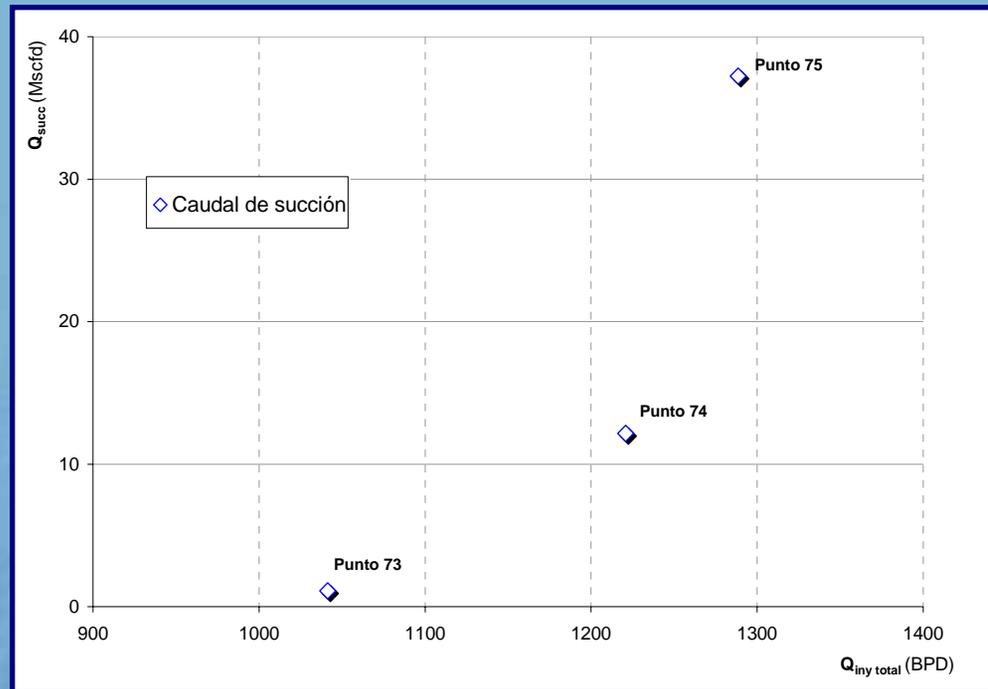
Proceso 1 Compresión de gas con crudo

RESULTADOS

Prueba Bifásica

COMPRESIÓN DE GAS CON INYECCIÓN DE CRUDO

SUCCIÓN: GAS DE INSTRUMENTOS



$R = 0,132$, $P_{instr} = P_{atm}$, Arreglo Jet 2

ⓘ Jet 2, Bajo caudal de succión

Proceso 1 Compresión de gas con crudo

RESULTADOS

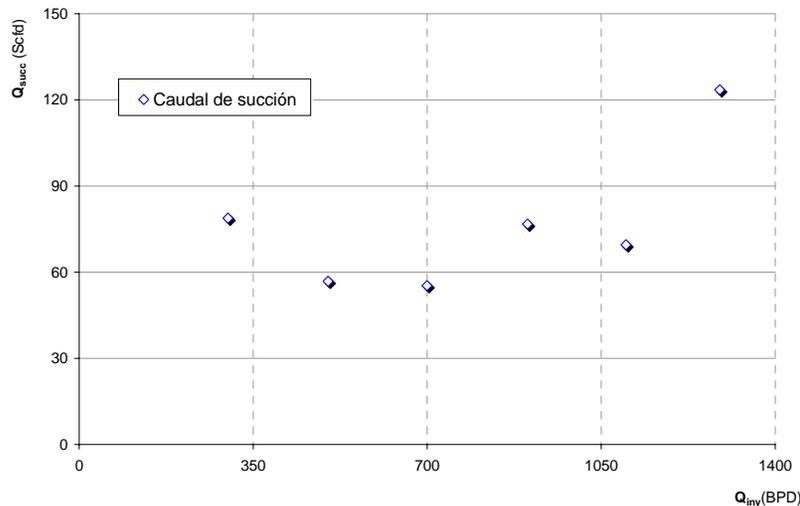
Prueba Bifásica

COMPRESIÓN DE AIRE CON INYECCIÓN DE AGUA

SUCCIÓN: AIRE DEL AMBIENTE

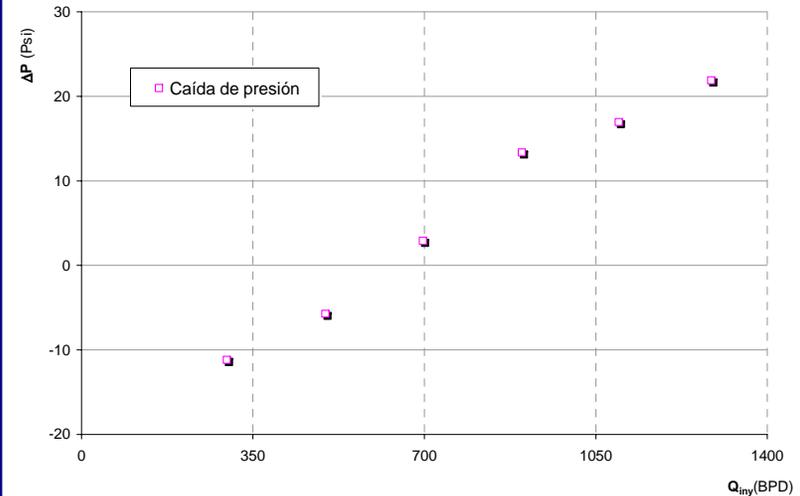
Flujo de succión (aire) vs caudal de inyección (agua)

$$P_{\text{succión}} = P_{\text{atm}}, R = 0,132$$



Caída de presión vs caudal de inyección (agua)

$$P_{\text{entrada}} = P_{\text{atm}}, R = 0,132$$



R = 0,132, P_{succ} = P_{atm}, Vortex 2", Arreglo Jet 2

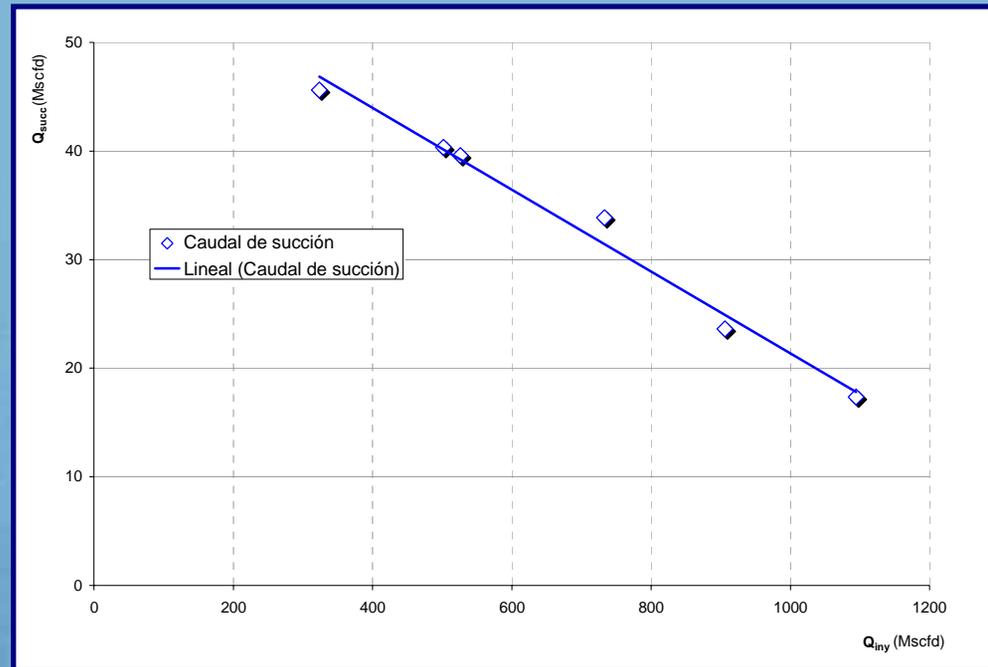
R = 0,132, P_{succ} = P_{atm}, Vortex 2", Arreglo Jet 2

i Arreglo Jet 2, ΔP requerido, bajo caudal de succión

Proceso 2 Compresión de aire con agua

COMPRESIÓN DE GAS CON INYECCIÓN DE GAS

SUCCIÓN: GAS DEL PULMÓN DEL POZO



$R = 0,132$, $P_{\text{pozo}} = P_{\text{atm}}$, Arreglo Jet 2

ⓘ Jet 2, Bajo y bloqueado caudal de succión

CONTENIDO

- **Introducción**
 - ✓ Planteamiento del Problema
 - ✓ Objetivos
 - ✓ Justificación
 - ⇒ Importancia para la Industria
 - ⇒ Importancia Científica
- **Marco teórico**
- **Modelaje y simulación**
- **Pruebas experimentales**
- **Resultados**
- **Conclusiones y recomendaciones**

CONCLUSIONES

- Se diseñó, construyó y evaluó con fluidos reales un sistema de succión de gas tipo Jet de carácter anular objeto de patente americana (otorgada en el mes de Abril bajo el número US Patente 654-75-32)
- Los beneficios observados en esta aplicación resultaron ser notablemente inferiores a la aplicación de fondo de pozo.
- Las curvas de eficiencia con el modelo analítico-numérico (2D), mostraron un comportamiento parabólico similar al teórico, sin embargo, los valores de eficiencia fueron inferiores a los esperados .

CONCLUSIONES

- Los modelos de predicción y diseño que existen en la literatura, sobrestiman el comportamiento de los equipos.
- El modelo propuesto en este trabajo es más conservador y permite predecir con mejor aproximación el comportamiento de los equipos.
- Se recomienda utilizar el parámetro M como parámetro predictivo y representativo en lugar del parámetro N .

CONCLUSIONES

- La presencia de gas en el equipo, desmejora el desempeño del mismo, en todos los casos.
- El uso del gas para succionar gas es mejor para bajos caudales, donde se estima permanece el rango subsónico. Para grandes caudales el efecto es negativo.
- Los resultados confirman la necesidad de obtener modelos basados en estudios con fluidos reales que permitan un diseño más cercano a las variables operacionales de un campo real.

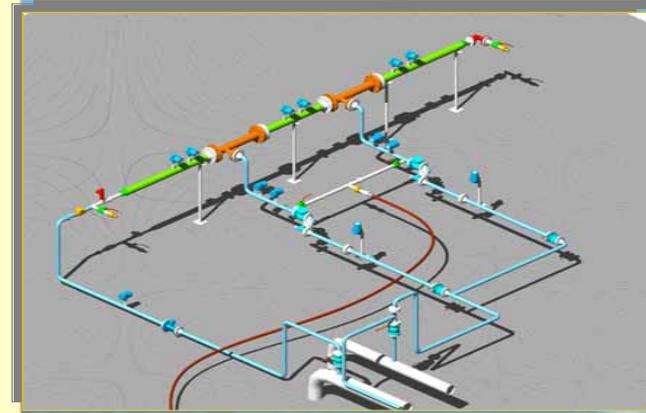
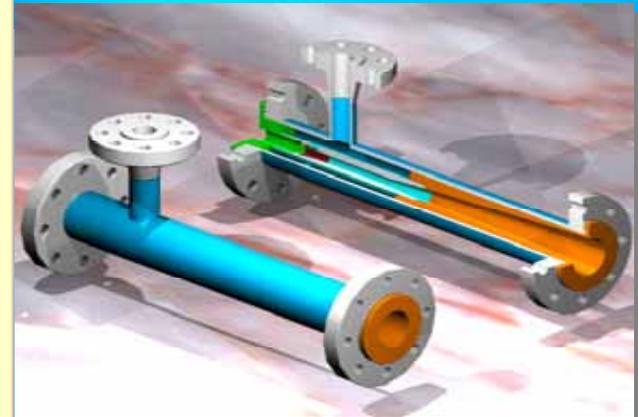
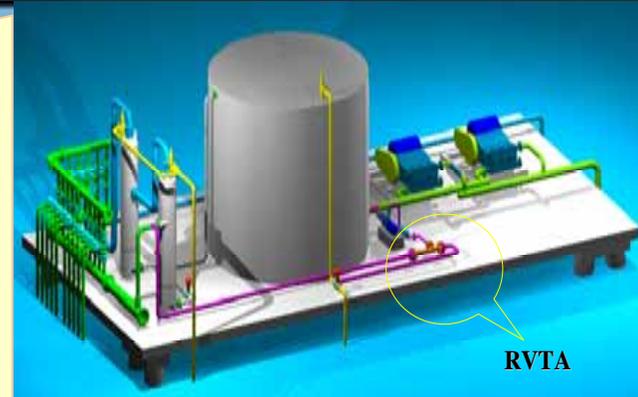
CONCLUSIONES

- Con los datos recopilados se estableció el comportamiento del equipo, para diferentes corrientes correspondientes a: crudo, agua y gas a alta presión con lo cual se recopilaron un total de 143 puntos experimentales.
- Los resultados de las pruebas en el CEPRO permitieron determinar el grado de precisión de los modelos monofásicos, encontrándose un %error entre 350 y 1100%.
- Para instalaciones de superficie (RVTA) es más atractivo emplear la boquilla con la relación de área más pequeña ($R = 0,132$).

CONCLUSIONES

- Los resultados de las simulaciones son más confiables que los obtenidos con los modelos teóricos.
- El Jet puede succionar gas a presión atmosférica y comprimirlo hasta 70 Psi, no obstante, la relación de energía requerida y consumida por volumen de gas succionado resultó ser del orden 100:1, la cantidad de gas recuperado por volumen de fluido requerido es tan baja **que no permite justificar el uso de jets para este fin.**

GRACIAS POR SU ATENCIÓN



MODELO DE TURBULENCIA

$$\varepsilon = \frac{K_{\text{int}}^{1.5}}{0.3 \times D} \quad K_{\text{int}} = 1.5 \times (i \times U_{\text{int}})^2 \quad D = \frac{4 \times A}{P}$$

Donde:

- ✓ **U_{in}**: velocidad de entrada promedio
- ✓ **i**: Intensidad de turbulencia (i=0,037)
- ✓ **D**: Diámetro de entrada
- ✓ **A**: Area de entrada
- ✓ **P**: Perímetro

MARCO METODOLOGICO

TIPO DE ESTUDIO

EXPLORATORIO



DESCRIPTIVO

MÉTODO DE INVESTIGACIÓN



MÉTODO DE ANÁLISIS

FUENTES Y TÉCNICAS



- ✓ Centro de Información Técnica
- ✓ Normas Nacionales e internacionales
- ✓ Web Site