

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## ***ELABORACIÓN Y VALIDACIÓN DE UN SIMULADOR QUE PERMITA DETERMINAR LA CAPACIDAD Y EVALUAR EL FUNCIONAMIENTO DE UNA BOMBA MULTIFÁSICA (CRUDO, GAS Y AGUA)***

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Para optar al Título de  
Especialista en Instrumentación y Control de Procesos  
Por el Ing. Santibáñez C.,  
Nicolás A.

Caracas, 2007

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## ***ELABORACIÓN Y VALIDACIÓN DE UN SIMULADOR QUE PERMITA DETERMINAR LA CAPACIDAD Y EVALUAR EL FUNCIONAMIENTO DE UNA BOMBA MULTIFÁSICA (CRUDO, GAS Y AGUA)***

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Luis García.  
TUTOR INDUSTRIAL: Msc. Pedro González.

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Para optar al Título de  
Especialista en Instrumentación y Control de Procesos  
Por el Ing. Santibáñez C.,  
Nicolás A.

Caracas, 2007



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
COMISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO.

VEREDICTO

Quienes suscriben, Miembros del Jurado designado por el Consejo de la Facultad de Ingeniería y por el Consejo de Estudios de Postgrado de la Universidad Central de Venezuela, para examinar el Trabajo de Grado, presentada por el INGENIERO Nicolás Santibáñez C. Nicolás A., portador de la Cédula de Identidad 11.672.335, bajo el título, "ELABORACIÓN Y VALIDACIÓN DE UN SIMULADOR QUE PERMITA DETERMINAR LA CAPACIDAD Y EVALUAR EL FUNCIONAMIENTO DE UNA BOMBA MULTIFÁSICA (CRUDO, GAS Y AGUA)", a los fines de cumplir el requisito legal para optar al título de Especialista en Instrumentación y Control de Procesos, dejan constancia de lo siguiente:

1.- Leído como fue dicho trabajo por cada uno de los Miembros del Jurado, éste fijó el día 15 de Agosto de 2007, para que el autor lo defendiera en forma pública, lo que éste hizo en el salón 126 de la Escuela de Ingeniería Química, mediante un resumen oral de su contenido, luego de lo cual respondió satisfactoriamente a las preguntas que le fueron formuladas por el Jurado; todo conforme a lo dispuesto en los Artículos 45, 49, 50, 51 y 52 del Reglamento de Estudios de Postgrado.

2.- Finalizada la defensa pública del trabajo, el Jurado decidió **aprobarlo** por considerar, sin hacerse solidario de las ideas expuestas por el autor, que se ajusta a lo dispuesto y exigido en el Reglamento de Estudios de Postgrado.

Para dar este veredicto, el Jurado estimó que la obra examinada representa un aporte importante de nuevos conocimientos en el área de producción de crudos con altos contenidos de agua y de gas utilizando bombas multifásicas de la marca Flowserve, y además constituye un valioso aporte en el rediseño de este tipo de bombas para manejar crudos con elevados contenidos de agua, lo cual no había sido previsto por el fabricante de este tipo de bombas.

En fe de lo cual se levanta la presente Acta, a los quince días del mes de Agosto de Dos Mil Siete, dejándose también constancia de que, conforme a lo dispuesto en la normativa jurídica vigente actuó como Coordinador del Jurado el Profesor Luis V. García B.

MSc. Ing. Pedro González  
Jurado

Prof. José Sorrentino  
Jurado

Prof. Luis V. García B.  
Coordinador-Tutor Académico

## **Agradecimientos**

Quiero agradecer muy en especial a mi familia: a mi esposa Liliana Valdivieso, a mis padres Regis Santibáñez y Gloria Caballero, y a mi hermano David Santibáñez por su incondicional apoyo y motivación durante todo el desarrollo de mi carrera.

Adicionalmente quiero agradecer muy en especial a mis tutores Prof. Luis García e Ing. Pedro González, por promocionarme su valioso apoyo, tiempo e orientación, los cuales fueron fundamentales para el desarrollo y culminación de este trabajo.

Aprovecho la oportunidad también para agradecer al Prof. Jose Sorrentino por haber formado parte del jurado evaluador y por su apoyo clave en diferentes momentos durante el desarrollo de este trabajo.

También quisiera agradecer también a Yoraima Rojas, por su continua orientación y oportunas respuestas en cuanto a los procedimientos administrativos necesarios para la culminación de este trabajo.

Y por ultima quiero agradecer a la Ilustre Universidad Central de Venezuela, por permitirme una vez mas haber hecho de sus instalaciones y ser uno de mas de los egresados de esta excelente y prestigiosa universidad.

**Santibáñez C. Nicolás A.**

**ELABORACIÓN Y VALIDACIÓN DE UN SIMULADOR QUE PERMITA DETERMINAR LA CAPACIDAD Y EVALUAR EL FUNCIONAMIENTO DE UNA BOMBA MULTIFÁSICA (CRUDO, GAS Y AGUA)**

**Tutor Académico: Prof. Luis Garcia, Tutor Industrial: Msc. Pedro Gonzalez.  
Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Año 2007, 150 p.**

**Palabra Claves:** Multifásico, Bombeo, Flujo, Medición, Simulación.

**Resumen:** El mundo de la tecnología multifásica se ha convertido en los últimos años en una opción muy atractiva para muchos de los sectores industriales. La industria petrolera no ha escapado al uso e implementación de este tipo de tecnología, ya que ofrece muchas ventajas desde el punto de vista operacional y ahorros importantes de inversión en infraestructura adicional.

Un ejemplo muy claro del uso de esta tecnología multifásica es el caso de Sincor, que es una empresa petrolera mixta conformada por Total (Francia), PSVSA (Venezuela) y Statoil (Noruega) responsable de producir 200 MBPD de crudo extrapesado y actualmente posee una de las instalaciones más grande a nivel mundial de bombeo multifásico (30 equipos), los cuales son utilizados para transportar el crudo desde los pozos hacia un centro de procesamiento principal (Estación Principal) para su respectivo tratamiento. Estos equipos son bombas de desplazamiento positivo de doble tornillo.

Desde el inicio de las operaciones de Sincor, estos equipos multifásicos han sido de gran importancia en las operaciones de la empresa y se ha vuelto indispensable conocer y evaluar en detalle el funcionamiento de estas bombas, con la finalidad de poder garantizar su continuidad operativa. Adicionalmente, el incremento importante de los volúmenes de agua y gas asociados al crudo producido, han afectado la capacidad de los equipos, así como su desempeño.

Por lo expuesto anteriormente, se decidió desarrollar una aplicación o simulador que permitió evaluar el funcionamiento de las bombas multifásicas y determinar su capacidad en función de la variación de las cantidades de fluido alimentado (crudo, gas ya agua). El desarrollo de esta herramienta estaba basado en la aplicación de un modelo teórico y a través de la realización de diferentes pruebas de campo, se pudo determinar que tan alejado de la realidad se encontraba el mismo. Adicionalmente se pudo identificar

que a medida que el corte de agua incrementaba, el modelo se desviaba aún más de la realidad y el desempeño de las bombas se veía afectado.

Posteriormente, se realizaron cambios a nivel de las bombas, los cuales consistieron en el incremento de la velocidad de giro y la reducción de holgura del espacio comprendido entre los tornillos y la carcasa. Estos cambios permitieron incrementar los volúmenes de fluido manejados por las bombas y mitigar el efecto del incremento de agua proveniente de los pozos.

Como comentario final, se puede mencionar que el desarrollo final de la aplicación de monitoreo de las bombas se convirtió en una herramienta en ambiente Web, que permitía evaluar en tiempo real y a través de históricos, el funcionamiento de cada una de las bombas instaladas en campo, logrando tomar decisiones importantes en cuánto al funcionamiento, optimización y modificación de las mismas, lo que repercutió al final en el poder mantener la producción de crudo de los pozos y en algunos casos incrementarla.

## INDICE GENERAL

<b>1 Fundamentos de la Investigación .....</b>	<b>1</b>
1.1 Introducción .....	1
1.1 Planteamiento del Problema .....	2
1.2 Objetivo General.....	2
1.3 Objetivos Específicos.....	3
<b>2 Aspectos generales de la empresa .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1.-Descripción de la empresa .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2.-Descripción del proceso de producción de Sincor .....</b>	<b>5</b>
<b>3 Fundamentos teoricos.....</b>	<b>7</b>
3.1 Presión de Burbuja y Presión de Rocío.....	7
3.2.Tipos de fluidos.....	8
3.2.1 Fluidos newtonianos.....	9
3.2.2 Fluidos no newtonianos.....	10
3.3. Flujo Multifásico.....	10
3.3.1 Patrones de Flujo.....	11
3.3.2 Punto de inversión de fases.....	14
3.3.3 Mapas de flujo multifásico.....	15
3.4. Viscosidad .....	16
3.4.1 Factores que afectan la viscosidad .....	16
3.4.2.-Índice de Viscosidad (V.I.).....	17
3.4.3 Tipos de viscosidades:.....	17

3.4.4 Viscosidad bifásica.....	18
3.5. Emulsión .....	19
3.5.1 Curva de viscosidad de Sincor.....	21
3.6. Gravedad específica.....	22
3.7 Bombas Multifásicas.....	23
3.7.1 Tipos de bombas multifásicas.....	24
3.7.1.1 Bombas rotodinámicas.....	24
3.7.1.2 Bombas de desplazamiento positivo.....	24
3.7.2 Bombas de doble tornillo.....	25
3.7.3 Recirculación o deslizamiento y compresión del gas (distribución de la presión).....	27
3.7.4 Factores que afectan la capacidad de las bombas multifásicas de doble tornillo. ....	29
3.7.5.- Modelos de bombas de doble tornillo Flowerserve.....	30
3.8 Bombas de Cavidad Progresiva (BCP).....	31
3.8.1 Operatividad de la BCP .....	32
3.8.2 Ventajas y limitaciones de las BCP.....	34
3.8.3 Factores que afectan la eficiencia.....	35
3.8.4 Completación.....	35
3.9 Instrumentación de campo asociada .....	36
3.9.1 Medidor de flujo multifásico ROXAR.....	37
3.9.1.1 Medición de composición.....	38
3.9.1.1.1 Densitómetro gamma.....	38
3.9.1.1.2 Sensor de capacitancia.....	39
3.9.1.1.3 Sensor de inductancia.....	40

3.9.1.1.4 Revisión de algoritmos: revisión de composición.....	41
3.9.1.2 Medición de velocidad de líquido y gas.....	42
3.9.1.2.1 Medidor de velocidad de correlación cruzada.....	42
3.9.1.2.2 Medidor Venturi.....	44
3.9.2 Medidores de presión .....	46
3.9.3 Medidores de temperatura .....	46
3.9.4 Medición de rpm (revoluciones por minuto).....	47
3.10 Sistemas de control y adquisición de datos asociados.....	48
3.10.1 Arquitectura del sistema de control.....	48
3.10.2 Sistemas de adquisición de datos.....	50
<b>4 Metodología .....</b>	<b>51</b>
4.1 Desarrollo del modelo de cálculo de la bomba multifásica .....	52
4.1.1 Antecedentes.....	52
4.1.2 Modelo de cálculo de Flowserve .....	53
4.2 Realización de las pruebas de campo .....	57
4.2.1. Primeros estudios .....	57
4.2.2 Preparación de las pruebas.....	58
4.2.3 Requerimientos de las pruebas .....	59
4.2.4 Requerimiento de pruebas adicionales.....	62
4.2.4.1.- Prueba de incremento de rpm .....	62
4.2.4.2.- Prueba de reducción de holgura .....	63
4.3.- Aplicación para monitoreo de datos.....	65

<b>5</b>	<b>Discusión de resultados.....</b>	<b>70</b>
5.1	Pruebas para la validación del modelo.....	70
5.1.1	Prueba de la macolla VB.....	70
5.1.2	Prueba de la macolla LD.....	72
5.1.3	Prueba de la macolla ID.....	73
5.2	Pruebas de incremento de rpm en bombas multifásicas.....	76
5.1.1	Prueba de la macolla YC.....	77
5.1.2	Prueba de la macolla LC.....	78
5.3	Prueba de reducción de holgura.....	80
5.3.1	Prueba de la macolla LC.....	81
5.3.2	Prueba de la macolla IB.....	82
<b>6</b>	<b>Conclusiones... ..</b>	<b>85</b>
<b>7</b>	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>87</b>
<b>8</b>	<b>Bibliografía.....</b>	<b>88</b>
	<b>ANEXO A: UBICACIÓN DE LAS MACOLLA Y LA ESTACIÓN PRINCIPAL.....</b>	<b>90</b>
	<b>ANEXO B: DIAGRAMA DE PROCESOS ESTACIÓN PRINCIPAL.....</b>	<b>91</b>
	<b>ANEXO C:HOJA DE DATOS MEDIDORES DE PRESIÓN.....</b>	<b>92</b>
	<b>ANEXO D: HOJA DE DATOS MEDIDORES DE TEMPERATURA.....</b>	<b>98</b>
	<b>ANEXO E: HOJA DE DATOS VARIADOR DE FRECUENCIA.....</b>	<b>101</b>
	<b>ANEXO F: ARQUITECTURA DESL SISTEMA DE CONTROL.....</b>	<b>107</b>
	<b>ANEXO G: FOTOS DESGASTE DE LA MPP DEL CLUSTER ID.....</b>	<b>111</b>
	<b>ANEXO H: APLICACIÓN WEB PARA MONITOREO DE MPP.....</b>	<b>112</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación de las Instalación de SINCOR en Venezuela.....	4
Figura 2 Diagrama de fases (Presión vs. Temperatura y Presión vs. Volumen) para una mezcla 50:50 de dos componentes.....	7
Figura 3: Perfil de velocidades .....	8
Figura 4 Clases reológicas .....	9
Figura 5 Patrones de flujo en tubería horizontal .....	13
Figura 6 Proceso de Inversión de Fase Crudo-Agua. ....	14
Figura 7 Mapa de Flujo Experimental sistema agua-aire para tubería horizontal .....	15
Figura 8 Mapa de Flujo Mecánico sistema agua-aire para tubería ligeramente inclinada....	16
Figura 9 Correlación de Woelflin para Emulsiones.....	20
Figura 10 Clasificación de las emulsiones según Woelflin .....	21
Figura 11 Curva de viscosidad para crudo de 16 °API.....	22
Figura 12: Corte de una bomba de doble tornillo .....	26
Figura 13: Vista de lateral y area de una bomba de doble tornillo .....	26
Figura 14: Deslizamiento interno y compresión del gas.....	28
Figura 15 Deslizamiento por efecto de la viscosidad .....	30
Figura 16 Bomba Multifásica, vista frontal y lateral .....	31
Figura 17 Geometría interna de una Bomba de Cavidad Progresiva.....	32
Figura 18 Arreglo de una Bomba de Cavidad Progresiva .....	33
Figura 19 Tipos de Completación implementados en Sincor .....	36
Figura 20 Diagrama de bloques del medidor multifásico .....	38
Figura 21: Principio de medición densitometro gamma.....	39
Figura 22: Principio de medición de la capacitancia .....	40
Figura 23: Principio de la medición de inductancia.....	41
Figura 24: Medición de flujo. ....	44
Figura 25: Diagrama de bloque de mediciones.....	45
Figura 26: Arquitectura Sistema de Control .....	49
Figura 27: Holguras en las bombas multifásicas .....	64

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Datos bombas según fabricante .....	54
Tabla 2: Datos de proceso de entrada .....	54
Tabla 3: Cluster ID.....	58
Tabla 4:Cluster LD .....	59
Tabla 5:Cluster VB .....	59
Tabla 6: Mezclas Cluster ID .....	61
Tabla 7: Mezclas Cluster LD .....	61
Tabla 8:Cluster YC .....	63
Tabla 9:Cluster LC.....	63
Tabla 10: Propiedades de los Fluidos .....	68

## INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Prueba del VB.....	71
Gráfica 2: Prueba del LD.....	72
Gráfica 3: Prueba del ID.....	74
Gráfica 4: Prueba del YC/Variación de líquido.....	77
Gráfica 5: Prueba del YC/Variación de rpm MPP.....	77
Gráfica 6: Prueba del LC/Variación de líquido MPP.....	79
Gráfica 7: Prueba del LC/Variación de rpm MPP.....	79
Gráfica 8: Prueba del LC/Variación de Fluidos.....	81
Gráfica 9: Prueba del LC/Parámetros MPP.....	81
Gráfica 10: Prueba del IB/ Variación de Fluidos.....	82
Gráfica 11: Prueba del IB/ Parámetros MPP.....	82

## LISTA DE SIMBOLOS Y ABREVIATURAS

### Nomenclatura

A : Área transversal de la holgura

$A_T$  : Área transversal de la tubería

$A_S$  : Área de la superficie

API: American Petroleum Institute

API: Gravedad API

ASTM: American Society for Testing and Materials

BPD: Barriles por día

Bb: barriles

BCB: Bomba de Cavidad Progresiva

BSW: Corte de agua [%]

DCO: Crudo diluido

dil: Diluyente

EC Energy Component

EHO: Crudo extrapesado

Fs: Factor multiplicador de viscosidad (Adimensional)

ge: Gravedad específica [ $\text{Kg/m}^3$ ]

$ge_{\text{DCO}}$ : Gravedad específica del crudo diluido [ $\text{Kg/m}^3$ ]

$ge_{\text{dil}}$ : Gravedad específica del diluyente, [ $\text{Kg/m}^3$ ]

$ge_{\text{EHO}}$ : Gravedad específica del crudo pesado s [ $\text{Kg/m}^3$ ]

$ge_{\text{dil}}$ : Gravedad específica del diluyente, [ $\text{Kg/m}^3$ ]

$ge_w$ : Gravedad específica del agua, [ $\text{Kg/m}^3$ ]

GLR: Relación gas líquido [scf/bb]

GOR: Relación gas crudo [scf/bb]

GVF Fracción de gas [%]

$H_L$ : Retención (*holdup*) de líquido [adimensional]

$H_g$ : Retención (*holdup*) de gas [adimensional]

ICS: Sistema de Control Integrado  
m: masa [Kg]  
MBPD Miles de barriles por día  
MPFM: Medidor Multifásico  
MPP: Bomba Multifásica  
p Paso del tornillo  
 $P_b$ : Presión de Burbuja [bar]  
PCCS Sistema de control de procesos  
ESD Sistema de parada de emergencia  
F&G Sistema de detección de fuego y gas.  
Fs Factor de deslizamiento  
PI Process Information  
PLC: Controlador Lógico Programable  
 $P_r$ : Presión de Rocío [bar]  
PVT: Estudio Presión Volumen Temperatura  
 $Q_{EHO}$  Caudal de crudo (BPD)  
 $Q_g$  Caudal de gas (SCFD)  
 $Q_l$  Caudal de líquido (BPD)  
 $Q_{liqtot}$  Caudal de líquido total (BPD)  
 $Q_{total}$  Caudal de líquido total manejado por la MPP  
 $Q_{mix}$  Caudal de la mezcla (BPD)  
 $Q_w$  Caudal de agua (BPD)  
 $Q_t$  Caudal de volumen teórico (BPD)  
rpm: Revoluciones por minuto  
s Caudal de deslizamiento  
SCFD: pies cúbicos estándar por día  
 $V_g$ : Volumen de gas  
 $V_{liqtot}$  Volumen de líquido total  
V.I.: Índice de viscosidad [adimensional]  
 $v_{sl}$ : Velocidad superficial del líquido [m/s]  
 $v_{sg}$ : Velocidad superficial del gas [m/s]

x composición del gas  
y composición de líquido  
z composición del aceite

### Letras griegas

$\Delta p$  Diferencial de presión (Pa)

$\epsilon$  permitividad

$\sigma$  conductividad

$\rho$ : Densidad [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ]

$f$  frecuencia (1/seg)

$\lambda_L$ : Retención (*holdup*) de líquido sin deslizamiento [adimensional]

$\lambda_g$ : Retención (*holdup*) de gas sin deslizamiento [adimensional]

$\mu$ : Viscosidad Absoluta [cP]

$\mu_m$ : Viscosidad de la mezcla [ $\text{Pa}\cdot\text{seg}$ ]

$\nu$ : Viscosidad Cinemática [cSt]

# **1.- Fundamentos de la Investigación**

## **1.1.- Introducción**

La producción comercial de hidrocarburos parte desde el año 1.917 y Venezuela hoy en día mantiene su posición como uno de los líderes mundiales en el mercado petrolero. Uno de los mayores yacimientos del mundo, la Faja del Orinoco o Faja Bituminosa del Orinoco, contiene un volumen recuperable de más de 40.000 millones de toneladas de Bitumen Natural, el más grande depósito de hidrocarburos conocido hasta la fecha.

Mezclas de crudo, gas y agua son frecuentemente transportadas largas distancias a través de tuberías, en muchos de los casos la energía para desplazar estos fluidos es proporcionada directamente del yacimiento, pero en otros casos es necesario disponer de una energía adicional para poder desplazar los fluidos a través de los diferentes sistemas de tubería.

Tal es el caso de SINCOR, la cual es una empresa mixta conformada por TOTAL, PDVSA y STATOIL que explota el campo de San Diego de Cabrutica (ubicado al sur del Estado Anzoátegui) para producir 200 MBPD de crudo extrapesado, siendo necesario desplazar los fluidos (crudo, gas y agua) provenientes de los pozos hacia la estación principal para su respectivo tratamiento y posterior transporte.

La configuración del campo de SINCOR consta de macollas, redes de tuberías y estación principal. Las macollas o cluster son agrupaciones de varios pozos, (entre 13 y 24 pozos por macolla) y se encuentran a un radio aproximado de 10 Km de la Estación Principal. El crudo pesado (diluido con nafta 47°API, la cual es enviada al límite de batería de las macollas desde la Estación Principal), es extraído artificialmente hasta la superficie, mediante bombas de cavidad progresiva (BCP), y luego es bombeado a través de una bomba multifásica (MPP) hasta la Estación Principal.

SINCOR posee una de las mayores instalaciones a nivel mundial de bombas multifásicas, un total de 30 equipos operan diariamente para garantizar la producción de 200 MBD de crudo extrapesado (EHO). Por tal motivo, estos equipos multifásicos son de gran importancia en las operaciones de la empresa y desde el inicio de las operaciones se ha vuelto indispensable conocer y evaluar en detalle el funcionamiento de estas bombas, con la finalidad de poder garantizar su continuidad operativa.

## **1.2- Planteamiento del problema**

En vista de que las bombas multifásicas representan para Sincor un eslabón muy importante en la cadena de producción de cada barril de crudo extrapesado (EHO), el presente trabajo persigue conocer un poco más a fondo acerca del funcionamiento y operación de estos equipos

Por lo expuesto anteriormente, se está desarrollando un simulador que permita en conjunto con la instrumentación de campo y sistemas de monitoreo asociados, evaluar el funcionamiento de las bombas multifásicas y determinar su capacidad en función de la variación de las cantidades de fluido alimentado (crudo, gas y agua). El desarrollo de esta herramienta permitirá tomar decisiones con respecto al tiempo de vida de las bombas, eficiencia y cambios necesarios a realizar en las mismas, con la finalidad de poder seguir garantizando la producción de los 200.000 BPD de crudo extrapesado.

## **1.2.- Objetivo General**

Elaborar, evaluar y validar un programa que permita simular y evaluar el funcionamiento las bombas multifásicas instaladas en el campo de producción de crudo de SINCOR.

### **1.3.- Objetivos específicos**

- Determinar las capacidades de las bombas multifásicas instaladas en SINCOR.
- Elaborar el programa del cálculo que permita obtener las capacidades de las bombas multifásicas.
- Realizar pruebas de campo para validar, evaluar y ajustar el modelo de cálculo.
- Hacer uso de la instrumentación asociada para poder medir variables de campo como, temperatura, presión, flujos de crudo gas y agua, y velocidad de giro de las bombas.
- Elaborar simulador y/aplicación que permita evaluar en tiempo real y en forma automática el funcionamiento de las bombas multifásicas.
- Recomendar e implementar soluciones que permitan recuperar y/o mejorar el desempeño de las bombas multifásicas.

## 2.- Aspectos generales de la empresa

### 2.1.-Descripción de la empresa

SINCOR, es una es una empresa mixta conformada por TOTAL, PDVSA y STATOIL que explota el bloque Junin ubicado en la Faja Petrolifera del Orinoco (ubicado al sur del Estado Anzoátegui) para producir 200.000 BPD de crudo extrapesado, siendo necesario desplazar los fluidos (crudo, gas y agua) provenientes de los pozos hacia la estación principal para su respectivo tratamiento y posterior transporte hacia las instalaciones del Mejorador (ubicado en Complejo de Referirías de JOSE al norte del estado Anzoátegui) con el fin obtener hasta 180.000 BPD de crudo liviano a 32°API, conocido como *Zuata Sweet*, con un alto valor comercial en el mercado mundial. Ver Figura 1.



Figura 1: Ubicación de las Instalación de SINCOR en Venezuela

## **2.2.- Descripción del proceso de producción de Sincor**

Para la producción de crudo extrapesado, se bombea diluyente (nafta 47°API) el cual se encuentra almacenado en el tanque T-3101 ubicado en la Estación Principal y se impulsa por medio de las bombas P-3101A-D/S hacia las líneas que llegan a cada uno de los pozos ubicados en las macollas a lo largo del campo. Las macollas son agrupaciones de varios pozos, (entre 13 y 24 pozos por macolla) y se encuentran a un radio aproximado de 10 Km de la Estación Principal (Anexo A) Cada pozo cuenta con una bomba de cavidad progresiva (BCP) que permite la producción del mismo, y en la cual se puede inyectar el diluyente en dos lugares diferentes, en el fondo (*toe*) y en la cabeza del pozo (WH) según sea la completación del mismo.

La producción de cada uno de los pozos, llega al múltiple de producción donde converge todo el líquido y el gas proveniente de la macolla. Esta corriente es manejada por una bomba multifásica (MPP), con la cual se logra la presión necesaria para transportar el fluido a través de las líneas troncales hasta la Estación Principal. Es importante mencionar que se inyecta diluyente (47 °API) a nivel de las macollas para ser mezclado con el crudo extrapesado (8 °API) y de esta forma facilitar el transporte de un crudo diluido a 16 °API (DCO, crudo extrapesado + nafta) ya sea través de las tuberías de producción del pozo (si aplica) y las líneas troncales.

Las bombas multifásicas (MPP) son equipos que pueden manejar completamente la producción de un pozo (crudo, agua, gas, arena etc.) sin necesidad de separar o procesar la corriente de producción a la salida del pozo, disminuyendo significativamente los costos asociados a los equipos necesarios en superficie. Estas bombas no se encuentran afectadas por la configuración de pozo, sino por las características de la alimentación, es decir, por la cantidad de gas y líquido (crudo y agua) que manejan, así como también, su viscosidad, temperatura, presión, entre otras.

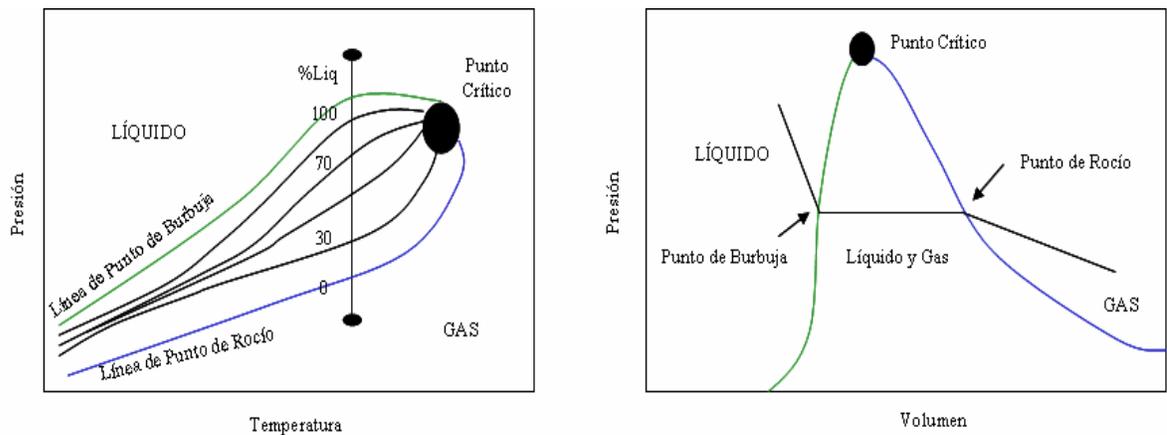
Toda la producción de las macollas converge en las líneas troncales y llega a la Estación Principal (Anexo B) donde es procesada en dos trenes, cada uno con una

capacidad de 105.000 BPD de crudo extrapesado (EHO). La producción se introduce primeramente en los Colectores de Lodo (*Slug Catchers*) D-3001A/B, en los cuales se separa todo el gas libre, el cual es enviado a los Tambores Depuradores de Gas Combustible D-3201A/B para luego ser trasladado a los Generadores de Potencia que abastecen toda la instalación (previo tratamiento y compresión del gas). Posteriormente, el DCO y el agua son enviados a través de las bombas P-3001A/B/C/D hacia los Precalentadores de Crudo/Agua E-3001A/B donde son calentados hasta 47°C, luego el crudo es enviado a los Precalentadores de Crudo/Crudo E-3003A-H donde se incrementa la temperatura hasta 93°C, para luego ser calentado hasta 140°C en los Hornos de Crudo H-3001A/B. Al salir de los hornos, se pasa a los Separadores de Alta Temperatura D-3007A/B, donde la mayoría del gas disuelto es separado y el crudo caliente es enviado a los Deshidratadores de Crudo D-3004A/D donde el agua es separada del crudo mediante la combinación de un químico demulsificante y un potencial electrostático aplicado para obtener un crudo a la salida con menos del 2% de agua. El crudo caliente es enfriado por medio de intercambio de calor con el crudo que llega a los E-3003A-H y continúa su recorrido hasta la succión de las Bombas de Exportación P-3002A/B/S a 89°C en donde se puede agregar nafta de ser necesario para ajustar la gravedad API. El agua separada es enviada a una planta de tratamiento para remover las trazas de crudo y sólidos existentes, y luego es enviada hacia pozos de disposición. (Sincor, 2000)

### 3.- Fundamentos teóricos

#### 3.1.- Presión de Burbuja y Presión de Rocío

El punto en el cual se forma la primera burbuja de gas, se conoce con el nombre de Punto de Burbuja y la presión a la cual se encuentra este punto se denomina Presión de Burbuja ( $P_b$ ). A medida que se va disminuyendo la presión por debajo de la presión de punto de burbuja, el líquido y el gas coexisten hasta que finalmente, solamente queda una gota de líquido, a este punto se le conoce como el Punto de Rocío y la presión en este punto se denomina Presión de Rocío ( $P_r$ ). El Punto crítico es simplemente el punto en el cual la línea de punto de burbuja y la línea de punto de rocío se unen, lo que quiere decir, que en este punto todas las propiedades del líquido y el gas son idénticas. Ver Figura 2



**Figura 2 Diagrama de fases (Presión vs. Temperatura y Presión vs. Volumen) para una mezcla 50:50 de dos componentes. (McCain, 1973: 64-65)**

## 3.2.- Tipos de fluidos

### 3.2.1.-Definición

Un fluido es una sustancia que es sometida a una deformación continua al ser sujeto a un esfuerzo cortante. En la Figura 3, un fluido es limitado por dos grandes platos paralelos, de área A, separados por una pequeña distancia H. El plato del fondo permanece fijo. La aplicación de una fuerza F al plato superior provoca un movimiento continuo de velocidad V. El fluido continúa deformándose mientras la fuerza es aplicada, a diferencia de un sólido, el cual estaría sometido a una deformación finita únicamente.

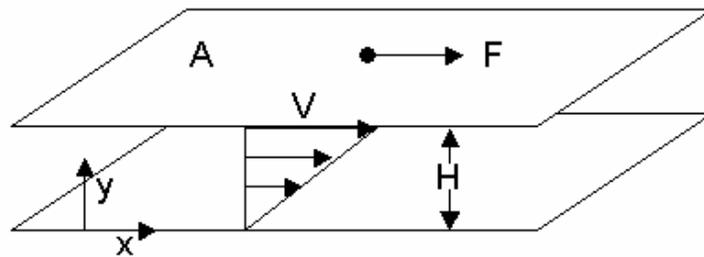


Figura 3: Perfil de velocidades (Perry, 1997: 6-4)

La fuerza es directamente proporcional al área del plato, el esfuerzo cortante es:

$$\tau = \frac{F}{A_s} \quad \text{.....Ec. 1}$$

$\tau$  Esfuerzo cortante

F Fuerza

$A_s$  Área

Dentro del fluido se establece un perfil lineal de velocidad, debido a la condición de no deslizamiento del fluido limitado al plato del fondo que se mantiene inmóvil, mientras el fluido limitado al plato superior se mueve a su misma velocidad  $V$ . El gradiente de velocidad para este flujo es llamado tasa de deformación. La relación entre el esfuerzo cortante y la tasa de deformación es denominada viscosidad

### 3.2.1.-Fluidos newtonianos

En general los patrones de flujo son más complejos que el mostrado en la Figura 3, como sucede con la relación entre la deformación de los fluidos y sus fuerzas cortantes. La reología es la disciplina de la mecánica de fluidos que estudia esta relación. Por simplicidad, los fluidos pueden ser clasificados en clases reológicas tomando como referencia el flujo simple de la Figura 4 y pueden ser representados en el diagrama que se presenta a continuación:

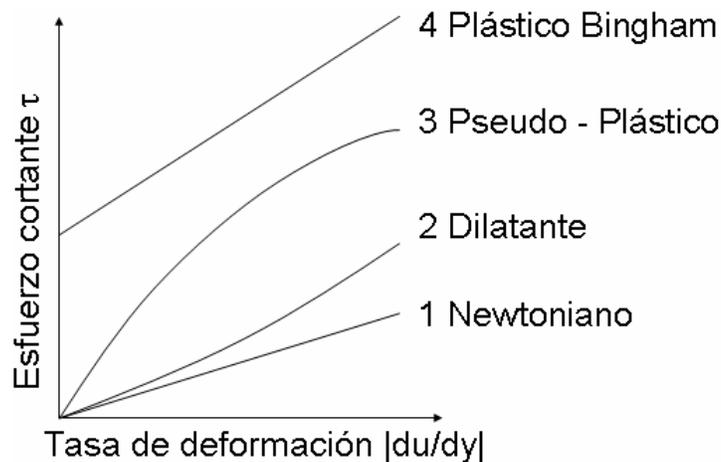


Figura 4 Clases reológicas(Perry, 1997: 6-4)

Para un fluido newtoniano la viscosidad es directamente proporcional a la tasa de deformación y puede depender de la temperatura y quizás de la presión. Hasta ahora los fluidos newtonianos son los de mayor importancia en el campo de la

ingeniería y comprenden generalmente fluidos como gases y líquidos de baja masa molecular.

### **3.2.2.- Fluidos no newtonianos**

Todos los fluidos que no varían linealmente con la tasa de deformación son llamados fluidos no newtonianos. Para los fluidos no newtonianos la viscosidad es también llamada viscosidad aparente para enfatizar la diferencia con aquellos de comportamiento newtoniano.

Los fluidos que se encuentran en la industria petrolera frecuentemente actúan como fluidos no newtonianos. El diseño del sistema de tuberías para fluidos no newtonianos se vuelve complicado cuando el uso del factor de fricción convencional no es aplicable. Este tipo de fluido puede adoptar cualquier tipo de comportamiento dependiendo de factores como la tasa de deformación, la temperatura y la composición química. (Brill, 1991: 1-5h)

### **3.3.- Flujo Multifásico**

El flujo monofásico puede ser clasificado de acuerdo a la geometría externa del conducto por el cual fluye, así como por el carácter del flujo; por ejemplo: laminar (líneas de flujo) o turbulento (fluctuaciones y movimiento violento), mientras que el flujo multifásico se clasifica según la distribución interna de las fases o patrones de flujo presentes.

Entre las características del flujo multifásico, se pueden destacar las siguientes:

- La apariencia física del fluido varía con la composición de la mezcla
- Presenta una mecánica de fluidos más compleja que la del flujo monofásico
- La caída de presión depende del régimen en el que se encuentre el flujo

- Las correlaciones existentes tienen mayor restricciones y son menos confiables que aquellas utilizadas para flujos en una o dos fases.

### 3.3.1.-Patrones de Flujo

Los patrones de flujo son las distintas configuraciones que forman dos o más fases al fluir juntas por un conducto. Han sido estudiados tanto teórica como experimentalmente con el objeto de explicar sus ventajas y desventajas en el transporte de crudo. El patrón de flujo depende principalmente de la velocidad superficial del líquido ( $v_{sl}$ ) y del gas ( $v_{sg}$ ) así como de la relación gas-líquido (GLR). Donde  $Q_l$  y  $Q_g$  corresponden a los caudales de líquido y gas respectivamente y  $A_T$  representa el área de flujo en la tubería.

$$v_{sl} = \frac{Q_l}{A_T} \quad \text{Ec. 2}$$

$$v_{sg} = \frac{Q_g}{A_T} \quad \text{Ec. 3}$$

GLR (Relación Gas-Líquido): Es la relación entre el volumen de gas y el volumen de líquido presente en la mezcla

$$GLR = \frac{Q_g}{Q_{liqtot}} \quad \text{Ec. 4}$$

Otros de los parámetros que ayudan a definir el flujo multifásico dependiendo de la cantidad de cada elemento presente en la mezcla son los siguientes:

GVF (Fracción de gas en Volumen): Es la relación entre el volumen de gas y el volumen total de la mezcla (líquido y gas) a condiciones de operación.

$$GVF = \frac{V_g}{V_{liqtot}} \quad \text{Ec. 5}$$

GOR (Relación gas Crudo): Es la relación entre el gas y el crudo presente en la mezcla expresada en ft<sup>3</sup>/barriles.

$$GOR = \frac{Q_g}{Q_{EHO}} \quad \text{Ec. 6}$$

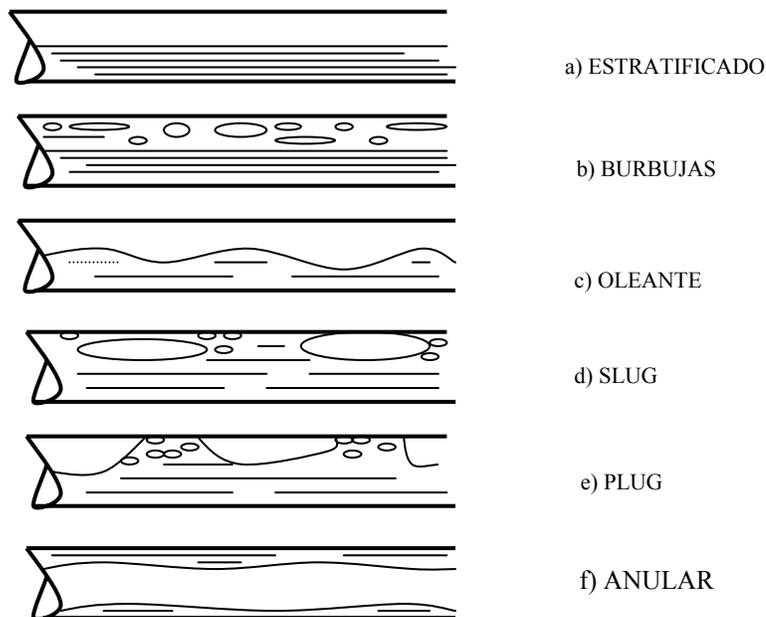
Corte de agua: es la fracción de volumen de agua presente en la fase líquida del caudal de los fluidos de producción. Cada pozo presenta un corte de agua definido, el cual tiende a aumentar poco a poco a través del tiempo. Este parámetro es de suma importancia en la producción petrolera, ya que permite estimar de manera confiable la producción de crudo (y agua) de un pozo específico. El corte de agua se calcula con la siguiente expresión:

$$Corte\_de\_agua = \frac{Q_w}{Q_{EHO} + Q_w} \cdot 100 = \frac{Q_w}{Q_l} \cdot 100 \quad \text{Ec. 7}$$

Para poder entender las propiedades de la mezcla resultante, es necesario comprender los patrones de flujo para sistemas crudo-agua-gas presentes dentro de las tuberías horizontales. Seis tipos diferentes de patrones de flujo se han identificado para el sistema crudo-gas en tuberías horizontales, estos se resumen en la Figura 5.

Para bajas velocidades de líquido y gas, se presenta el flujo estratificado (Figura 5a), en el cual se observa una separación de las fases, el líquido viaja por la parte inferior de la tubería mientras que el gas circula por la parte superior. Para altas velocidades de líquido y baja relación gas-líquido, se observa el patrón de burbujas dispersas (Figura 5b), ocurre cuando el gas fluye atrapado en forma de burbujas a lo largo de la zona superior de la tubería y la velocidad de las burbujas es aproximadamente igual a la velocidad del líquido. Para velocidades intermedias de líquido se presenta la formación de flujo oleante (Figura 5c). A medida que aumenta la velocidad del líquido y del gas, aumenta la cantidad de olas presentes y se forma el flujo tapón punzante (flujo *slug*) (Figura 5d), en el cual las burbujas de gas tienden a colapsar, por lo que ocurren pulsaciones de gas y de líquido que fluyen

alternadamente por la parte superior de la tubería, Si aumenta aún más la velocidad del líquido, se presenta el flujo tapón (flujo *plug*) (Figura 5e), el cual se caracteriza por flujo alternante de tapones de líquido y largas burbujas de gas, resultando en un comportamiento hidrodinámico inestable que genera gran turbulencia al frente del tapón, donde las burbujas de gas son arrastradas por el líquido, este impacto sobre las paredes de la tubería genera un alto esfuerzo cortante en las paredes. Para altas velocidades de gas, se observa el flujo anular (Figura 5f). Se encuentra definido entre dos límites, cuando se convierte en flujo estratificado y cuando se convierte en flujo tapón. La configuración anular se convierte en estratificada cuando ocurre rompimiento de la fase central; esto puede suceder en el caso de una fase anular con una densidad muy elevada o con un espesor muy delgado. El otro límite corresponde al colapso de la fase central debido a las crecientes ondas interfaciales, las cuales bloquean el espacio del centro provocando el paso a un flujo tapón. (Shoham, 1998:1\_12 -1\_15).



**Figura 5 Patrones de flujo en tubería horizontal**

### 3.3.2.- Punto de inversión de fase

El flujo bifásico crudo-agua en el cual una de las fases se encuentra dispersa en la otra, si se aumenta el caudal de la fase dispersa, manteniendo el caudal total constante, puede producirse, bajo ciertas condiciones de flujo, que la fase continua pase al estado de dispersión y viceversa. Este fenómeno que controla la naturaleza de la fase que se encuentra en contacto con la pared del conducto dentro del cual fluyen las fases presentes se denomina “inversión de fase” y tiene consecuencias importantes con respecto a las pérdidas de carga. La inversión de fase se define como un equilibrio entre la ruptura de las gotas grandes ocasionada por la turbulencia y la coalescencia de las gotas más pequeñas. En el régimen trifásico crudo-agua-gas se observa un fenómeno idéntico entre las dos fases líquidas. (Decarre y Fabre, 1997). Para flujos de crudo y agua en tuberías, es importante predecir el punto de inversión de fase, ya que es bajo estas condiciones que ocurren los cambios extremos en la caída de presión del sistema. (Matar.,2001). Evaluaciones de los patrones de flujos mencionados anteriormente indican que para cierto corte de agua, la matriz de la mezcla cambia de agua en crudo a crudo en agua (Figura 6) es decir que se encuentra en el punto de inversión, el cual se caracteriza por cambios súbitos en la viscosidad de la mezcla ocasionando alteraciones en la caída de presión del sistema.

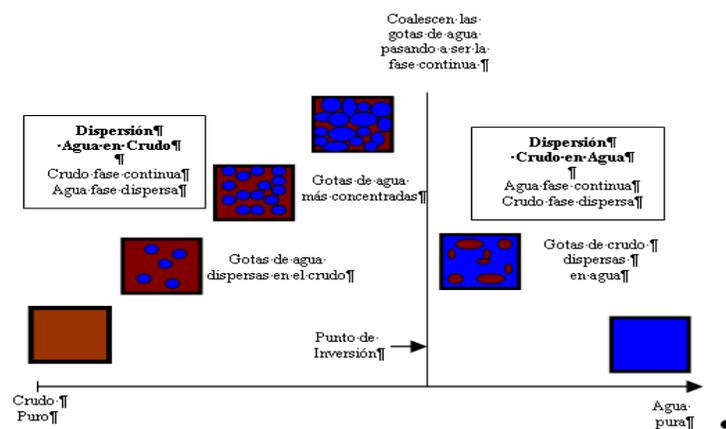


Figura 6 Proceso de Inversión de Fase Crudo-Agua (Matar, 2001)

### 3.3.3.- Mapas de flujo Multifásico

Los mapas de patrones de flujo, son cartas en dos dimensiones que delimitan las fronteras de transición de los distintos patrones de flujo. Han sido determinados a través de observaciones subjetivas en líneas de prueba de laboratorios, casi siempre para flujo bifásico, sea crudo-agua o agua-gas. Estos mapas varían con la temperatura, la presión, la viscosidad y la orientación de la tubería. Para un sistema determinado, con las velocidades superficiales del líquido y el gas, se obtendrá un régimen de flujo particular.

La generación de mapas de flujo se divide en dos categorías. Una es la Generación Experimental de mapas, los cuales se generan directamente de datos experimentales, son completamente empíricos y se limitan a la data con la cual fueron obtenidos (Figura 7). Para tomar en cuenta los efectos de las propiedades de los fluidos hay que hacer uso de correlaciones adicionales. La otra categoría, corresponde a los Mapas Mecánicos, los cuales son desarrollados a través del análisis de mecanismos físicos de transición modelados por ecuaciones fundamentales (Figura 8). Para estos modelos, el efecto de los parámetros del sistema se encuentra incorporado, por esta razón, pueden ser aplicados dentro de una gran gama de condiciones de operación. (Shoham, 1998: 1\_17-1\_21, 4\_50)

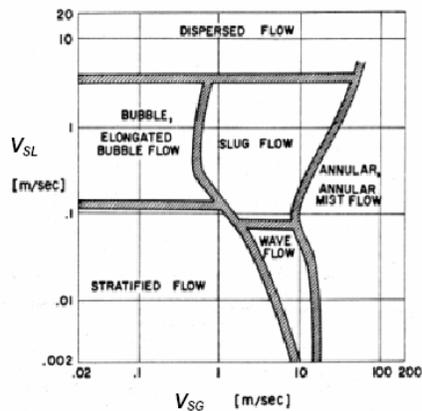


Figura 7 Mapa de Flujo para tubería horizontal (Mandhane *et al*, 1974)

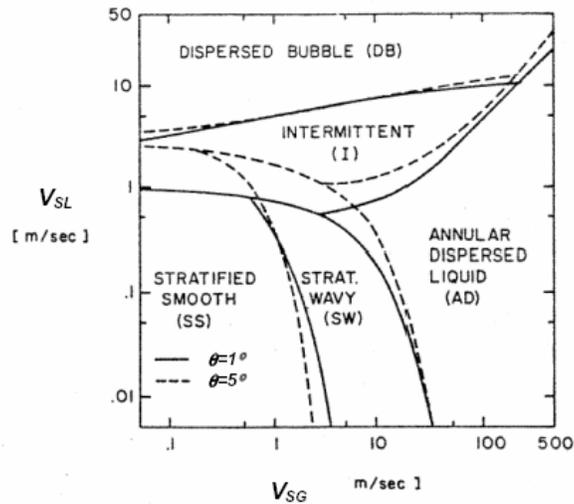


Figura 8 Mapa de Flujo Mecánico ligeramente inclinada (Taitel *et al.*, 1976)

### 3.4.-Viscosidad

Es una propiedad física de las sustancias que caracteriza su comportamiento respecto a una fuerza aplicada. Es la medida de fricción interfacial, la cual se hace aparente cuando una capa de fluido se mueve con respecto a otra, puesta en manifiesto por la fuerza necesaria para conservar el gradiente de velocidades entre dos capas fluidas paralelas. Esta definición implica que a mayor viscosidad un líquido escurre más lentamente.

#### 3.4.1.- Factores que afectan la viscosidad

La viscosidad de un fluido es consecuencia del rozamiento interno entre sus moléculas y está relacionada directamente con la fuerza de atracción entre las mismas. La viscosidad es sensible a cambios en la presión y la temperatura. Bajo condiciones de aumento de presión, el crudo absorbe el gas en solución, lo que genera una disminución en la viscosidad, al contrario, cuando la presión disminuye, el gas se desprende del crudo saturado y la viscosidad aumenta.

En termodinámica, la temperatura y la cantidad de movimiento de las moléculas se consideran equivalentes, cuando aumenta la temperatura de cualquier sustancia (especialmente en líquidos y gases) sus moléculas adquieren mayor movilidad y su cohesión disminuye, al igual que disminuye la acción de las fuerzas intermoleculares. Por ello, la viscosidad disminuye cuando se aumenta la temperatura y viceversa. (Perry, 1997: 6-4)

### **3.4.2.-Índice de Viscosidad (V.I.)**

El índice de viscosidad, es un número adimensional que indica el efecto de los cambios de temperatura sobre la viscosidad del crudo. Un bajo V.I., representa un cambio relativamente alto de la viscosidad con la temperatura, en otras palabras, el crudo se pone muy delgado a altas temperaturas y muy grueso para temperaturas bajas. Por otro lado, un V.I. alto representa que la viscosidad del crudo no varía en un amplio rango de temperatura.

El V.I. de un crudo, se puede determinar si se conoce la viscosidad del crudo a dos temperaturas diferentes. Tablas basadas en numerosos experimentos, se pueden encontrar en la norma ASTM-D2270. (Perry, 1997: 8-50)

### **3.4.3.-Tipos de viscosidades**

La Viscosidad Absoluta ( $\mu$ ): se puede definir como una medida de la resistencia de una sustancia a fluir, o como la fuerza por unidad de área requerida para mantener el fluido a una velocidad constante en un espacio considerado.

Viscosidad Cinemática ( $\nu$ ): se define como el cociente de la viscosidad absoluta entre la densidad, también se puede definir como el tiempo necesario para que un volumen dado de sustancia recorra una longitud dada. (Perry, 1997: 6-4)

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Ec.8

### 3.4.4.-Viscosidad bifásica:

Para el cálculo de la viscosidad de un sistema líquido-gas se requiere conocer la retención (holdup) de líquido y de gas respectivamente para luego aplicar la siguiente ecuación (Shoham, 1998: 2\_3-2\_5):

$$\mu = \mu_L * \lambda_L + \mu_g * \lambda_g \quad \text{Ec. 9}$$

Retención de líquido: Se define como la relación entre el volumen ocupado por el líquido en un segmento de la tubería y el volumen del segmento de tubería.

$$H_L = \frac{V_L}{V_{TUBERÍA}} \quad \text{Ec. 10}$$

El volumen restante del segmento de tubería es ocupado por el gas, y se le conoce como retención de gas.

$$H_g = 1 - H_L \quad \text{Ec. 11}$$

Retención de líquido (sin deslizamiento): Se define como la relación entre el volumen de líquido en un segmento de tubería y el volumen del segmento tubería si el gas y el líquido viajaran a la misma velocidad. Se puede calcular directamente a través de los caudales de líquido y de gas.

$$\lambda_L = \frac{Q_L}{Q_L + Q_g} \quad \text{Ec. 12}$$

La retención de gas para el caso sin deslizamiento se define entonces como:

$$\lambda_g = 1 - \lambda_L \quad \text{Ec. 13}$$

### **3.5.-Emulsión**

Una emulsión es una mezcla homogénea y estable de dos líquidos que normalmente no se mezclarían, es decir, que son inmiscibles. Una emulsión inestable o una dispersión, es una emulsión que se puede separar en sus fases originales en un período razonable de tiempo de reposo. Tradicionalmente, para evaluar la estabilidad de una emulsión, se utilizan las propiedades físicas del crudo como la gravedad específica y la viscosidad, pero en general, el grado de estabilidad de una emulsión (crudo y agua) depende de los siguientes parámetros:

El tamaño de las gotas de agua

La edad de la emulsión

La viscosidad del crudo

La diferencia de densidad entre los dos líquidos

El porcentaje de agua presente

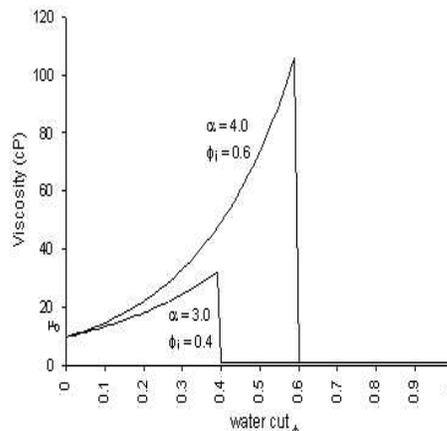
La tensión interfacial

Uno de los estudios clásicos en el área de emulsiones crudo-agua es la investigación realizada por William Woelflin (según Woelflin, citado por Gomez, 2004); el cual determinó que si se tomaba crudo seco, y se generaba la emulsión aumentando progresivamente el contenido de agua junto con mezclado mecánico, la viscosidad de la emulsión resultante incrementaba exponencialmente con el corte de agua hasta un punto donde la viscosidad disminuía bruscamente hasta un valor cercano a la viscosidad del agua (Figura 9). Este modelo reporta, que la viscosidad de la emulsión, es función del contenido de agua, la estabilidad de la emulsión y la viscosidad del crudo. Permite calcular la viscosidad de la emulsión a través de la viscosidad del crudo muerto, el corte de agua y el índice de viscosidad. La

representación general del comportamiento exponencial de la viscosidad hasta el punto de inversión, es de la forma de la ecuación de Arrhenius .

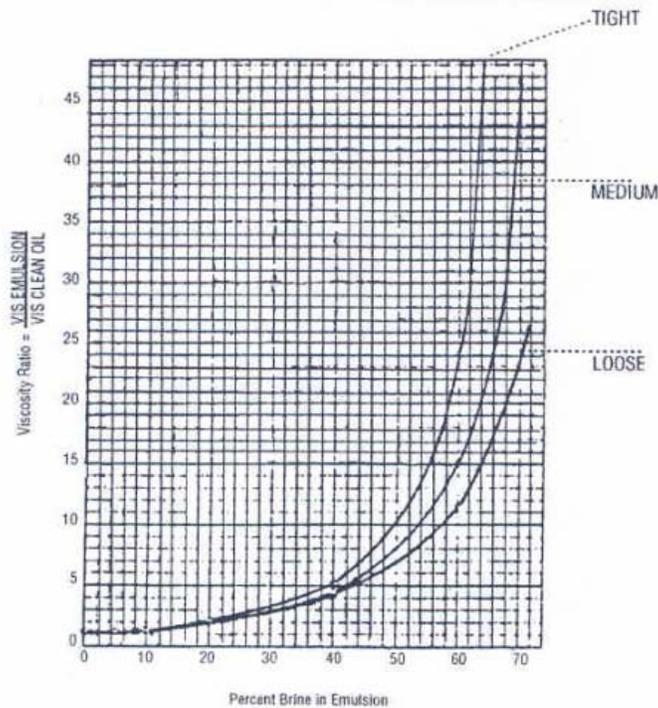
$$\mu_e = \mu_o e^{\alpha^* \phi} \quad \text{Ec. 14}$$

Donde  $\alpha$  representa el corte de agua como fracción y  $\Phi$  representa el índice de viscosidad (I.V.).



**Figura 9 Correlación de Woelflin para Emulsiones (Gomez, 2004)**

Su investigación establece que la relación es válida sólo para sistemas en los cuales la inversión de fase ocurre en un contenido de agua entre 40 y 60%, luego de estos valores, la viscosidad de la mezcla se aproxima a la viscosidad del agua (1cP). Para este modelo reportó que la fracción equivalente de viscosidad  $\mu_e/\mu_o$  no depende de la temperatura para cortes de agua constantes y que la emulsión se puede clasificar como hermética, mediana o libre dependiendo del tamaño de las gotas de agua (Figura 10). La emulsión de tipo hermética se presenta cuando la producción del pozo viene con alto contenido de gas y se encuentra bien agitada, mientras que la emulsión libre se presenta generalmente en pozos explotados con el uso de bombas.



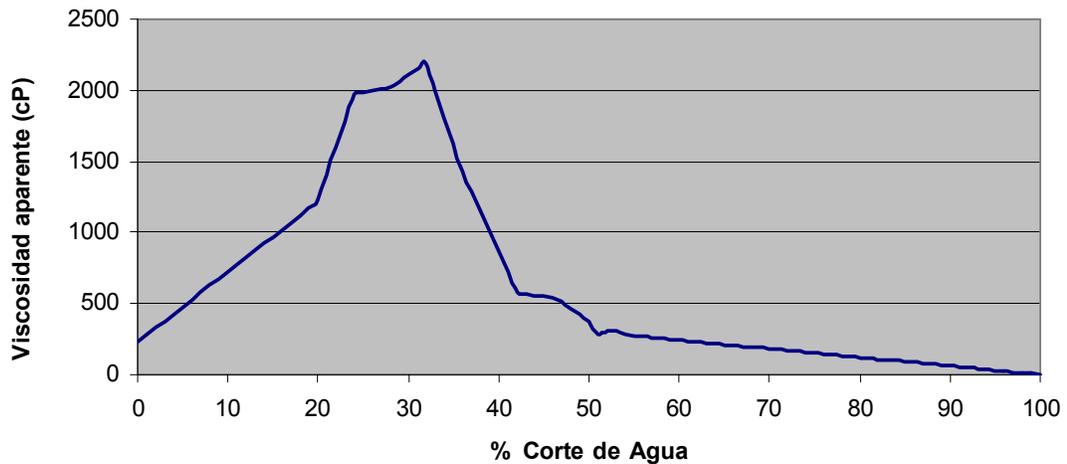
**Figura 10 Clasificación de las emulsiones según Woelflin (Brill, 1991: 2\_55-2\_56)**

La mayoría de los simuladores asumen la correlación de Woelflin para los cálculos de la hidráulica del crudo húmedo en tuberías hasta el punto de inversión. Entre las principales limitaciones de este modelo, se encuentra que asume emulsión total de la mezcla crudo-agua, lo cual está muy lejos del comportamiento real en las tuberías, por otro lado, la ecuación no toma en cuenta la variación en el grado de mezclado y asume el mismo corte de agua para el punto de inversión de todos los crudos.

### **3.5.1.-Curva de viscosidad para Sincor**

Investigaciones realizadas anteriormente en Sincor, permitieron determinar una curva de viscosidad experimental particular para el caso de Sincor. En esta curva se representan valores promedio de la variación de la viscosidad aparente en función del corte de agua para un crudo diluido a 16 °API.

En la Figura 11 que se muestra a continuación se refleja la curva mencionada.



**Figura 11 Curva de viscosidad para crudo de 16 °API**

En la curva mostrada en la Figura 11, se puede observar que el comportamiento de la viscosidad en función del corte de agua presenta un máximo, mientras menor es el contenido de agua en el crudo, más pequeñas son las gotas de agua y más lenta será la coalescencia de las mismas. A medida que el contenido de agua se aproxima al punto de inversión, más grandes serán las gotas de agua y más rápida es la coalescencia de las mismas dando paso así al cambio de dispersión (punto de inversión) en el cual la fase continua pasa a ser el agua mientras que el crudo pasa a ser la fase dispersa, disminuyendo así la viscosidad de la mezcla. Según la curva mostrada, este punto de inversión se encuentra en rango entre un 25 y 35 % de corte de agua. (Gomez, 2004)

### **3.6.- Gravedad específica y gravedad API:**

La gravedad específica y la gravedad API (American Petroleum Institute), expresan la densidad o el peso de un volumen unitario de materia.

La gravedad específica es la relación entre el peso de un volumen unitario de crudo y el peso del mismo volumen de agua a una temperatura estándar. Se define como la relación de la masa de un volumen dado de líquido a 15,56°C (60°F) con la masa de un volumen igual de agua pura a la misma temperatura.

$$ge = \frac{\rho_x}{\rho_w} = \frac{m_x/V_x}{m_w/V_w}, V_x = V_w \rightarrow ge = \frac{m_x}{m_w}$$

Ec. 15

La gravedad API es una propiedad física fundamental que es usada para caracterizar la calidad del petróleo se calcula de la siguiente manera:

$$^{\circ}API = \left( \frac{141,5}{ge} \right) - 131,5$$

Ec. 16

A menos que se establezca lo contrario, tanto la gravedad específica como la gravedad API se refieren a 15,6°C (60°F). Una excepción es el uso de 25°C (77°F) cuando se trata de asfaltos y aceites de vialidad.

### 3.7.- Bombas de multifásicas

En los últimos años el uso de equipos multifásicos se ha masificado a nivel mundial en diferentes aplicaciones de la industria. El mundo de las compañías petroleras no escapa del uso de esta tecnología, y hoy en día, las aplicaciones de bombeo multifásico constituyen una opción muy común y conveniente en toda la cadena de producción.

En el área de explotación y producción de petróleo, esta tecnología ha sido aplicada con éxito, ya que su configuración permite manejar en su totalidad la producción completa de los pozos (crudo, gas y agua) bombeándola directamente hacia la red de recolección de crudo, sin necesidad de una separación previa o procesamiento de la corriente de entrada, disminuyendo significativamente los costos asociados a los equipos de superficie. (Martin, 1999)

### **3.7.1.- Tipos de bombas de multifásicas**

Las bombas multifásicas pueden ser divididas en dos grandes grupos de acuerdo a su principio de operación: las bombas rotodinámicas y las bombas de desplazamiento positivo.

#### **3.7.1.1.- Bombas rotodinámicas.**

Este tipo de bombas son turbo máquinas, conformadas por múltiples etapas de impulsores (rotores) y difusores (estatores), dependen de la velocidad y de la densidad del fluido para el desarrollo de la presión. La cavidad de los impulsores posee una forma helicoidal, resultando en una combinación de bomba centrífuga y un compresor axial. Este tipo de diseño, a un valor apropiado de rpm, evita la pre separación de los fluidos y permite el bombeo de mezclas multifásicas con altas fracciones de gas. Cada etapa de compresión está diseñada considerando un cambio de volumen en el gas a medida que el mismo va siendo comprimido a lo largo de la bomba. (Martin, 1999; Cooper y Prang, 1998)

#### **3.7.1.2.- Bombas de desplazamiento positivo**

El principio de las bombas de desplazamiento positivo es encerrar un volumen finito o cavidad y transportarlo desde la succión hasta la descarga de la bomba. El flujo en el interior de la bomba no es mas un flujo continuo, si no consta de una serie de volúmenes de fluido contenidos en cavidades, dispuestos uno después del otro a lo largo de toda la bomba. Una de las características mas importantes de estas bombas, es que difieren de las turbo máquinas, ya que no generan presión por ellas mismas. Debido a que estas bombas manejan cavidades de volúmenes finitos, podrán superar cualquier restricción existente aguas bajo de las mismas. En este sentido, la presión incrementará aguas bajo de la bomba, a medida que estos volúmenes finitos fluyan a través de restricciones como la fricción en las tuberías y válvulas. Es por esta razón que todas las bombas de desplazamiento positivos deben estar conectados a un alivio de presión o válvula de seguridad.

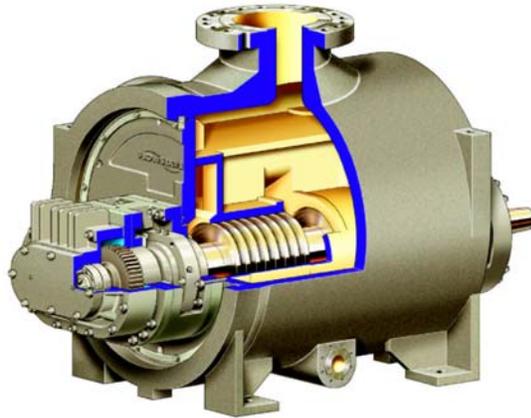
Las bombas de de desplazamiento rotativas y reciprocantes son los principales grupos que conforman las bombas de desplazamiento positivo. Dentro de las bombas del tipo rotativas se encuentran las bombas de tornillo. Las bombas de tornillo son las bombas de desplazamiento positivo mas comúnmente utilizadas en el transporte de mezclas multifásicas. Estas bombas pueden tener uno o dos tornillos.

Las bombas de un solo tornillo o llamadas también bombas de cavidades progresivas (BCP) consisten básicamente de un tornillo (rotor) que gira el en interior de un estator, formándose cavidades en los espacios entre ambos (ver capítulo 3.8). Las bombas de doble tornillo se desarrollan en el próximo punto a continuación (Martin, 1999)

### **3.7.2.- Bombas de doble tornillo**

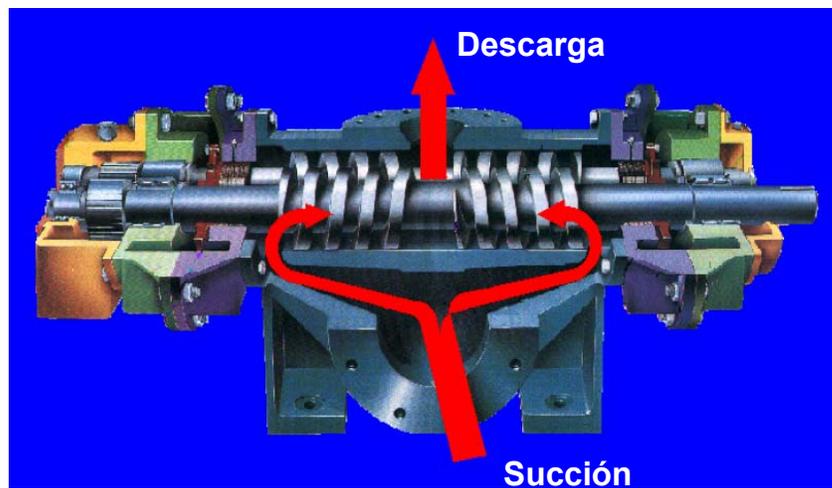
El bombeo de líquido y gas en campos petroleros implica un rango amplio de posibles condiciones de servicio en la mayoría de las instalaciones. Los volúmenes de gas y líquido se pueden encontrar en diferentes combinaciones que varían con el tiempo. La habilidad de una bomba de desplazamiento positivo para succionar y presurizar estas sustancias sin grandes impactos en la potencia consumida y en la velocidad, han hecho de las bombas de doble tornillo multifásicas un equipo muy atractivo a los operadores. La versatilidad de este tipo de máquinas se extiende a todo el rango de volumen de fracción de gas y líquido, pudiendo éste último cambiar de valores de alta a baja viscosidad y manifestando un contenido substancial de agua.

La Figura 12 muestra un corte de una bomba multifásica de doble tornillo. La longitud del rotor en relación con su diámetro es mucho menor comparada con diseños anteriores, haciendo que los rotores sean lo suficientemente robustos como para que los mismos no toquen el interior del cuerpo cuando son flexionados bajo la fuerza de la presión creciente a través del tornillo.( Cooper y Prang, 2001)



**Figura 12: Corte de una bomba de doble tornillo.**

Las bombas de doble tornillo, están conformadas por dos tornillos sin fin, dispuestos horizontalmente uno al lado del otro, y colocados en el interior de una carcasa. Cada uno de los tornillos posee a todo lo largo de su longitud cavidades que se disponen una continuación de la otra y que permiten el desplazamiento del fluido de una cavidad a otra. En la figura N13, se muestra una vista lateral y aérea de una bomba de doble tornillo, donde se puede apreciar que el flujo que entra a la bomba es repartido en dos, alimentado los tronillos de ambos lados opuestos. Adicionalmente se puede observar como la disposición de ambos tornillos ocasiona que el fluido quede atrapado en cavidades. (Martin, 1999)



**Figura 13: Vista de lateral y área de una bomba de doble tornillo.**

Antes de existir la necesidad de bombear gas junto con el líquido, sólo era necesario bombear líquidos monofásicos de alta viscosidad, y se podía confiar en la

capacidad lubricante de tales líquidos para sustentar el rotor a medida que se flexionaban hacia arriba contra el cuerpo de la bomba. Sin embargo, la presencia de gas en el bombeo multifásico reduce la lubricación, de forma que un tornillo que se flexiona contra el cuerpo de la bomba puede desgastarse rápidamente, al igual que el cuerpo. El hecho de que la fase líquida es en general de baja viscosidad, en algunos casos tan baja como aquella del agua, contribuye a la pérdida de tal lubricación. Aún más, una pequeña cantidad del gas puede ingresar en las tolerancias y romper la película lubricante, a pesar de que la acción de los tornillos hace que sea fundamentalmente líquido lo que se encuentra en tales holguras. Esto ha requerido que los fabricantes de bombas multifásicas de doble tornillo deban garantizar que los tornillos no estén en contacto con el cuerpo de la bomba (carcaza). La capacidad de las bombas de doble tornillo para manejar cualquier mezcla de gas y líquido está ilustrada con claridad en la Figura 13, donde se observa que los 2 tornillos engranados uno al otro, crean cavidades definidas o "claustros" que están aislados el uno del otro por pequeñas tolerancias. Por lo tanto existe una pared divisoria entre la admisión y la descarga de la bomba; lo que distingue a una máquina de desplazamiento positivo de una roto dinámica; y el caudal real entregado depende de las pérdidas internas o recirculación a través de estas pequeñas tolerancias que separan la descarga de la admisión.

### **3.7.3.- Recirculación o deslizamiento y compresión del gas (distribución de la presión).**

La recirculación de caudal hacia la succión se substrahe del volumen barrido o desplazado por unidad de tiempo. Esta recirculación de caudal hacia la succión, es el resultado de los respectivos valores de recirculación a través de cada uno de los claustros entre la succión y la descarga, y la distribución de las diferencias de presión asociadas, todas las cuales suman la diferencia de presión  $\Delta p$  impuesta a la máquina. Las pérdidas de caudal individuales generadas por las respectivas diferencias de presión pueden ser laminares o turbulentas en función del número de Reynolds. Esta distribución de presión también depende de la fracción de gas medida en la succión, o

sea el GVF, de la velocidad de la bomba y de la relación de presión entre la succión y la descarga de la bomba. Además, el caudal de recirculación de líquidos viscosos aumenta por la disminución local de la viscosidad efectiva que es causada por el calentamiento viscoso que surge del movimiento relativo entre los límites rotativos y estacionario del huelgo o tolerancia por el cual se produce la recirculación.

Cortes radiales a lo largo de los tornillos a diferentes ángulos de rotación van a revelar ubicaciones axiales diferentes para cada claustro, dependiendo de cuan lejos se haya desplazado este ángulo de una determinada sección respecto del punto de sellado entre los tornillos engranados. Para simplificar el cálculo de la recirculación de caudal, Vetter (según Vetter, 2000, citado por Cooper y Prang, 2001) introdujo el concepto de una serie de discos para representar a los claustros en posiciones axiales promedio, fijas. La figura 14 es una representación de este modelo para el caso de un caudal multifásico de alto GVF. Se asume que el líquido es centrifugado hacia las afueras del tornillo y sella las holguras o tolerancias entre los tornillos y el cuerpo, y por lo tanto es principalmente líquido lo que pasa a través de las holguras. (Cooper y Prang, 2001)

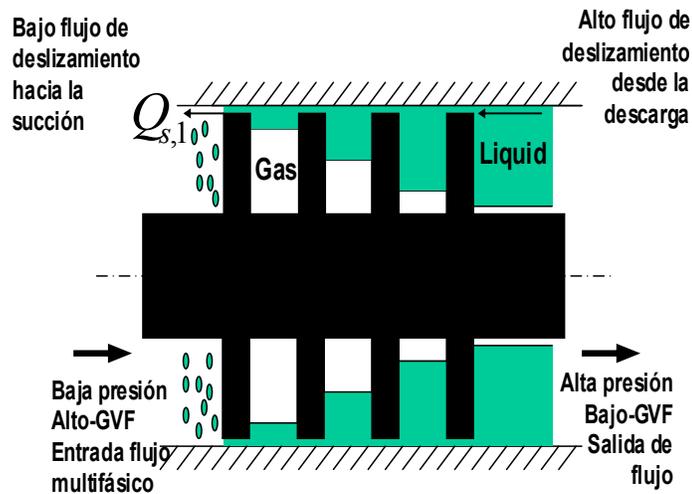


Figura 14: Deslizamiento interno y compresión del gas.

A medida que el fluido es transportado axialmente por los tornillos, las diferencias de presión entre los claustros se suman las unas a las otras en forma creciente. Por lo tanto, el gas entrante se va comprimiendo cada vez más en cada

claustro a medida que se desplaza de la succión a la descarga del tornillo, finalmente saliendo con un volumen mucho menor que el representado por el valor del GVF en la succión. Esta compresión (que se vería retrasada al momento en que el fluido llega a la descarga si todas las holguras fuesen nulas), se obtiene por el llenado regresivo de los claustros por cantidades de caudal de recirculación variables que dependen de cuanto menos espacio en el claustro es ocupado por el gas comprimido en comparación con lo que ocupaba cerca de la succión, al comienzo del proceso de compresión. Ya que este líquido comprimido debe casi llenar el último claustro, el nivel de caudal de recirculación desde el extremo de la descarga del tornillo hacia el último claustro es mucho mayor que aquella pasando hacia la zona de succión desde el primer claustro cercano a la zona de succión del tornillo. Por lo tanto, el aumento de presión a través de la cresta del último claustro hacia la zona de descarga es mucho mayor que lo que es a través de la primera cresta cercana a la zona de succión aguas arriba. (Cooper y Prang, 2001)

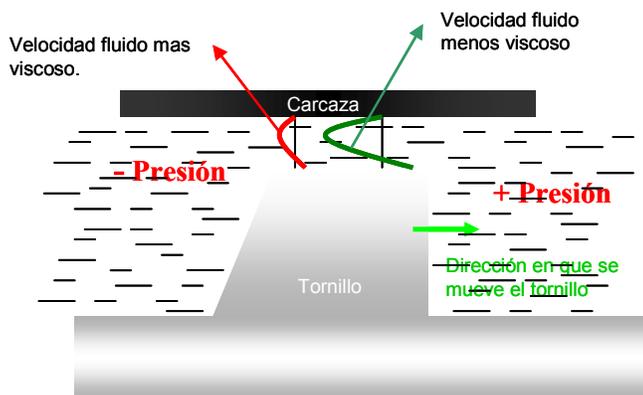
#### **3.7.4.- Factores que afectan la capacidad de las bombas multifásicas de doble tornillo.**

Dentro de los principales factores que afectan el desempeño y capacidad de flujo de las bombas de doble tornillo, podemos mencionar los siguientes:

Velocidad de rotación: a medida que la bomba gire mas rápido, mayor capacidad de flujo podrá manejar la bomba, sin embargo, esta velocidad de rotación esta ligada a la capacidad que puedan ofrecer los respectivos motores instalados en las bombas. Estas bombas también poseen la capacidad de poder variar su velocidad de flujo en función de los requerimientos de presión exigidos.

Relación de presiones: la diferencia entre la presiones de succión y descarga afecta también desempeño y funcionamiento de las bombas, ya que a medida que el diferencial de presión es mas alto, es necesario comprimir mayor cantidad de gas, ocupando este ultimo mayor espacio en las etapas a presiones mas bajas. Adicionalmente, un diferencial de presión mayor, genera un deslizamiento mayor a lo largo de las etapas de la bomba.

Viscosidad del líquido: la disminución de la viscosidad del líquido genera un incremento del volumen de deslizamiento. Esto se puede explicar junto con la Figura 15, al variar la viscosidad del líquido, se genera en la holgura un cambio del perfil de velocidades del líquido que se desplaza a través de la misma, por tal motivo se puede mencionar que al manejar fluidos mas viscosos las velocidades a través de la holgura serán mas bajas y por ende el sello a través de este espacio será mas eficiente, reduciendo el deslizamiento de una cavidad a otra, pero a medida que las viscosidades de los líquidos sean mas bajas, las velocidades a través de la holgura serán mas altas y por lo tanto aumentará el flujo deslizamiento a lo largo de la bomba.



**Figura 15 Deslizamiento por efecto de la viscosidad.**

Corte de agua: el contenido del agua en la mezcla puede afectar la capacidad de la bomba modificando el deslizamiento de la misma. En una mezcla líquida crudo y agua, después del punto de inversión de fases, el agua pasa a ser la fase continua en la mezcla, esto puede ocasionar que en la holgura, el líquido observado por la bomba se comporte como agua, reduciendo así la viscosidad.

### **3.7.5.- Modelos de bombas de doble tornillo Flowerserve.**

Actualmente en Sincor existen un total de 30 bombas multifásicas, las cuales están divididas en dos grupos pertenecientes a dos fabricantes diferentes. Por un lado existen 6 equipos marca Borneman (alemana) y los restantes 24 fueron fabricados

por la compañía Flowserve (canadiense). En la Figura 16, se pueden observar una vista frontal y lateral de algunos equipos. Para efectos de este trabajo, el mismo estará enfocado sobre las bombas del fabricante Flowserve, ya que existe un mayor número de equipos y es en esta macollas en donde el corte de agua ha aumentado en forma más importante desde el inicio de la producción del campo.



**Figura 16 Bomba Multifásica, vista frontal y lateral.**

Dentro de los equipos de Flowserve existen dos modelos, uno pequeño (275) que maneja alrededor de 40.000 BPD de fluido equivalente y el otro modelo mediano (380) que posee una capacidad aproximada de 80.000 BPD de fluido equivalente. Ambos modelos pueden girar a velocidades de 930 rpm.

### **3.8.- Bombas de Cavidad Progresiva (BCP)**

Una bomba de cavidad progresiva (BCP), se define como una bomba de desplazamiento positivo que consta esencialmente de dos engranajes helicoidales interiores entre el rotor y el estator. Su geometría permite que se construyan una serie de cavidades idénticas separadas entre sí, las cuales, al girar el rotor (tornillo sin fin de N etapas) dentro del estator, se mueven axialmente de un extremo al otro, creando

así la acción de bombeo (Figura 17). Adicionalmente, dentro del estator se encuentra incrustada una goma especial de elastómero, que junto con la forma del rotor permite la formación de las cavidades. La presencia de este elastómero permite el roce entre el rotor y el estator, reduciendo el deslizamiento de una cavidad a otra.

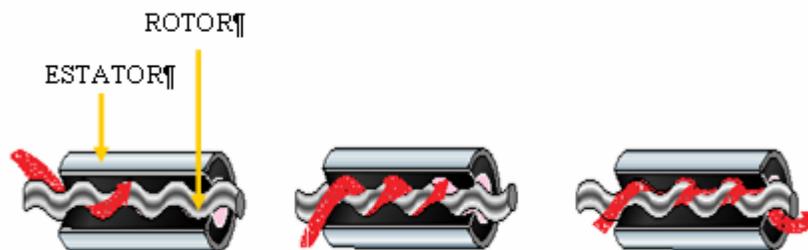
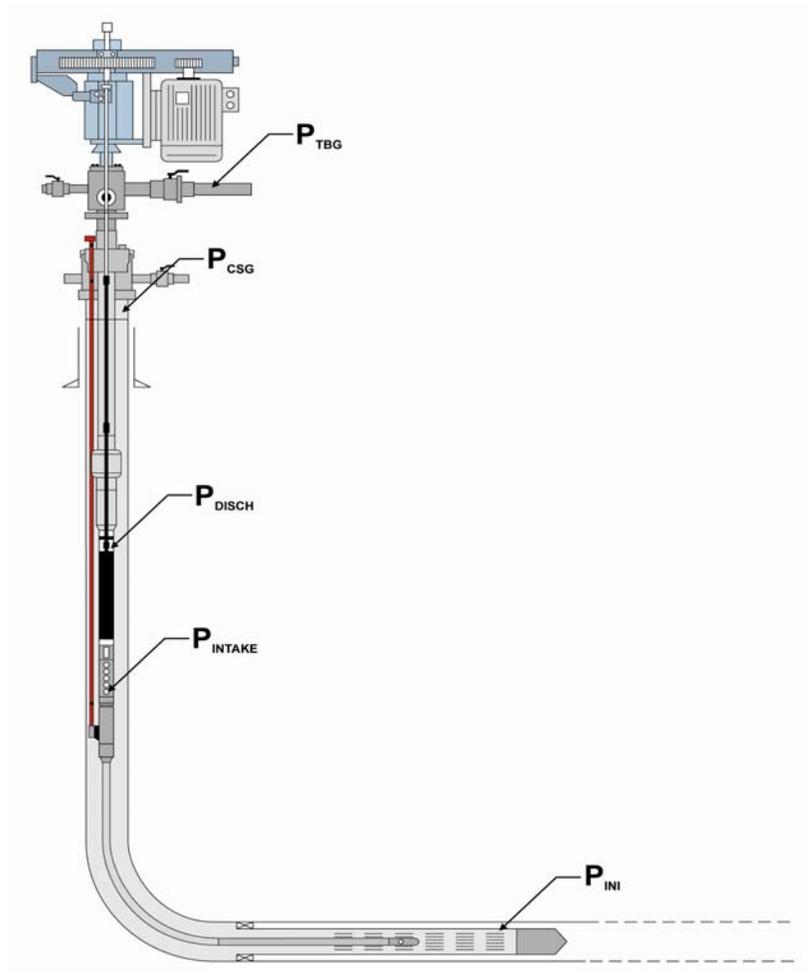


Figura 17 Geometría interna de una Bomba de Cavidad Progresiva

### 3.8.1.- Operatividad de la BCP

La BCP es accionada generalmente por las cabillas desde la superficie, estas transfieren el movimiento al rotor el cual genera la transferencia del fluido de una cavidad a otra, provocando un diferencial de presión. Este movimiento provoca un torque inicial y otro de proceso, el cual debe ser vencido y mantenido por el motor; para esto se deben seleccionar los caballos de fuerza y la relación de poleas óptima, adaptados a las condiciones del pozo.

Las BCP, producen de manera ideal cualquier carga que se les imponga mediante restricciones de flujo en la descarga. El volumen máximo a desplazar, se determina por la potencia disponible en el mecanismo de propulsión y la resistencia del engranaje interno. El arreglo en el que se puede encontrar la BCP es el resultado de la combinación entre la completación del pozo y el modelo de la bomba. Ver Figura 18.



**Figura 18 Arreglo de una Bomba de Cavidad Progressiva**

$P_{CSG}$  (Presión en la tubería anular (*casing*)): Se encuentra afectada por la cantidad de gas libre que se acumula en la parte superior del pozo, aguas abajo de la bomba. Esta presión puede afectar el funcionamiento de la bomba debido a que un alto contenido de gas puede limitar la cantidad de crudo que es succionado por la bomba, llegando a dañarla en caso de superar el volumen de gas que esta puede manejar

$P_{TBG}$  (Presión en la tubería de producción (*tubing*)): Es la presión que se mide en el tubo de producción al llegar el crudo a la superficie.

$P_{\text{INTAKE}}$  (Presión de succión): Se refiere a la presión con la cual la bomba es alimentada por el crudo succionado por la tubería de producción.

$P_{\text{DISCH}}$  (Presión de descarga): Es la presión a la cual el crudo es impulsado una vez que haya pasado por las diferentes cavidades a través de la bomba.

$P_{\text{INIaSRO}}$  (Presión inicial del pozo): Es la presión que se registra una vez terminada la completación del pozo, antes de habilitarlo para la producción.

$P_{\text{INI}}$  (Presión de producción): Es la presión a la cual fluye el crudo en el inicio de su trayectoria hacia la superficie. Es medida en el tubo de producción y su valor tiende a disminuir a medida que el crudo en el reservorio disminuye.

### **3.8.2.- Ventajas y Limitaciones de la BCP:**

Ventajas:

- Puede bombear fluidos altamente viscosos sin deteriorar el producto, incluso cuando se encuentran cargados de sólidos, agua y gas.
- Puede bombear diferentes tasas de producción según las exigencias del pozo.
- Posee una instalación sencilla.
- La existencia del elastómero permite el roce entre el rotor y el estator.

Limitaciones:

- Presenta una alta presión de descarga.
- La presencia de aromáticos produce hinchamiento del elastómero.
- Se pueden llevar hasta sólo hasta una profundidad de 8000 pies.
- No soporta temperatura mayores a 300°F.
- La presencia de agua produce endurecimiento en el elastómero ya que el agua no es lubricante y al pasar por el rotor, lo recalienta y se endurece.
- La presencia de dióxido de carbono ocasiona ablandamiento del elastómero.

- No pueden estar fuera de operación por mucho tiempo porque generan deformaciones.
- No se debe superar la capacidad de bombeo ya que se generan desgarramientos en el elastómero.

### **3.8.3.- Factores que afectan la eficiencia**

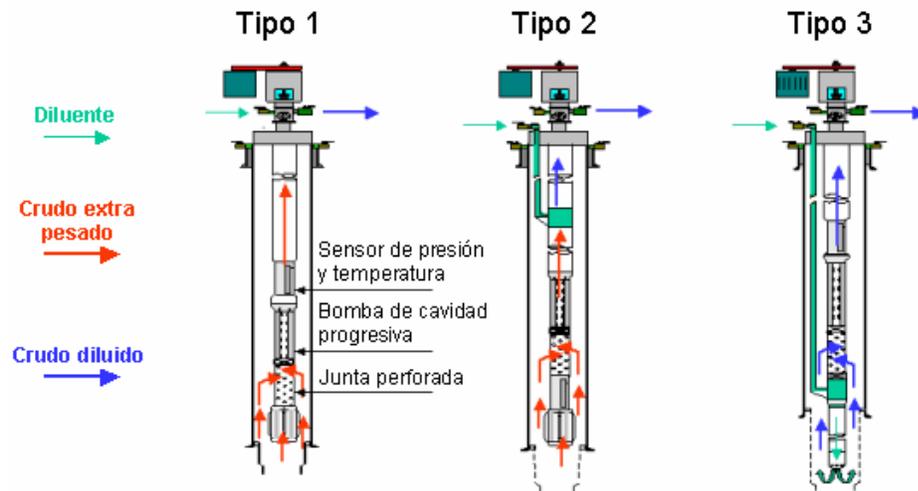
- Disminuye con el aumento en el caudal de gas, ya que en lugar de levantar líquido, parte del volumen que desplaza la bomba es gas.
- Disminuye a medida que la viscosidad del líquido disminuye, ya que aumenta de volumen de deslizamiento.
- Disminuye con la cantidad de agua ya que los sellos están diseñados para trabajar con crudo, el elastómero se deteriora y ocurre deslizamiento.
- El desgaste del elastómero ocasiona incremento de la holgura y trae como consecuencia el aumento del deslizamiento.

Las características del fluido (viscosidad, composición etc.), el caudal producido, la presión de superficie, diámetro de las tuberías y el diferencial de presión de la bomba, generan un torque en el sistema, el cual debe permanecer dentro de los rangos de operación permisibles para cada pozo. Las consecuencias de originar altos torque ocasionan daños en las cabillas. (Sincor, 2000)

### **3.8.4.- Completación**

Es la preparación de un pozo para ponerlo en producción económicamente. Después que un pozo es entubado y cementado, cada horizonte productivo es puesto en contacto permanente con el pozo, permitiendo el flujo de fluidos del reservorio

hacia superficie a través de la tubería de producción y el equipo apropiado para controlar la tasa de flujo. El tipo de completación del pozo, se refiere al lugar en donde se encuentra la inyección de diluyente (Figura 19), este puede ser, tipo 1: a la cabeza del pozo (WH), tipo 2: en la bomba (Pump) o tipo 3: en el fondo del pozo (toe).



**Figura 1 Tipos de Completación implementados en Sincor**

Actualmente, en Sincor solo existen completaciones tipo 1 y 3, ya que debido a las declinación natural del yacimiento, la completación tipo 2 dejó de ser efectiva desde el punto de vista de productividad de los pozos. (Sincor, 2000)

### **3.9.- Instrumentación de campo asociada.**

En este presente trabajo la instrumentación de campo utilizada constituyó una parte importante en la toma y captura de datos de los parámetros medidos y permitió disponer de las variables de una manera sumamente eficaz y practica, por lo tanto, se mencionan a continuación los instrumentos de medición utilizados con la intención de poder entender su funcionamiento y aporte dentro del entendimiento de los resultados alcanzados.

### 3.9.1.- Medidor multifásico ROXAR

Los Medidores Multifásicos MPFM, son utilizados para hacer pruebas individuales de pozos y así conocer las características del fluido que se está produciendo. Entran en funcionamiento cuando la producción de un determinado pozo es desviada hacia el cabezal de prueba, donde el medidor registra valores tales como el contenido de agua, gas, crudo. Las pruebas de pozos se hacen de forma manual, alineando las válvulas del pozo a probar hacia el MPFM, el cual mide todos los parámetros y los transfiere al PLC (Controlador Lógico Programable) de la macolla y luego a la consola ICS (Sistema de Control Integrado) de la estación principal como valores instantáneos.

El medidor multifásico realiza mediciones de velocidad y composición en una base continua. Los parámetros de entrada al medidor son datos PVT tales como densidad de gas, agua o aceite en las condiciones de medición así como permitividad del aceite y salinidad de agua.

La unidad sensor es una pieza bobina instrumentada que contiene varios elementos de detección dentro de la tubería. Estos son el *sensor de capacitancia* en el fondo, el *sensor de inductancia* en el medio y el *sensor venturi* en la parte superior. Además, un sistema *densitómetro gamma* que está sujeto a la parte baja de la bobina.

Dos principios de medición separados se usan para medir la composición y velocidad de los componentes de flujo multifásicos (agua, aceite y gas):

1) Mediciones de composición para determinar las porciones volumétricas de aceite, agua y gas en condiciones de proceso.

2) Medición de velocidad para determinar la velocidad de flujo del líquido y/o gas a través del medidor.

En la Figura 20 se muestra a continuación un diagrama de bloques simplificado de los componentes principales del medidor multifásico.

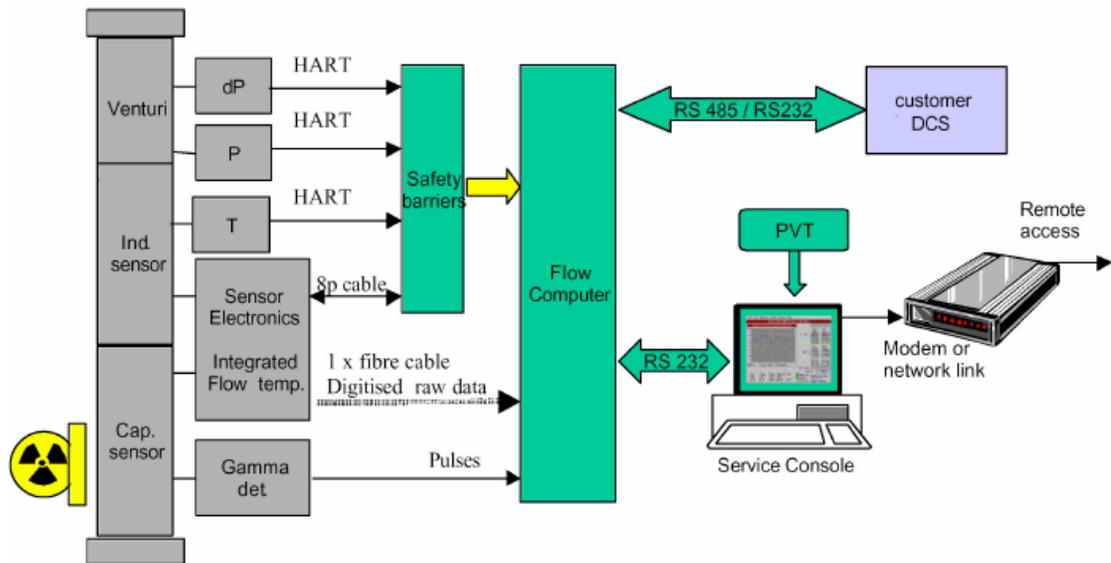


Figura 20 Diagrama de bloques del medidor multifásico.

### 3.9.1.1.- Medición de composición

#### 3.9.1.1.1.- Densitómetro gamma

El propósito del densitómetro gamma del MPFM es medir la densidad total de la mezcla que fluye en la tubería. Debido a la diferencia significativa en las densidades del líquido y gas de una mezcla agua/aceite/gas, el índice de absorción proporciona una medida exacta de las porciones de líquido y gas en la mezcla. La absorción de la radiación gamma en un medio es una función de la densidad promedio a lo largo de la ruta de la partícula gamma. Esto es un principio muy conocido usado para muchas otras aplicaciones.

El densitómetro usado en el MPFM es un detector estándar ICI Syntec (Tracerco) Gammatrol PRI116, y está sujeto al exterior del sensor de capacitancia. La fuente radioactiva usada es Cesio 137 (Cs 137) y tiene una protección IP 65 con un índice de dosis menor a 75  $\mu$ Sieverts por hora en cualquier superficie accesible. Si se siguen las instrucciones y regulaciones adecuadas, el densitómetro gamma es totalmente seguro y no constituye una fuente de peligro. Ver Figura 21

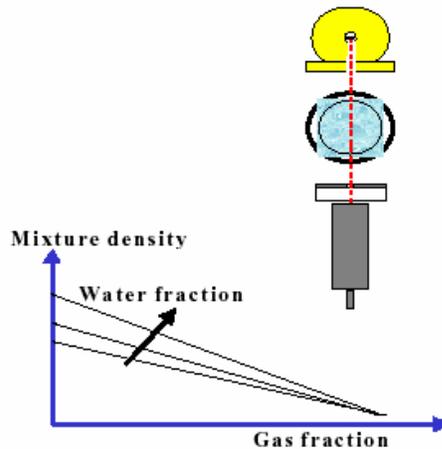


Figura 21: Principio de medición densitómetro gamma.

### 3.9.1.1.2.- Sensor de capacitancia

El propósito del sensor de capacitancia es medir la porción de aceite, agua y gas del flujo que circula por el medidor. Esto se realiza a través de la permitividad de la mezcla aceite/gas/agua. La permitividad es una propiedad eléctrica que es diferente para cada uno de los tres componentes en una mezcla aceite/gas/agua. La permitividad es también llamada constante dieléctrica.

Los electrodos se encuentran colocados en cada lado de la bobina y cuando la mezcla fluye a través de la tubería, el campo eléctrico generado entre los electrodos será afectado por la permitividad de la mezcla aceite/gas/agua. Los electrodos actuarán como un detector de capacitancia y la medirán. Esta capacitancia variará en consecuencia cuando la permitividad cambie, por ejemplo de acuerdo a la cantidad de aceite, gas y agua en la mezcla. Ver Figura 22

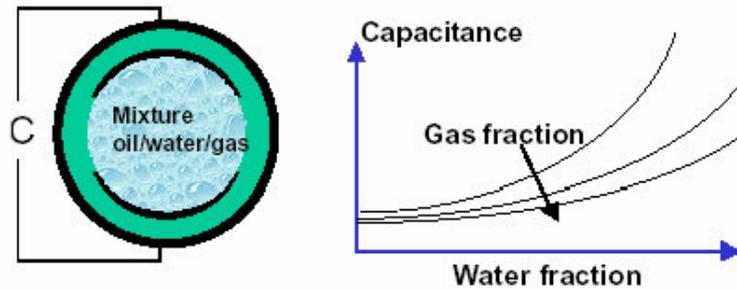


Figura 22: Principio de medición de la capacitancia.

Esta medición de capacitancia trabaja mientras el flujo sea de aceite continuo, por ejemplo mientras el agua se disperse en el aceite y no forme un recorrido continuo de agua entre los electrodos. Esto último, causaría un corto circuito entre los electrodos, y la unidad no podría realizar mediciones correctas. Normalmente, el flujo es aceite continuo mientras el corte de agua sea menor al 60 - 70% de agua. Para mayores cortes de agua el flujo normalmente se convierte en agua continua. Para estas situaciones se usa el sensor de inductancia.

### 3.9.1.1.3 Sensor de inductancia

El principio de capacitancia no es apto en flujos de agua continua. Por esta razón la conductividad de la mezcla del flujo aceite/agua/gas se mide con el sensor de inductancia en flujos de líquido de agua continua. Usa resortes magnéticos para inducir una corriente a través del líquido dentro del sensor (por eso el nombre de sensor inductivo).

El sensor inductivo está integrado en la misma unidad que el sensor de capacitancia e incluye un grupo de resortes y un grupo de electrodos (Ver Figura 23). Dos resortes, uno en cada lado de la bobina, se usan para fijar un campo eléctrico que induce una corriente, la cual fluye a través de la mezcla de aceite, gas y agua. Mientras que el flujo sea agua continua, el agua actuará como un conductor y la corriente fluirá de un lado del medidor al otro. Los electrodos detectores de potencial recogerán el potencial de voltaje diferencial entre pares de electrodos en la posición donde el electrodo este colocado.

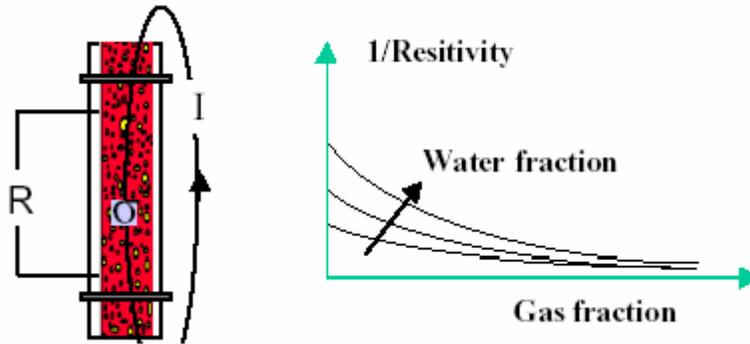


Figura 23: Principio de la medición de inductancia.

### 3.9.1.1.4 Revisión de algoritmos: medición de composición

Una vez que el medidor ha medido la densidad, permitividad o conductividad de la mezcla, es posible resolver las composiciones volumétricas de aceite, agua y gas. Estos principios, que relacionan las composiciones de los diferentes componentes a la permitividad media (o conductividad) y densidad media de la mezcla, son usados por el medidor multifásico para obtener dos ecuaciones independientes que describen la dependencia de los tres componentes. La tercera y última ecuación está relacionada al hecho de que la suma de las tres composiciones siempre será igual a uno.

Las siguientes ecuaciones describen la relación entre los componentes de la mezcla y la correspondiente permitividad, conductividad y densidad de la mezcla. Para cualquier densidad de mezcla dada, conductividad y permitividad, solo hay una solución de las respectivas ecuaciones.

$$\text{Permitividad: } \varepsilon_{Mezcla} = f(x\varepsilon_{gas}, y\varepsilon_{gas}, z\varepsilon_{gas}) \quad \text{Ec. 17a}$$

o sino,

$$\text{Conductividad: } \sigma_{Mezcla} = f(x\sigma_{gas}, y\sigma_{gas}, z\sigma_{gas}) \quad \text{Ec. 17b}$$

$$\text{Densidad: } \rho_{Mezcla} = f(x\rho_{gas}, y\rho_{gas}, z\rho_{gas}) \quad \text{Ec. 18}$$

$$(x + y + z) = 1$$

Ec. 19

Donde:

x: composición del gas,

$\epsilon$ : permitividad de la mezcla

y: composición del agua,

$\sigma$ : conductividad de la mezcla

z: composición del aceite,

$\rho$ : densidad de la mezcla

Para resolver las ecuaciones, el medidor debe tener datos de punto final que describan los componentes discretos para usar en las formulas de mezcla. Específicamente, el medidor debe conocer las siguientes propiedades a una presión y temperatura determinada del agua, aceite y gas: densidad del aceite, agua y gas, conductividad del aceite agua y gas, y permitividad del aceite, agua y gas.

### **3.9.1.2.- Medición de velocidad del líquido y gas.**

#### **3.9.1.2.1 Medidor de velocidad de correlación cruzada (medidor correlación-X)**

Es virtualmente imposible generar condiciones sin deslizamiento para flujo multifásico. Debido a esto, la estrategia ha sido desarrollar métodos que den mediciones confiables incluso bajo condiciones de deslizamiento.

El sistema multifásico determina las dos velocidades más significativas del flujo multifásico, por ejemplo la velocidad de burbujas de gas grandes y la velocidad de burbujas de gas pequeñas. Simplificando, las dos velocidades indican la velocidad de gas y líquido. El sensor contiene un número de electrodos con diferentes tamaños y patrones, y las dos velocidades están determinadas por señales de correlación cruzada obtenidas de pares de electrodos.

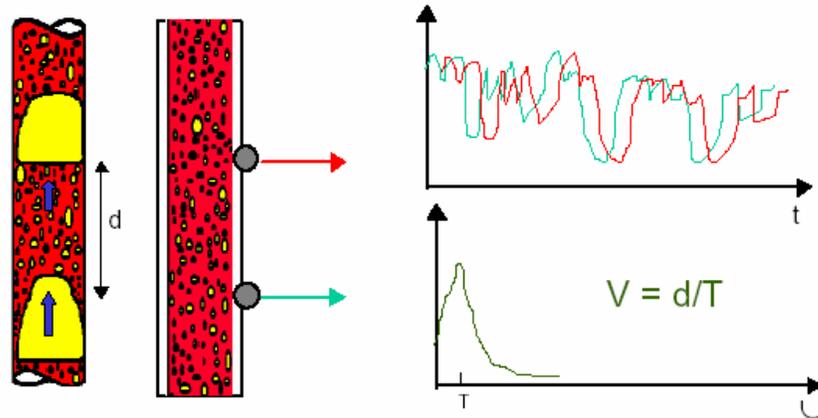
Cuando se determinan las dos velocidades de flujo, se combinan con información de las mediciones de las composiciones para determinar los flujos

individuales de aceite, gas y agua. Como el medidor no confía en condiciones sin deslizamiento o alguna función de deslizamiento estimado, este método evita el uso de constantes de calibración específicas y no se necesita mezclador.

El medidor de correlación cruzada es un dispositivo que consiste en dos pares de electrodos de medición de capacitancia espaciados una distancia conocida a lo largo de la dirección del flujo. Un par consiste en dos grandes electrodos y un segundo par que consiste en dos electrodos pequeños.

La técnica de correlación cruzada puede ser explicada de la forma siguiente:

Los datos de las series de tiempo y flujo (mezcla de agua, aceite y gas) se obtienen rápida y simultáneamente de los dos pares de electrodos. El flujo que pasa a través de la unidad sensor consiste en un líquido que contiene una mezcla de burbujas grandes y pequeñas de gas que dependen del régimen de flujo. Cuando la mezcla de líquido y gas pasa el primer electrodo genera una señal que es almacenada por la computadora de flujo. La distancia entre el primer y segundo electrodo es pequeña y por ello la misma mezcla pasara al segundo electrodo después de un corto periodo de tiempo. Esto significa que la mezcla de líquido y gas ha cambiado muy poco durante el tiempo y la señal recogida por el segundo electrodo es casi idéntica a la señal recogida por el primer electrodo. La correlación cruzada es una técnica estadística que, comparando las similitudes de las señales recogidas por los electrodos, puede determinar el tiempo que toma al flujo viajar del primer electrodo al segundo. Dada la distancia conocida entre los sensores y el retraso en el tiempo medido, se puede determinar la velocidad. Ver Figura 24



**Figura 24: Medición de flujo.**

Las señales recogidas por los electrodos variarán en el tiempo pues la composición de la mezcla varía mientras fluye por el sensor. Los líquidos que contengan mucho gas (partículas de gas) generaran una señal diferente comparada a líquidos que contengan solo pequeñas burbujas de gas (gas disperso). El par de electrodos grandes será más sensible a las señales generadas por grandes burbujas de gas y el par pequeño de electrodos será más sensible al ruido generado por pequeñas burbujas de gas. Las burbujas de gas más pequeñas serán atrapadas dentro del líquido y tendrán por ende la misma velocidad del líquido.

Analizando cuidadosamente las series de tiempo recogidas por los dos grupos diferentes de electrodos, la velocidad del gas se determina correlacionando en forma cruzada las señales del grupo de electrodos grandes. La velocidad del líquido se determina correlacionando en forma cruzada las señales de los electrodos pequeños.

### **3.9.1.2.2.- Medidor Venturi**

A muy altos GVF's (típicamente arriba de 85%) el medidor de velocidad de correlación cruzada no puede trabajar con exactitud debido a condiciones de flujo anular. En flujo anular prácticamente todo el gas se colecta en el centro y el líquido se distribuye a lo largo de las paredes de la tubería. En esta condición de flujo no habrá suficiente cantidad de burbujas de gas grande y pequeñas necesarias para que el

medidor de correlación-X funcione adecuadamente. En estas condiciones un medidor de flujo basado en venturi se mantendrá funcionando.

Además, con el medidor venturi instalado se permite redundancia en los medidores de flujo. Si una unidad falla, la computadora de flujo comenzará automáticamente a utilizar la otra.

La presión diferencial a lo largo de un venturi es proporcional a la energía cinética de una mezcla que pasa a través de él. Por ello, la curva de respuesta de un medidor venturi esta relacionada a la masa de la mezcla y su velocidad.

La ecuación venturi estándar se modifica para usarse en un flujo de tres fases. La ecuación modificada toma en cuenta la porción de volumen de gas (GVF) del flujo. Puesto que la densidad de la mezcla se mide con el medidor de composición, esto significa que la velocidad media del líquido y del gas puede ser determinada a partir de la presión diferencial medida. (Roxar, 2002; Sincor, 2005)

En la Figura 25 que se muestra a continuación aparece reflejado un diagrama de bloques de las mediciones realizadas por medidor multifásico.

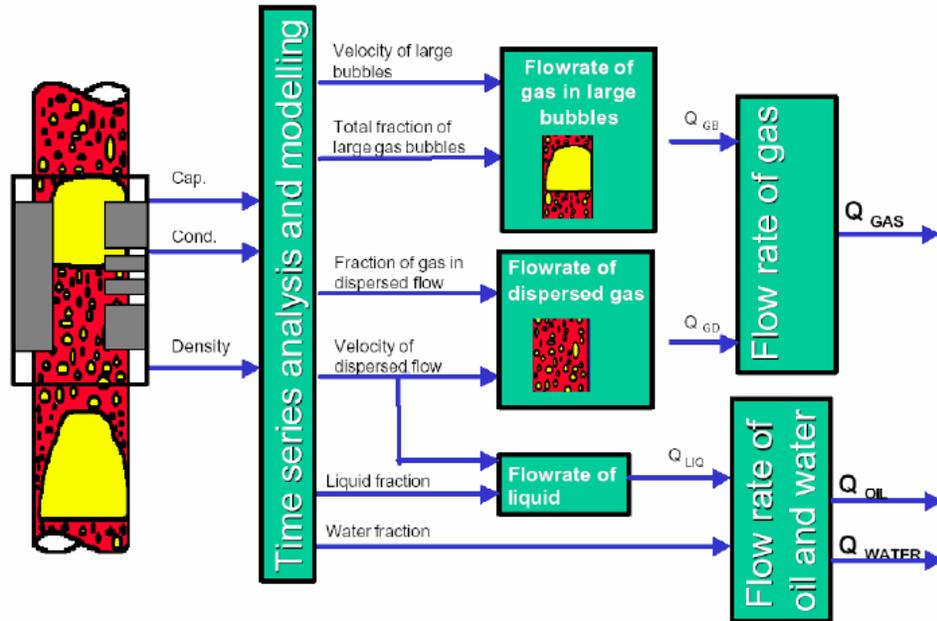


Figura 25: Diagrama de bloque de mediciones.

### **3.9.2.- Medidores de presión**

Para efectos de este trabajo se utilizaron dos medidas de presión ubicada a la succión y descarga de la bomba multifásica respectivamente. El tipo de instrumentos utilizados fueron medidores con sensores y transmisores electrónicos. La presión puede ser medida y luego su correspondiente señal puede ser transmitida para su posterior monitoreo.

Es tipo de medidores son también inteligentes, ya que poseen la capacidad de realizar auto diagnóstico con la finalidad de prevenir problemas por pérdidas de calibración, existencia de alguna falla o medida fuera del rango. La calibración de estos instrumentos es manual y se ejecuta a través del grupo de mantenimiento presente en campo.

El transmisor posee un sensor capacitivo que censa la medida de presión proveniente del proceso. El transmisor convierte el cambio de capacitancia en una señal de corriente de salida que va de 4 a 20 mA. Posteriormente, esta señal de salida es mostrada como una medida de presión o un porcentaje del rango. Es importante mencionar que existe una linealidad entre la variable de proceso, presión, y la señal corriente de salida, cuyo valor mas bajo comienza en 4 mA., esta linealidad permite relacionar la presión de entrada y la corriente de salida a través de una línea recta. Ver hoja de datos del medidor en el Anexo C.

### **3.9.3.- Medidores de temperatura (RTD)**

Las medidas de temperatura utilizadas fueron obtenidas a partir de un medidor de temperatura ubicada en la succión de la bomba multifásica.

La instrumentación utilizada para la temperatura fue un sensor de temperatura electrónico que posee elementos termoresistivos.

En estos elementos termoresistivos, el valor de resistencia cambia con la temperatura. El tipo de material utilizado para estos elementos puede ser plata, platino y cobre. A nivel de sensores de temperatura el uso del platino es una práctica bastante estándar. El cambio de resistencia en estos elementos es lineal con respecto a

la temperatura. Consecuentemente estos elementos están referidos a coeficientes de resistencia positivos. El platino, por ejemplo, posee un coeficiente de 0.00392  $\Omega/\Omega/^\circ\text{C}$  sobre un rango de temperatura que va desde 0  $^\circ\text{C}$  hasta 100  $^\circ\text{C}$ . El coeficiente implica que para cualquier valor de temperatura entre 0 y 100  $^\circ\text{C}$ , cada ohmio ( $\Omega$ ) de resistencia que contiene el cable de platino se convierte en 1,00392  $\Omega$  por cada  $^\circ\text{C}$  de incremento, o 0,99608  $\Omega$  por cada  $^\circ\text{C}$  de decremento. Ver hoja de datos del medidor en el Anexo D (McNair, 2002: 85,92,107-117; GPSA, 1998: 4\_10-4-15).

### **3.9.4.- Medición de rpm (revoluciones por minuto)**

Las bombas multifásicas son equipos rotativos que giran a una determinada velocidad. Para poder visualizar esta velocidad se hizo uso de la mediada de las revoluciones por minuto (rpm) a la cual giraba el eje de la bomba.

El valor de rpm es una medida indirecta obtenida a partir de una medición de frecuencia de corriente. La frecuencia es medida por un equipo denominado variador de frecuencia (Ver Anexo E: Hoja de Datos) el cual permite el cambio de la velocidad de giro de la bomba a través del cambio de frecuencia eléctrica alimentada a la bomba.

A continuación se muestra la formula a partir del la cual son obtenidas las rpm a la cuales gira la bomba multifásica:(Sincor, 2005)

$$w = \left( \frac{2\pi}{pp} \right) * f \quad \text{Ec. 20}$$

Donde:

pp: en número de pares de polos del motor de la bomba (número fijo y propio del modelo del motor utilizado).

f: es frecuencia del motor (1/seg).

### **3.10.- Sistemas de control y adquisición de datos asociados**

#### **3.10.1.-Arquitectura del sistema de control**

La arquitectura del sistema de control de las facilidades de producción de Sincor esta dividida en 4 niveles o capas de comunicación. A continuación se mencionan y describen brevemente cada una de ellas (Ver Figura 26)

**Nivel 1 (red de campo):** conformado básicamente por toda la instrumentación de campo asociada. En este nivel se llevan a cabo todas las mediciones por parte de los instrumentos instalados en campo. Esta capa o nivel esta compuesto por tres grandes grupos, el grupo conformado por los instrumentos ubicados en los cluster, el grupo que implican todos los instrumentos asociados a las instalaciones de patio tanques de Petro Zuata y por último el grupo de instrumentos que se encuentran asociados a las instalaciones ubicadas en la Estación Principal.

**Nivel 2 (red de control):** toda la data de campo monitoreada en el nivel 1 es enviada a esta capa para su respectivo procesamiento y ejecución del control. Esta capa implica una red de control basada en una plataforma PLC en donde se encuentran funcionando los siguientes sistemas: un sistema de control de procesos (PCCS), un sistema de parada de emergencia (ESD), el sistema de detección de fuego y gas (F&G), y una red de fibra óptica para la comunicación. El protocolo de comunicación utilizado entre los PLC a nivel de esta capa es Gnet y para las comunicaciones entre esta capa y el nivel superior 3 se usa un protocolo TCP/IP-Ethernet.

**Nivel 3 (red de supervisión y monitoreo):** este nivel implica una red de monitoreo y supervisión donde se encuentra instalada un sistema SCADA que permite a los operadores el seguimiento y supervisión de todas las operaciones asociadas a la red de comunicación (interfase hombre maquinas) a través de una serie de consolas que visualizan los diferentes procesos existentes. Físicamente esta capa se encuentra ubicada en la sala de control. Toda la información que viene de los PLC

y va hacia ellos (nivel 2) es enviada hacia y desde la sala de control. El protocolo de comunicación utilizado entre esta capa y el nivel superior 4 es TCP/IP-Ethernet.

**Nivel 4 (red administrativa):** esta red implica la existencia de aplicaciones y bases de datos donde se almacena o se hace uso de la información almacenada por la base de datos del SCADA. En ellas se encuentran aplicaciones como el EC (Energy Component) donde se realiza el balance y cierre de producción, y PI (Process Information) base de datos y aplicación que permite realizar análisis de las diferentes variables de campo en tiempo real.

Es importante mencionar que desde el punto de vista de mantenimiento las redes correspondientes al nivel 1, 2 y 3 son responsabilidad de la gerencia de Producción y la red administrativa es mantenida por el grupo de automatización.

En el Anexo F, se encuentran un esquema que refleja la arquitectura del sistema de control utilizado por las instalaciones de Sincor. Adicionalmente, se reflejan láminas que describen brevemente las comunicaciones existentes entre las red administrativa y la red de supervisión, la red de campo y la red de control, y un esquema de la red de comunicaciones existente (Sincor, 2000).

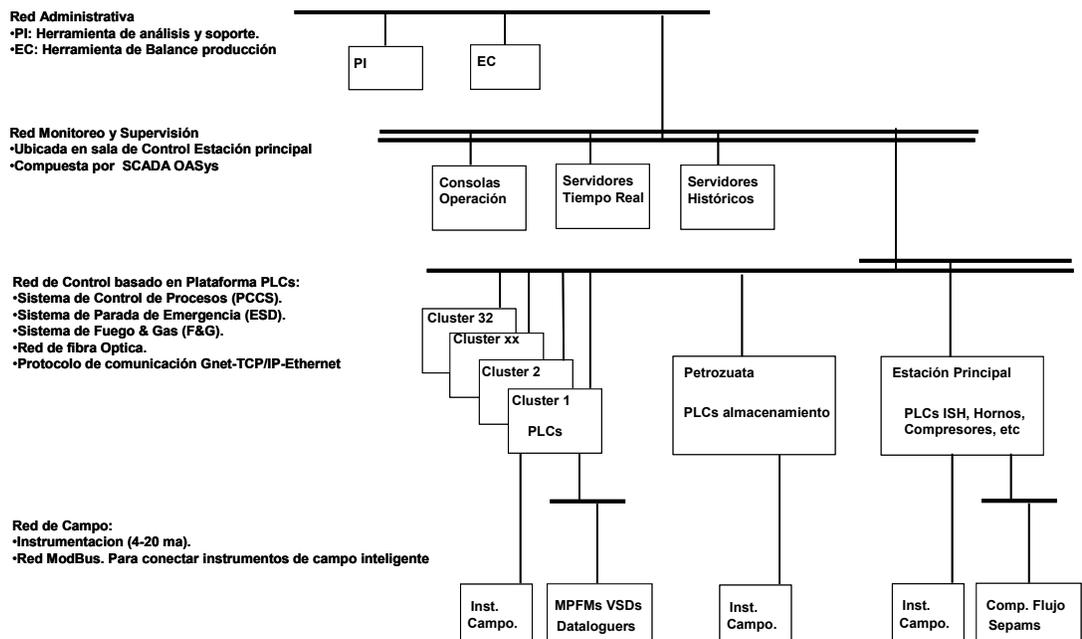


Figura 26: Arquitectura Sistema de Control

### **3.10.2.-Sistemas de adquisición de datos**

Como sistema de adquisición de datos fundamental se hizo uso de la herramienta PI (Process Information), la cual tiene dos funciones básicas: actúa como una base de datos que almacena información de las variables de procesos y adicionalmente permite visualizar y manipular la data de interés en tiempo real y o través de históricos (cualquier intervalo de tiempo que se desee). Esta herramienta permite también la comunicación con otras aplicaciones de monitoreo en sistema Web y con herramientas como el Excel.

Adicionalmente, se hizo uso de la aplicación EC (Energy Component) el cual es un sistema que realiza los cierres de producción diarios y también funciona como la base de datos oficial para el almacenamiento de los datos de la producción diaria (de crudo, gas, agua y diluyente) y los datos asociados a las pruebas de todos los pozos de Sincor (producción de crudo, corte de agua y GOR) y sus respectivas bombas BCP (modelo de bombas, eficiencias, tipos de completación, desplazamiento). Esta herramienta también permite conexiones con otras aplicaciones de monitoreo tipo Web y con Excel.

La ventaja principal de estos dos sistemas, es que debido a que se encuentran ubicados en una red administrativa, el uso de los mismos y la manipulación de la data que en ellos se almacena, no afecta en ningún momento las operaciones en campo, evitando alteraciones en el sistema principal que es el SCADA (red de supervisión y monitoreo), sistema donde llegan todas las variables de operaciones.

Adicionalmente, es conveniente recordar que la administración y mantenimiento tanto del PI como del EC, son responsabilidad de grupo del automatización, lo que proporciona ventajas a clientes con perfiles técnicos (grupos de ingeniería de proceso), ya que se puede recibir un apoyo más directo y continuo del personal involucrado, sin verse afectado por el día a día de las operaciones de campo.

#### **4.- Metodología**

Inicialmente se establecieron los contactos con los principales fabricantes a nivel mundial de bombas multifásicas. Actualmente en el mercado existen dos grandes fabricantes de bombas multifásicas (Flowserve y Bornemann). Sincor posee equipos de ambos fabricantes, sin embargo, para efectos de este trabajo el mismo estará enfocado solo a los equipos fabricados por Flowserve, ya que en campo de un total de las 30 bombas instaladas, 24 de los equipos fueron fabricados por Flowserve y es en las macollas en donde están instaladas estas bombas, en las cuales los volúmenes de agua y gas han aumentando en los últimos años. Adicionalmente, es donde el desempeño de los equipos multifásicos se ha visto afectado en forma más importante, a diferencia de los macollas que poseen bombas Bornemann (solo 6), en donde la evolución del crudo y gas no ha sido tan rápida, por lo que el desempeño de los equipos ha sido mas estable. Del contacto establecido con el fabricante Flowserve de, se establecieron los inicios para los primeros pasos para el desarrollo del modelo de cálculo para evaluar el comportamiento y desempeño de estos equipos.

Posteriormente, se planificaron las pruebas de campo necesarias para validar, evaluar y ajustar el modelo de cálculo desarrollado. Para ello se hizo uso de las instalaciones de campo siguientes: una macolla disponible con bombas multifásica, instrumentación asociadas (medidores de presión, temperatura, flujos y velocidad de giro) y técnicos de campo para brindar el apoyo operacional necesario. Estas actividades de campo consistieron en una prueba de control a ejecutar en la macolla seleccionada, observando y evaluando el funcionamiento de la bomba mediante el monitoreo de los parámetros operacionales como presiones de succión y descarga, mezclas de fluidos alimentadas (flujos de crudo, gas y agua), temperatura, gravedad API del crudo, velocidad de giro del motor y alineación los pozos hacia la bomba, tiempo de las pruebas.

Por último, se desarrolló una herramienta que permitió modelar las operaciones asociadas a las bombas multifásicas en tiempo real y de forma automática e integrarlas con el modelo de cálculo, para ello se solicitaron los

servicios del grupo automatización de SINCOR para obtener el apoyo al momento de ubicar las variables de interés localizadas en las diferentes base de datos, las cuales almacenan información de históricos y tiempo real de las variables y parámetros operacionales de interés.

#### **4.1.- Desarrollo del modelo de cálculo de la bomba multifásica.**

##### **4.1.1.-Antecedentes**

Tal como se mencionó anteriormente este estudio estará enfocado solo en las bombas Flowserve. Actualmente Sincor posee un total de 24 equipos de este fabricante, de este total, existen dos tipos de modelos:

- Un modelo de bomba pequeño (275), del cual hay 19 operando en campo.
- Un modelo de bomba mediano (380), del cual existen actualmente 5 equipos en funcionamiento.

Al inicio de las operaciones, el conocimiento existente sobre estos equipos bajo un servicio de crudo extra pesado era básicamente teórico y a nivel de laboratorio, desde el punto de vista operacional la experiencia que existía era muy limitada y escasa, específicamente en Venezuela. Sin embargo, la flexibilidad y ventajas ofrecidas estos equipos, al poder procesar una mezcla de fluidos (crudo, gas y agua) sin necesidad de una separación previa, evitando de esta forma la instalación de un separador de gas líquido y de redes de tuberías para el manejo de los mismos, ocasionando ahorros importantes en los costos de inversión y mantenimiento de las instalaciones a considerar.

Con la producción de los nuevos pozos, al inicio de su vida productiva los volúmenes de gas y agua asociados no eran muy importantes ( $GOR > 50$ , corte de agua  $> 10\%$ ), permitiendo operar a nivel de las bombas multifásicas sin mayores problemas y mostrando buenos desempeños en los equipos, los cuales habían sido pronosticados por las fabricantes de los mismos. Sin embargo, con el transcurrir del tiempo, los volúmenes de agua y gas comenzaron a incrementar, se manifestó

también la presencia de arena en algunos pozos, así como el desgaste asociado a las piezas móviles de algunas bombas, ocasionando que estas comenzaran a generar un desempeño inferior al mostrado en los inicios de las operaciones, ocasionando pérdidas de producción en las cuotas diarias de Sincor.

En función de lo anterior, se comenzó a trabajar en forma mas cercana con los fabricantes, sin embargo, la respuesta de los mismos no era favorable, ya que de acuerdo a la experiencia y a sus modelos de cálculo existentes, las bombas no debían reflejar esa pérdida de eficiencia bajo las condiciones del momento, pero la realidad en campo era muy diferente. En tal sentido, Flowserve decidió compartir con Sincor parte del modelo de cálculo existente para ese momento para sus bombas multifásicas.

Al momento de revisar el cálculo de Flowserve, se pudo observar que una de las grandes desventajas que presentaba es que el modelo era puntual (estático), es decir, se podía evaluar solo puntos específicos de operación y era imposible realizar una evaluación a través del tiempo, lo cual limitaba mucho el análisis desde el punto de vista cuantitativo (número limitado de procesamiento de datos) y cualitativo (una tendencia de puntos que reflejan el comportamiento de un proceso proporcionan mucho mas información que un valor puntual o aislado). Adicionalmente, los valores de viscosidad utilizados eran fijos (solo variaban con la temperatura) y no consideraban el uso una curva de viscosidad con respecto al incremento del corte de agua. Otro aspecto importante era el volumen de deslizamiento, el cual incrementa a medida que aumentaba el corte de agua, sin embargo, a nivel del modelo este incremento no estaba correctamente considerado.

#### **4.1.2.-Modelo de cálculo de Flowserve.**

Se establecieron originalmente la características mecánicas asociadas a cada uno de los modelos de bombas existentes para Flowserve.

En la Tabla 1 que se muestra a continuación aparecen reflejados las siguientes características:

- Paso del tornillo o pitch (distancia entre cada cavidad del tornillo).

- Diámetro externo del tornillo.
- Distancia entre los centros de cada tornillo (una vez instalados en la bomba).
- Factor de deslizamiento (número adimensional relacionado con el volumen de deslizamiento de una cavidad a otra, depende también del modelo de bomba utilizado).
- Longitud del tornillo.

MODELO	Paso Tornillo o Pitch h, plg	Diametro externo tornillo D o BD, plg	Distancia entre los centros tornillos CD, plg	Factor deslizamiento Fs, adim	Longitud del tornillo BL, plg
MP1-275-(pequeña)	2,50	10,75	8,25	126,5	10
MP1-380-(mediana)	2,625	15,00	12	215	12

**Tabla 1: Datos bombas según fabricante.**

A continuación se reflejan los datos de entrada para el modelo, en la Tabla 2. Para efectos de esta tabla se establecen valores referenciales para la presión de succión y descarga, temperatura de entrada, rpm, GOR y corte de agua

	Datos de entrada
° API DILUENTE	47,4
° API EHO	8,0
° API DCO DESEADA	16,0
PRESION SUCCION,BARG	30,0
PRESION DESCARGA,BARG	35,0
TEMP ENTRADA, °C	40,0
VELOCIDAD ROTACION, RPM	1100
GOR (SCF/SB) BASE EHO	100,0
CORTE DE AGUA (%) BASE EHO	10,0

**Tabla 2: Datos de proceso de entrada**

El cálculo de capacidades de la bomba mostrado a continuación está dividido en 4 secciones:

### 1.-Dilución:

1.1.- Gravedades específicas:

$$ge_{dil} = \frac{141,5}{(131,5 + ^\circ API_{dil})} \quad \text{Ec. 21}$$

$$ge_{DCO} = \frac{141,5}{(131,5 + ^\circ API_{DCO})} \quad \text{Ec. 22}$$

$$ge_w = \frac{141,5}{(131,5 + ^\circ API_w)} \quad \text{Ec. 23}$$

$$ge_{EHO} = \frac{141,5}{(131,5 + ^\circ API_{EHO})} \quad \text{Ec. 24}$$

1.2.- Factores de dilución

$$\%dil = \frac{(ge_{DCO} - ge_{EHO})}{(ge_{dil} - ge_{EHO})} \quad \text{Ec. 25}$$

$$\%EHO = 1 - \%dil \quad \text{Ec. 21}$$

$$R \text{ (a dimensional)} = \frac{(\%dil)}{(\%EHO)} \quad \text{Ec. 27}$$

## 2.-Viscosidad.

Para el cálculo de viscosidad se utiliza como dato la curva de viscosidad desarrollada por Sincor, en donde se observa la variación de la viscosidad de la mezcla en función del corte de agua. Ver capítulo 3.4.1

## 3.- Conversión del GOR (condiciones estándar) a GOR (condiciones de succión) y cálculo de la fracción de gas.

Se procedió a la conversión del valor GOR desde condiciones estándar a condiciones de succión de la bomba. Adicionalmente, para el cálculo de la fracción de gas se estableció una base de 1000 BPD de DCO, para poder obtener los flujos de crudo, agua y gas respectivamente.

3.1.- Cálculo de la fracción de gas (a condiciones de succión de la bomba): la fracción de gas depende del caudal de gas ( $Q_g$ ) y del caudal de mezcla ( $Q_{mix}$ : que es la suma de los caudales de crudo, gas y agua en volumen equivalente).

$$GVF = \frac{(Q_g)}{(Q_{mix})} \quad \text{Ec. 28}$$

#### 4.- Cálculo de la capacidad total de la bomba:

4.1.- Cálculo del volumen teórico ( $Q_t$ ) : este cálculo es función del diámetro externo del tornillo, las rpm de la bomba y de  $k$  que es un factor adimensional que esta asociado a la geometría de la bomba (función del paso del tornillo, diámetro externo del tornillo y de la distancia entre los centros de cada tornillo)

$$Q_t = (\text{diametro ext tornillo})^3 * k * rpm \quad \text{Ec. 29}$$

4.2.- Cálculo del caudal de deslizamiento ( $s$ ): el deslizamiento en las bombas multifásicas se lleva a cabo en el espacio comprendido entre la carcaza y el borde exterior de cada tornillo. Esta pérdida de deslizamiento es función del diferencial de presión a lo largo de la bomba ( $\Delta P$ ), la viscosidad de la mezcla ( $\mu_m$ ), del área transversal de la holgura ( $A$ ), del paso del tornillo ( $p$ ) y del factor de deslizamiento ( $F_s$ ).

$$s = \left( \frac{\Delta p * F_s * A * p}{\mu_m} \right) \quad \text{Ec. 30}$$

4.3.- Cálculo del caudal total: es la diferencia entre el caudal teórico ( $Q_t$ ) y el caudal de deslizamiento ( $s$ )

$$Q_{total} = Q_t - s \quad \text{Ec. 31}$$

Posteriormente se calculan los caudales de gas ( $Q_g$ , en volumen equivalente), líquido ( $Q_l$ ), agua ( $Q_w$ ), DCO ( $Q_{DCO}$ ), crudo ( $Q_{EHO}$ ) y diluyente ( $Q_{dil}$ ) con las siguientes ecuaciones:

$$Q_g = Q_{total} * GVF \quad \text{Ec. 32}$$

$$Q_{liq} = Q_{total} - Q_g \quad \text{Ec. 33}$$

$$Q_w = Q_{liq} * (\text{corte de agua}) \quad \text{Ec. 34}$$

$$Q_{DCO} = Q_{liq} - Q_w \quad \text{Ec. 35}$$

$$Q_{EHO} = Q_{DCO} - Q_{dil} \quad \text{Ec. 36}$$

$$Q_{dil} = Q_{DCO} * \%dil \quad \text{..... Ec. 37}$$

## 4.2.- Realización de las pruebas de campo

### 4.2.1. Primeros estudios.

Para finales del año 2002 un gran número de los pozos operativos para ese momento comenzaban a manifestar incrementos importantes de gas y de agua (sobre todo en agua). Como consecuencia de esto, algunas bombas ubicadas en ciertas macollas comenzaron a generar desempeños inferiores y pérdidas de eficiencia, es decir, comenzaron a producir menor cantidad de crudo y fluidos asociados. En vista de lo anterior se decidió comenzar con un estudio mas detallado en cuanto al funcionamiento y desempeño de las bombas multifásicas existentes.

Originalmente se seleccionaron un total de 5 macollas para el estudio, cuatro con bombas Flowserve 275 (cluster IB, IF, LD e ID) y una con bomba Flowserve 380 (cluster LC). Los resultados obtenidos con los cluster o macollas mencionadas anteriormente no fueron del todo concluyentes, si bien es cierto que se observó que a partir de cierto corte de agua (entre 15 y 20%) la capacidad de las bombas tienden a decrecer, esta tendencia no fue del todo clara en los resultados obtenidos.

En vista de los compromisos de producción para ese momento y con la finalidad de no alterar las operaciones de campo con pruebas controladas, los datos analizados, en estos primeros estudios, fueron valores netamente operacionales y abarcaban prácticamente la vida de producción de cada uno de las macollas seleccionadas (marzo 2002-mayo 2003). Sin embargo, no existía un control

específico sobre la data y en algunos casos, fue complicado establecer una relación que permitiera reproducir resultados consistentes, ya que no fue posible combinar al mismo tiempo los valores de rpm, presiones de succión y descarga, temperaturas de succión, caudales (de gas, agua y crudo) de interés y que pudieran ser controlados en función de los requerimientos de una prueba.

#### 4.2.2. Preparación de las pruebas.

En función de lo expuesto en el punto anterior, se crea la necesidad de realizar una prueba de capacidad controlada sobre uno de los cluster estudiados. Esto permitiría reproducir puntos operacionales de interés de la bomba (rpm, presiones de succión y descarga, caudales de gas, agua y crudo).

Para efecto de esta prueba y en decisión conjunto con el personal de operaciones, se recomendaron como candidatos los cluster ID y LD, ya que poseían pozos con un amplio rango de producción de crudo, agua y gas (pozos con altos y bajos cortes de agua). Esto permitiría desarrollar la prueba con una variación controlada de los caudales. Adicionalmente, es importante acotar que el cluster ID había manifestado en algunos de sus pozos presencia de arena, factor que también fue determinante para la selección de mismo como macolla candidata. Posteriormente, fue seleccionado también el cluster VB, ya que la mayoría de sus pozos poseían cortes de agua muy bajos, lo que convertía al cluster en un candidato con muy poco contenido de agua, (por debajo del 8%) y permitía evaluar una de las bomba bajo estas condiciones. A continuación se reflejan los caudales de crudo, agua y gas que poseen los pozos de los cluster ID, LD y VB, según el plan de producción del momento.

Wells	Caudal EHO (BPD)	BSW (%)	GOR (SCF/BPD)	Caudal Agua (BPD)	Caudal Gas (MSCFD)
ID01	670	78	63	2432	42
ID02	290	1	69	2	20
ID03	190	89	100	1522	19
ID04	0	73	110	0	0
ID05	1.730	0	95	2	165
ID06	820	15	51	144	42
ID07	1.170	51	49	1232	58
ID08	1.240	44	41	966	51
ID09	1.310	56	77	1688	101
ID10	880	0	154	3	135
<b>Total</b>	<b>8.300</b>	<b>49</b>	<b>76</b>	<b>7.990</b>	<b>632</b>

Tabla 3: Cluster ID

Wells	Caudal EHO (BPD)	BSW (%)	GOR	Caudal Agua (BPD)	Caudal Gas (MMSCFD)
LD04	1.290	64	12	2274	15
LD05	1.180	51	99	1209	117
LD06	2.010	1	131	22	264
LD07	1.790	20	111	448	198
LD08	1.090	2	143	17	155
LD09	2.070	10	128	230	264
LD10	1.160	15	88	205	102
LD11	160	0	50	0	8
LD12	630	1	94	8	59
<b>Total</b>	<b>11.380</b>	<b>28</b>	<b>104</b>	<b>4.412</b>	<b>1.182</b>

Tabla 4:Cluster LD

Wells	Caudal EHO (BPD)	BSW (%)	GOR (SCF/BPD)	Caudal Agua (BPD)	Caudal Gas (MSCFD)
VB03	1.760	1	127	18	223
VB02	2.030	19	121	476	246
VB04	420	2	74	9	31
VB05	1.800	1	110	18	199
VB06	880	3	122	27	108
VB08	1.520	2	95	31	144
VB09	1.160	2	121	24	141
VB10	1.240	2	85	25	106
VB11	470	2	240	10	113
VB12	620	2	96	13	59
<b>Total</b>	<b>11.900</b>	<b>5</b>	<b>115</b>	<b>650</b>	<b>1.369</b>

Tabla 5:Cluster VB

### 4.2.3.- Requerimientos de las pruebas.

Previo a la realización de la prueba fue realizada una campaña de revisión de toda la instrumentación asociada a los clusters involucrados, con la finalidad de garantizar una medición correcta durante todo el desarrollo de la prueba (revisión y calibración de todos los instrumentos tanto de los pozos como de las MPP).

Adicionalmente, se llevaron a cabo pruebas a cada uno de los pozos del cluster con el objetivo de poder trabajar con los valores más actualizados de caudal de crudo, agua y gas, y de esta forma tener flujos más representativos.

Se solicitó que mientras durara la prueba y si las condiciones operacionales lo permitían, el cluster seleccionado debía ser utilizado exclusivamente para el desarrollo de la prueba. Por tanto, debió considerarse este aspecto en el plan de producción del mes correspondiente. Solo se realizó la prueba en un cluster a la vez.

Para efectos de la logística de campo se dispuso de un técnico de campo (operador) dedicado exclusivamente para el desarrollo de la prueba, con la finalidad de no ocupar esfuerzos que puedan ser requeridos en otras actividades del campo y no interferir con el resto de las operaciones. La disponibilidad de un técnico para efectos de la prueba, permitió llevar un control estricto de la manipulación de las variables y garantizaría una mayor representatividad de la misma.

Dentro de los parámetros que se quieren medir dentro de la prueba podemos mencionar los siguientes:

- Presión de succión y descarga de la MPP (seguimiento a través del PI).
- rpm de las MPP y de las BCP de los pozos alineados (seguimiento a través del PI).
- Flujos de crudo, diluyente, agua y gas alineados a las MPP (prueba pozos y seguimiento a través del PI)
- Temperatura de succión y descarga de la MPP (seguimiento a través del PI).
- Consumo de corriente de las MPP a máximas rpm (seguimiento a través del PI).

Durante el desarrollo de la prueba fue necesario hacer producir los diferentes pozos del cluster en un orden que permitiera generar caudales de crudo, agua y gas comprendidos en un rango de flujos mínimos y máximos, es decir, que fue necesario generar variaciones controladas de caudales de crudo con incrementos progresivos de caudales de agua, para diferentes relaciones de gas petróleo en el cluster.

A continuación se definen las diferentes alineaciones de pozos propuestas para llevar a cabo en cada uno de los cluster a estudiar. Es importante mencionar que los casos mostrados a continuación, son nada mas proposiciones iniciales de alineación de pozos, al momento de la realización de las pruebas y en función de las condiciones operativas del momento estas propuestas podrían cambiar, básicamente lo que se

establece es una guía inicial para poder tener un punto de referencia de los que se persigue realizar.

Para el cluster ID se proponen las siguientes mezclas:

Casos de Mezcla	Pozos Alineados	Caudal EHO (BPD)	BSW (%)	GOR	Caudal Agua (BPD)	Caudal Gas (MSCFD)
CASO 1 (3 POZOS)	ID1, ID2, ID3	1,150	77	70	3,956	81
CASO 2 (4 POZOS)	ID3, ID7, ID8, ID9	3,910	58	58	5,408	228
CASO 3 (5 POZOS)	ID1, ID3, ID7, ID8, ID10	4,580	63	59	7,840	270
CASO 4 (6 POZOS)	ID1, ID2, ID4, ID5, ID6, ID10	4,390	37	92	2,582	404
CASO 5 (7 POZOS)	ID1, ID2, ID4, ID5, ID6, ID9, ID10	5,700	43	89	4,270	505
CASO 6 (9 POZOS)	ID1, ID2, ID3, ID4, ID5, ID6, ID7, ID9, ID10	7,060	50	82	7,024	581
CASO 7 (10 POZOS)	ID1, ID2, ID3, ID4, ID5, ID6, ID7, ID8 ID9, ID11	8,300	49	76	7,990	632

**Tabla 6: Mezclas Cluster ID**

Para el cluster LD se proponen las siguientes mezclas:

Casos de Mezcla	Pozos Alineados	Caudal EHO (BPD)	BSW (%)	GOR	Caudal Agua (BPD)	Caudal Gas (MSCFD)
CASO 1 (6 POZOS)	LD5, LD6, LD7, LD8, LD9, LD10	8,900	11	118	1,085	1,054
CASO 2 (6 POZOS)	LD4, LD6, LD7, LD8, LD9, LD10	8,910	17	109	1,826	968
CASO 3 (7 POZOS)	LD4, LD5, LD6, LD7, LD8, LD9, LD10	9,890	22	108	2,830	1,065
CASO 4 (7 POZOS)	LD6, LD7, LD8, LD9, LD10, LD11, LD12	8,710	1	118	90	1,024

**Tabla 7: Mezclas Cluster LD**

Con respecto a la macolla VB, no se definieron casos iniciales como en los cluster anteriores, ya que se arrancó la prueba básicamente con los pozos disponibles para ese momento, debido a que lo que se perseguía era evaluar el comportamiento de la bomba y el modelo con cortes de agua bajos (por debajo del 8%).

La metodología de la prueba en cada cluster sería llevar a cabo la alineación de cada uno de los casos planteados anteriormente y esperar condiciones de estabilización (en cuanto a presión de succión y rpm de la MPP). Luego de estabilizar condiciones se procedería a cambiar la alineación de los pozos y pasar al siguiente caso de mezcla planteado en las tablas anteriores, si era necesario y las condiciones lo permitían.

#### **4.2.4. Requerimientos de pruebas adicionales.**

Luego de los resultados obtenidos con las pruebas anteriores se tomó como decisión de realizar dos pruebas adicionales. Estas pruebas se basaron prácticamente en modificaciones realizadas sobre las bombas multifásicas en la siguiente forma:

- Modificación operacional, incrementando las rpm de las bombas de 930 a 1100 rpm.
- Modificación mecánica: reducción de la holgura entre el tornillo y la carcaza.

Es conveniente recordar que las bombas multifásicas Flowserve, en su dos modelos (275 y 380), originalmente pueden girar a velocidades de 930 rpm, sin embargo, ambos modelos están en la capacidad de poder girar a velocidades superiores del orden de 1200 rpm.

Con respecto al tema de la reducción de holgura, las bombas vienen de fábrica con una holgura estándar de 0,030 plg, pero en vista de los resultados obtenidos con las pruebas anteriores se evaluó la opción de reducir este espacio hasta una holgura entre los tornillos y la carcaza de 0,025 plg, y posteriormente evaluar el funcionamiento de la bomba con esta modificación.

Cada uno de estos cambios fue consultado inicialmente con el fabricante y evaluados técnicamente en conjunto, con la finalidad de garantizar la confiabilidad del cambio y la integridad del equipo.

##### **4.2.4.1.- Prueba de incremento de rpm**

Para este tipo de pruebas fueron seleccionadas las macollas YC y LC. La primera de estas con bajo contenido de agua (bomba modelo 275) y la segunda con alto contenido de agua (modelo 380). A continuación se reflejan los caudales de crudo, agua y gas que poseen los pozos de los cluster YC y LC, según el plan de producción del momento.

Wells	Caudal EHO (BPD)	BSW (%)	GOR	Caudal Agua (BPD)	Caudal Gas (MSCFD)
YC02	2.210	1	89	22	197
YC12	1.240	0	69	0	86
YC08	690	2	118	14	81
YC06	760	1	241	8	183
YC03	980	1	120	10	118
YC11	2.970	1	116	30	346
YC04	2.340	1	80	24	186
YC01	1.200	1	105	12	126
YC05	1.250	0	56	0	70
YC07	2.170	0	56	0	122
YC09	2.170	0	56	0	122
YC10	2.880	0	56	0	161
<b>Total</b>	<b>20.860</b>	<b>1</b>	<b>86</b>	<b>120</b>	<b>1.797</b>

**Tabla 8:Cluster YC**

Wells	Caudal EHO (BPD)	BSW (%)	GOR (SCF/BPD)	Caudal Agua (BPD)	Caudal Gas (MSCFD)
LC04	1.160	66	82	2252	95
LC12	1.170	28	140	455	164
LC03	750	13	204	112	153
LC01	590	37	117	347	69
LC06	900	9	163	89	147
LC05	1.300	29	150	531	195
LC11	1.160	58	117	1602	136
LC02	900	75	70	2700	63
<b>Total</b>	<b>7.930</b>	<b>50</b>	<b>129</b>	<b>8.087</b>	<b>1.021</b>

**Tabla 9:Cluster LC**

Con respecto a la alineación de pozos en estas macollas, no se definieron casos específicos, ya que se arrancó la prueba con los pozos disponibles para ese momento y se fue incrementando el flujo hacia la bomba, cuando fue necesario, ya que lo que se perseguía era evaluar el comportamiento de la bomba girando a velocidades superiores a las 930 rpm. Básicamente la metodología de la prueba fue operar la bomba en cuatro puntos de velocidad (930, 1000, 1050 y 1100 RPM) mediante el ajuste del variador de frecuencia.

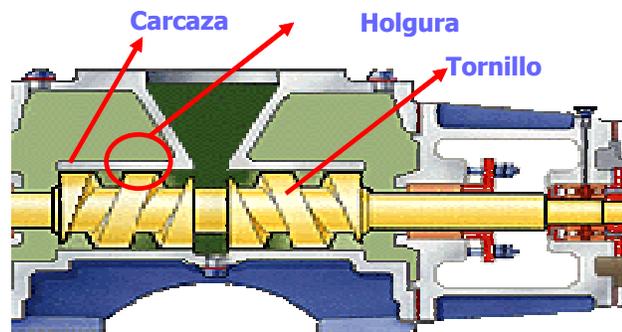
#### **4.2.4.2.- Prueba de reducción de holgura.**

Para este tipo de prueba fue seleccionada inicialmente la macolla LC, la cual posee un modelo de bomba 275, y cuyos pozos y características fueron mencionados anteriormente. Esta macolla fue seleccionada debido a que para ese momento la bomba instalada no era capaz de producir todo el potencial de crudo existente en la macolla.

El incremento del agua se convirtió en un problema tan crítico en algunas macollas, que se dio el caso de la macolla IB, en donde fue necesario parar la bomba y operar directamente con las BCP de los pozos, ya que la misma había perdido la eficiencia por completo y por lo tanto fue imposible mantenerla en operación. La situación de la macolla IB se tornó preocupante, las BCP de los pozos no podían descargar directamente a las líneas troncales y por lo tanto hubo que reducir en forma importante la producción asociada a la macolla. En vista de esto se decidió reemplazar de inmediato la bomba del IB por un equipo similar pero con holgura reducida y realizar así una segunda prueba en este cluster.

Fundamentalmente, lo que se realizó fue la modificación mecánica de la bomba, por parte del grupo de mantenimiento, y posteriormente se puso a operar la macolla con los pozos disponibles para el momento, con la finalidad de evaluar el comportamiento del equipo con el cambio implementado.

Esta modificación mecánica consistió en una reducción del espacio comprendido entre la carcasa de la bomba y los tornillos de la misma. El hecho de reducir la holgura en estas bombas está directamente relacionado con la disminución del volumen de recirculación en el interior de las mismas. En la Figura 26 que se muestra a continuación se refleja el espacio de cual se hace referencia.



**Figura 27: Holguras en las bombas multifásicas**

### 4.3.- Aplicación para monitoreo de datos

Durante la planificación y conceptualización de las pruebas, uno de los factores que se consideró de suma importancia fue la posibilidad de visualizar la data en tiempo real y de forma histórica. Esto permitiría realizar un estudio y análisis de las operaciones involucradas de una forma mucho más integral y rápida, convirtiéndose en un factor clave al momento de la interpretación y análisis de los resultados.

Adicionalmente, en vista de que el funcionamiento de las bombas multifasicas constituye un proceso importante dentro de la cadena de producción de Sincor, se visualizó también la opción de crear una herramienta útil, no solo para el personal técnico, sino también para el equipo de operaciones, con la finalidad de poder monitorear el comportamiento de las bombas en tiempo real, y de realizar un seguimiento más integral asociado a las operaciones de las bombas, permitiendo identificar opciones de mejoras en forma oportuna.

Lo que se hizo inicialmente fue identificar las variables de proceso de interés dentro del estudio. El universo de variables se encontraba distribuido en dos zonas principales: las variables asociadas a las bombas multifásicas y las variables asociadas a las operaciones de los pozos.

Adicionalmente, se identificaron las bases de datos (centro de almacenamientos) en donde se encontraban almacenadas cada una de las variables de interés. Para efectos de este trabajo, se hizo uso de dos bases de datos y aplicaciones principales:

- **PI (Process Information):** tiene dos funciones básicas: actúa como una base datos que almacena información de las variables de procesos y adicionalmente permite visualizar y manipular la data de interés en tiempo real y o través de históricos. Esta herramienta permite también la comunicación con otras aplicaciones de monitoreo en sistema Web y con herramientas como el Excel.

- **EC (Energy Component):** es un sistema que realiza los cierres de producción diarios y también funciona como la base de datos oficial para el almacenamiento de los datos de la producción diaria (de crudo, gas y agua) y los datos asociadas a las pruebas de todos los pozos de Sincor y sus respectivas bombas BCP (modelo de bombas, eficiencias, tipos de completación). También permite la comunicación con aplicaciones Web y Excel.

A continuación se reflejan el grupo de variables involucrados por sistemas y se hace referencia también a la base datos de donde fueron ubicadas.

Dentro de grupo de variables asociadas a las bombas multifásicas se monitorearon las siguientes variables:

- Presión de succión y descarga de la bomba (PI).
- Temperatura de succión (PI).
- Rpm a la cuales giraba la bomba (PI).

Dentro de las variables asociados a los pozos alineados hacia la bomba, se monitorearon las siguientes variables:

- Presión de descarga de las BCP de cada pozo involucrado (presión equivalente a la succión de la bomba multifásica) (PI).
- Rpm a la cuales giraba cada una de las BCP instaladas en los pozos asociados (PI).
- Corte de agua y GOR obtenidos de cada una de las pruebas de los pozos asociadas (EC, PI).
- Eficiencias y desplazamiento de cada de una de las BCP instaladas en los pozos asociados (EC).
- Tipo de completación existente en cada pozo (EC).

Conociendo las ecuaciones, variables y parámetros de las bombas correspondientes a cada pozo involucrado, así como las variables asociadas a las

respectivas pruebas de pozos, se logró determinar el volumen de crudo, gas y agua alimentando hacia la bomba multifásica. A continuación se presentan las ecuaciones de los parámetros involucrados en el cálculo de los flujos de alimentación hacia la MPP, así como las variables de cada pozo y las propiedades de los fluidos involucrados (Tabla 10)

Velocidad de las bombas:

$$Q_{liqtot} = Desplazamiento * rpm * Eficiencia \quad \text{Ec. 38}$$

Caudal de agua  $Q_w$ :

$$Q_w = Q_{liqtot} * (corte\ de\ agua) \quad \text{Ec. 39}$$

Caudal de líquido total  $Q_{liqtot}$ :

$$Q_{liqtot} = Q_{DCO} + Q_w \quad \text{Ec. 40}$$

Caudal de crudo diluido  $Q_{DCO}$ :

$$Q_{DCO} = Q_{liqtot} - Q_w \quad \text{Ec. 41}$$

Caudal de crudo extra pesado  $Q_{EHO}$ :

$$Q_{EHO} = Q_{DCO} - Q_{dil} \quad \text{Ec. 42}$$

Caudal de gas:

$$Q_{gas} = Q_{EHO} * GOR \quad \text{Ec. 43}$$

Caudal de diluyente  $Q_{dil}$ :

$$Q_{dil} = Q_{DCO} * \%dil \quad \text{E. 44}$$

	API	ge(Kg/m <sup>3</sup> )
<b>EHO</b>	8,3	1.012
<b>DCO</b>	16	959,3
<b>Diluyente</b>	47	793,0
<b>Agua</b>	10	1.000

**Tabla 10: Propiedades de los Fluidos**

Una vez determinados los flujos de crudo ( $Q_{EHO}$ ), diluyente ( $Q_{dil}$ ), agua ( $Q_w$ ) y gas ( $Q_{gas}$ ), de todos los pozos alineados hacia la bomba multifásica, se obtuvo el total de volumen manejado por la bomba. Estos caudales en combinación con las variables asociadas a la operación de la bomba MPP (presiones de succión y descarga, temperatura de succión y rpm de la bomba) se combinaron para poder monitorear la operación de la misma.

Todas estas variables y parámetros se combinaron en una herramienta que permitía la visualización de la data en tiempo real y de forma histórica, logrando evaluar períodos de operación en cuanto al desempeño de la bomba. Toda esta plataforma fue concebida en un herramienta ambiente Web, que se comunicaba con las bases de datos mencionadas (PI y EC) solicitando las variables y parámetros para realizar los cálculos pertinentes y mostrar los datos de interés. Del mismo modo, se incluyó el modelo de cálculo de las bombas multifásicas, lo que permitía comparar data en tiempo real con los valores reproducidos por el modelo.

Una de las ventajas de utilizar una aplicación Web, es que permite la flexibilidad de entrar desde cualquier sitio a la herramienta de interés, sin la necesidad de disponer de programas especiales para el uso de la misma, lo único que se necesita es conocer la dirección de Internet, introducir su usuario y clave, y de esta forma se puede monitorear a distancia el comportamiento de las bombas. Adicionalmente, este tipo de aplicaciones requieren de menos tiempo para su ejecución, ya que intercambian la data luego de la realización de los cálculos

respectivos. En el Anexo H se reflejan algunas vistas desde la perspectiva del usuario, de la herramienta mencionada.

## **5.- Discusión de resultados**

Los resultados que serán presentados a continuación serán divididos en tres secciones:

- La primera de ellas reflejó la experiencia referente a las pruebas ejecutadas en las macollas VB, ID y LD donde se mostró una comparación entre los valores experimentales y los valores reproducidos por el modelo.
- La segunda sección reflejó los resultados obtenidos con el incremento de rpm en las bombas.
- Por último se mostraron los logros alcanzados con la modificación de las bombas en cuanto a la reducción de holgura.

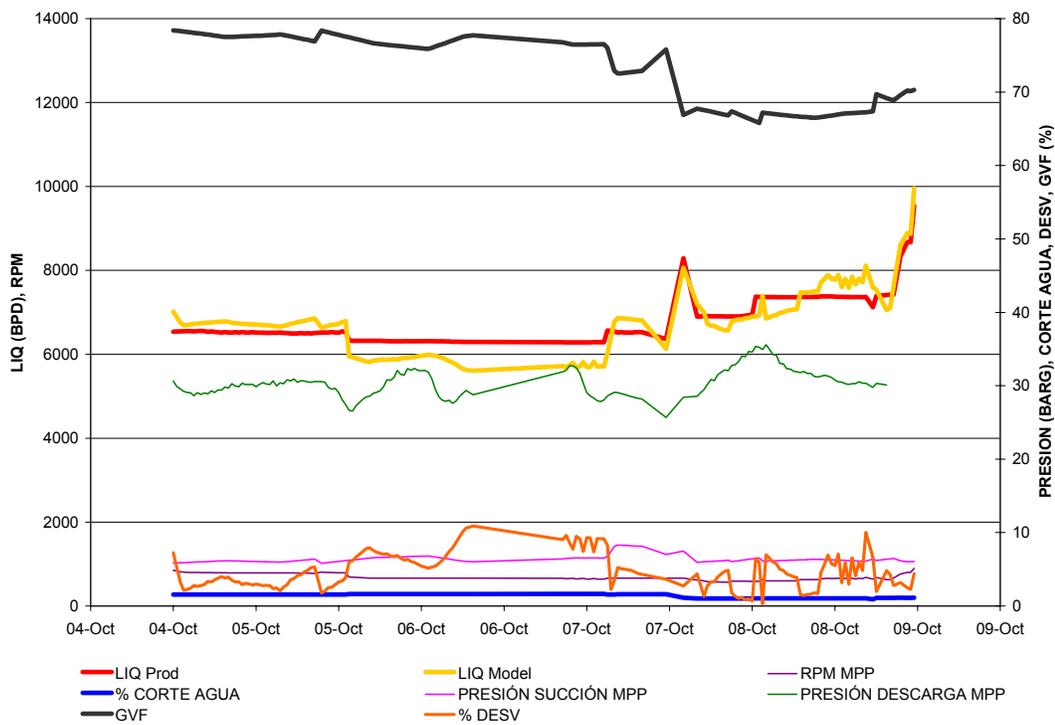
### **5.1.- Pruebas para la validación del modelo**

En esta sección se mostrarán los resultados obtenidos en las pruebas realizadas en las macollas VB, ID y LD, y se podrá observar la comparación entre los datos de campo reflejados por las respectivas bomba multifásicas y los valores reproducidos por el modelo de cálculo propuesto.

#### **5.1.1.- Prueba de la macolla VB**

Los primeros datos que serán mostrados son los del cluster VB, el cual posee un potencial de crudo extrapesado instalado alrededor de los 12.000 BPD y el corte de agua promedio está por debajo del 8%.

En la Gráfica 1 se muestran los resultados obtenidos para el cluster VB.



**Gráfica 1: Prueba del VB**

En la gráfica anterior aparecen representados los valores de campo de líquido, fracción de gas, corte de agua, presión de succión y descarga, y rpm asociados a la bomba multifásica instalada en macolla VB. Adicionalmente, se reflejan valores correspondientes al líquido manejado por la bomba según el cálculo del modelo (curva amarilla) y los valores de líquido de campo (color rojo), la desviación existente entre los valores de líquido de campo y los calculados por el modelo se representan en la curva color naranja.

Observando la Gráfica 1, se puede notar como durante el desarrollo de la prueba los valores del porcentaje corte de agua (curva en azul) se mantuvieron por debajo del 5%, y los valores de campo y los calculados por el modelo con respecto al líquido se mantuvieron muy similares, registrándose valores de desviación no mayores al 10% (color naranja). Por otra parte, se puede observar como al final de la prueba a pesar del incremento del líquido producido y de la variación de la fracción de gas (curva en negro), las desviaciones entre valores de campo y lo del modelos se mantuvieron por debajo del 10%. De resto de los valores representados en el gráfico

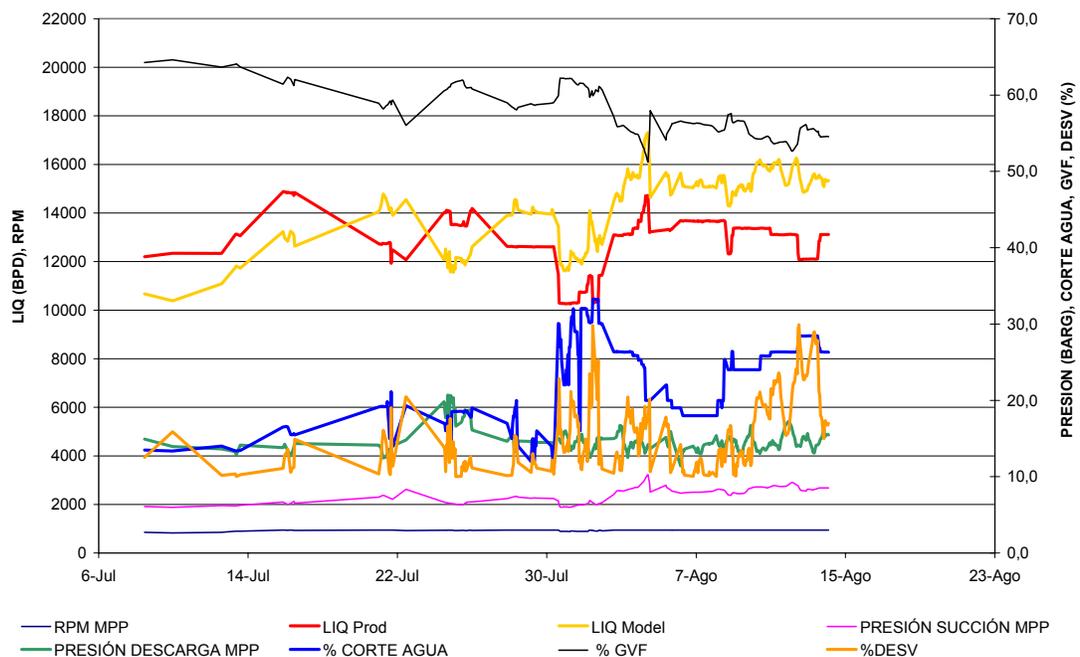
se puede comentar que para efectos de la presión de succión (curva en fuxia) y descarga de la bomba (curva en verde), no hubo gran variación durante la prueba, considerando el diferencial de presión entre las mismas y las rpm (curva en morado) se mantuvieron estables alrededor de 930 rpm durante toda la prueba.

De los resultados observados en la prueba de la bomba asociada al cluster VB, se puede comentar que existe concordancia entre los datos de líquido calculados por el modelo y los reportados por la realidad, para cortes de agua por debajo del 8%.

### 5.1.2.- Prueba de la macolla LD

A continuación se mostrarán los resultados obtenidos en la prueba de la bomba multifásica existente en la macolla LD, la cual produce un caudal de líquido cercano a los 16.000 BPD y cortes de agua promedio alrededor del 30%.

En la Gráfica 2 se muestran los resultados obtenidos para el cluster LD.



**Gráfica 2: Prueba del LD**

Observando la Gráfica 2, se puede notar que durante el desarrollo de la prueba los valores del porcentaje corte de agua (curva en azul) variaron entre el 10 y 30%

aproximadamente. Al inicio de la prueba se observa que con cortes de agua entre el 10 y 20%, las desviaciones (curva en naranja) existentes entre los valores de campo (curva en rojo) y los calculados por el modelo (curva en amarillo) con respecto al líquido, se mantuvieron entre valores del 10 al 15%, sin embargo, al comenzar a incrementar el corte de agua por encima del 20%, los valores de desviación comenzaron a aumentar, registrándose valores máximos alrededor del 30%. Posteriormente, hacia el final de la prueba, se trató de reducir nuevamente el corte de agua (20%) para finalmente incrementarlo cerca del 30%, y se pudo observar como los valores de desviación variaron entre 10 y 30% respectivamente, de acuerdo a la variación del corte de agua mencionada.

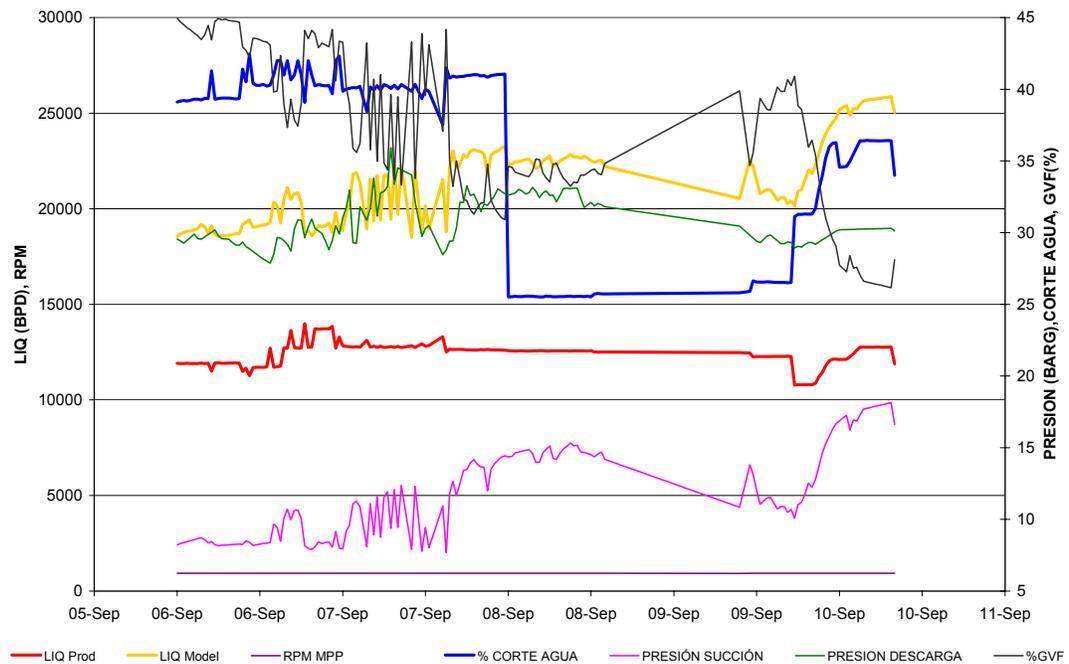
Con respecto al resto de los valores representados en el gráfico se puede mencionar que la fracción de gas (curva en negro) varió poco entre 55 y 65%, y para efectos de la presión de succión (curva en fuxia) y descarga de la bomba (curva en verde), no hubo gran variación durante la prueba considerando la diferencia de presión entre las mismas y las rpm (curva en morado) se mantuvieron estables alrededor de 930 rpm durante toda la prueba.

De los resultados observados en la prueba de la bomba asociada al cluster LD, se puede comentar que existe concordancia entre los datos de líquido calculados por el modelo y los reportados por la realidad, para cortes de agua entre el 10 y 20%, con valores de desviación máximos alrededor del 15%. Sin embargo, el modelo comienza a alejarse de la realidad cuando el corte de agua comienza a incrementar por encima del 20%.

### **5.1.3.- Prueba de la macolla ID**

En esta sección se mostrarán los resultados obtenidos en la prueba de la bomba multifásica existente en la macolla ID, la cual produce un caudal de líquido de 16.000 BPD y cortes de agua promedio del 50%.

En la Gráfica 3 se muestran los resultados obtenidos para el cluster ID.



**Gráfica 3: Prueba del ID**

En la Gráfica 3, se puede observar que a lo largo de toda la prueba el % de corte de agua (curva en azul) se mantuvo por encima del 25% y se alcanzaron valores máximos del orden del 40%. Para efectos de esta gráfica no se representaron valores de desviación, ya que en todo momento las diferencias entre el líquido reportado por el modelo (curva en amarillo) y el líquido real de campo manejado por la bomba (curva en rojo), fueron considerables (por encima del 50%) y a pesar de que se intentó durante la prueba reducir el corte de agua (cerca del 25%), el modelo no pudo ajustarse nunca a la curva real (curva en rojo).

Es importante mencionar también el hecho de que la cantidad de líquido real (curva en rojo) durante la prueba, prácticamente no vario (se mantuvo alrededor del los 12.000 BPD) a pesar de las variaciones del % de corte de agua realizadas. Adicionalmente, los valores de presión de succión y descarga se volvían muy inestables con los cambios del corte de agua. Este último aspecto junto con las altas desviaciones evidenciadas, permitieron determinar que la bomba de la macolla ID no podía soportar mayor cantidad de flujo y por lo tanto, se recomendó intervenir la

bomba con la finalidad de inspeccionar la holgura de los internos (entre tornillos y carcaza).

Sin embargo, se puede comentar de lo observado en la Gráfica 3, que se sigue manteniendo el patrón, que para valores de corte de agua por encima del 25-30%, el modelo teórico comienza a reflejar importantes desviaciones con respecto a la realidad. También, se pudo notar que para cortes de agua por encima del rango mencionado, la bomba comienza a perder su desempeño y no desplaza mayor cantidad de líquido.

Una vez realizada la inspección de la bomba, se evidenció la presencia de arena en su interior y se observó que se había perdido por desgaste de las piezas internas, prácticamente el 100% del valor de la holgura estándar (ver Anexo I). Esto permitió interpretar que tan importante e impactante es el aspecto de la holgura en la eficiencia de las bombas multifásicas.

Observando los resultados anteriores reflejados en las bombas de las macollas VB, LD e ID, se puede comentar que el modelo utilizado reproduce la data real para cortes de agua por debajo del 10%, reportando desviaciones no mayores de 10%, a medida que comienza incrementar el corte de agua entre 10 y 20%, los valores de desviación del modelo con respecto a la realidad aumentan hacia valores del 15%, sin embargo, por encima del 20-25% del corte de agua los valores de desviación reportados comienzan a incrementar por encima del 20%, perdiendo de esta forma confiabilidad el modelo encima de los valores de cortes de agua mencionados. Adicionalmente, se puede mencionar que medida que se incrementaba el corte de agua, la bomba comenzaba a comprometer su desempeño (incremento del deslizamiento), y existe un riesgo potencial de someter los componentes internos de las bombas a un desgaste mas rápido, si existe presencia de arena.

En vista de lo anterior se decidió operar las bombas por debajo de cortes de agua, no mayores al 30%, con la finalidad de prolongar la vida útil de sus componentes internos (carcaza y tornillo) y poder garantizar una eficiencia adecuada de los equipos, optimizando a través del tiempo el desempeño de las bombas y reduciendo también el fenómeno del deslizamiento de las mismas.

Como comentario final se puede resaltar lo siguiente, se confirma lo reflejado en la teoría, que implica que la viscosidad afecta en forma importante el deslizamiento en la bomba multifásica, ya que al pasar la viscosidad de valores extremos de crudo hacia agua, el desempeño de las bombas disminuyó considerablemente, lo que confirma que evidentemente el deslizamiento aumenta con la disminución de la viscosidad del líquido y adicionalmente también se confirma que el deslizamiento a su vez es bastante sensible al cambio de la holgura entre el tornillo y la carcasa de la bomba. Por otro lado, los valores de corte de agua entre 25 y 30%, a partir de donde el modelo comienza a generar desviaciones mayores, coinciden con el punto de inversión de fases mostrado en la curva de viscosidad de Sincor que se encuentra en este mismo rango.

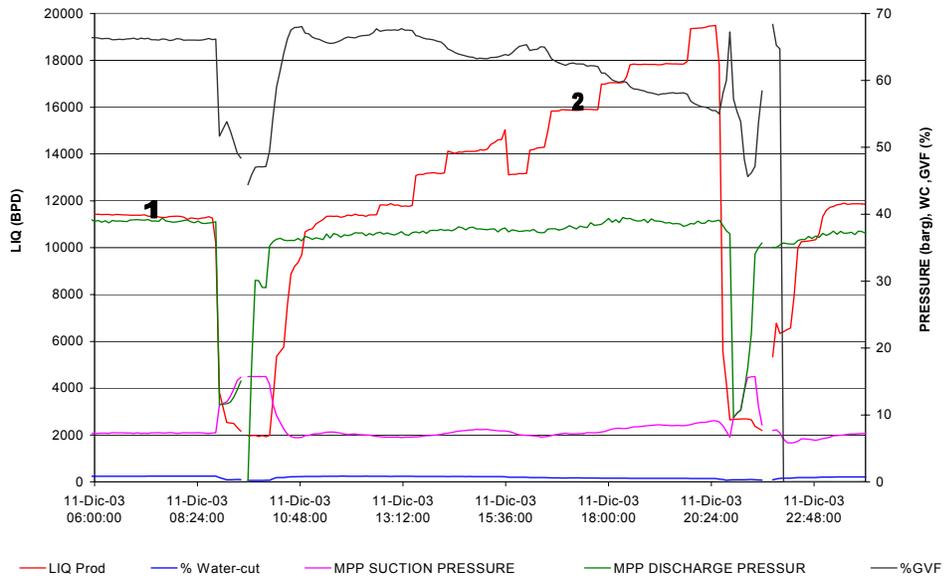
## **5.2.- Pruebas de incremento de rpm en bombas multifásicas**

Si bien es cierto que los resultados mostrados anteriormente contribuyeron en forma importante en el desempeño y operación de las bombas multifásicas de Sincor, y la recomendación generada en cuanto a operar las bombas por debajo de cortes de agua del 30% formó parte importante de esta contribución, fue necesario seguir investigando, ya que ante la presencia de un evidente incremento del corte de agua en varios de los pozos existentes en el campo, la recomendación propuesta dejaría de tener validez en el tiempo en las macollas que incrementarían sus cortes de agua por encima de los valores indicados.

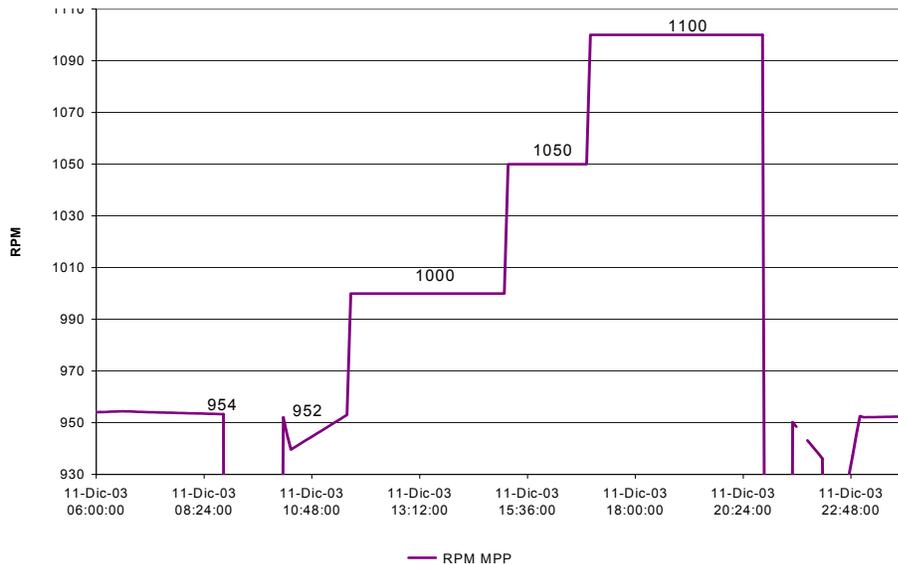
En vista de lo anterior, se decidió iniciar un estudio que permitiera compensar la pérdida de eficiencia de las bombas por efecto del deslizamiento, y uno de los primeros cambios considerados fue el incremento de las rpm de las bombas. Este cambio fue escogido como primer paso, debido a que no impactaba en la integridad mecánica de la bomba y permitía con solo una modificación de un parámetro operacional poder seguir operando con la misma bomba inmediatamente, sin necesidad de enviarla a mantenimiento, evitando de esta forma afectar por un mayor tiempo la producción de crudo asociada

### 5.2.1.- Prueba macolla YC

El cluster YC es un cluster que maneja un contenido de agua muy bajo (1% promedio) y cerca del los 21.000 BPD de líquido. Las Gráficas 4 y 5 reflejan las variaciones de caudal de líquido, presión de succión, presión de descarga, fracción de gas y corte de agua para cada una de las velocidades durante la prueba.



**Gráfica 4: Prueba del YC/Variación de líquido**



**Gráfica 5: Prueba del YC/Variación de rpm MPP**

Las Gráficas 4 y .5 denotan que los incrementos de las rpm del motor de la bomba permiten incrementos efectivos en el manejo de fluido adicional. En tal

sentido, se puede apreciar que la bomba para efectos de la prueba se encontraba manejando 11.000 BPD de líquido a 930 rpm y con el incremento a 1100 rpm se pudieron alcanzar volúmenes de líquido alrededor de 19000 BPD.

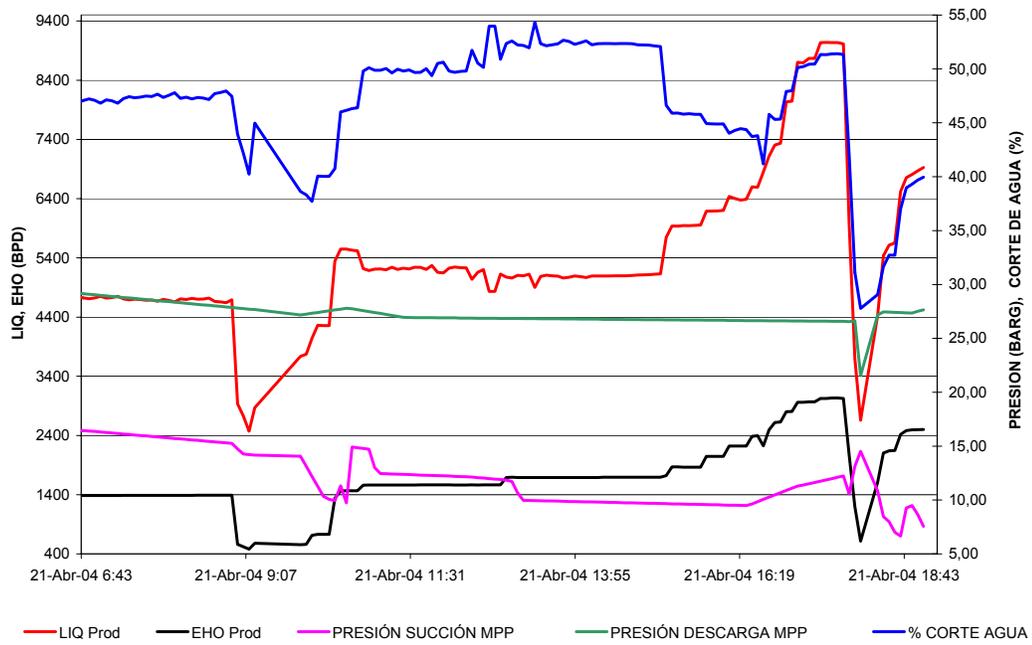
Observando la Gráfica 4 y 5 , y si se realiza una comparación de dos puntos a condiciones similares de operación, en cuanto a la presión de succión y descarga (puntos 1 y 2), en el punto 1 se aprecia que para una presión de succión de 6 barg y una presión de descarga alrededor de 35 barg la bomba se encontraba manejando 11.000 BPD de líquido (9500 BPD de EHO) a 930 rpm, y en el punto 2, para condiciones similares de succión (6 barg) y descarga (35barg), a una velocidad de rotación del motor de 1100 rpm, se observa que la bomba llego a manejar alrededor de 16.000 BPD de líquido (13.500 BPD de EHO).

Haciendo referencia al resto de las variables, se puede notar que durante el desarrollo de la prueba, la presión de succión en la bomba se mantuvo entre valores de 6 y 9 barg, con un incremento por encima de 9 barg hacia el final de la prueba debido que para este momento se encontraba alineados 10 pozos totalmente optimizados, sin embargo se observa una ligera tendencia hacia la estabilización.

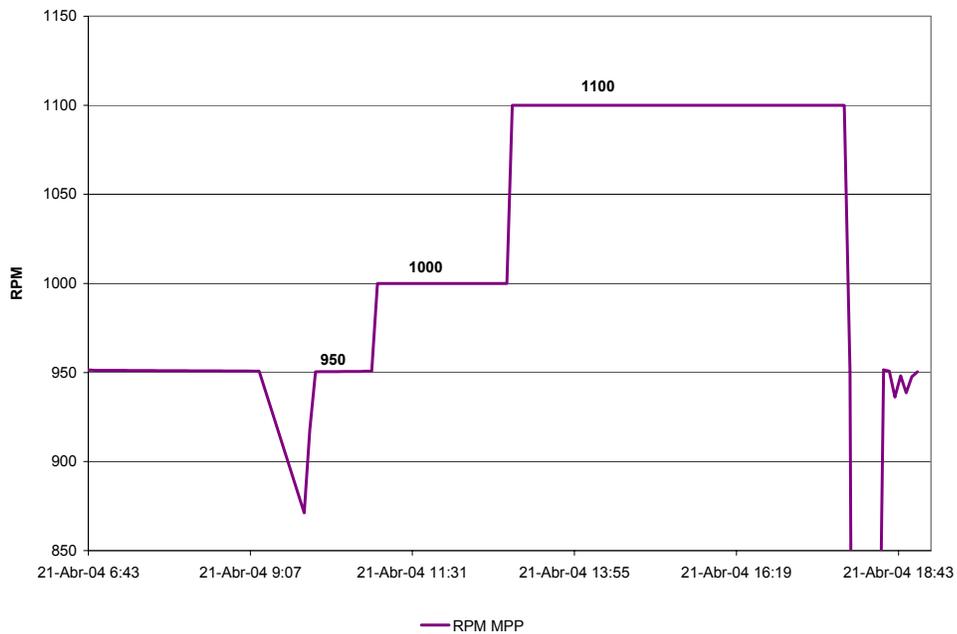
### **5.2.2.- Prueba macollar LC**

El cluster YC es un cluster que maneja un contenido de agua muy alto (50% promedio) y cerca del los 16.000 BPD de líquido.

En las Gráficas 6 y 7 se reflejan las variaciones de caudal de líquido, caudal de EHO, presión de succión, presión de descarga, corte de agua y rpm para cada uno de los casos de velocidad del motor realizados durante la prueba.



**Gráfica 6: Prueba del LC/Variación de líquido MPP**



**Gráfica 7: Prueba del LC/Variación de rpm MPP**

En las gráficas 6 y 7 se puede observar que los incrementos de las rpm del motor de la bomba permiten incrementos efectivos de manejos de fluido adicional. En tal sentido, se puede apreciar que la bomba se encontraba manejando 5400 BPD de líquido(1500 BPD de EHO) a 950 rpm con una presión de succión de 15 barg y con el incremento a 1100 rpm se pudieron alcanzar volúmenes de líquido de alrededor de 9000 BPD (3300 BPD de EHO) con una presión de succión aproximada de 12 barg.

En función de lo anterior se puede concluir que a pesar de la presencia de un corte de agua alto (50%), el incremento de las rpm favoreció el descenso de la presión de succión y permitió un incremento en el manejo de líquido.

Haciendo referencia al resto de las variables, se puede notar que durante el desarrollo de la prueba a 1100 rpm, la presión de succión en la bomba se mantuvo entre valores de 9 y 12 barg, con un incremento por encima de 12 barg hacia el final de la prueba debido que para este momento se encontraban alineados 5 pozos.

Actualmente en campo un total de 24 bombas multifásicas de la marca Flowserve, se encuentran operando a 1100 rpm.

Como comentario final de las pruebas realizadas en las macollas YC y LC, se puede concluir que el aumentar las rpm de 930 a 1100, permitió un incremento de capacidad de manejo de líquido de las bombas, y el manejo de altos corte de agua por encima del 50%, lo que garantiza recuperar el crudo asociado a los pozos que poseen altos contenidos de agua y por último, proporciona flexibilidad operacional en cada macolla, ya que permite optimizar al máximo el número de pozos a operar por cluster (de esta forma se aprovecha al máximo el potencial de crudo disponible en los pozos).

### **5.3.- Prueba de reducción de holgura.**

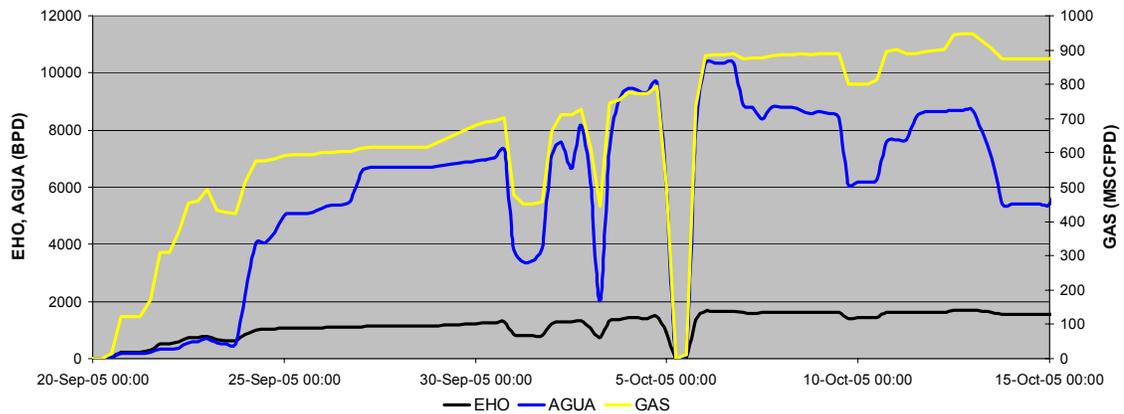
Luego de confirmar que la opción de incrementar las rpm era una solución efectiva y de llevar a cabo este cambio en el resto de las bombas, se siguió investigando acerca de la posibilidad de seguir compensando las pérdidas de

eficiencia debido al incremento constante del corte de agua, y también al desgaste propio de los dispositivos internos de las bombas (tornillo y carcasa).

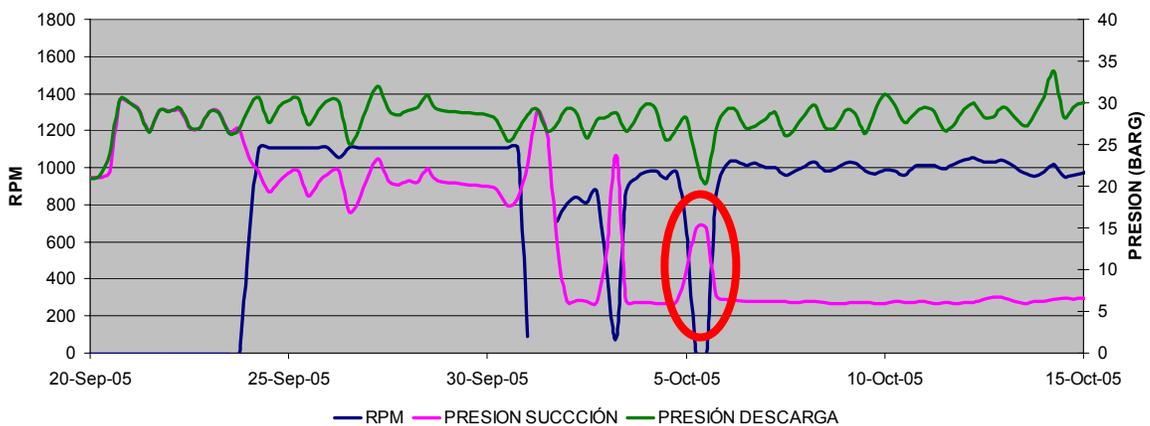
En vista de lo anterior surge como solución la reducción de la holgura entre el tornillo y la carcasa de la bomba, esto permitiría reducir el deslizamiento y recuperar las capacidades de las bombas.

### 5.3.1.-Prueba de la macolla LC.

En las Gráficas 8 y 9, que se muestra a continuación, se refleja el efecto del cambio de holgura implementando en la macolla LC.



**Gráfica 8: Prueba del LC/Variación de Fluidos**



**Gráfica 9: Prueba del LC/Parámetros MPP**

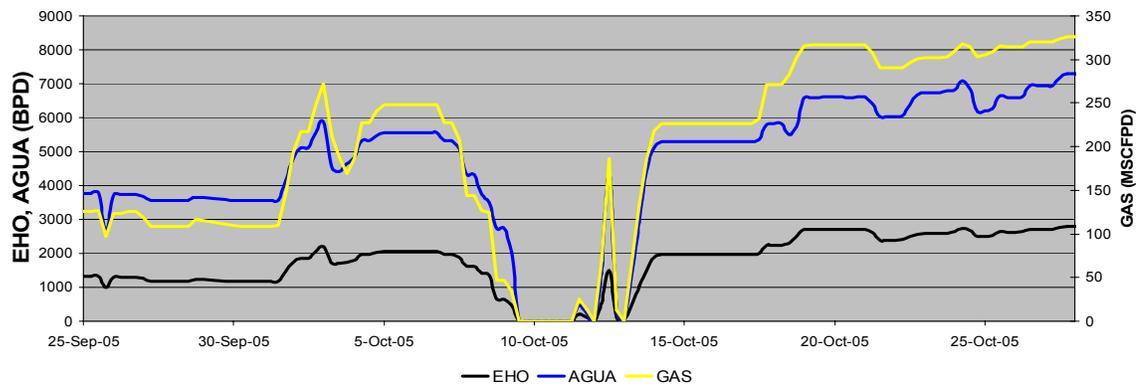
Al observar la Gráfica 8, se puede notar como el cambio de holgura realizado en la bomba (indicado en círculo) permitió incrementar los flujos de crudo EHO

(curva en negro), agua (curva en azul) y gas (curva en amarillo). Si observamos la curva de EHO podemos ver que aumento desde 1000 a 2000 BPD y el agua logro alcanzar valores alrededor de 8000 BPD.

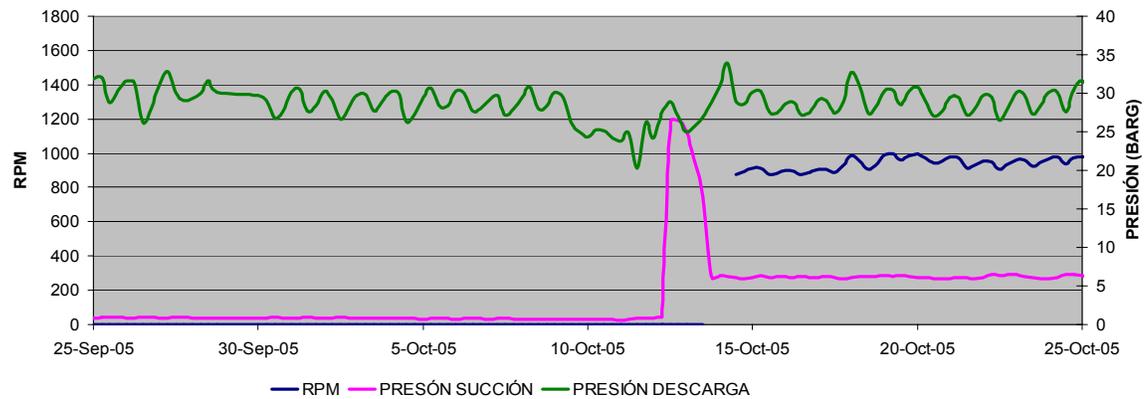
En la Gráfica 9, se puede observar que una vez arrancada nuevamente la bomba multifásica el valor de presión succión bajo de 20 a 6 barg logrando estabilizarse en este valor y permitiendo a la bomba disponibilidad de capacidad adicional para futuros incrementos de los fluidos.

### 5.3.2.-Prueba de la macolla IB.

En las Gráficas 10 y 11, que se muestra a continuación se muestra el efecto del cambio de holgura implementando en la macolla IB.



Gráfica 10: Prueba del IB/ Variación de Fluidos



Gráfica 11: Prueba del IB/ Parámetros MPP

Al observar la Gráfica 10, se puede notar como el cambio de holgura realizado en la bomba (a partir del momento que aparecen las rpm en la Gráfica 11) permitió incrementar los flujos de crudo EHO (curva en negro), agua (curva en azul) y gas (curva en amarillo) de manera importante. Si se observa la curva de EHO se puede ver que aumentó desde 1000 a 3000 BPD y el agua varió de 5000 a 7000 BPD.

Adicionalmente, en la Gráfica 11, se puede observar que una vez arrancada la bomba multifásica el valor de succión se estabilizó inmediatamente en 6 barg, permitiendo a la bomba disponibilidad de capacidad adicional.

Luego de observar los resultados reflejados en las macollas LC e IB, se puede concluir que la reducción de holgura demostró poder mitigar el efecto del incremento del agua en las bombas, permitiendo reducir el deslizamiento en las mismas y recuperando la capacidad de las bombas, con lo cual se logró poder mantener e incrementar, en algunos casos, los perfiles de producción de crudo requeridos para las macollas. Se puede comentar también que el efecto de incremento del deslizamiento en la bomba está asociado a un aumento de la presión de succión de la bomba, la cual aumentará también cuando la bomba multifásica no pueda soportar mayor cantidad de carga.

Actualmente, en campo un total de 15 bombas multifásicas de la marca Flowserve, se encuentran operando con holguras reducidas, lo que ha permitido producir el crudo asociado al volumen de agua que antes no podía ser manejado.

Como resumen de los resultados alcanzados se puede mencionar que el modelo utilizado ajusta con la realidad, cuando el corte de agua está por debajo del 20%, confirmando de esta forma lo reflejado por la curva de viscosidad de Sincor, que indica que entre un 25 y 30% de corte de agua, se encuentra el punto de inversión de fases de crudo hacia agua. También, se evidenció que el incremento del agua aumenta el deslizamiento interno en las bombas multifásicas, afectando el desempeño de las mismas. Con la finalidad de compensar la pérdida de capacidad de las bombas, se implementaron dos modificaciones, el incremento de velocidad de giro desde 930 a 1100 rpm y la reducción de holgura entre los tornillos y la carcasa, permitiendo de

esta forma, mejorar el desempeño de las bombas y recuperar el crudo asociado a los volúmenes de agua.

Por otra parte, es importante mencionar que las herramientas de recolección de datos utilizadas y desarrolladas, permitieron realizar un análisis integral de todas las operaciones asociadas al funcionamiento de las bombas multifásicas, lo que conllevó a la obtención de resultados sumamente positivos y beneficiosos, tanto del punto de vista operativo de las bombas, como del económico, al lograr impactar en la producción de crudo asociado a cada uno de los equipos involucrados.

## 6.- Conclusiones

- La presencia de agua en la mezcla afecta el funcionamiento de las bombas multifásicas en cuanto a su capacidad de flujo.
- El modelo teórico utilizado predice la real capacidad de las bombas, cuando el corte de agua está por debajo del 20%, reportando desviaciones hasta un máximo del 15%.
- El modelo teórico utilizado no se ajusta a la capacidad real de las bombas, cuando el corte de agua está por encima del 20%, reportando desviaciones por encima del 15%.
- La capacidad de las bombas multifásicas esta afectada de forma importante por el deslizamiento interno que ocurre en su interior.
- A medida que aumenta el flujo de deslizamiento en la bomba, se produce menos caudal a través de la bomba.
- La disminución de la viscosidad en la mezcla manejada por la bomba incrementa el caudal de deslizamiento en la misma.
- Se confirma el comportamiento de la curva de viscosidad de Sincor, donde el punto de inversión de fases se encuentra entre 20 y 30% de corte de agua.
- Las bombas multifásicas son mas eficientes manejando mezclas de crudo con bajos corte de agua (<20%).
- Las bombas multifásicas son menos eficientes manejando mezclas de crudo con cortes de agua (>20%).
- El modelo utilizado no se ve afectado por los cambios en el caudal de gas.
- El incremento de rpm de 930 a 1100, realizado en las bombas permitió compensar el deslizamiento originado por la presencia de agua.

- La presencia de arena ocasiona desgaste en los tornillos y carcasa de las bombas e incrementa la holgura, afectando el desempeño de las bombas.
- El incremento de rpm de 930 a 1100, realizado en las bombas permitió recuperar e incrementar los flujos de fluido manejado por las bombas.
- La reducción de holgura realizada en las bombas reduce el deslizamiento en los equipos.
- La reducción de holgura realizada en las bombas permitió incrementar los flujos de fluidos manejados por las bombas.
- El incremento de la presión de succión en la bomba esta asociada con el aumento del caudal de deslizamiento y con el límite de capacidad de la bomba.
- La instrumentación asociada fue de suma importancia para la medición de los datos utilizados.
- El monitoreo de las variables en tiempo real y en forma de históricos fue vital para el análisis y la interpretación de resultados, permitiendo identificar problemas y generar recomendaciones de mejoras asociadas a los procesos involucrados.

## **6.- Recomendaciones**

- Realizar un nuevo estudio para determinar si la curva de viscosidad de Sincor ha cambiado (punto de inversión de fases).
- Evaluar la posibilidad de incrementar las velocidades de las bombas por encima de los 1100 rpm.
- Profundizar en el cálculo del volumen de deslizamiento a nivel teórico, con la finalidad de poder cuantificar este número con valores reales de operación, cuando el corte de agua aumenta por encima de un 20%.
- Realizar un estudio a nivel de todo el campo con la finalidad de identificar los pozos productores de arena.
- Realizar un mantenimiento periódico de toda la instrumentación asociada a las operaciones de las bombas multifásicas y pozos.
- Invertir mayores recursos en el monitoreo de las operaciones asociadas a las bombas multifásicas y pozos, con la finalidad de poder identificar mejoras en los procesos.
- Iniciar un estudio de las capacidades de las bombas multifásicas del fabricante Bornemann.

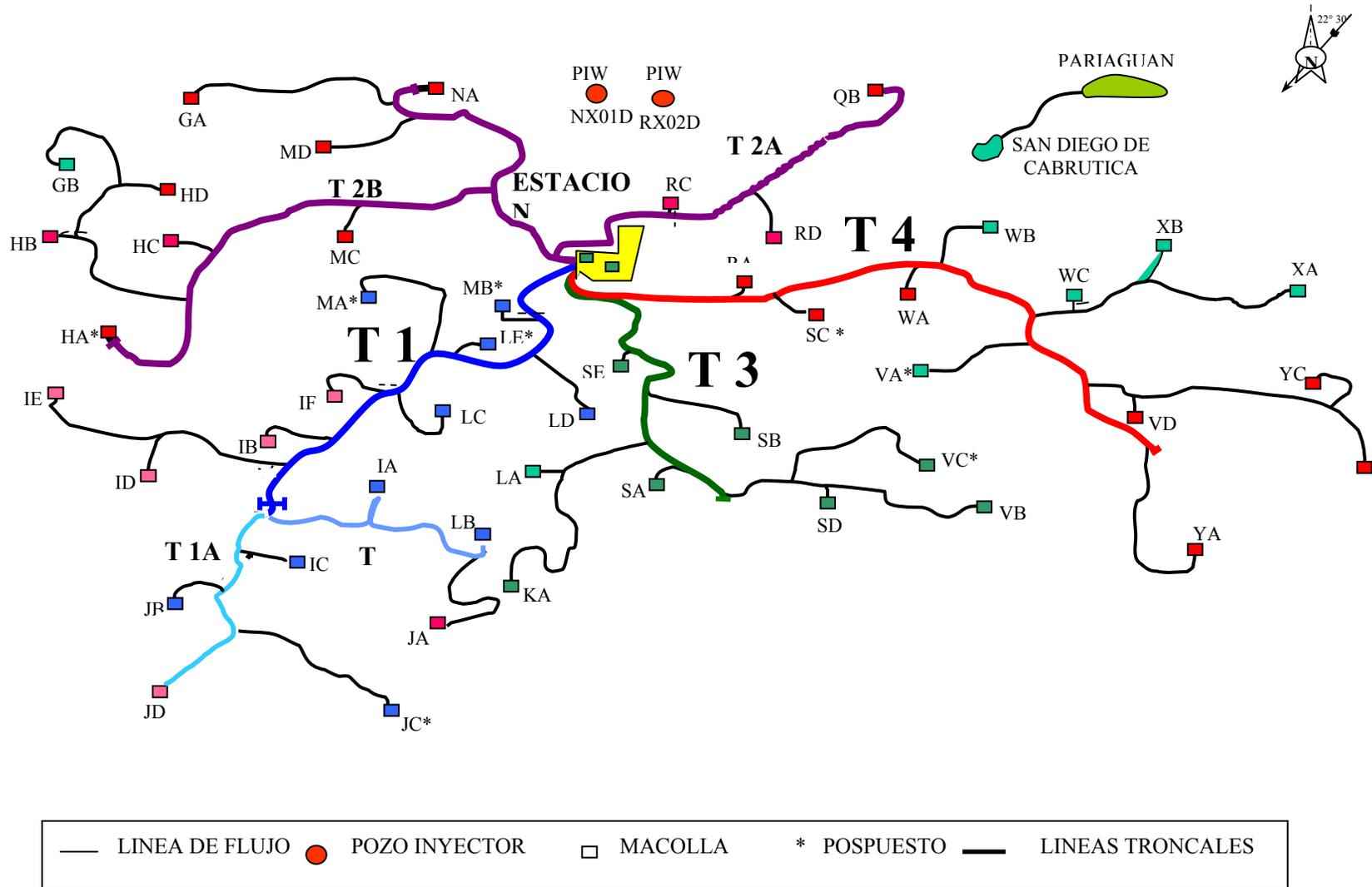
## 6.- Bibliografía

- Arirachakaran, S (1989) **An Analysis of Oil/Water Flow Phenomena in Horizontal Pipes**. SPE 1883.Estados Unidos.
- Brill, James y Beggs, Dale (1991). **Two-phase flow in pipes 6<sup>th</sup> Edition**. The University of Tulsa. Estados Unidos.
- Decarre, S and Fabre, J (1997). **Etude sur la prediction de l'inversion de phase Vol. 52, N°4**. Institut Francais du Petrole. Francia.
- Gas Processors Suppliers Association (1998). **Engineering Data Book Vol I & II, 11<sup>th</sup> Edition**. Gas Processors Suppliers Association. Estados Unidos.
- Martin, Ana M (1999). **New Approach Describes Multiphase Flow Behavior in Single and Twin Screw Pumps**. Texas A&M University, Estados Unidos.
- Matar, O.K, Hewit, G.F. and Ortiz, E.S (2001). **Fase Inversion in liquid-liquid Dispersion**. Departamento de Ingeniería Química, Imperial College. Inglaterra.
- McCaine, William (1973), **The Properties of Petroleum Fluids**. Petroleum Publishing Company. Estados Unidos.
- McNair, Will L. (2002). **Basic Instrumentation 4th Edition**. Petroleum Extension Service. Caracas, The University of Texas. Estados Unidos
- Perry, Robert and Green, Don. (1997). **Perry's Chemical Engineers Handbook 7<sup>th</sup> Edition**. McGraw-Hill. Estados Unidos.
- Prang, Allan J and Cooper, Paul (1998 ). **A Versatile Multiphase Two Screw Pump Package for Subsea Deployment**. Ingersoll Dresser Pump CO (IDP). Estados Unidos.

- Prang, Allan J and Cooper, Paul (2001). **Enhanced Multiphase Flow Predictions in Twin Screw Pumps**. Flowserve. Canada.
- Roxar Flow Measurement (2002). **Descripción Funcional MPFM**. Sincor. Caracas, Venezuela. Roxar, Venezuela.
- Shoham, Ovadia (1998). **Two-Phase Flow Modeling**. The University of Tulsa. Estados Unidos.
- Sincrudos de Oriente (2000). **Manual de Operaciones, Instalaciones Upstreams , División de Producción**. Sincor. Caracas, Venezuela.
- Sincrudos de Oriente (2005). **Manual de Mediciones de Sincor**. Sincor. Caracas, Venezuela.

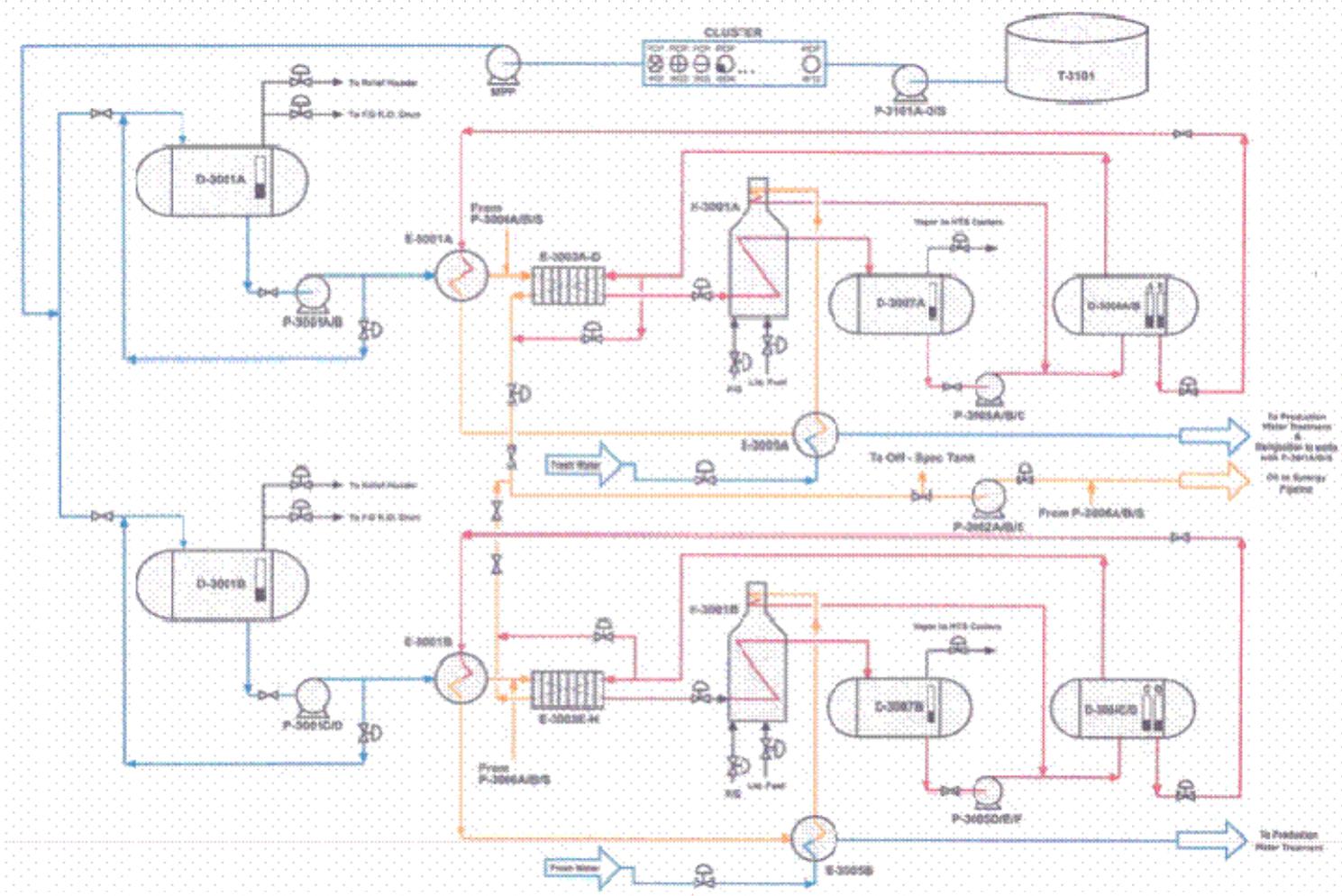


## ANEXO A: UBICACIÓN DE LAS MACOLLA Y LA ESTACIÓN PRINCIPAL



Fuente: Manual de Operaciones de Sincor (2000)

## ANEXO B DIAGRAMA DE PROCESOS ESTACIÓN PRINCIPAL



## ANEXO C: HOJA DE DATOS MEDIDORES DE PRESIÓN

SINCOR

Ingersoll-Dresser Pump Canada, Inc.

Project Title: **SINCOR, C. A.**  
UPSTREAM SURFACE FACILITIES PROJECT

SINCOR Document No: **PA46-12-10-J-DS-006**  
SINCOR Interface Code: **1**  
SINCOR Document Class: **02**  
Ingersoll-Dresser Pump No: **B990288**  
Page /File: **1/PA461210JDS006**  
Rev./Date: **X0 / 28-NOV-2000**

### SINCOR, C.A. UPSTREAM SURFACE FACILITIES PROJECT INGERSOLL-DRESSER PUMP CANADA, INC. MPP SUCTION PRESSURE INSTRUMENTS DATASHEET

**REVISION INDEX: X0**

This document consists of 2 pages.

REV.	DATE	PAGES	REASON FOR ISSUE
X0	Nov. 27 / 2000	3	Issued as-built for IDC.

IDP APPROVAL			SINCOR APPROVAL		
PREPARED BY:	CHECKED BY:	APPROVED BY:	APPROVED BY:	APPROVED BY:	APPROVED BY:
MIKE MOORE					
MIKE MOORE SINCOR PROJECT MANAGER					
NOV. 28 / 2000	/ /2000	/ /2000	/ /2000	/ /2000	/ /2000



# SINCOR

## Ingersoll-Dresser Pump Canada, Inc.

Project Title: **SINCOR, C. A.**  
**UPSTREAM SURFACE FACILITIES PROJECT**

SINCOR Document No: **PA46-12-10-J-DS-006**  
SINCOR Interface Code: **1**  
SINCOR Document Class: **02**  
Ingersoll-Dresser Pump No: **B990288**  
Page /File: **3/PA461210JDS006**  
Rev./Date: **X0 / 28-NOV-2000**

---

REV.NO	TAG NO.	ADJ.RANGE	SET RANGE	ON MEAS.INC.OUTPUT	SERVICE	NOTES
A0	PIT-016	0-20 BARG	0-12 BARG	INCREASE	MPP PUMP SUCTION	
A0	PIT-019	0-20 BARG	0-12 BARG	INCREASE	MPP PUMP SUCTION DOWNSTREAM STRAINERS	

SINCOR

Ingersoll-Dresser Pump Canada, Inc.

Project Title: SINCOR, C. A.  
UPSTREAM SURFACE FACILITIES PROJECT

SINCOR Document No: PA46-12-10-J-DS-008  
SINCOR Interface Code: 1  
SINCOR Document Class: 02  
Ingersoll-Dresser Pump No: B990288  
Page /File: 1/PA461210JDS008  
Rev./Date: X0 / 28-NOV.-2000

---

**SINCOR, C.A.**  
**UPSTREAM SURFACE FACILITIES PROJECT**  
**INGERSOLL-DRESSER PUMP CANADA, INC.**  
**MPP PRESSURE INSTRUMENTS DATASHEET**

---

**REVISION INDEX: X0**

This document consists of 2 pages.

REV.	DATE	PAGES	REASON FOR ISSUE
X0	Nov. 27 / 2000	3	Issued as-built for IDC.

IDP APPROVAL			SINCOR APPROVAL		
PREPARED BY:	CHECKED BY:	APPROVED BY:	APPROVED BY:	APPROVED BY:	APPROVED BY:
MIKE MOORE					
MIKE MOORE SINCOR PROJECT MANAGER					
NOV. 28 / 2000	/ /2000	/ /2000	/ /2000	/ /2000	/ /2000

Project Title: SINCOR, C. A.  
UPSTREAM SURFACE FACILITIES PROJECT

SINCOR Document No:  
SINCOR Interface Code: 1  
SINCOR Document Class: 02  
Ingersoll-Dresser Pump No: B990288  
Page /File:  
Rev./Date:

PA46-12-10-J-DS-008

2/PA461210JDS008  
X0 / 28-NOV.-2000

MINIHAMS ENGINEERING TORONTO, CANADA		PRESSURE INSTRUMENTS				SHEET <i>J</i> OF <i>J</i>	
IND	DT	APPR	DATE	REVISION	SPEC. NO.	REV.	
AP	UV		11/02	ISSUE FOR CONVT.	113	AB	
CLIENT: FLOWSERVE-NDP CANADA INC.					PROJECT NO.	DATE	
PROJECT: SINCOR, C.A.						11/26/2000	
UNIT: UPSTREAM SURFACE FACILITIES					REV.	P.O.	
LOCATION: VENEZUELA					BY	CHK'D	
					UV	APPR.	
1 Tag No. <i>PIT-627</i>		Service <i>MPP PUMP DISCHARGE PRESSURE</i>					
2 Function		Record <input type="checkbox"/>	Indicate <input checked="" type="checkbox"/>	Control <input type="checkbox"/>	Blind <input type="checkbox"/>	Trans <input checked="" type="checkbox"/>	
3 Case		Other: MFR STD <input checked="" type="checkbox"/> Nom. Size: Color MFR STD <input checked="" type="checkbox"/> Other:					
4 Mounting		Flush <input type="checkbox"/> Surface <input checked="" type="checkbox"/> Yoke <input type="checkbox"/> Other:					
5 Enclosure Class		General Purpose <input type="checkbox"/> Weather Proof <input type="checkbox"/> Explosion-Proof <input checked="" type="checkbox"/> Class:					
6 Power Supply		17 VAC 60 Hz <input type="checkbox"/> Other as: _____ dc: <i>24</i> Volts					
7 Chart		Strip <input type="checkbox"/> Roll <input type="checkbox"/> Fold <input type="checkbox"/> Circular <input type="checkbox"/> Time Marks					
8 Chart Drive		Range: _____ Number: _____					
9 Scales		Speed: _____ Power: _____					
10 Transmitter Output		Type: _____					
11 Control Modes		Range 1: _____ 2: _____ 3: _____ 4: _____					
12 Action		4-20mA <input checked="" type="checkbox"/> 10-50 mA <input type="checkbox"/> 21-103 MPa (3-15 psig) <input type="checkbox"/> Other: _____					
13 Auto-Man Switch		For Receiver, See Spec. Sheet:					
14 Set Point Adj.		P - Prop (Gain), I - Integral (Auto-Reset), D - Derivative (Rate) Sub: s = Slow, f = Fast					
15 Manual Flag		P <input type="checkbox"/> PI <input type="checkbox"/> PD <input type="checkbox"/> PID <input type="checkbox"/> IF <input type="checkbox"/> OF <input type="checkbox"/> IS <input type="checkbox"/> DS <input type="checkbox"/>					
16 Output		Other: _____					
17 Service		On Meas. Increase Output: Increases <input type="checkbox"/> Decreases <input type="checkbox"/>					
18 Element Type		None <input type="checkbox"/> MFR STD <input type="checkbox"/> Other: _____					
19 Material		Manual <input type="checkbox"/> External <input type="checkbox"/> Remote <input type="checkbox"/> Other: _____					
20 Range		None <input type="checkbox"/> MFR STD <input type="checkbox"/> Other: _____					
21 Process Data		4-20 mA <input type="checkbox"/> 10-50 mA <input type="checkbox"/> 21-103 MPa (3-15 psig) <input type="checkbox"/> Other: _____					
22 Process Conn.		Gage Press <input checked="" type="checkbox"/> Vacuum <input type="checkbox"/> Absolute <input type="checkbox"/> Compound <input type="checkbox"/>					
23 Alarm Switches		Diaphragm <input checked="" type="checkbox"/> Helix <input type="checkbox"/> Bourdon <input type="checkbox"/> Bellows <input type="checkbox"/> Other: _____					
24 Function		Material 316 SS <input checked="" type="checkbox"/> Br. Copper <input type="checkbox"/> Other: _____					
25 Options		Fixed <input type="checkbox"/> Adj Range: <i>0-55 BARG</i> Set pt: <i>0-65.0 BARG</i>					
26 MFR. & Model No.		Overrange Protection to: <i>117.50 BARG</i>					
Notes:		Press. Normal _____ Max. <i>65.0 BARG</i> Element Range: <i>0-65 BARG</i>					
		14 in. NPT <input checked="" type="checkbox"/> 1/2 in. NPT <input type="checkbox"/> Other: _____					
		Location: Bottom <input checked="" type="checkbox"/> Back <input type="checkbox"/> Other: _____					
		Quantity: _____ Form: _____ Rating: _____					
		Press. <input type="checkbox"/> Deviation <input type="checkbox"/> Contacts To: _____ on In. Press.					
		Fill-Reg. <input type="checkbox"/> Sup. Gage <input type="checkbox"/> Output Gage <input type="checkbox"/> Charis _____					
		Diaph Seal <input type="checkbox"/> Type _____ Diaph: _____ Bol Boul: _____					
		Conn. _____ Capillary: Length _____ M.I. _____					
		Other: _____					
		<i>ROSEMOUNT 11EGPSE12SE343X6</i>					
		ISA 52041a					

# SINCOR

## Ingersoll-Dresser Pump Canada, Inc.

Project Title: **SINCOR, C. A.**  
**UPSTREAM SURFACE FACILITIES PROJECT**

SINCOR Document No: **PA46-12-10-J-DS-008**  
SINCOR Interface Code: **1**  
SINCOR Document Class: **02**  
Ingersoll-Dresser Pump No: **B990288**  
Page /File: **3/PA461210JDS008**  
Rev./Date: **X0 / 28-NOV.-2000**

---

REV	TAG NO.	ADJ.RANGE	SET RANGE	ON MEAS.INC.OUTPUT	SERVICE	NOTES
A0	PIT-027	0-69 BARG	0-68.0 BARG	INCREASE	MPP PUMP DISCHARGE	

## ANEXO D HOJA DE DATOS MEDIDORES DE TEMPERATURA

SINCOR

Ingersoll-Dresser Pump Canada, Inc.

Project Title: **SINCOR, C. A.**  
UPSTREAM SURFACE FACILITIES PROJECT

SINCOR Document No: **PA46-12-10-J-DS-011**  
SINCOR Interface Code: **1**  
SINCOR Document Class: **02**  
Ingersoll-Dresser Pump No: **B990288**  
Page /File: **1/PA461210JDS011**  
Rev./Date: **X0 / 28-NOV-2000**

### SINCOR, C.A. UPSTREAM SURFACE FACILITIES PROJECT INGERSOLL-DRESSER PUMP CANADA, INC. TEMPERATURE INSTRUMENTS DATASHEET

**REVISION INDEX: X0**

This document consists of 2 pages.

REV.	DATE	PAGES	REASON FOR ISSUE
X0	Nov. 27 / 2000	3	Issued as-built for IDC.

IDP APPROVAL			SINCOR APPROVAL		
PREPARED BY:	CHECKED BY:	APPROVED BY:	APPROVED BY:	APPROVED BY:	APPROVED BY:
MIKE MOORE					
MIKE MOORE SINCOR PROJECT MANAGER					
NOV. 28 / 2000	/ / 2000	/ / 2000	/ / 2000	/ / 2000	/ / 2000

Project Title: **SINCOR, C. A.**  
**UPSTREAM SURFACE FACILITIES PROJECT**

SINCOR Document No:  
 SINCOR Interface Code: **1**  
 SINCOR Document Class: **02**  
 Ingersoll-Dresser Pump No: B990288  
 Page /File:  
 Rev./Date:

PA46-12-10-J-DS-011  
 2/PA461210JDS011  
 X0 / 28-NOV-2000

MINIHAMS ENGINEERING TORONTO, CANADA		TEMPERATURE INSTRUMENTS				SHEET 1 OF 2	
		NO	BY	APPR	DATE	SPEC. NO.	REV.
CLIENT: <b>FLOWSERVE-IDP CANADA INC.</b>		100	JMF		1/97	156	A0
PROJECT: <b>SINCOR, C.A.</b>		REVISION: <b>ISSUED FOR CONSTRUCTION</b>				PROJECT NO.	DATE
UNIT: <b>UPSTREAM SURFACE FACILITIES</b>						REQ.	P.O.
LOCATION: <b>YEMEZUELA</b>						BY	CHKD
						JMF	APPR.
1	Tag No.	See Next Page		Service	See Next Page		
<b>GENERA</b>	2	Function	Record <input type="checkbox"/>	Indicate <input checked="" type="checkbox"/>	Control <input type="checkbox"/>	Blind <input type="checkbox"/>	Trans <input checked="" type="checkbox"/>
	3	Case	MFR STD <input checked="" type="checkbox"/> Nom Size: _____ Color: MFR STD <input checked="" type="checkbox"/> Other: _____				
	4	Mounting	Flush <input type="checkbox"/>	Surface <input type="checkbox"/>	Yoke <input checked="" type="checkbox"/>	Other: _____	
	5	Enclosure Class	General Purpose <input type="checkbox"/> Weather Proof <input type="checkbox"/> Explosion-Proof <input type="checkbox"/> Class: _____				
	6	Power Supply	For Use In Intrinsically Safe System <input type="checkbox"/> Other: <b>FLAMEPROOF APPROVAL</b>				
7	Chart	117 V 60Hz <input type="checkbox"/>	Other ac: _____	dc <input checked="" type="checkbox"/>	24	Volts	
8	Chart Drive	Strip <input type="checkbox"/>	Roll <input type="checkbox"/>	Fold <input type="checkbox"/>	Circular	Time Marks	
9	Scales	Speed _____	Power _____	Type _____	Range 1 _____ 2 _____ 3 _____ 4 _____		
<b>XMTR</b>	10	Transmitter Output	4-20mA <input checked="" type="checkbox"/>	10-60 mA <input type="checkbox"/>	21-103 kPa (3-15 psig) <input type="checkbox"/>	Other: _____	
		For Receiver, See Spec. Sheet: _____					
<b>CONTROL</b>	11	Control Modes	P = Prop (Gain), I = Integral (Auto Reset), D = Derivative (Rate) Sub: s = Slow, f = Fast P <input type="checkbox"/> PI <input type="checkbox"/> PD <input type="checkbox"/> PID <input type="checkbox"/> If <input type="checkbox"/> Df <input type="checkbox"/> Is <input type="checkbox"/> Ds <input type="checkbox"/> Other: _____				
	12	Action	On Meas. Increase Output: Increases <input type="checkbox"/> Decreases <input type="checkbox"/>				
	13	Auto-Man Switch	None <input type="checkbox"/>	MFR STD <input type="checkbox"/>	Other: _____		
	14	Set Point Adj.	Manual <input type="checkbox"/>	External <input type="checkbox"/>	Remote <input type="checkbox"/>	Other: _____	
15	Manual Reg.	None <input type="checkbox"/>	MFR STD <input type="checkbox"/>	Other: _____			
16	Output	4-20 mA <input type="checkbox"/>	10-60 mA <input type="checkbox"/>	21-103 kPa (3-15 psig) <input type="checkbox"/>	Other: _____		
<b>ELEMENT</b>	17	Fill	SAMA Class: _____ Compensation _____				
	18	Process Data	Temp: Normal _____	Mat _____	Mat. Press. _____		
	19	Range	Fixed <input type="checkbox"/>	Adj Range: <b>-200 - 850 DEG C</b> Set At: <b>0-150 DEG C</b>			
	20	Bub	Overrange Protection to _____ Type _____ Mtl _____ Extension: Length _____ Type _____ Size: Diameter _____ Length _____ Insertion _____ Conn: _____ Location _____ Ft. _____ Above <input type="checkbox"/> Below <input type="checkbox"/> Instr. _____				
	21	Capillary	MFR STD <input type="checkbox"/>	Length _____	Mtl _____	Armor _____	
22	Well	Mtl _____	Insertion _____	Lag Ext. _____	Conn. _____		
23	Alarm Switches	Quantity _____	Form _____	Rating _____			
24	Function	Temp <input type="checkbox"/>	Deviation <input type="checkbox"/>	Contacts To _____	On Temp Increase		
25	Options	Filt Reg. <input type="checkbox"/>	Sup. Gage <input type="checkbox"/>	Output Gage <input type="checkbox"/>	Chart _____		
26	Mfr. & Model No.	<b>ROSEMOUNT 3144-D-1-E3-M5-X3</b>					
Notes: _____ _____ _____ _____							

# SINCOR

## Ingersoll-Dresser Pump Canada, Inc.

Project Title: **SINCOR, C. A.**  
**UPSTREAM SURFACE FACILITIES PROJECT**

SINCOR Document No: **PA46-12-10-J-DS-011**  
SINCOR Interface Code: **1**  
SINCOR Document Class: **02**  
Ingersoll-Dresser Pump No: **B990288**  
Page /File: **3/PA461210JDS011**  
Rev./Date: **X0 / 28-NOV-2000**

---

REV.	TAG NO.	ADJ.RANGE	SET RANGE	ON MEAS.INC. OUTPUT	SERVICE	NOTES
A0	TIT-022	-200 TO 850 DEG.C	0-150 DEG.C	INCREASE	MPP PUMP SUCTION TEMP.	
A0	TIT-023	-200 TO 850 DEG.C	0-150 DEG.C	INCREASE	MPP PUMP DISCHARGE TEMP.	

## ANEXO E HOJA DE DATOS VARIADOR DE FRECUENCIA



Proyecto: SINCOR, C. A.  
UPSTREAM SURFACE FACILITIES PROJECT



Sincor Documento No: 850C-JB-45-P-DS-004/0  
Sincor Código Interfaces: 0  
Sincor Documento CLASE: 00  
Pág. /Folio: 1/850C-JB-45-P-DS-004/0  
Rev./Fecha: 0/09-May-2008

---

**SINCOR, C.A.**  
**PROYECTO INGENIERIA DE DISEÑO**  
**HOJA DE DATOS VSD**  
**Modf #850 Extension Cluster JB**

---

**INDICE DE REVISION:**

Este documento consta de 5 pág.

REGISTRO DE APROBACION					
No.	Preparado por/ Fecha	Revisado por/ Fecha	SINCOR Aprobado por/ Fecha	Código Asignado	Emitido para
B0	O. Pulido 31/01/06	E. Trevisan 03/04/06	A. Avila 10/04/06	B	COMENTARIOS
B1	O. Pulido 12/04/06	E. Trevisan 12/04/06	A. Avila 25/04/06	A	APROBACION
0	O. Pulido 09/05/06	E. Trevisan 09/05/06			CONSTRUCCION

 <p><b>SINCOR</b> ELECTRICAL DATA SHEET FOR LOW VOLTAGE VARIABLE SPEED DRIVE ACTIVE FRONT END OR REGENERATIVE TYPE</p>	<b>REVISIONES</b> <table border="1"> <tr> <th>REV</th> <th>Fecha</th> <th>PP</th> <th>RP</th> <th>APP</th> <th>Emitted para</th> </tr> <tr> <td>B0</td> <td>Abr. 06</td> <td>O.P.</td> <td>E.T.</td> <td>A.A.</td> <td>COMENTARIOS</td> </tr> <tr> <td>B1</td> <td>Abr. 06</td> <td>O.P.</td> <td>E.T.</td> <td>A.A.</td> <td>APROBACION</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>May. 06</td> <td>O.P.</td> <td>E.T.</td> <td>A.A.</td> <td>CONSTRUCCION</td> </tr> </table>					REV	Fecha	PP	RP	APP	Emitted para	B0	Abr. 06	O.P.	E.T.	A.A.	COMENTARIOS	B1	Abr. 06	O.P.	E.T.	A.A.	APROBACION	0	May. 06	O.P.	E.T.	A.A.	CONSTRUCCION	NUMERO DE DOCUMENTO <b>850C-JB-45-P-DS-004</b>	
	REV	Fecha	PP	RP	APP	Emitted para																									
	B0	Abr. 06	O.P.	E.T.	A.A.	COMENTARIOS																									
	B1	Abr. 06	O.P.	E.T.	A.A.	APROBACION																									
0	May. 06	O.P.	E.T.	A.A.	CONSTRUCCION																										
PROJ. No. <b>PR-26021</b>		REQ. No. <b>TC-XX-YY-ZZ</b>		P.O. No.																											
APLICACION: <input type="checkbox"/> COMENTARIOS <input type="checkbox"/> APROBACION <input type="checkbox"/> AS-BUILT <input type="checkbox"/> AS-BUILT PROJ. NOMBRE: <u>Moof #650 Extension Cluster JB</u> <input type="checkbox"/> APROBACION <input type="checkbox"/> AS-BUILT ZONA: <u>San Diego de Cabrutica, Venezuela</u>																															
CONTRATISTA: <u>Schneider Electric Venezuela, S.A.</u> EQUIPO TAG No.: _____ SERVICIO: <u>LOW VOLTAGE VARIABLE SPEED DRIVE FOR PCP, ESP or ESPOC</u> MODELO: <u>MD 100T REGEN</u> SERIAL No.: _____																															
SPECIFICATION	REQUIREMENTS	VENDOR CONFIRMATION	COMMENTS	Rev																											
<b>VARIABLE SPEED DRIVE (VSD) MAIN ELEMENTS</b>																															
SYSTEM CABINET	REQUIRED	CONFIRMED	BY SCHNEIDER																												
MAINSWITCH WITH FUSES FOR CABLE PROTECTION/SEMICONDUCTOR PROTECTION	REQUIRED	CONFIRMED																													
MAIN CONTACTOR	REQUIRED	CONFIRMED	THE MAIN CONTACTOR IS BETWEEN THE SINWAVE FILTER AND THE VSD																												
PRECHARGE CIRCUIT	REQUIRED	CONFIRMED																													
FILTER LCL	REQUIRED	CONFIRMED	NOTE ?	1																											
CONTROL POWER SUPPLY	REQUIRED	CONFIRMED																													
SUPPLY SIDE INVERTER (INVERTER SECTION)	REQUIRED	CONFIRMED																													
MOTOR SIDE INVERTER (INVERTER SECTION)	REQUIRED	CONFIRMED																													
UNIT OF PARAMETERIZING	REQUIRED	CONFIRMED																													
CONTROL PANEL (PLUGGED/UNPLUGGED) IN THE DOOR	REQUIRED	CONFIRMED	PANEL ON THE FRONT SIDE OF VSD																												
THE VSD SHALL HAVE THE LAST GENERATION OF IGBT'S (INSULATED GATE BIPOLAR TRANSISTORS)	REQUIRED	CONFIRMED																													
THE IGBT'S MODULES SHOULD BE INSTALLED EITHER IN RECTIFIER SECTION AND THE INVERTER SECTION OF THE VSD	REQUIRED	CONFIRMED																													
<b>VARIABLE SPEED DRIVE (VSD) OPERATING CONDITIONS RATINGS</b>																															
INCOMING POWER SYSTEM VOLTAGE	480 +/- 10%, 3 Ph VAC	480 +/- 10% 3 Ph VAC																													
NOMINAL POWER RATING	75/100 Kw/tp	CONFIRMED																													
POWER LOSS AS MINIMUM	3,4 Kw	MAXI TOTAL POWER LOSS 3,7 KW		1																											
NOISE LEVEL	63 dB	72 dB		1																											
POWER FACTOR	> 0,98	CONFIRMED																													
EFFICIENCY	> 0,97	CONFIRMED																													
RATED LINE FREQUENCY	50 +/- 5 % Hz	CONFIRMED																													
OUTPUT FREQUENCY STABILITY OF +/-0,05% FOR 24 HOURS WITH VOLTAGE REGULATION	REQUIRED	CONFIRMED																													
OF +/- 1% OF MAXIMUM RATED OUTPUT VOLTAGE	REQUIRED	CONFIRMED																													
SPEED REGULATION OF +/- 0,5% OF BASE SPEED	REQUIRED	CONFIRMED																													
INSENSITIVE TO INPUT VOLTAGE PHASE SEQUENCE	REQUIRED	CONFIRMED																													
RELATIVE HUMIDITY	71%	CONFIRMED																													
ALTITUDE ABOVE SEA LEVEL	118 MTS	CONFIRMED																													
AMBIENT TEMPERATURE, MIN/MAX (OC)	18°C to 40°C	CONFIRMED																													
STORAGE TEMPERATURE	minus 5°C to 50 °C	CONFIRMED																													
LOCATION	INDOOR	CONFIRMED																													
ROOM VENTILATION	AIR CONDITIONED	CONFIRMED																													
<b>VARIABLE SPEED DRIVE (VSD) TECHNOLOGY</b>																															
ACTIVE FRONT END OR REGENERATIVE TYPE	REQUIRED	CONFIRMED																													
MANAGE OF VOLTAGE AND CURRENTS HARMONICS ACCORDING TO IEC6180	REQUIRED	CONFIRMED																													
CONTROL MODE	IGBT	CONFIRMED																													
DRIVE COMPATIBILITY TECHNOLOGY	PCP - ESP - ESPOC	CONFIRMED																													
LAST GENERATION OF IGBT	REQUIRED	CONFIRMED																													
THE VSD SHALL BE 100% CAPABLE OF REGENERATIVE POWER FEED BACK WITHOUT NEEDING FOR AN AUTOTRANSFORMER	REQUIRED	CONFIRMED																													
THE VSD SHALL HAVE THE APPROPRIATE AND ADEQUATED FILTER AT THE OUTPUT IN CASE OF INSTALLING ESP'S OR ESPOC'S MOTORS TO AVOID THE RESONANCE PHENOMENON	REQUIRED	CONFIRMED																													
<b>VARIABLE SPEED DRIVE (VSD) TECHNICAL CHARACTERISTICS</b>																															
<b>USER INTERFACE</b>																															
CONTROL PANEL TO ADJUST THE PARAMETERS AND CONTROL ALL THE OPERATIONS AND MUST BE PLUGGED AND UNPLUGGED IN THE DOOR WITH DEGREE OF PROTECTION IP 54	REQUIRED	CONFIRMED																													
<b>CONTROL AND MONITORING</b>																															
ON/OFF	REQUIRED	CONFIRMED			REMOTE	LOCAL																									
EMERGENCY STOP	REQUIRED	CONFIRMED			PLC VIA MODBUS	PANEL																									
LOCAL/REMOTE SELECTOR SWITCH	REQUIRED	CONFIRMED				-																									
FAULT RESET	REQUIRED	CONFIRMED				-																									
ACCELERATION TIME ADJUSTMENT	REQUIRED	CONFIRMED				PANEL																									
SPEED SET POINT	REQUIRED	CONFIRMED				PANEL																									
MINIMUM VOLTAGE FAULT	REQUIRED	CONFIRMED				PANEL																									
MAXIMUM VOLTAGE FAULT	REQUIRED	CONFIRMED				PANEL																									
MAXIMUM CURRENT FAULT	REQUIRED	CONFIRMED				PANEL																									

 <p>ELECTRICAL DATA SHEET FOR LOW VOLTAGE VARIABLE SPEED DRIVE ACTIVE FRONT END OR REGENERATIVE TYPE</p>	<b>REVISIONES</b> REV Fecha PP RP APP Emitido para B0 Abr. 06 O.P. E.T. A.A. COMENTARIOS B1 Abr. 06 O.P. E.T. A.A. APROBACION 0 May. 06 O.P. E.T. A.A. CONSTRUCCION					NUMERO DE DOCUMENTO <b>850C-JB-45-P-DS-004</b>	
						PROJ. No. PR-26021	REQ. No.
						P.O. No. TC-XX-YY-ZZ	
APLICACION: <input type="checkbox"/> COMENTARIOS <input type="checkbox"/> APROBACION <input type="checkbox"/> AS-BUILT      CONTRATISTA: Schneider Electric Venezuela, S.A. PROJ. NOMBRE: <u>Modif #650 Extension Cluster JB</u> EQUIPO TAG No.: _____ ZONA: <u>San Diego de Cabrutica, Venezuela</u> SERVICIO: <u>LOW VOLTAGE VARIABLE SPEED DRIVE FOR PCP, ESP or ESPCP</u> MODELO: <u>MD 100T REGEN</u> SERIAL No.: _____							
SPECIFICATION	REQUIREMENTS	VENDOR CONFIRMATION	COMMENTS	Rev			
MOTOR TEMPERATURE FAULT	REQUIRED	CONFIRMED					
EARTH FAULT	REQUIRED	CONFIRMED					
SINGLE PHASING	REQUIRED	CONFIRMED					
CONTROL CIRCUIT FAILURE	REQUIRED	CONFIRMED					
ENCLOSURE OVER TEMPERATURE	REQUIRED	CONFIRMED					
FAN FAULT	REQUIRED	CONFIRMED					
GENERAL FAULT	REQUIRED	CONFIRMED					
VOLTAGE	REQUIRED	CONFIRMED					
MOTOR CURRENT	REQUIRED	CONFIRMED					
MOTOR THERMAL IMAGE	REQUIRED	CONFIRMED					
SPEED FREQUENCY	REQUIRED	CONFIRMED					
MAXIMUM AND MINIMUM SPEED LIMITS	REQUIRED	CONFIRMED					
THE VARIABLE FREQUENCY, VARIABLE VOLTAGE AC CONTROLLER SHALL BE VECTORIAL TYPE LATEST TECHNOLOGY	REQUIRED	CONFIRMED					
GUARANTEED EFFICIENCIES							
EFFICIENCY OF POWER CONVERSION	REQUIRED %	> 94.5%					
EFFICIENCY OF VSD	REQUIRED %	> 0.95					
LIFE CYCLE COST EVALUATION	REQUIRED	CONFIRMED					
COST ENERGY LOSSES (FOR LIFE CYCLE COST EVALUATION)	REQUIRED US\$/kWh	CONFIRMED					
<b>MAIN APPLICABLE STANDARDS:</b>							
IEEE-519-1992	REQUIRED	CONFIRMED					
IEC 61000-3-2	REQUIRED	CONFIRMED					
IEC-60146	REQUIRED	CONFIRMED					
IEC 61000-3-4	REQUIRED	CONFIRMED					
IEC 61800-2 (1998-03)	REQUIRED	CONFIRMED					
IEC 61200-3 (2004-08)	REQUIRED	CONFIRMED					
THE REST OF STANDARDS ACCORDING TO SPEC CA04-04-33-P-SP-033	REQUIRED	CONFIRMED					
<b>SITE CONDITIONS</b>							
ELEVATION	118 m	CONFIRMED					
AMBIENT TEMPERATURE MIN/MAX	18/40 °C	CONFIRMED					
LOCATION (INDOOR/OUTDOOR)	INDOOR	CONFIRMED					
TROPICALIZATION	REQUIRED	CONFIRMED					
SEISMIC ZONE PER IBC-97	ZONE 2A (Z=0.15)	CONFIRMED					
<b>SITE CONDITIONS</b>							
ELEVATION	118 m	CONFIRMED					
AMBIENT TEMPERATURE MIN/MAX	18 / 40 °C	CONFIRMED					
LOCATION (INDOOR/OUTDOOR)	INDOOR	CONFIRMED					
TROPICALIZATION	REQUIRED	CONFIRMED					
SEISMIC ZONE PER IBC-97	ZONE 2A (Z = 0.15)	CONFIRMED					
<b>SYSTEM INTERFACES AND ACCESSORIES</b>							
THE VSD SHALL BE PROVIDED IN A COMPLETE WIRED ENCLOSURE WITH THE CONTROL SYSTEM INTERFACE AND SHALL BE SHOWN ON THE CONTRACT DRAWINGS.	REQUIRED	CONFIRMED					
PUSH BUTTONS AND INDICATING LIGHTS SHALL BE AT LEAST OF 22.5 mm DIAMETER AND HEAVY DUTY OIL TIGHT.	REQUIRED	CONFIRMED					
INDICATING LIGHTS SHALL HAVE ENOUGH INTENSITY TO BE CLEARLY VISIBLE WHEN ARE INSTALLED INDOORS.	REQUIRED	CONFIRMED					
CLAMP TYPE TERMINAL BLOCKS SHALL BE PROVIDED FOR ALL FIELDS WIRING COMPLETE WITH MARKING TABS AND WIRE NUMBERS.	REQUIRED	CONFIRMED					
INTERNAL CONTROL WIRING SHALL HAVE RING OR SLEEVE TYPE WIRE LABELS.	REQUIRED	CONFIRMED					
<b>PROCESS CONTROL INTERFACE</b>							
3 ANALOG INPUTS INDIVIDUALLY GALVANIC ISOLATED	4-20 mA	2 ANALOG INPUTS	3 ANALOG INPUTS 4-20mA and 1 ANALOG INPUT 0-10V	1			
2 ANALOG OUTPUT INDIVIDUALLY GALVANIC ISOLATED	4-20 mA	CONFIRMED					
6 DIGITAL INPUTS INDIVIDUALLY GALVANIC ISOLATED	24 VDC	5 DIGITAL INPUTS					
3 DIGITAL OUTPUTS RELAYS SWITCH-OVER CONTACT, Max 2A	24 VDC	CONFIRMED					
COMMUNICATIONS LINKS FOR STANDARD MODBUS FACILITY	RS-485 PORT	CONFIRMED					
COMMUNICATIONS LINK FOR COMPUTER	RS-232 PORT	CONFIRMED					
COMMUNICATIONS FIBER OPTIC PORT	REQUIRED	NOT APPLICABLE		1			

 <p><b>SINCOR</b> ELECTRICAL DATA SHEET FOR LOW VOLTAGE VARIABLE SPEED DRIVE ACTIVE FRONT END OR REGENERATIVE TYPE</p>	<p style="text-align: center;"><b>REVISIONES</b></p> <table border="1"> <tr> <th>REV</th> <th>Fecha</th> <th>PP</th> <th>RP</th> <th>APP</th> <th>Emittedo para</th> </tr> <tr> <td>B0</td> <td>Abr. 06</td> <td>O.P.</td> <td>E.T.</td> <td>A.A.</td> <td>COMENTARIOS</td> </tr> <tr> <td>B1</td> <td>Abr. 06</td> <td>O.P.</td> <td>E.T.</td> <td>A.A.</td> <td>APROBACION</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>May. 06</td> <td>O.P.</td> <td>E.T.</td> <td>A.A.</td> <td>CONSTRUCCION</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>					REV	Fecha	PP	RP	APP	Emittedo para	B0	Abr. 06	O.P.	E.T.	A.A.	COMENTARIOS	B1	Abr. 06	O.P.	E.T.	A.A.	APROBACION	0	May. 06	O.P.	E.T.	A.A.	CONSTRUCCION							<p>NUMERO DE DOCUMENTO <b>850C-JB-45-P-DS-004</b></p>	
	REV	Fecha	PP	RP	APP	Emittedo para																															
	B0	Abr. 06	O.P.	E.T.	A.A.	COMENTARIOS																															
	B1	Abr. 06	O.P.	E.T.	A.A.	APROBACION																															
	0	May. 06	O.P.	E.T.	A.A.	CONSTRUCCION																															
<p>APLICACION: <input type="checkbox"/> COMENTARIOS    <input type="checkbox"/> APROBACION    <input type="checkbox"/> AS-BUILT    CONTRATISTA: <u>Schneider Electric Venezuela, S.A.</u></p>					<p>PROJ. No.    REQ. No.</p> <p><b>PR-26021</b></p>																																
<p>PROJ. NOMBRE: <u>Modif #650 Extension Cluster JB</u></p>					<p>EQUIPO TAG No. : _____</p>																																
<p>ZONA: <u>San Diego de Cabrutica, Venezuela</u></p>					<p>SERVICIO: <u>LOW VOLTAGE VARIABLE SPEED DRIVE FOR PCP, ESP or ESPCP</u></p>																																
<p>MODELO: <u>MD 100T REGEN</u>    SERIAL No. : _____</p>					<p>P.O. No.    <b>TC-XX-YY-ZZ</b></p>																																
SPECIFICATION	REQUIREMENTS	VENDOR CONFIRMATION	COMMENTS	Rev																																	
MOTOR TEMPERATURE FAULT	REQUIRED	CONFIRMED																																			
EARTH FAULT	REQUIRED	CONFIRMED																																			
SINGLE PHASING	REQUIRED	CONFIRMED																																			
CONTROL CIRCUIT FAILURE	REQUIRED	CONFIRMED																																			
ENCLOSURE OVER TEMPERATURE	REQUIRED	CONFIRMED																																			
FAN FAULT	REQUIRED	CONFIRMED																																			
GENERAL FAULT	REQUIRED	CONFIRMED																																			
VOLTAGE	REQUIRED	CONFIRMED																																			
MOTOR CURRENT	REQUIRED	CONFIRMED																																			
MOTOR THERMAL IMAGE	REQUIRED	CONFIRMED																																			
SPEED FREQUENCY	REQUIRED	CONFIRMED																																			
MAXIMUM AND MINIMUM SPEED LIMITS	REQUIRED	CONFIRMED																																			
THE VARIABLE FREQUENCY, VARIABLE VOLTAGE AC CONTROLLER SHALL BE VECTORIAL TYPE LATEST TECHNOLOGY	REQUIRED	CONFIRMED																																			
<b>GUARANTEED EFFICIENCIES</b>																																					
EFFICIENCY OF POWER CONVERSION	REQUIRED %	> 94.5%																																			
EFFICIENCY OF VSD	REQUIRED %	> 0.96																																			
LIFE CYCLE COST EVALUATION	REQUIRED	CONFIRMED																																			
COST ENERGY LOSSES (FOR LIFE CYCLE COST EVALUATION)	REQUIRED US\$/kWh	CONFIRMED																																			
<b>MAIN APPLICABLE STANDARDS:</b>																																					
IEEE-418 1992	REQUIRED	CONFIRMED																																			
IEC 61000-3-2	REQUIRED	CONFIRMED																																			
IEC-60148	REQUIRED	CONFIRMED																																			
IEC 61000-3-4	REQUIRED	CONFIRMED																																			
IEC 61000-2-11989-03	REQUIRED	CONFIRMED																																			
IEC 61000-3 (2004-08)	REQUIRED	CONFIRMED																																			
THE REST OF STANDARDS ACCORDING TO SPEC CASH-04-23-P-6P-033	REQUIRED	CONFIRMED																																			
<b>SITE CONDITIONS</b>																																					
ELEVATION	118 m	CONFIRMED																																			
AMBIENT TEMPERATURE MIN/MAX	18/40 °C	CONFIRMED																																			
LOCATION (INDOOR/OUTDOOR)	INDOOR	CONFIRMED																																			
TROPICALIZATION	REQUIRED	CONFIRMED																																			
SEISMIC ZONE PER UBC-97	ZONE 2A (Z=0.15)	CONFIRMED																																			
<b>SITE CONDITIONS</b>																																					
ELEVATION	118 m	CONFIRMED																																			
AMBIENT TEMPERATURE MIN/MAX	18 / 40 °C	CONFIRMED																																			
LOCATION (INDOOR/OUTDOOR)	INDOOR	CONFIRMED																																			
TROPICALIZATION	REQUIRED	CONFIRMED																																			
SEISMIC ZONE PER UBC-97	ZONE 2A (Z = 0.15)	CONFIRMED																																			
<b>SYSTEM INTERFACES AND ACCESSORIES</b>																																					
THE VSD SHALL BE PROVIDED IN A COMPLETE WIRED ENCLOSURE WITH THE CONTROL SYSTEM INTERFACE AND SHALL BE SHOWN ON THE CONTRACT DRAWING.	REQUIRED	CONFIRMED																																			
PUSH BUTTONS AND INDICATING LIGHTS SHALL BE AT LEAST OF 22.5 mm DIAMETER AND HEAVY DUTY OIL TIGHT.	REQUIRED	CONFIRMED																																			
INDICATING LIGHTS SHALL HAVE ENOUGH INTENSITY TO BE CLEARLY VISIBLE WHEN ARE INSTALLED INDOORS.	REQUIRED	CONFIRMED																																			
CLAMP TYPE TERMINAL BLOCKS SHALL BE PROVIDED FOR ALL FIELDS WIRING COMPLETE WITH MARKING TABS AND WIRE NUMBERS.	REQUIRED	CONFIRMED																																			
INTERNAL CONTROL WIRING SHALL HAVE RING OR SLEEVE TYPE WIRE LABELS.	REQUIRED	CONFIRMED																																			
<b>PROCESS CONTROL INTERFACE</b>																																					
3 ANALOG INPUTS INDIVIDUALLY GALVANIC ISOLATED	4-20 mA	2 ANALOG INPUTS	2 ANALOG INPUTS 4-20mA and 1 ANALOG INPUT 0-12V	1																																	
2 ANALOG OUTPUT INDIVIDUALLY GALVANIC ISOLATED	4-20 mA	CONFIRMED																																			
6 DIGITAL INPUTS INDIVIDUALLY GALVANIC ISOLATED	24 VDC	6 DIGITAL INPUTS																																			
3 DIGITAL OUTPUTS RELAYS SWITCHOVER CONTACT, Max 2A	24 VDC	CONFIRMED																																			
COMMUNICATIONS LINKS FOR STANDARD MODBUS FACILITY	RS-485 PORT	CONFIRMED																																			
COMMUNICATIONS LINK FOR COMPUTER	RS-232 PORT	CONFIRMED																																			
COMMUNICATIONS FIBER OPTIC PORT	REQUIRED	NOT APPLICABLE		1																																	

Schneider Electric <b>SINCOR</b> ELECTRICAL DATA SHEET FOR LOW VOLTAGE VARIABLE SPEED DRIVE ACTIVE FRONT END OR REGENERATIVE TYPE		REVISIONES					NUMERO DE DOCUMENTO	
		REV	Fecha	PP	RP	APP	Emitido para	PROJ. No.
B0	Abr. 06	O.P.	E.T.	A.A.	COMENTARIOS		PR-26021	
B1	Abr. 06	O.P.	E.T.	A.A.	APROBACION			
0	May. 06	O.P.	E.T.	A.A.	CONSTRUCCION			
							P.O. No.	TC-XX-YY-ZZ

APLICACION: <input type="checkbox"/> COMENTARIOS <input type="checkbox"/> APROBACION <input type="checkbox"/> AS-BUILT PROJ. NOMBRE: <u>Modif #850 Extension Cluster JB</u> ZONA: <u>San Diego de Cabrutica, Venezuela</u>	CONTRATISTA: <u>Schneider Electric Venezuela, S.A.</u> EQUIPO TAG No. : _____ SERVICIO: <u>LOW VOLTAGE VARIABLE SPEED DRIVE FOR PCP, ESP or ESPCP</u> MODELO: <u>MD 100T REGEN</u> SERIAL No. : _____
--	--

SPECIFICATION	REQUIREMENTS	VENDOR CONFIRMATION	COMMENTS	Rev
<b>SOFTWARE</b>				
THE SOFTWARE SHOULD BE OPEN IN SUCH WAY THAT SINCOR SHALL BE ABLE TO MODIFY THE LOGIC APPLICATIONS AND FUNCTIONS WHENEVER IS REQUIRED.		CONFIRMED		
SINCOR SHOULD BE ABLE TO UPLOAD OR DOWNLOAD THE WHOLE SOFTWARE APPLICATION WITHOUT NEEDING OF SPECIALIST SUPPLIER		CONFIRMED		
IN CASE OF BEING NECESSARY ANY SPECIAL TOOL, IT SHOULD BE SUPPLIED WITH THE VSD.		NO SPECIAL TOOL REQUIRED		
THE MANUFACTURER SHOULD PROVIDE A COMPLETE FUNCTIONAL DESCRIPTION OF THIS SOFTWARE		CONFIRMED		
THE MANUFACTURER SHALL FURNISH CONTROL FUNCTIONS FOR THE PUMPS PCP, ESP, ESPCP OR MPF, AS INDICATED IN SPECIFICATION M833-04-334-SP-033		CONFIRMED		
<b>ENCLOSURE</b>				
PROTECTION DEGREE	IP 23	IP 21 FOR VSD IN OURS CABINET		1
ACCESS	FRONT	FRONT		
CABLE ENTRY				
INPUT POWER FROM ELECTRIC NETWORK (L1,L2,L3) AND CONTROL CABLES	TOP	TOP		
CABLE ENTRY FOR POWER OF THE MOTOR	BOTTOM	BOTTOM		
AMBIENT TEMPERATURE	0°C to 50°C	0°C to 40°C		1
STORAGE TEMPERATURE	minus 5°C to 70°C			
HUMIDITY	95% non -condensing			
MODULES AND PANELS SHALL BE PROTECTED FROM CONDENSATION	REQUIRED	CONFIRMED		
SARCE HEATER	REQUIRED	CONFIRMED		
SCREW FASTENERS	REQUIRED	CONFIRMED		
LIFTING RINGS	REQUIRED	CONFIRMED		
IDENTIFYING PLATE (NOT ADHESIVE BONDING)	REQUIRED	CONFIRMED		
<b>POWER AND EARTHING BUSES</b>	REQUIRED	CONFIRMED		
<b>VARIABLE SPEED DRIVE (VSD) TEST</b>				
SELF-STARTING	REQUIRED	CONFIRMED		
INSULATION TEST	REQUIRED	CONFIRMED		
FUNCTIONAL TEST	REQUIRED	CONFIRMED		
RATED CURRENT TEST	REQUIRED	CONFIRMED		
POWER LOSS DETERMINATION	REQUIRED	CONFIRMED		
TEMPERATURE RISE TEST	REQUIRED	CONFIRMED		
POWER FACTOR	REQUIRED	CONFIRMED		
CHECKING AUXILIARY DEVICES	REQUIRED	CONFIRMED		
MEASUREMENTS IN INHERENT VOLTAGE REGULATION	REQUIRED	CONFIRMED		
CHECKING CONTROL EQUIPMENT	REQUIRED	CONFIRMED		
CHECKING PROTECTIVE DEVICES	REQUIRED	CONFIRMED		
OVER-CURRENT TEST	REQUIRED	CONFIRMED		
AUDIBLE NOISE TEST	REQUIRED	CONFIRMED		
ALL PRINTED CIRCUIT BOARD SHALL BE FUNCTIONALLY TESTED VIA AUTOMATIC TEST	REQUIRED	CONFIRMED		
EACH VSD SHALL BE PUT THROUGH A MOTOR LOAD TEST BEFORE INSPECTION AND SHIPPING.	REQUIRED	CONFIRMED		
EACH VSD SHALL BE TESTED ACCORDING TO IEEE 519 1992 EITHER FOR THDI AND THDv	REQUIRED	CONFIRMED		
TIGHT LOAD TEST	REQUIRED	CONFIRMED		
FULL LOAD DUTY TEST	REQUIRED	CONFIRMED		
ALLOWABLE FULL LOAD CURRENT VERSUS SPEED TEST	REQUIRED	CONFIRMED		
EFFICIENCY	REQUIRED	CONFIRMED		
LINE-SIDE CURRENT DISTORTION CONTENT	REQUIRED	CONFIRMED		
CHECKING COORDINATION PROTECTIVE DEVICES	REQUIRED	CONFIRMED		
CHECKING PROPERTIES UNDER UNUSUAL SERVICE CONDITIONS	NOT APPLICABLE			
SHAFT CURRENT/BEARING INCLUTION	REQUIRED	CONFIRMED		
TORQUE PULSATION	REQUIRED	CONFIRMED		
MOTOR VIBRATION	REQUIRED	CONFIRMED		
EMC TESTS	REQUIRED	CONFIRMED		
DYNAMIC PERFORMANCE	REQUIRED	CONFIRMED		
CURRENT LIMIT CURRENT LOOP TEST	REQUIRED	CONFIRMED		
SPEED LOOP TEST	REQUIRED	CONFIRMED		
AUTOMATIC RESTART/TIRE-ACCELERATION	REQUIRED	CONFIRMED		
ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC)	REQUIRED	CONFIRMED		

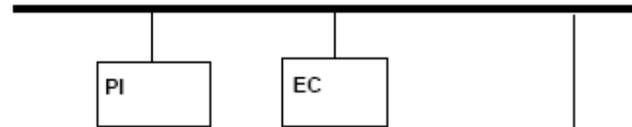
 <p><b>Schneider Electric</b> <b>SINCOR</b> ELECTRICAL DATA SHEET FOR LOW VOLTAGE VARIABLE SPEED DRIVE ACTIVE FRONT END OR REGENERATIVE TYPE</p>	<b>REVISIONES</b> REV   Fecha   PP   RP   APP   Emitido para B0   Abr. 06   O.P.   E.T.   A.A.   COMENTARIOS B1   Abr. 06   O.P.   E.T.   A.A.   APROBACION 0   May. 06   O.P.   E.T.   A.A.   CONSTRUCCION					NUMERO DE DOCUMENTO <b>850C-JB-45-P-DS-004</b>	
						PROJ. No. <b>PR-26021</b>	REQ. No.
						P.O. No. <b>TC-XX-YY-ZZ</b>	
APLICACION: <input type="checkbox"/> COMENTARIOS <input type="checkbox"/> APROBACION <input type="checkbox"/> AS-BUILT			CONTRATISTA: <u>Schneider Electric Venezuela, S.A.</u>				
PROJ. NOMBRE: <u>Modf #850 Extension Cluster JB</u>			EQUIPO TAG No.: _____				
ZONA: <u>San Diego de Cabrutica, Venezuela</u>			SERVICIO: <u>LOW VOLTAGE VARIABLE SPEED DRIVE FOR PCP, ESP or ESPCP</u>				
			MODELO: <u>MD 100T REGEN</u> SERIAL No.: _____				
<b>SPECIFICATION</b>		<b>REQUIREMENTS</b>		<b>VENDOR CONFIRMATION</b>		<b>COMMENTS</b>	<b>Rev</b>
ACCEPTANCE TEST		REQUIRED		CONFIRMED			
COMMISSIONING TEST		REQUIRED		CONFIRMED			
<b>OTHER INFORMATION:</b>							
FINISHPAINTING (MANUFACTURER SPEC/OTHER)		MFR STANDARD		CONFIRMED			
WARRANTY PERIOD		TWO (2) YEARS		CONFIRMED			
WARRANTY EXTENSION INFORMATION		REQUIRED		CONFIRMED			
MANUFACTURER RECOMMENDED SPARE PARTS		REQUIRED		CONFIRMED			
FIELD ERECTION, COMMISSIONING AND START-UP SUPERVISION		REQUIRED		CONFIRMED			
SPECIAL TOOLS REQUIREMENTS		REQUIRED		NO SPECIAL TOOL REQUIRED			
FACTORY LOCATIONS		REQUIRED		CONFIRMED			
SHIPPING SCHEDULE AND STRATEGY		REQUIRED		CONFIRMED			
THEORETICAL AND PRACTICAL TRAINING		REQUIRED		CONFIRMED			
<b>MAIN DOCUMENTATIONS</b>							
LOW VOLTAGE VARIABLE SPEED DRIVE SPECIFICATION		CA04-04-33-P-SP-033		CONFIRMED			
LOW VOLTAGE & MEDIUM VOLTAGE MOTORS SPECIFICATION		CA04-04-33-P-SP-018		CONFIRMED			
ELECTRICAL DATA SHEET FOR ELECTRIC MOTOR PROGRESSIVE CAVITY PUMPS		850C-01-33-P-DS-051		CONFIRMED			
480V ONE LINE DIAGRAM Cluster JB		850C-VB-33-P-DR-022		CONFIRMED			
480V ONE LINE DIAGRAM CLUSTER VB		850C-VB-33-P-DR-010		CONFIRMED			
<b>HARMONIC ANALYSIS</b>							
THE SELLER HAVING UNIT RESPONSABILITY, SHALL PROVIDE ALL NECESSARY STUDIES THAT WARRANTIES AND VERIFIES THE VSD'S SHALL COMPLY ALL REQUIREMENTS AS OUTLINED IN THE LAST EDITION OF IEEE 519 FOR TOTAL HARMONIC DISTORSION VOLTAGE AND CURRENT.		REQUIRED		CONFIRMED			
THE MAGNITUDE OF HARMONICS REFLECTED OR IMPRESSED ONTO THE DIRECT CONNECTED AT INCOMING LINE SHALL NOT ADVERSELY AFFECT THE EXISTING OR THE FUTURE ELECTRICAL SYSTEM							
<b>SPARE PARTS</b>							
ONE CONTROL BOARD FOR THE RECTIFIER SECTION		REQUIRED		SEE SPARE PART LIST			
ONE CONTROL BOARD FOR THE INVERTER SECTION		REQUIRED		SEE SPARE PART LIST			
ONE DIGITAL INPUT BOARD		REQUIRED		SEE SPARE PART LIST			
ONE DIGITAL OUTPUT BOARD		REQUIRED		SEE SPARE PART LIST			
ONE ANALOG INPUT BOARD		REQUIRED		SEE SPARE PART LIST			
ONE ANALOG OUTPUT BOARD		REQUIRED		SEE SPARE PART LIST			
THE MANUFACTURER SHALL RECOMMEND TO SINCOR ANY OTHER DEVICE OR PART ACCORDING THE EXPERIENCES IN OTHER SIMILAR INSTALLATIONS.		REQUIRED		SEE SPARE PART LIST			
THE MANUFACTURER SHALL SUPPLY THE SPARE PARTS FOR STARTUP OF EACH VSD.		REQUIRED		SEE SPARE PART LIST			
THE MANUFACTURER SHALL INCLUDE THE SPARE PARTS LIST RECOMMENDED FOR TWO (2) YEARS OPERATION		REQUIRED		SEE SPARE PART LIST			
<b>CERTIFICATES</b>							
THE MANUFACTURER SHOULD PROVIDE AS MINIMUM THE FOLLOWING CERTIFICATES:							
FACTORY ACCEPTANCE TEST (FAT)		REQUIRED		CONFIRMED			
ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) ACCORDING TO IEC 61200-3 (2004-08)		REQUIRED		NOT APPLICABLE			
CERTIFICATE OF ADEQUACY		REQUIRED		CONFIRMED			
<b>ENGINEERING NOTES:</b>							
1. THE LOW VOLTAGE VARIABLE SPEED DRIVER SHALL BE RATED FOR CONTINUOUS OPERATION AND COMPLY WITH SINCOR SPECIFICATION # M833-04-33-P-SP-033.							
2. THE VSD'S WILL BE INSTALLED IN POWERHOUSES HOWEVER, IF MECHANICAL COOLING FAILS, EQUIPMENT SHOULD WITHSTAND WITHOUT DAMAGE AND DEGRADING A TEMPERATURE OF 40°C AND 93% RELATIVE HUMIDITY DURING FOUR CONTINUOUS DAYS.							
3. THE VSD MANUFACTURER SHOULD HAVE COMMUNICATIONS WITH THE MOTOR MANUFACTURER IN ORDER TO REACH THE BEST DESIGN VSD - MOTOR AND SHALL KEEP INFORMED TO SINCOR IN A FORMAL WAY.							
4. SPARE HEATERS OF THE ELECTRICAL MOTOR SHALL BE CONNECTED TO INDEPENDENT ELECTRICAL CONNECTION OUT OF PRINCIPAL ELECTRICAL FEEDER OF VSD							
5. THE SELLER MUST INCLUDE IN HIS PROPOSAL THE TRAINING COURSE FOR SINCOR OPERATIONAL AND MAINTENANCE PERSONAL.							
6. THE SELLER MUST INCLUDE THE LIST OF THE SPARE PARTS RECOMMENDED FOR TWO YEARS OF OPERATIONS							
7. THE FILTER LCL WILL HAVE AN ADJUSTMENT IN ITS COMPONENTS SO THAT OPERATE TO AN UPPER FREQUENCY TO THAT OF THE EXISTING ACTIVE FILTER							

## ANEXO F ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE CONTROL

# Arquitectura del Sistema de Control

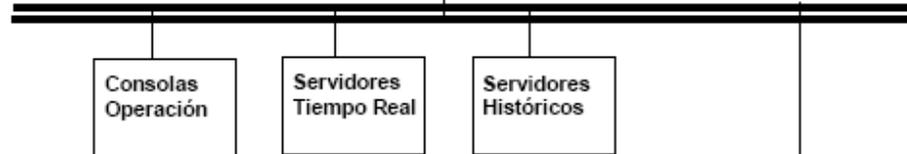
### Red Administrativa

- PI: Herramienta de análisis y soporte.
- EC: Herramienta de Balance producción



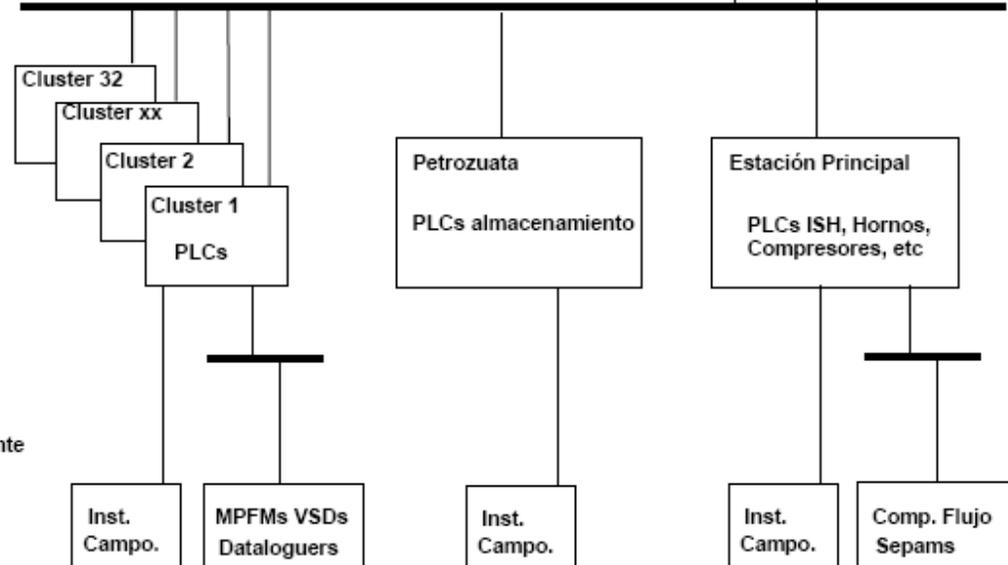
### Red Monitoreo y Supervisión

- Ubicada en sala de Control Estación principal
- Compuesta por SCADA OASys



### Red de Control basado en Plataforma PLCs:

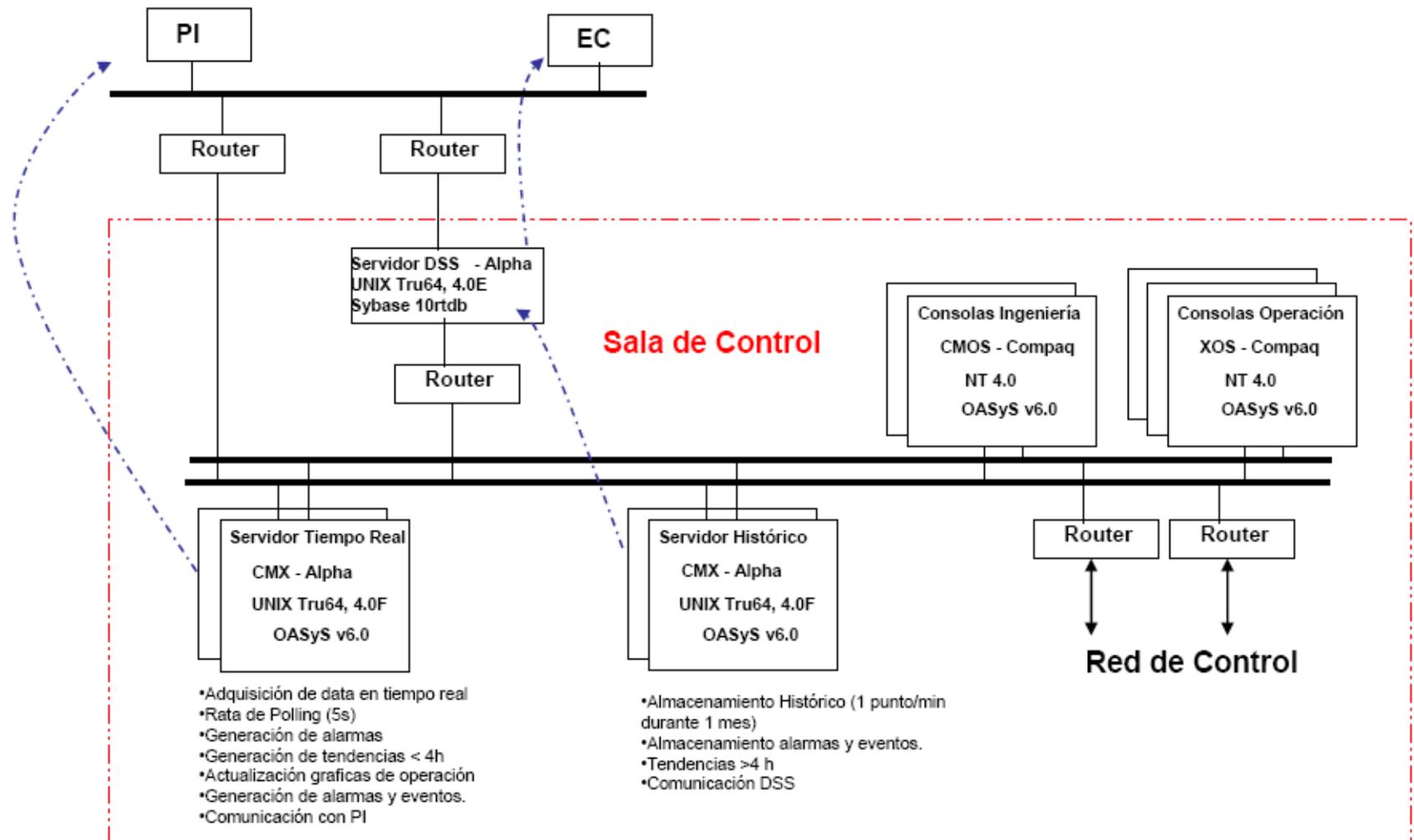
- Sistema de Control de Procesos (PCCS).
- Sistema de Parada de Emergencia (ESD).
- Sistema de Fuego & Gas (F&G).
- Red de fibra Optica.
- Protocolo de comunicación Gnet-TCP/IP-Ethernet



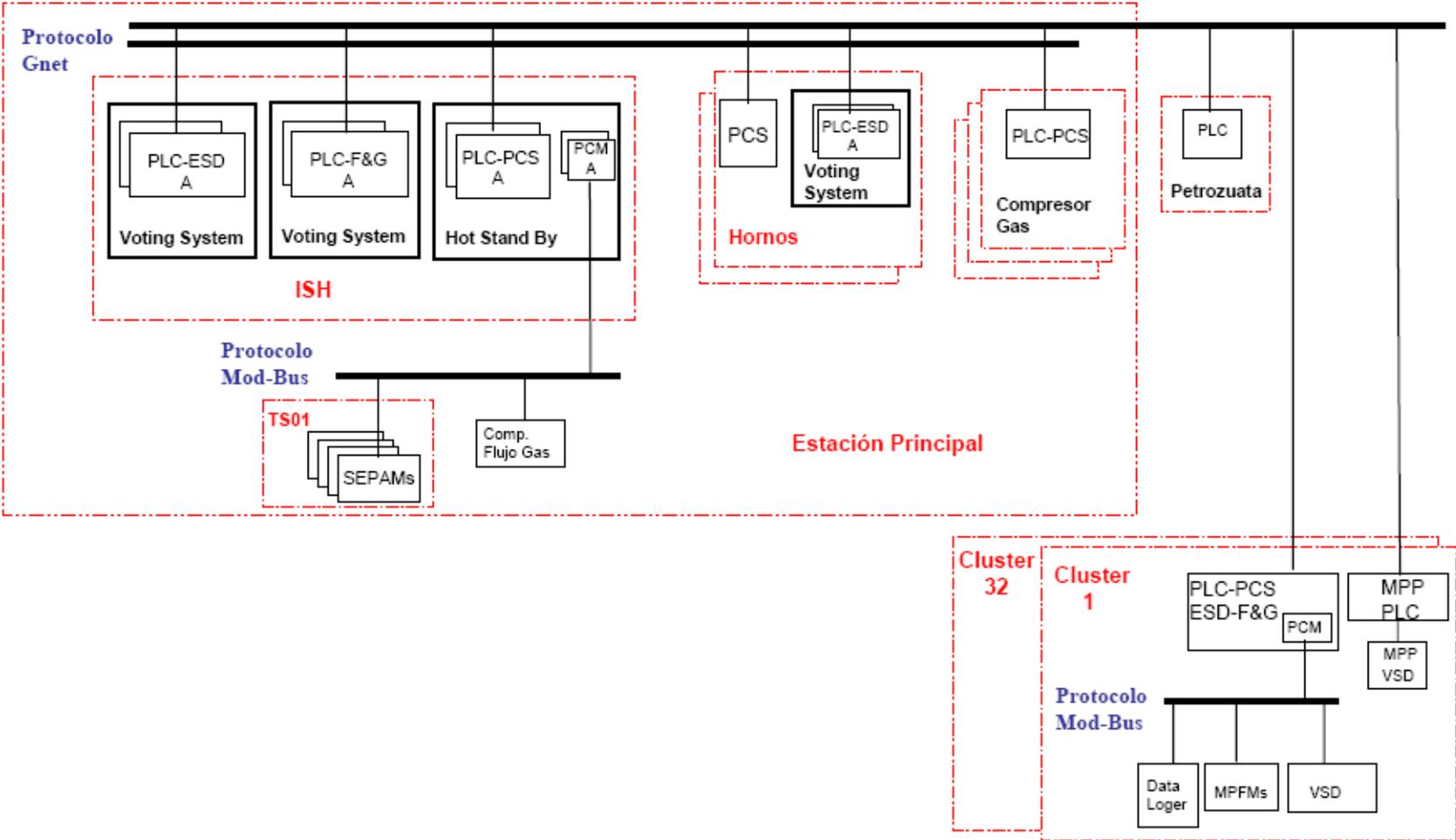
### Red de Campo:

- Instrumentacion (4-20 ma).
- Red ModBus. Para conectar instrumentos de campo inteligente

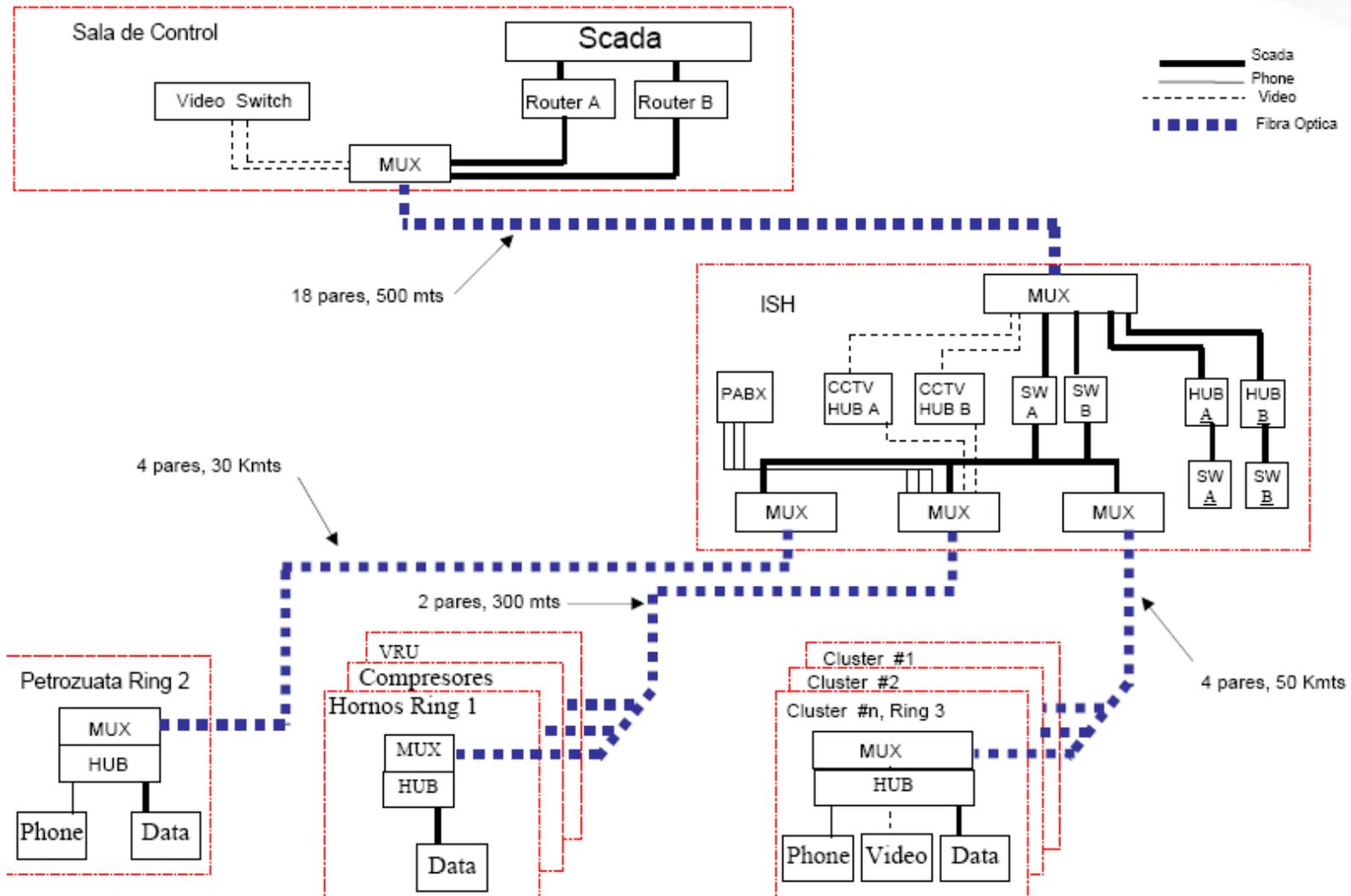
# Red Administrativa + Supervisión SCADA



# Red de Control + red de campo



# Telecom



**ANEXO G FOTOS DESGASTE DE LA MPP DEL CLUSTER ID**



**F1: Presencia de arena**



**F1: Desgaste de tornillo y carcasa**

## ANEXO H: APLICACIÓN WEB PARA MONITOREO DE MPP

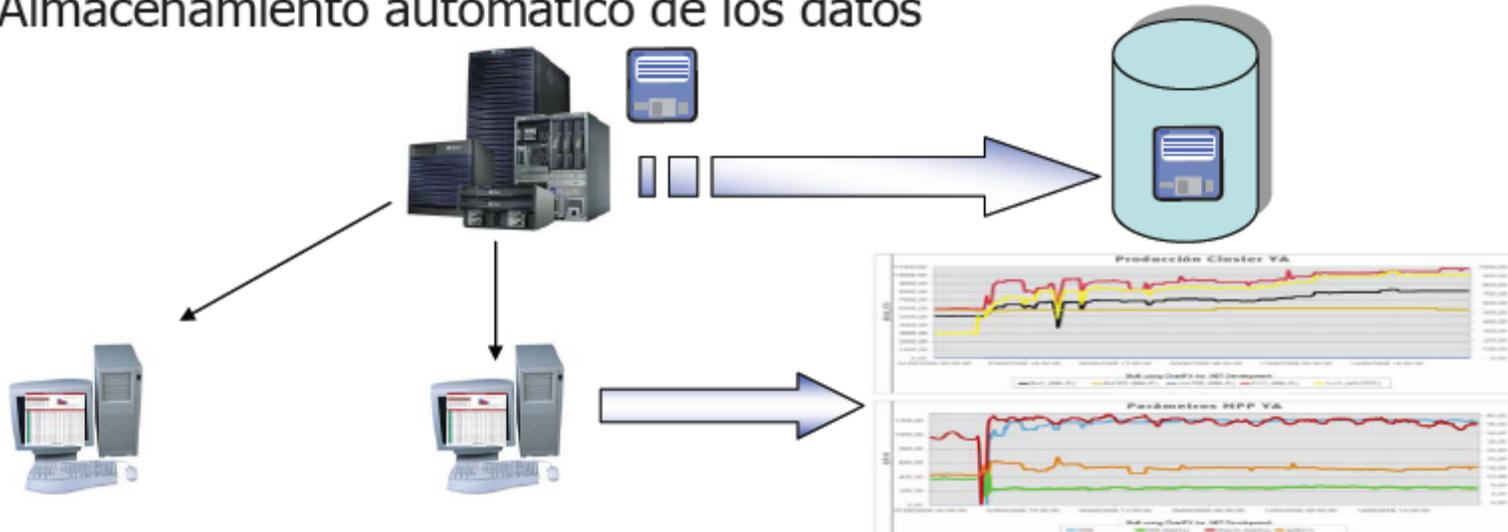
### Aplicación WEB

- Tiempos de Respuesta



Disminución de hasta un 90%

- Almacenamiento automático de los datos



# Web: Simulación Campo

# SINCOR

Mesoc-Reporte Comportamiento Real de Campo - Microsoft Internet Explorer

File Edit View Favorites Tools Help

Address http://jho-42@pnet.net.ar/SINCOR/Source/Sincor/Mesoc/ReporteComportamientoReal/Reporte.aspx



Jueves, 17 de Agosto de 2006 Bienvenida Nicolás Santibáñez [Cerrar Sesión](#)

**Comportamiento Real**

Configuración Administrar Usuarios Comportamiento Real Simulación Optimización Reportes Historias

REPORTE COMPORTAMIENTO REAL DE CAMPO  
DESDE: 17/08/2006 01:45:00 P.M. - HASTA: 17/08/2006 01:49:00 P.M.

### Sumario de Troncales

TEL	END (BBL/D)	AGUA (BBL/D)	GAS (MSCFPD)	DCO (BBL/D)	LIQ (BBL/D)	BSWS (%)	STATUS POZOS	STATUS CLUSTERS
11	22.266	22.627	4.031	29.552	82.566	43,7	599962	707
12	24.795	33.082	4.499	33.196	89.277	49,9	494949	899
2	14.122	14.402	2.420	16.806	33.207	43,4	232329	333
3	49.215	19.999	18.628	67.415	87.066	22,8	649399	899
4	83.101	9.893	11.586	109.399	116.299	5,4	899397	899
<b>TOT.</b>	<b>194.416</b>	<b>99.688</b>	<b>33.137</b>	<b>297.732</b>	<b>387.491</b>	<b>33,9</b>	<b>294062322</b>	<b>329232</b>

**% Corte de Agua en TEL's**



Bar chart showing water cut percentages for TELs 11, 12, 2, 3, and 4. Values: 11: 43.06, 12: 49.91, 2: 43.37, 3: 22.80, 4: 5.27.

### Sumario de Clusters

TEL	CLUSTER	POZOS	API (O/W)	MODELO	RPM	END (BAR)	DESDE (BAR)	END (BBL/D)	DESDE (BBL/D)	END (BBL/D)	DESDE (BBL/D)	END (BBL/D)	AGUA (BBL/D)	GAS (MSCFPD)	DCO (BBL/D)	LIQ (BBL/D)	GORS (%)	BSWS (%)	GORS AC	BSWS AC
11	11	696	20.5	IP-SMALL	1.200	20	35	1.893	2.211	2.211	0.315	363	275	3.462	3.855	79	10,30	79	10,2	
11	12	697	21.3	IP-SMALL	1.101	18	40	3.363	3.165	3.165	0.198	83	367	5.525	5.576	86	0,86	71	4,7	
11	2	111	11.2	IP-SMALL	1.208	11	40	3.339	8.453	8.453	0.896	599	1.525	11.314	11.913	135	5,03	107	4,9	
11	3	912	17.2	IP-SMALL	1.201	20	39	1.965	3.391	3.391	0.1435	605	314	2.712	3.317	116	16,34	108	5,7	
11	4	697	8,3	IP-SMALL	1.097	24	35	3.539	3.276	3.276	0.737	7.252	428	2.541	9.793	165	74,06	114	25,8	
11	11	779	16,0	IP-MEDIAN	1.104	16	34	1.396	1.744	1.744	0.346	8.339	758	1.370	9.708	548	85,89	136	39,0	
11	12	1010	13,7	IP-SMALL	1.201	18	33	3.491	2.822	2.822	0.331	5.386	379	3.069	8.394	126	84,16	135	43,1	
12	11	810	27,4	IP-MEDIAN	1.188	15	40	4.108	4.504	4.504	0.396	3.021	874	8.226	12.247	95	24,67	95	24,7	
12	12	111	14,2	IP-MEDIAN	1.082	6	35	8.126	7.487	7.487	0.439	2.259	1.495	9.967	12.246	150	16,45	123	21,6	
12	2	698	16,0	IP-MEDIAN	1.097	6	37	3.462	4.685	4.685	0.1223	9.957	458	3.433	13.390	133	74,36	125	40,2	
12	3	1010	12,7	IP-SMALL	1.097	23	39	4.725	6.361	6.361	0.1538	10.996	758	5.502	16.498	136	86,65	127	48,2	
12	4	699	12,5	IP-SMALL	1.076	14	22	4.364	3.357	3.357	0.1087	6.848	915	5.046	11.896	181	57,57	135	49,9	
2	11	921	18,5	Dormeman	1.781	8	20	8.889	6.916	7.242	324353	62	1.033	10.017	10.079	103	0,62	103	0,6	
2	12	698	16,1	IP-SMALL	1.103	11	14	3.254	3.946	3.946	0.692	2.394	708	4.299	6.894	164	35,77	122	14,6	
2	3	696	11,8	No NPP	0	12	12	3.979	4.069	4.069	0.66	11.946	88	4.489	16.435	152	72,69	129	43,4	
3	11	921	17,1	IP-SMALL	1.108	8	30	8.160	6.976	6.976	0.915	468	1.188	8.483	8.951	140	5,23	140	5,2	
3	12	699	13,5	IP-SMALL	1.098	7	27	7.769	6.823	6.823	0.946	2.504	2.110	8.296	11.800	227	21,22	185	14,3	
3	2	911	16,1	IP-MEDIAN	1.095	15	30	8.664	6.474	6.474	0.910	2.085	1.294	7.476	9.581	173	21,81	182	16,7	
3	3	1091	22,5	Dormeman	1.774	12	21	3.740	4.091	4.091	0.341	1.815	59	8.433	8.246	87	22,01	163	17,8	
3	4	111	18,7	Dormeman	1.783	10	29	8.153	6.096	6.096	0.87	830	1.032	8.030	9.860	114	8,42	152	15,9	
3	11	181	18,1	IP-SMALL	1.775	14	25	10.789	9.734	9.734	0.1095	1.882	2.466	15.878	15.789	178	11,94	159	14,9	
3	12	779	15,8	IP-SMALL	1.101	11	23	3.537	2.604	2.604	0.67	1.929	899	3.311	5.240	211	36,81	161	16,6	
3	2	111	17,8	Dormeman	1.757	8	16	8.723	7.117	7.117	0.394	8.172	1.399	9.506	17.690	136	46,23	159	23,6	
4	11	121	21,2	IP-SMALL	1.193	16	40	5.962	4.300	4.300	0.1862	306	729	9.967	9.892	76	3,29	76	3,3	
4	12	121	16,2	IP-SMALL	1.107	14	39	11.247	11.625	11.625	0.376	240	1.070	14.995	15.145	72	1,88	74	2,3	
4	2	242	14,8	Dormeman	1.801	17	34	29.762	27.860	27.893	0.1869	1.206	3.397	37.174	36.390	88	3,14	83	2,8	
4	3	921	16,4	IP-SMALL	1.187	7	36	8.080	6.891	6.891	0.2233	62	913	10.792	10.894	85	0,87	83	2,5	
4	4	810	16,2	IP-SMALL	1.206	14	35	10.025	9.993	10.023	0.932	213	2.233	14.493	14.707	154	1,45	96	2,3	
4	11	698	17,2	IP-SMALL	1.206	16	32	7.713	10.148	10.862	0.140549	112	1.476	10.690	10.775	138	1,04	100	2,2	
4	12	777	13,1	IP-SMALL	1.206	12	26	4.700	4.180	4.180	0.430	64	857	5.951	5.815	118	1,13	101	2,1	
4	2	777	16,0	IP-SMALL	1.215	19	23	3.670	2.725	2.725	0.185	2.327	812	2.599	4.886	317	47,63	106	4,1	
4	3	448	14,8	No NPP	0	16	16	3.142	2.023	2.023	0.113	5.343	412	2.864	8.007	199	66,73	107	6,4	
						<b>TOT.</b>		<b>194.569</b>	<b>196.914</b>	<b>196.682</b>		<b>6.788</b>	<b>6.399</b>							

Done

Start Inbox - Microsoft Outlook Mesoc-Reporte Campo... Galería de imágenes... Presentaciones PresentacionPfcP... Agenda\_cultural\_vic...

LocalIntranet 01:51 p.m.

