

**ACTUALIZACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN OPERACIONAL Y DE
SEGURIDAD DE LA SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES MARES
DE ECOPETROL (SMA)**

URIEL FERNANDO FERREIRA BALLESTEROS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA**

2004

**ACTUALIZACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN OPERACIONAL Y DE
SEGURIDAD DE LA SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES MARES
DE ECOPETROL (SMA)**

URIEL FERNANDO FERREIRA BALLESTEROS

**Trabajo de grado en la modalidad de Práctica Empresarial como
requisito para obtener el título de Ingeniero de Petróleos**

Tutor UIS

ING. OSCAR VANEGAS

Tutor ECOPETROL

ING. CARLOS EFRAIN ROA DUARTE

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA**

2004

DEDICATORIA

A Dios por darme la oportunidad de estar aquí con todos ustedes.

A mi Mamá Teresa por su esfuerzo sobrehumano y a mi Papá Jorge por su gran sabiduría.

A mis hermanos Camilo y Jorge y hermanas Olga, Nohora y Tatiana por su apoyo, confianza y aprecio.

A mis sobrinos Nana, Pipa, Lili y Pepe por su cariño.

A Marisol que se ha vuelto parte fundamental de mi ser.

A la UIS por todas sus enseñanzas.

A ECOPETROL por permitirme hacer parte de su equipo.

A los Ingenieros Carlos Efraín Roa Duarte y Vladimir rojas y al Supervisor Alfredo Gómez, por su acompañamiento durante la Práctica.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	12
1. PLANTA COMPRESORA DE GAS LISAMA (MANUAL DE OPERACIÓN).....	14
1.1 GENERALIDADES.....	15
1.1.1 Localización.....	15
1.1.2. Reseña histórica.....	15
1.1.3. Facilidades de superficie:.....	19
1.2. PLANTA COMPRESORA LISAMA.....	19
1.2.1. Gasoducto:.....	20
1.3. ENTRADA DE GAS A LA PLANTA.....	24
1.4. ACERCA DE LOS MOTOCOMPRESORES.....	24
1.5. SALIDA DE GAS DE LA PLANTA.....	27
2. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA LA LLANA “CAMPO 23” (MANUAL DE OPERACIÓN).....	28
2.1 SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA “BOCATOMA CAMPO 50”.....	29
2.1.1 Sistema Auxiliar Río La Colorada.....	30
2.2 PLANTA DE TRATAMIENTO.....	30
2.3 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS.....	31
2.4 PROCESO DE CUAGULACIÓN (SULFATO DE ALUMINIO).....	35
2.4.1 Procedimiento para la dosificación.....	37
2.5 PROCESO DE NEUTRALIZACIÓN (ADICIÓN DE CAL).....	42
2.6 AIREACIÓN.....	43
2.7 DECANTACIÓN (DECANTADORES DE LECHO DE FANGO).....	44
2.8 FILTRACIÓN (FILTROS DE CAUDAL CONSTANTE Y COMPENSACIÓN DE ATASCAMIENTO).....	47
2.9 SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL (RTU, DPC, RADIO ENLACE).....	51
2.9.1 Monitores de Potencia.....	52
2.10. SALA DE BOMBAS.....	54
2.10.1 Esterilización.....	56
2.10.2 Cloración.....	57
2.10.3 Recipientes de Cloro.....	59
2.10.4 Manejo del Cloro.....	60

2.10.5 Transporte de Cloro	61
2.10.6 Almacenamiento de Cloro	62
2.10.7 Determinación del Cloro Residual	63
2.10.8 Calidad del agua Potable	63
2.11 Distribución del agua tratada.....	66
2.11.1 Sistema de Agua Potable.....	67
2.11.2 Sistema de Agua Industrial	67
2.11.3 Necesidades Volumétricas de Agua Potable	67
3. PLANTA DE INYECCIÓN # 5 (MANUAL DE OPERACIÓN).....	69
3.1. GENERALIDADES	69
3.1.1 LOCALIZACIÓN	69
3.1.2 RESEÑA HISTÓRICA	70
3.1.3 GEOLOGIA	71
3.1.4 HISTORIA DE PRODUCCION	71
3.2. AGUA DE INYECCION	74
3.2.1 SISTEMA SECUNDARIO.....	77
3.3 Planta de inyección # 5	79
3.3.1 EQUIPOS	80
3.3.2 Turbinas Solar.....	82
3.3.2.1 DESCRIPCIÓN TURBINAS SOLAR	82
3.3.2.2 PRINCIPIOS DE OPERACIÓN	83
3.3.2.3. Caja de Accesorios	85
3.3.2.4. SECUENCIA DE ARRANQUE	86
3.3.2.5. SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE	87
3.3.2.6. SISTEMA DE LUBRICACIÓN	91
3.3.3 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS BOMBAS FRANK WHEATHEY DE LA PLANTA DE INYECCIÓN #2	95
3.3.3.1 INSTRUCCIONES PARA PONER EN MARCHA ÉSTAS BOMBAS	95
3.3.3.2 INSTRUCCIONES PARA SACAR DE SERVICIO LAS BOMBAS FRANK WHEATHLEY	96
3.3.3.3 ANOMALÍAS QUE PUEDEN PRESENTARSE EN LA OPERACIÓN DE LAS BOMBAS F.W.I. Y SUS POSIBLES SOLUCIONES	96

3.3.4 INSTRUCCIONES DE INSTALACIÓN DEL AMORTIGUADOR O ESTABILIZADOR DE FLUJO EN LA DESCARGA DE LAS BOMBAS	98
3.3.4.1 INSTRUCCIONES PARA CARGAR EL NITRÓGENO EN EL ESTABILIZADOR DE FLUJO	98
3.3.5 VÁLVULAS DE COMPUERTA Y DE AGUJA INSTALADAS EN EL ANILLO DE INYECCIÓN.....	100
3.3.6 Tubería	100
3.4 Condiciones de Operación	101
4. ANÁLISIS DE TRABAJO SEGURO (ATS) Y PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO (PON)	104
BIBLIOGRAFÍA	107

Listado especial

Figura 1. Historia de producción del Campo Lisama.....	18
Figura 2. Esquema Planta compresora Lisama	21
Figura 3. Sistema de tubería de Lisama.....	22
Figura 4. Adición de sulfato de Aluminio	40
Figura 5. Facilidades de aire para agitación las cubas de Sulfato de Aluminio	41
Figura 6. Adición de cal.....	43
Figura 7. Corte del decantador (Cámara de vacío y tranquilizadores).....	46
Figura 8. Corte del Decantador	47
Figura 9. Esquema de un Filtro en periodo de Filtración.....	50
Figura 10. Esquema de un Filtro en periodo de lavado.....	51
Figura 11. Sistema de monitoreo	53
Figura 12. Tanques de Almacenamiento de Agua Potable e Industrial	56
Figura 13. Clorinador o Clorador	57
Figura 14. Cilindro de Tonelada	60
Figura 15. Transporte del cilindro por medio de grúa.....	61
Figura 16. Almacenamiento de los Cilindros de Tonelada	62
Figura 17. Sistema de Distribución de Agua Industrial y Potable.....	66
Figura 18. Historia de Producción	73
Figura 19. Recuperación Primaria.....	76
Figura 20. Recuperación secundaria	77
Figura 21. Esquema de los componentes de la Turbina	82
Figura 22. Esquema de operación de la turbina.....	83
Figura 23. Esquema general del sistema de gas combustible	87
Figura 24. Inicio del suministro de gas combustible.....	88
Figura 25. Inicio de la Combustión	89
Figura 26. Funcionamiento de los reguladores 2 y 3	90
Figura 27. Sistema cerrado de lubricación	93
Figura 28. Sistema de Lubricación	94
Tabla 1. Características y propiedades de yacimiento a condiciones iniciales	16
Tabla 2. Propiedades de los fluidos	17

Tabla 3. Propiedades del gas rico de Lisama y el gas seco de El Centro	23
Tabla 4. Cálculo de producción de refinados blancos a partir del combustible usado en Lisama	26
Tabla 5. Bombas Milton Roy	34
Tabla 6. Especificaciones del Sulfato de Aluminio en terrones y granulado	35
Tabla 7. propiedades fisicoquímicas del sulfato de aluminio	36
Tabla 8. motobombas Sulzer.....	39
Tabla 9. Compresor marca Gardner Denver	39
Tabla 10. Especificaciones de las motobom	55
Tabla 11. Valores deseable y admisible del agua Potable	64
Tabla 12. Calidad Química para el Agua.....	65
Tabla 13. Consumo de Agua Potable	68
Tabla 14. Generalidades	72
Tabla 15. ANALISIS FISICO-QUIMICO AGUAS DE IN	75
Tabla 16. Tanque Cerro Borrero	79
Tabla 17. Características conjunto Turbo-Bomba	80
Tabla 18. Especificaciones técnicas Bomba Interco	81
Tabla 19. Equipo Planta de Inyección #2	81
Tabla 20. Posibles anomalías y soluciones.....	96
Tabla 21. Presiones recomendadas.....	99
Tabla 22. Condiciones de Operación	101

TITULO: ACTUALIZACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN OPERACIONAL Y DE SEGURIDAD DE LA SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES MARES DE ECOPELROL (SMA).*

AUTOR: URIEL FERNANDO FERREIRA BALLESTEROS.**

PALABRAS CLAVES: Operacional, seguridad, plantas, prevención.

DESCRIPCIÓN: La falta de documentos actualizados en una organización, sea cual sea, causa problemas de orden, control y sin duda operacionales. Este trabajo desarrollado en las instalaciones de la Gerencia Centro Oriente de ECOPELROL, se basa en buscar métodos de actualización de documentos tanto operacionales, como de seguridad para el fortalecimiento de la organización SMA y prevención de accidentes en sus instalaciones, además encontrando puntos críticos en las operaciones que comúnmente se realizan.

Aquí se verán los manuales de operación de las Plantas de la Coordinación de Agua y Gas los cuales incluyen las Plantas de Tratamiento de Agua La Llana Campo 23, Planta Compresora de gas Lisama y la Planta de Inyección #5.

En cada manual de cada Planta se muestran los procesos más destacados que se realizan ahí, llevándolos a un lenguaje fácil de entender para los operadores de las Plantas.

Además, se muestran los ATS (Análisis de Trabajo Seguro) y PON (Procedimiento Operativo Normalizado para emergencias operativas) de las Plantas antes nombradas, para apoyo de la organización HSEQ de la Gerencia Centro Oriente y como instrumento de prevención al realizar tareas en las plantas que impliquen algún riesgo para el operario, así como para las instalaciones y la maquinaria.

* Proyecto de grado

**Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Ingeniería de Petróleos. Tutores: Oscar Vanegas (UIS), Carlos Efraín Roa Duarte (ECOPELROL).

TITLE: UPGRADE OF THE OPERATIONAL DOCUMENTATION AND OF SECURITY OF THE SUPERINTENDENCE OF OPERATIONS MARES DE ECOPETROL (SMA). *

AUTHOR: URIEL FERNANDO FERREIRA BALLESTEROS. * *

KEY WORDS: Operational, security, plants, prevention.

DESCRIPCIÓN: The lack of documents upgraded in an organization, be which is, it causes order problems, control and without a doubt operational. This work developed in the facilities of the Gerencia Centro Oriente of ECOPETROL, is based on looking for methods of upgrade of documents so much operational, as of security for the invigoration of the organization SMA and prevention of accidents in its facilities, also finding critical points in the operations that commonly are carried out.

Here they will see each other the manuals of operation of the Plants of the Coordinación de Agua y Gas which include the Plants of Treatment of Water The Flat Field 23, Compresora of gas it Plants Lisama and the Plant of Injection #5.

In each manual of each Plant the most outstanding processes are shown that are carried out there, taking them to a language easy to understand for the operators of the Plants.

Also, the ATS is shown (Analysis of Sure Work) and PON (Normalized Operative Procedure for operative emergencies) of the Plants before noted, for support of the organization HSEQ of the Management Center Guides and like instrument of prevention when carrying out tasks in the plants that imply some risk for the operative, as well as for the facilities and the machinery.

* Grade project

* * Faculty of Physiochemical Engineerings. Engineering of Petroleum. Tutors: Oscar Vanegas (UIS), Carlos Efraín Roa Duarte (ECOPETROL).

INTRODUCCIÓN

El contenido de este libro es producto de la realización de la Práctica Empresarial titulada **“Actualización de la Documentación Operacional y de Seguridad de la Superintendencia de Operaciones Mares de ECOPETROL (SMA)”**.

La Práctica Empresarial se desarrollo específicamente en la dependencia, Coordinación de Tratamiento de Agua y Gas, bajo la supervisión del tutor ECOPETROL designado Ingeniero Carlos Efraín Roa Duarte, jefe de la Coordinación antes mencionada. Esta experiencia tuvo una duración de 6 meses en las cuales se laboró en las instalaciones de ECOPETROL, Gerencia Centro Oriente.

Los objetivos que se plantearon para este proyecto fueron:

- Elaborar ó actualizar, según sea el caso, los manuales de operación de las Plantas de Agua y Gas de la SMA.
- Crear un compendio con todos los ATS (Actitudes o Análisis de Trabajo Seguro) y PON (Procedimientos Operativos Normalizados para emergencias operativas), de tal manera que recoja toda la información suelta y facilite su divulgación y conocimiento por parte de la organización (SMA).
- Con la recolección y procesamiento de la información mencionada en los anteriores renglones, la SMA contará con una memoria documental actualizada de valiosa información operativa y de seguridad.

Además, los alcances se basan en establecer un mecanismo que facilite el conocimiento y capacitación de operarios y personal técnico que trabaja en estas plantas, a través de información concreta y actualizada. Así mismo, prevenir riesgos operativos innecesarios e instruir al personal para ejecutar tareas de riesgo, a través de pasos lógicos y seguros lo cual se logrará con la documentación y divulgación de los ATS. Con base en la revisión de los PON, documentar a la organización con procedimientos que faciliten acciones encaminadas a enfrentar situaciones de riesgo y que minimicen el impacto que pueda ocasionar al personal y a las instalaciones.

Los beneficios para ECOPETROL son muchos entre ellos están, Facilitar la capacitación del personal en actividades operativas y de seguridad, documentar a la organización (SMA) con información revisada y actualizada de la operación de sus instalaciones y ofrecer apoyo a las tareas de seguridad industrial y atención de emergencias en la SMA.

En resumen, a medida de que se siga en los siguientes capítulos se encontrara la recopilación de los Manuales de Operación, ATS y PON de la Planta Compresora Lisama, Planta de Tratamiento de Agua La Llana Campo 23 y Planta de Inyección de Agua # 5.

1. PLANTA COMPRESORA DE GAS LISAMA (MANUAL DE OPERACIÓN)

El gas natural en el comienzo de la industria petrolera se constituyó en un obstáculo, residuo y pérdida en este negocio; simplemente se quemaba. Gracias a la magnitud de algunos campos netamente gasíferos estos empezaron a tomar gran interés para introducirlos a procesos industriales en la generación de potencia y calentamiento. Últimamente también se usa en la industria automovilística y el ámbito doméstico.

En los años setenta con los descubrimientos de campos de gas en la Guajira, Huila y Piedemonte llanero, se empezó a consolidar la puesta en marcha del Plan Nacional de Masificación de Gas, cuyo objetivo es solucionar las necesidades energéticas del país.

A finales de los sesenta con el desarrollo de los campos Lisama, Nutria, Tesoro y Peroles se observó una producción de gas asociado al petróleo crudo la cual era quemada en las teas de las estaciones de recolección. Con la perforación de nuevos pozos se pronosticaba una producción de gas cercana a los 20 MPCED, esto motivo a estudios de los ingenieros para aprovechar este recurso.

Después de los estudios realizados, se dio inicio a lo que es hoy conocido como Estación Compresora de Gas Lisama, el 20 de noviembre de 1979.

La Planta Compresora de Gas Lisama, constituye el 60% de la base de la producción de refinados blancos de la Planta de Gasolina El centro. El resto lo proporciona el Campo Opón. Se calcula que hasta el 2015 habrá suficiente gas producido para mantener en servicio esta Planta.

1.1 GENERALIDADES

1.1.1 Localización: está localizado en la cuenca del valle medio del Magdalena, en la esquina de la antigua concesión De Mares, área aproximada de 17 Km² y está compuesto por cuatro áreas estructurales y estratigráficas que son Área de Lisama, tesoro, Nutria y Peroles.

1.1.2. Reseña histórica: La estructura del campo en 1925 y 1932 fue descrita y asociada a la falla “La Salina” la cual es un elemento disipador de hidrocarburos, y las formaciones Colorado (zona A) y Mugrosa(zona B y C) como productoras.

En 1935 la compañía Tropical Oil Company, TROCO, inicia la explotación del campo bajo la concesión Putana, con la perforación del pozo Lisama 1, a una profundidad de 4,729 pies obteniendo una producción inicial de crudo de 150 BPD.

Luego se perforaron los pozos Lisama 2 y Lisama 3, produciendo 10 BPD y seco respectivamente. Por dificultades los pozos productores fueron abandonados en 1937.

En 1959 Ecopetrol perforo el pozo más profundo del área, Lisama 4, a 15,556 pies el cual salió seco pero se recopiló información importante del yacimiento la cual está en la **tabla 1**.

En 1965 se regreso al anticlinal de Lisama y se perforó el pozo descubridor Lisama 5 ubicado a 600 m al oeste de Lisama 1, el cual resultó el mejor productor del campo con 2.69 millones de barriles acumulados y un recobro final de 3.61 millones.

Entre 1965 y 1967 se perforaron 12 pozos y en 1967 se inició la explotación del campo con una producción inicial de 2,400 BPD de crudo, del gas no se tiene registro ya que en ese tiempo no se contaba con sistema de recolección.

Tabla 1. Características y propiedades de yacimiento a condiciones iniciales.

CARACTERISTICAS	ZONA A	ZONA B	ZONA C
Profundidad (pies)	2804-5655	4400-7200	5700-8700
Área (acres)	66-2593	305-6733	93-2438
Presión Original (Psi)	2400	3200	4000
Temperatura (°F)	140	150	160
Compresibilidad del aceite	14.25E-6	7.60E-6	13.34E-6
Porosidad promedio (%)	20	17	12
Permeabilidad Promedio (md)	400	30	5
Soi (%)	70	60	45
Swi (%)	30	40	55

Para el desarrollo del campo Lisama un punto decisivo fue el paso de Colombia de exportador a importador neto en 1975, en 1977 se inició la perforación del Área peroles, extremo sur del anticlinal de Lisama.

En 1979 se perforó en Tesoro, en la parte central y unida del anticlinal.

En 1982 se perforó el área del pozo Nutria.

Hasta la fecha se han perforado 187 pozos en total, así:

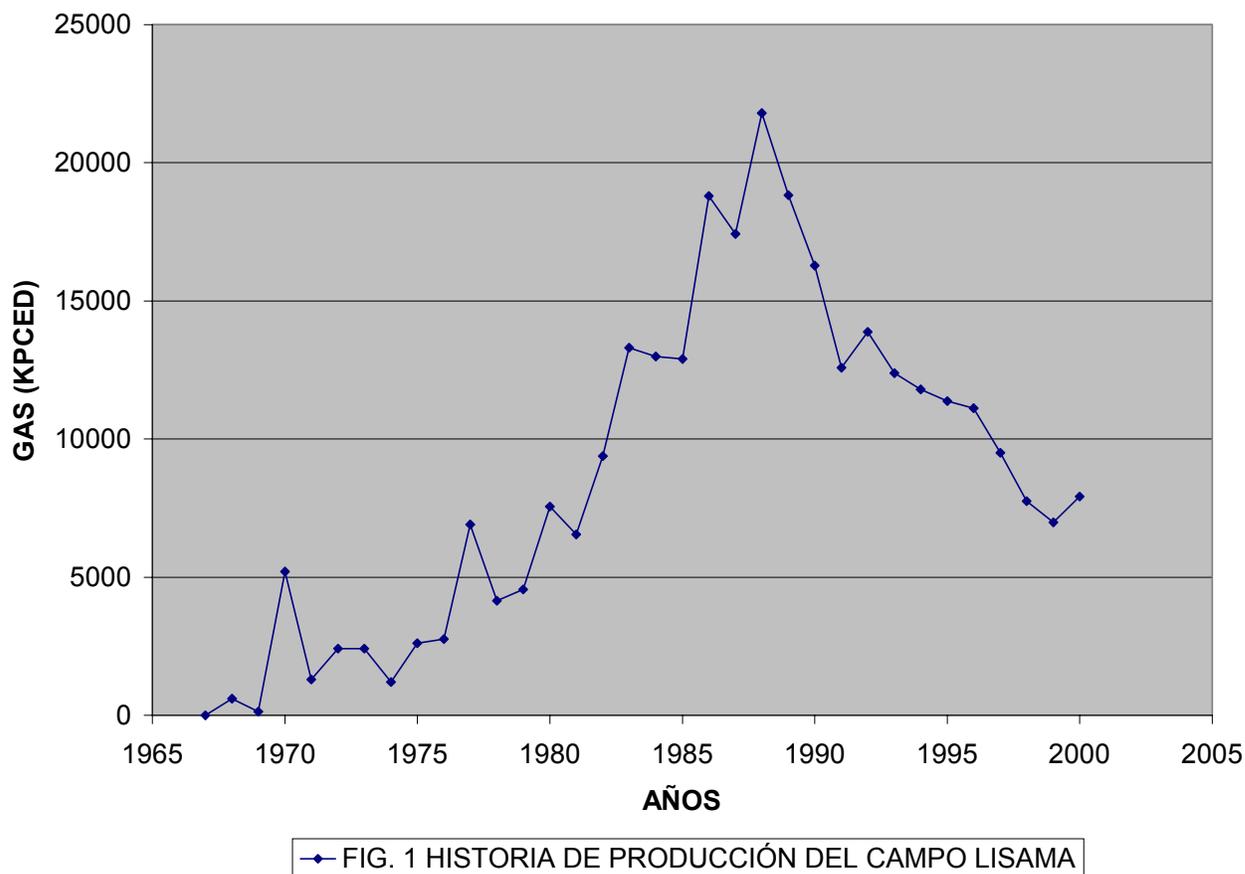
Lisama 136 pozos
 Tesoro 27 pozos
 Nutria 12 pozos
 Peroles 12 pozos

El mecanismo de producción es Gas en solución excepto en el nordeste del campo Lisama en donde se ha encontrado empuje de agua. Las propiedades del fluido se especifican en la siguiente **tabla 2**. La **figura 1** muestra la producción de Gas.

Tabla 2. Propiedades de los fluidos

	ZONA A	ZONA B	ZONA C
Tipo	Parafínico	Parafínico	Parafínico
Gravedad API	30.5	31.3	36.3
Viscosidad (Cp)	3.5	3.5	1.9
FVF	1.220	1.228	1.543
Boi	1.263	1.263	1.555
Bo actual	1.15	1.15	1.125
Bgi	0.00671	0.00671	0.00495
Bga	0.03321	0.03321	0.03488
GOR actual	3500	3500	3500
Pb	1800	2550	3050
Zoil	14.03E-6	14.03E-6	6.67E-6
G	0.6961	0.6961	0.725
Salinidad del agua de formación (ppm Cl⁻)	7800	7800	7800

Figura 1. Historia de producción del Campo Lisama.



1.1.3. Facilidades de superficie: El campo Lisama cuenta con 6 estaciones de crudo y gas que contienen un total de 22 tanque que suman la capacidad de almacenamiento de 90,000 barriles de crudo y una Planta compresora de gas, llamada Planta compresora de Gas Lisama. Existe más o menos unos 300 Km de longitud de líneas de recolección de crudo y 30 Km de tubería para el transporte de gas hasta la Compresora. El gasoducto, que es lo que nos interesa, tiene dos líneas de 6 y 8 pulgadas de diámetro y 50 Km de longitud la tubería que transporta el gas comprimido de Lisama hasta la Planta de Gasolina El Centro.

1.2. PLANTA COMPRESORA LISAMA

Se inauguró el 20 de noviembre de 1979, para enviar 4.6 MPCED de gas comprimido a la Planta de Gasolina El Centro. Inicialmente este gas comprimido se enviaba por una línea de 6 pulgadas (50 Km de longitud), posteriormente en 1981 debido al incremento de la producción y a la alta condensación se instaló un gasoducto paralelo al de 6 pulgadas con el mismo propósito pero de 8 pulgadas. Actualmente se utiliza el gasoducto de 8" para enviar el gas comprimido hacia la Planta de Gasolina El Centro y el gasoducto de 6" para recibir el gas combustible seco para alimentar los motocompresores.

La compresora de Gas Lisama está ubicada en la franja NE del campo Lisama con coordenadas Gauss N 1.277.380 y E 1.057.818, tiene un área aproximada de 60.000m². Recoge el gas de las estaciones Central, Satélite, Sur, Suroccidental, Tesoro y Peroles a través de una red de gasoductos intercomunicados entre sí y lo comprime a 750 Psi para enviarlo a la Planta de Gasolina El Centro, segregarlo y producir productos Blancos y gas seco.

La Planta Compresora cuenta con 6 motocompresores reciprocantes de tres etapas, las cuales están numeradas según la fecha de instalación. La numeración comienza por la compresora número 2, siguiendo con 1 (motocompresor trasladado al campo Provincia en 1992), continua con los números 4 y 3, finalizando con los motocompresores 5, 6 y 7. Las especificaciones de los motocompresores son: marca Superior motor modelo 12G-825, alimentados con gas, y compresor modelo

MW-64. La capacidad nominal instalada de la Planta es 21 MPCED. La Planta cuenta con un tanque cilíndrico horizontal de capacidad 30.000 galones denominado tanque D-01, cuyo propósito es el de almacenar condensados de las etapas de compresión 1 y 2, el cual es subutilizado, porque el condensado de éstas etapas es muy poco. Se cuenta en esta Planta con una tea, bodega de materiales y lubricantes y un cuarto de control de la operación. La **figura 2** muestra un esquema de la Planta actualmente.

La planta Compresora de Gas Lisama comprime un volumen cercano a 9 MPCED, y se producen un promedio de 180 barriles diarios de condensado de la etapa 3 de compresión, el cual es enviado a la Planta de Gasolina El Centro por una tubería de 8 pulgadas.

Los pozos cuya producción totalmente es gas son: Lisama 72, Lisama 73, Lisama 84, Lisama 84 y Lisama 85, los cuales llegan a producciones promedio de 800 KPCED, 463 KPCED, 715 KPCED y 260 KPCED, respectivamente.

1.2.1. Gasoducto: El sistema de tuberías de Lisama es de diferentes diámetros y con una longitud aproximada de 130 Km que atraviesa el campo de sentido de flujo sur a norte para el sistema de recolección de gas, y de norte a sur el gasoducto que entrega el gas comprimido a alta presión, **ver figura 3**.

Antes se enviaba por las dos tuberías (de 6" y 8") el gas rico comprimido y se utilizaba de este mismo gas para alimentar a las 3 compresoras, ahora debido a un estudio realizado para aprovechar este gas rico mal utilizado en el alimento para las compresoras, se envía el Gas comprimido a más o menos 750 Psi por la línea de 8" y se recibe gas seco de la Planta de Gasolina El Centro por el gasoducto de 6".

Con este cambio, el beneficio es de 600 KPCED de gas rico usado como combustible, se pueden producir 43 BPD de refinados blancos a partir de este gas combustible.

La **tabla 3**. Muestra las propiedades del gas rico de Lisama y el gas seco de El Centro.

Figura 2. Esquema Planta compresora Lisama

Figura 3. Sistema de tubería de Lisama

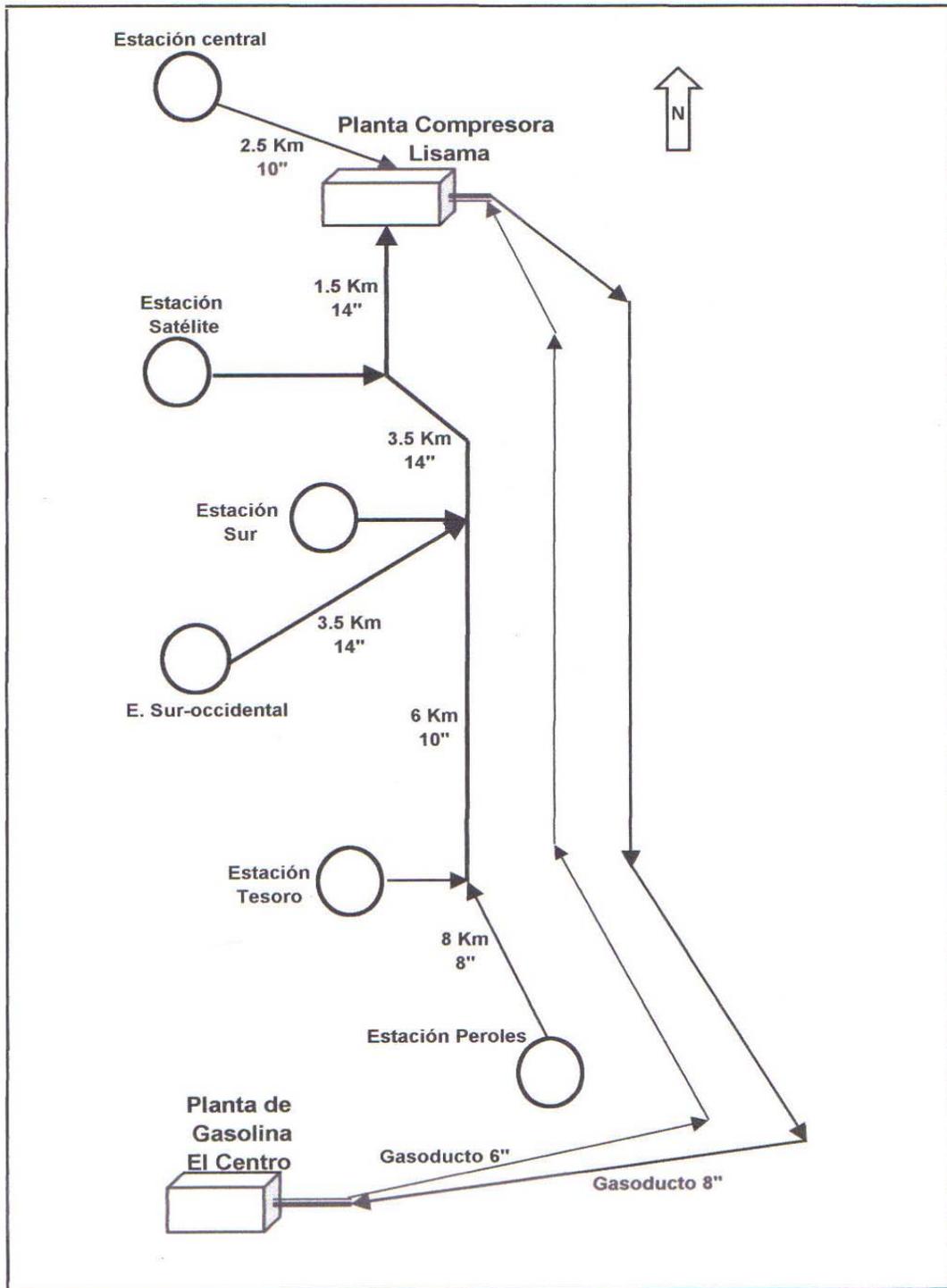


Tabla 3. Propiedades del gas rico de Lisama y el gas seco de El Centro

COMPONENTES	GAS SECO EL CENTRO % Molar	GAS RICO LISAMA % Molar
OXIGENO	0.036	0.000
NITROGENO	0.560	0.110
DIÓXIDO DE CARBONO	0.810	0.190
METANO	93.041	78.360
ETANO	4.544	9.410
PROPANO	0.980	5.780
I-BUTANO	0.008	1.140
N-BUTANO	0.008	2.070
I-PENTANO	0.008	0.700
N-PENTANO	0.005	0.620
HEXANOS	0.000	1.620
TOTAL	100.000	100.000
PESO MOLECULAR	17.268	22.278
GPM	0.364	3.866
BTU NETO /PC	942.650	1217.370
BTU BRUTO /PC	1044.760	1339.260
FACTOR Z	0.998	0.996
GRAVEDAD ESPECIFICA	0.596	0.773

1.3. ENTRADA DE GAS A LA PLANTA

El gas producido en los campos Lisama, Tesoro, Nutria y Peroles es generalmente gas en solución, el cual es recolectado por la Estación Central, Estación Satélite, Estación Sur, Estación Suroccidental, Estación Tesoro y Estación Peroles, por medio de separadores (facilidades de superficie). Este gas es llevado a la Planta Compresora Lisama por la succión de las Motocompresoras por medio de una red de tubería de diámetros que van desde 8" a 14". Al llegar este gas a la Planta es recibido por un separador que está a la entrada de la puerta auxiliar que está ubicada en la parte sur de la Planta, en el cual se separa el condensado, éste es llevado a una trampa API la cual es descargada esporádicamente por el chupa manchas.

Este gas rico es llevado del separador a los Motocompresores 3, 4 y 5, los Motocompresores 2, 6 y 7 están fuera de servicio, la presión de succión es alrededor de -4 psi.

1.4. ACERCA DE LOS MOTOCOMPRESORES

La máquina es un conjunto marca Superior de motor modelo 12G-825 y compresor reciprocante modelo MW-64, alimentado por gas, por diseño la capacidad de cada compresor es de 3.5 MPCED para un gas de $G = 0.7363$, con una relación de compresión 3.72 y potencia de 981 HP de las tres etapas.

En un comienzo el gas combustible era el mismo gas rico que se comprimía, después de un estudio se concluyó que la manera más eficiente, era llevar gas seco de la Planta de Gasolina El centro para usarlo como gas combustible y no emplear en este proceso gas rico del cual se puede extraer gran cantidad de productos blancos, ya que a los 600 KPCED de gas rico usado como combustible se producen 43 BPD de refinados blancos, **ver tabla 4**. Este gas combustible es traído por una

línea de 6" que antes se utilizaba para enviar gas rico a la Planta de Gasolina El Centro.

Los motocompresores utilizan tres (3) etapas de compresión, la primera etapa comprime a 40 psi, la segunda etapa comprime a 180 psi, el condensado producto de estas dos etapas es llevado al tanque cilíndrico horizontal (D-01) el cual tiene una capacidad de 30.000 galones, donde es almacenado. La tercera etapa de compresión lleva el gas a 700 psi, el condensado producto de ésta etapa es llevado por unos raspadores por el gasoducto. Después el gas es entregado a un gasoducto de 8" el cual a su vez lleva este gas hasta la Planta de Gasolina El Centro.

Estas presiones referidas anteriormente pueden variar de acuerdo a la cantidad de condensado en la línea de entrega de los Motocompresores.

Los motocompresores deben operar con gas combustible en niveles no inferiores a 1000BTU/PC para evitar problemas de carburación.

Tabla 4. Cálculo de producción de refinados blancos a partir del combustible usado en Lisama

<p>MUESTRA: GasLisma 600 KPCED</p> <p>FECHA : 12-Sep-00</p>							
Presión Base:	14.65 Psia						
Temp. Base:	60 F						
COMPONENTE	FORMULA	PESO MOLECULAR	% Volum.	Volumen KPCED	Volumen Gal/Kpc	Refractos Gal/Dia	GasSeco KPCED
Hidrocarburos							
METANO	CH4	16.043	78.359	470.154			470.154
ETANO	C2H4	30.07	9.41	56.472			56.47
PROPANO	C3H8	44.097	5.78	34.674	27.491	763	6.93
i-BUTANO	C4H10	58.123	1.14	6.834	32.638	178	
n-BUTANO	C4H10	58.123	2.07	12.408	31.455	312	
i-PENTANO	C5H12	72.15	0.70	4.200	36.523	123	
n-PENTANO	C5H12	72.15	0.62	3.696	36.136	107	
HEXANO	C6H14	86.177	1.62	9.738	41.019	320	
HEPTANO	C7H16	100.204		0.000			
OCTANO	C8H18	114.231		0.000			
NONANO	C9H20	128.258		0.000			
DECANO	C10H22	142.285		0.000			
No-Hidrocarburos							
OXIGENO	O2	31.9988	0.00	0.000			0.00
NITROGENO	N2	28.0134	0.11	0.666			0.67
MONOXIDO DE CARBONO	CO	28.01	0.00	0.000			0.00
DIOXIDO DE CARBONO	CO2	44.01	0.19	1.158			1.16
HIDROGENO	H2	2.0159	0.00	0.000			0.00
SULFURO DE HIDROGENO	H2S	34.08	0.00	0.000			0.00
AGUA (VAPOR)	H2O	18.0153	0.00	0.000			0.00
TOTAL				600.000	205.262	1,802	535.38
VERIFICACION DE COMPOSICION			100.0000	43 BFD			
PESO MOLECULAR PROMEDIO			22.2779				
FACTOR DE COMPRESIBILIDAD			0.995777				
GRAVEDAD ESPECIFICA DEL GAS			0.7692				
GRAVEDAD ESPECIFICA (REAL)			0.7725				
PODER CALORIFICO BRUTO Btu/lm			22,788.1918				
PODER CALORIFICO BRUTO (IDEAL) Btu/lm ³ -SID			1,333.6108				
PODER CALORIFICO BRUTO (REAL) Btu/lm ³ -SID			1,339.2659				
GEM (100% RECUPERACION DE PROPANO)			3.8663				
GEM (80% RECUPERACION DE PROPANO)			3.4458				
NUMERO DE OCTANO MOTOR			113.8516				
NEN			17.8621				

1.5. SALIDA DE GAS DE LA PLANTA

Al salir el gas de la última etapa llega a tener una presión alrededor de 700 psi, ésta fluctúa debido a la presencia de condensado, y es entregado a una línea de 8" que es la encargada de llevar el gas rico comprimido a la Planta de Gasolina El Centro. Antes se utilizaban dos líneas de tuberías, la actual de 8" y una de 6", la cual ahora cumple la función de traer el gas seco combustible de la Planta de Gasolina El Centro hacia la Planta Compresora Lisama.

El gas por día enviado hacia la Planta de Gasolina El Centro es alrededor de 7MPCED.

El gas a la salida de la Compresora Lisama hacia El Centro muestra una temperatura de 115°F, la cual va disminuyendo con el recorrido de la tubería, por tanto en el recorrido del gas hacia la Planta de Gasolina El Centro se condensa gas hasta los 3.2 Km donde se llega a los 90°F, que es la temperatura con la cual se adquiere la condensación final.

El condensado producto de la tercera etapa de compresión es llevado hacia la Planta de Gasolina El Centro por la tubería de 8" por medio de los raspadores, comúnmente llamados marranos, los cuales se envían cada tres días llevando una cantidad de 360bbl de condensado para segregarlo y producir productos blancos (propano, butano y gasolina natural). La duración del viaje del raspador es aproximadamente de 8 horas y su velocidad de 6 km/hora aproximadamente.

DISPOSITIVO DE TEA: La principal función de una tea es la de quemar los vapores inflamables, tóxicos ó corrosivos y convertirlos en compuestos menos nocivos. La selección del tipo de tea y las características especiales requeridas en el diseño están influenciadas por varios factores como son: la disponibilidad de espacio, las características del gas de tea, nominación, composición, cantidad y nivel de presión; en lo económico se incluye tanto la inversión inicial como los costos de operación y por último, la ubicación. El lugar donde va a instalarse la tea es un factor a tener en cuenta si la tea puede ser vista u oída desde áreas residenciales o afectar aguas de navegación.

La tea de la Compresora Lisama data desde la construcción de la Planta Compresora. Entre 1995 y 1996 la Contraloría General de la República realizó una auditoria ambiental al Campo Lisama y presentó objeción respecto a la altura de la tea de Lisama haciendo mención del Decreto 02 de 1982, por lo cual se cambió

algunas de sus especificaciones. A continuación se presenta la especificación de la Tea de la Planta Compresora Lisama.

Diámetro (pulgadas): 12

Longitud de radiación (pies): 109

Altura de la chimenea de tea(pies): 41

Tambor de tea, altura (pies): 3.5

Tambor de tea, diámetro (pies): 13

Cabezal final antes de tambor de tea (pulgadas): 12

2. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA LA LLANA “CAMPO 23” (MANUAL DE OPERACIÓN)

La historia de la Planta de Tratamiento de Agua la Llana “Campo 23” es larga. Data desde los tiempos de la TROCO, Tropical Oil Company, quien viendo la necesidad del agua potable construyó una primer Planta de Tratamiento de Agua, (donde está hoy ubicado el Batallón del ejercito que colinda con la nueva Planta de Tratamiento de Agua), uno de los factores que motivaron su construcción es que en la zona se tienen varios afluentes de agua.

Luego ECOPETROL construyó muy cerca de la vieja Planta de Tratamiento de Agua, la que hoy conocemos como Planta de Tratamiento de Agua La Llana “Campo 23” a mediados de 1969. Fue Diseñada con una capacidad de 39,700m³ (249,000BPD); Consta de 2 decantadores tipo Pulsator con una capacidad volumétrica de 3,340m³ (21,000bbl), 6 filtros de arena y un tiempo de residencia mínimo de 2 Horas.

En la actualidad la planta trata un promedio diario de 36.000BPD de Agua Potable y 120.000BPD de Agua Industrial, un promedio total de 156.000BPD.

Para las operaciones de las diferentes plantas en la GCO y más específicamente para las plantas ubicadas en El Centro el agua tratada es una muy importante materia prima para realizar los procesos pertinentes.

A continuación se explicará detalladamente los procesos de captación, decantación, filtración, cloración, bombeo y posterior repartición del agua tratada a los sistemas de uso público e industrial.

2.1 SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA “BOCATOMA CAMPO 50”

La captación de agua se realiza por medio de 3 bombas tipo XLT-3196 accionadas por motores eléctricos A.E.G de 230HP cada una con capacidad de 703m³/hora, de los cuales normalmente trabajan 2, la otra bomba sirve como apoyo en cualquier emergencia que ocurra (daño), su puesta en marcha se muestra en los anexos de ATS. Se tienen dos bomba sentinas para expulsar el agua que se acumula en el foso de succión.

El arranque y parada del sistema de bombeo se puede hacer mediante control manual o automático (sistema de radio) desde la Planta de Tratamiento de Agua La Llana.

Proceso de bombeo: El agua del río es conducida al colector de succión por un canal con rejas a la entrada, el chupador en forma de te ubicado en un foso, impide la entrada de basura que pudo haber pasado a través de la reja, en este foso ocurre un desarenamiento y una predecantación. El agua de la descarga general también ayuda a alejar la basura de las rejas.

El colector general de succión es de 20” de diámetro, las líneas de succión de las bombas son de 10” y las de descarga de 8”. El colector general de descarga es de 14” que posteriormente se ensancha a una tubería de 20”, la distancia desde la bocatoma Campo 50 hasta la Planta de Tratamiento de Agua La Llana son 3Km.

La Estación de Bombeo posee un sistema de limpieza de tubería conformado por un Limitorque y una conexión desde el colector general de descarga al colector

general de succión, al cerrar válvulas de descarga y parar el sistema, la columna de agua se devuelve por la conexión y es controlada por el Limitorque.

2.1.1 Sistema Auxiliar Río La Colorada: Si ocurriera una emergencia en el Campo 50 y se tuviera que parar las Motobombas, se corre el riesgo de dejar sin suministro de agua a la Planta de inyección N° 5, a diferentes Plantas de El Centro, al hospital, a talleres, a los casinos, a las casas, etc. Por esto están dispuestos los diferentes tanques de almacenamiento de agua industrial y potable que suministrarían el agua en caso de emergencia.

Pero la capacidad de estos es pequeña y solo cubrirían el suministro de agua potable en un pequeño lapso de tiempo, por esto se tiene una unidad auxiliar de bombeo sobre el río La Colorada, el sistema cuenta con una bomba tipo XLT-3196 accionada por un motor eléctrico A.E.G de 230HP igual a los del Campo 50. También cuenta con una sentina para evitar que se inunde la sala auxiliar de bombas. Este equipo auxiliar puede ponerse en funcionamiento de manera manual o automática desde la sala de bombas. Con este equipo se tiene una capacidad de tratamiento de 80.000 BPD, con lo que se puede sostener en parte las necesidades de Agua Potable en el Centro y su área de influencia.

2.2 PLANTA DE TRATAMIENTO

En la actualidad el tratamiento del agua en la Planta “Campo 23”, lleva una serie de etapas tendientes a entregar la mejor agua potable posible con las características exigidas de pH, turbidez y eliminación de agentes patógenos que puedan perjudicar la salud de sus consumidores.

Antes del tratamiento en la Planta, el agua cruda ha pasado por un pretratamiento básico que se puede resumir así (desbaste): en las compuertas de entrada de las bocatomas está ubicada una reja que sirve como filtro para hojas u objetos grandes

que hayan sido arrastrados por la corriente (desbaste) y puedan complicar el bombeo hacia la Planta de Tratamiento de Agua La Llana.

Al entrar el agua a la Planta de Tratamiento lo primero que se hace es medir su caudal por medio de un tubo Venturi y unas pruebas de turbidez y pH por medio de una línea de muestreo que va al laboratorio, para ver en que condiciones llega el agua a la Planta, y así determinar la cantidad de químicos a utilizar.

2.3 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS

Antes de entrar con el proceso como tal en la Planta de Tratamiento de Agua La Llana “campo 23” se verá de forma general los conceptos de pH, color, alcalinidad y turbidez.

- **pH:** designa la acidez o basicidad de una solución (menor de 7 ácido y mayor de 7 básico), se utiliza convencionalmente el exponente de la concentración en iones H^+ o pH (potencial de hidrogeno). El pH se mide con indicadores coloreados o mejor, mediante un método electrométrico (pH-metro con electrodo de vidrio). En la Planta “ Campo 23” se utiliza el pH-metro WTW, el cual debe ser usado por el operador de turno y funciona de la siguiente manera: recoja en un vaso de precipitados la muestra a analizar, prenda el pH-metro e introduzca el electrodo en el agua ubicándolo en la mitad del vaso sin tocar las paredes y espere hasta que la lectura se estabilice. Apague el equipo apenas termine de hacer las lecturas, éste trabaja con pilas alcalinas y dura una hora prendido si no es apagado. Lo más delicado de este equipo es el Electrodo, no lo deje caer o golpear, lávelo con un chorro de agua destilada luego de cada medición, no use servilletas ni lo toque con la mano. Por ningún motivo deje el Electrodo en seco, mientras no se utilice éste debe estar sumergido en la solución de KCl que prolonga la vida del censor, si lo dejan en agua común o destilada continuará midiendo y agotando la solución que hay dentro del Electrodo.

Además existen un medidor automático de pH y otro de cloro los cuales están en línea, monitoreando instantáneamente el agua potable e industrial.

- **Color:** El color verdadero se debe en muchos casos a la presencia de materias orgánicas disueltas o coloidales en el agua. Un agua coloreada es desagradable para el uso domestico y especial para la bebida ya que hace dudar siempre de su potabilidad. No se tolera que para un agua de consumo se sobrepase de 5 unidades de platino-cobalto. Para hacer la prueba de color, está se lleva a cabo por el Colorímetro Lovibond el cual está en el laboratorio de Petróleos ubicado en El Centro.

El color es usado para determinar una contaminación irregular del agua tratada, chequear la eficiencia de los filtros y caracterizar las aguas crudas de baja turbidez. La unidad estándar de medida de color se denomina HAZEN y corresponde al color producido por 1 miligramo de platino (cloro-platino asociado a cloruro de cobalto) en 1 litro de agua. La muestra de 50 ml de agua no debe contener sólidos, para ello se debe dejar sedimentar y luego filtrar por medio del embudo y una servilleta. Si los sólidos precipitan en el fondo de la celda no se puede realizar la medición. La celda izquierda debe llenarse con agua destilada y la derecha con la muestra a analizar, deben colocarse los tapones para eliminar la formación de meniscos.

Limpiar las celdas al terminar la revisión. Cuídelas no las Quiebre.

- **Turbidez:** o turbiedad, juzga parcialmente el contenido de materias en suspensión. Un agua para consumo humano no debe contener materias en suspensión sedimentables. La Organización Mundial para la Salud (O.M.S) admite 5 unidades turbidimétricas. En la mayor parte de Europa se tiene a la distribución de aguas con una turbiedad inferior o igual a 5 gotas de mástique, es decir, entre 0,1 y 0,5 Nephelometric Turbidity Units (N.T.U). Para medir la turbidez de forma manual se utiliza el Turbidímetro 2100N, este modelo está diseñado para tomar medidas de 0 - 400 NTU (Nephelometric Turbidity Units), la unidad óptica comprende una lámpara de filamento de tungsteno, lente para enfocar la luz, detector de luz transmitida y detector de luz reflejada. El equipo

debe trabajar en AUTO RANGE, SIGNAL AVG y RATIO, para ello dispone de unos LEDS que permanecen encendidos cuando se seleccionan las opciones de operación anteriores. La celda no debe dejarse dentro del equipo porque se daña el sistema de sujeción, una vez hecha la medición debe limpiarse para que no se manche con los pigmentos que trae el agua cruda y el cloro en el agua potable e industrial. La celda debe secarse con pañuelos desechables y no con servilletas para evitar que se raye, una vez la celda esté seca debe pasarse el paño negro electrostático con el fin de recoger las pelusas y polvo que se encuentren adheridas a la superficie. Al finalizar las mediciones de cada hora el equipo debe ser apagado, de lo contrario permanecerá encendido de forma indefinida y agotando el tiempo de servicio de la lámpara.

Además de éste equipo, existe un sistema en línea que monitorea la turbidez indicando en todo momento el grado de contaminación física del agua y además suministra sulfato de aluminio para su control llamado Streaming Current Detector (SCD) el cual es un analizador en línea de la carga eléctrica de una muestra líquida, mide instantáneamente la corriente eléctrica generada entre dos electrodos debido a la presencia de iones libres en fase continua. El flujo de corriente depende de la densidad neta de carga, es decir del exceso de iones positivos o negativos presentes en el agua después de la adición del coagulante (sulfato de aluminio).

Las bombas Milton Roy tienen 2 motores independientes, uno actúa sobre el actuador aumentando o disminuyendo el % de apertura, este motor se enciende desde el tablero del laboratorio, colocando en ON la perilla del actuador de la bomba con la que se desee dosificar. Una vez el actuador esté energizado se puede controlar desde el tablero en forma manual o automática. Si por alguna razón se quiere manipular la apertura en la misma bomba, se debe desenergizar el motor. El otro motor es el que activa los engranajes y el pistón de la bomba y hace que ésta empiece a bombear el sulfato, se puede operar localmente desde el tablero del salón de bombas o remotamente desde el computador. En resumen el motor del actuador es el que controla el volumen de sulfato dosificado, pero si el motor de la bomba no está encendido, el pistón no se moverá y no hay bombeo.

En la **tabla 5** Veremos las especificaciones de las Bombas Milton Roy:

Tabla 5. Bombas Milton Roy

MILTON ROY 1		MILTON ROY 2	
FLUJO (BPD)	110,000	FLUJO (BPD)	171,740
FLUJO (gpm)	3,208	FLUJO (gpm)	5,009
FLUJO (Lt/min)	12,144	FLUJO (Lt/min)	18,959
STROKE (%)	40	STROKE (%)	4
Sulfato Líq. (gr/Lt)	176.4	Sulfato Líq. (gr/Lt)	1,322.0
Sln Sulfato (m3/D)	13.4	Sln Sulfato (m3/D)	1.31
Sulfato Líq. (m3/D)	3.8	Sulfato Líq. (m3/D)	0.37
Sulfato Líq. (Kg/D)	2,366.8	Sulfato Líq. (Kg/D)	495.34
<u>mg Sulfato</u>	194.90	<u>mg Sulfato</u>	18.14
Lt Agua Cruda		Lt Agua Cruda	

- **Alcalinidad:** La alcalinidad de la mayor parte de los recursos acuíferos naturales es causada por las sales de bicarbonato (HCO_3^-), debido a la propiedad disolvente del CO_2 producido por la acción bacteriana. El agua rara vez excede los 300 mg/l de alcalinidad y se debe mantener cierta alcalinidad para tres fines: mantener una capa de óxido de hierro el metal y por lo tanto prevenir cierto tipo de corrosión, provee un medio propio para precipitar lodo deseable y para mantener la sílice en solución, de tal manera que evite la formación de escalas silíceas. Alcalinidades mayores al valor permitido pueden dar arrastre de espuma o corrosión cáustica.
Además el control de la alcalinidad es importante por su índice de estabilidad en el carbonato de calcio.

2.4 PROCESO DE CUAGULACIÓN (SULFATO DE ALUMINIO)

El Sulfato de Aluminio es un producto obtenido por la reacción entre el ácido sulfúrico y un mineral rico en aluminio, comúnmente se le denomina alumbre, pero en realidad este nombre corresponde al sulfato doble de aluminio y potasio. El sulfato de aluminio puede ser de color gris, amarillo o blanco según las materias primas utilizadas en su elaboración, los activadores que se adicionan y los procesos de fabricación para producirlo.

El Sulfato de Aluminio utilizado en la Planta “Campo 23” es en Solución.

Se clasifica en:

(1) Sulfato de aluminio tipo A: en estado sólido con un contenido de alúmina (Al_2O_3) soluble no menor al 17.0% y un contenido de material insoluble en agua no mayor del 0.5%.

(2) Sulfato de aluminio tipo B: en estado sólido con un contenido de alúmina (Al_2O_3) soluble no inferior a 15.0% y un contenido de material insoluble en agua no mayor del 10.0%.

(3) Sulfato de Aluminio en terrones y granulado: Se utiliza para dosificadores en seco, y debe cumplir con los siguientes requisitos, **ver tabla 6**.

Tabla 6. Especificaciones del Sulfato de Aluminio en terrones y granulado

Forma de presentación	Porcentaje que pasa	Tamiz ICONTEC
En terrones	100%	76.1 mm
	25%	12.7mm
Granulado	8% máximo	0.15mm
	90% mínimo	2.00mm
	100%	4.76mm

Tomado del manual NALCO.

(4) Sulfato de Aluminio en Solución: Sulfato de aluminio en solución acuosa con un contenido de alúmina soluble (Al_2O_3) no inferior a 80% y un contenido de material insoluble no mayor del 0.2%.

Las propiedades fisicoquímicas de las diferentes presentaciones comerciales del sulfato de aluminio se presentan en la **tabla 7**.

Tabla7. propiedades fisicoquímicas del sulfato de aluminio

Características	Sulfato de Aluminio		
	Tipo A	Tipo B	En solución
Alúmina soluble total Al_2O_3 (mín.)	17.0%	15.0%	8.0%
Hierro soluble total Fe_2O_3 (máx.)	1.75%	1.00%	0.35%
Materias insolubles en agua(máx.)	0.50%	10.0%	0.20%
Basicidad, como Al_2O_3 (mín.)	0.05%	0.05%	0.025%

Tomado del manual NALCO.

El Sulfato de Aluminio se utiliza como coagulante o agente coagulador para tratar la turbidez, el proceso es el siguiente, en el agua los sólidos se encuentran en suspensión coloidal, debido a que su superficie está cargada negativamente, lo que hace que se repelan unos a otros y permanezcan dispersos. Cuando se agrega el Sulfato de Aluminio, que tiene carga positiva, este neutraliza las cargas y las partículas empiezan a unirse. En el decantador se forman los coágulos con carga final negativa, los coágulos se unen formando floculos que por su peso sedimentan como lodo. Si se agrega demasiado Sulfato de Aluminio, los floculos se dispersarán formando una solución coloidal de carga positiva y ácida.

Los factores que afectan la coagulación:

- a) Periodo de coagulación: Es el lapso que ocurre entre la adición del coagulante y el final de la floculación.
- b) Alcalinidad y dureza: Favorecen la coagulación formando hidróxidos al reaccionar con el coagulante.
- c) pH: Es muy importante en la coagulación ya que favorece o desfavorece las reacciones químicas. El hidróxido de aluminio solo coagula bien si el pH se encuentra comprendido entre 5.8 y 7.4, fuera de este rango puede que persista en ion Al^3 en el agua en forma soluble.
- d) Temperatura: La temperatura ejerce influencia en el tiempo necesario para la formación de flóculos, mientras más fría el agua más se demorara en formar el flóculo con una cantidad dada de coagulante.
- e) Cantidad de coagulante: Es el factor más importante que afecta la coagulación, una baja o alta cantidad de coagulante traerá como consecuencia características no deseadas al agua a tratar. Para una adición precisa de coagulante (Sulfato de Aluminio) se determina generalmente por la Prueba de jaras o Jar Test.

2.4.1 Procedimiento para la dosificación: Para saber que cantidad debe dosificarse de Sulfato de Aluminio para agregar al agua que se va a tratar, se hace la Prueba de las jarras o Jar test.

Se toman tres muestras así:

- (1) 1000ml Agua de la obra de repartición.
- (2) 900ml Agua de la obra de repartición/100ml Agua cruda
- (3) 800ml Agua de la obra de repartición/200ml agua cruda

La relación de tiempo de agitación es una simulación a pequeña escala de los diferentes puntos de paso del agua desde que se le añade el Sulfato de Aluminio en la expansión del tubo de agua cruda de 20" a 24" hasta la llegada de los filtros:

- 1 minuto en 100 r.p.m. (Simula la mezcla rápida, desde la expansión hasta el final de la obra de repartición).
- 3 minutos en 60 r.p.m. (Simula las pulsaciones en la campana de vacío).

- 2 minutos en 20 r.p.m. (Simula el paso del agua por el lecho de fango en los decantadores hasta la llegada a los filtros).

La interpretación correcta de los resultados de la prueba de jarras depende de una variación de parámetros subjetivos como brillo y apariencia (color) del agua, habilidades que se obtienen como resultado de la experiencia.

La realización de tres pruebas permite ubicar rápidamente que tan lejos se está del punto de adición óptimo de Sulfato de Aluminio.

Si alguna de las muestras da un buen brillo y ausencia de color indica que el Sulfato agregado es insuficiente y se debe aumentar significativamente la cantidad y volver a realizar la prueba de jarras.

Si la única muestra que da buen brillo y ausencia de color es la número (1), indica que la adición de coagulante es correcta.

Si las muestras (1) y (2) dan buen resultado de brillo y color, indica que hay un pequeño exceso de sulfato, si la turbidez va rápidamente en aumento es preferible trabajar con este pequeño exceso, para estar siempre adelante. Si al contrario la turbidez va disminuyendo se debe disminuir la dosificación hasta que la muestra (2) pierda brillo y presente algo de color.

Si las muestras dan buen resultado de brillo y color indica que hay un gran exceso y se debe disminuir la dosificación, de lo contrario en el decantador se producirá una redispersión de los flocs y el rápido ensuciamiento de los filtros.

Después de encontrar la dosificación exacta para una óptima coagulación, se debe monitorear la dosificación repitiendo la Prueba de la Jarra cada vez que sea necesario especialmente cuando se producen variaciones sustanciales (50ppm) en la turbidez del agua cruda, si se está en invierno el monitoreo debe ser mayor.

La preparación actual del Sulfato de Aluminio se realiza de la siguiente manera, el Sulfato llega en solución a las cubas o tanques de almacenamiento números 3 y 4 ubicadas en el exterior de la planta física, por medio de dos motobombas marca Sulzer (cuyas especificaciones se muestran en la **tabla 8**), el sulfato es llevado a las cubas 1 y 2 con capacidad de 13m³ ubicadas dentro del edificio, **Ver figuras 4**. Para la agitación, homogenización y dilución del Sulfato de Aluminio en las cubas 1 y 2; y para disolver el Sulfato de Aluminio sólido en las cubas 3 y 4, se hace mediante aire comprimido a través una red de tubos de 2" perforados provenientes

de un distribuidor de 4" donde éste hace una curva en forma de U invertida en un punto más alto que las cubas 1 y 2 para evitar el reflujó por esta misma tubería hacia los compresores de aire, **Ver figuras 5**. El compresor utilizado es marca Gardner Denver, para sus especificaciones **Ver tabla 9**.

El flujo necesario de Sulfato de Aluminio es regulado e inyectado a la línea de agua cruda en la obra de repartición por 2 bombas Milton Roy de las cuales ya se hablo.

Tabla 8. motobombas Sulzer

BOMBA	
Líquido bombeado:	Sulfato de Aluminio
Gravedad específica:	1.3Lb-ft³
Potencia	1.95 HP
MOTOR	
Potencia	3 HP
Eficiencia	40%
Velocidad rotacional	1770 RPM
Frecuencia	60 Hz
Voltaje	460 V
Tipo	TEFC-XE IP53

Tabla 9. Compresor marca Gardner Denver

potencia	40 HP
Velocidad rotacional	1800 RPM
Voltaje	3-60-460
Peso total aprox.	2008 lbs
Peso del motor	565 lbs

Figura 4. Adición de sulfato de Aluminio

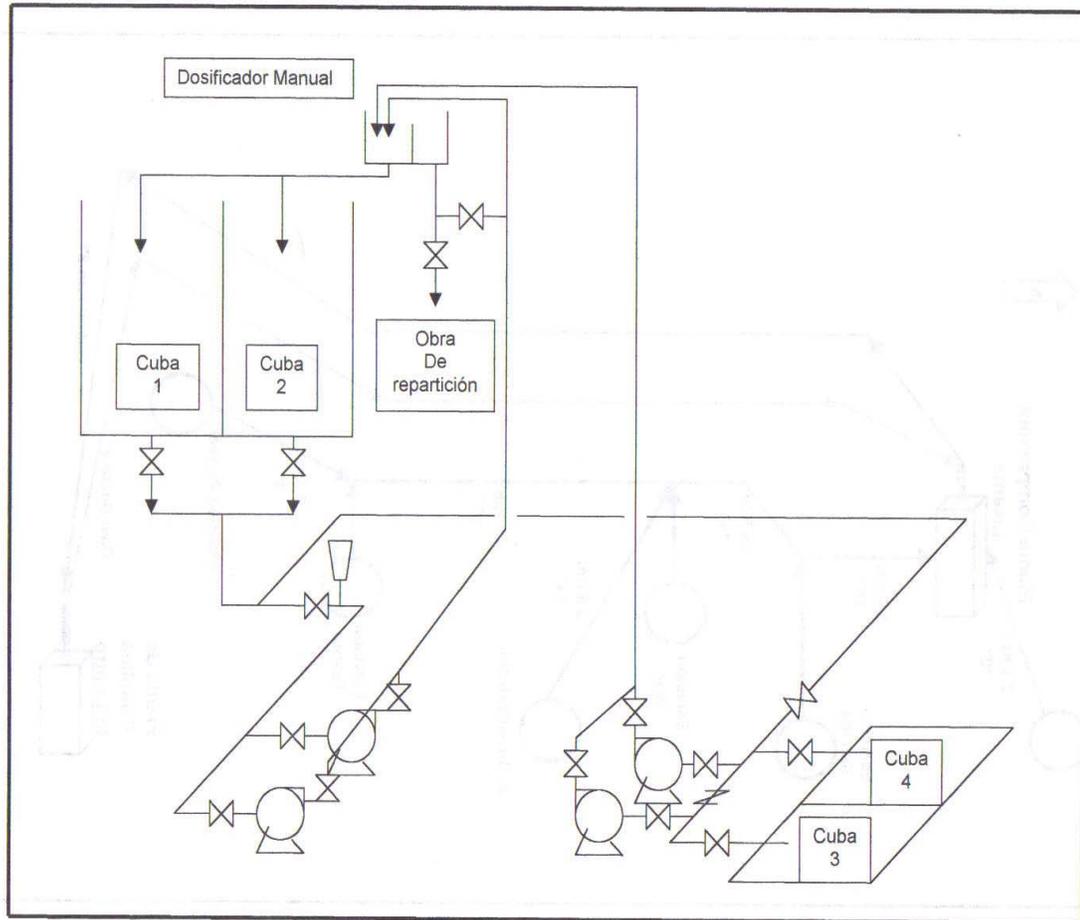


Figura 5. Facilidades de aire para agitación las cubas de Sulfato de Aluminio.

2.5 PROCESO DE NEUTRALIZACIÓN (ADICIÓN DE CAL)

La cal utilizada, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ se almacena en las bodegas del primer piso en bolsas de papel de 25 Kg ó 10 Kg cada una y deben tener un 92% de pureza. La cal se utiliza con el fin de ajustar el pH (subirlo), éste es medido por el método del calorímetro utilizando reactivos azul de bromotimol para un pH entre 6 y 7,6. La cal se prepara en dos de tres cuba que están habilitadas para ésta tarea, cada una con una capacidad de 13m^3 . Un bulto de 25Kg es suficiente para una solución saturada de cal en una cuba llena, se obtiene una solución sobresaturada (lechada de cal) con más de un bulto de 25Kg.

Las cubas se mantienen en constante agitación por la acción de unas aspás ubicadas en el fondo de ellas, accionados por motores eléctricos. La mezcla de cal y agua es tomada por una bomba centrífuga marca Sulzer (existe un relevo) y llevada a la obra de repartición directamente, **ver figura 6**. Existe un sistema de dosificación de cal que utiliza la fuerza de gravedad, su infraestructura consta de una tubería sanitaria inoxidable de 3" que se conecta directamente a la tubería de agua filtrada que va hacia los tanques de la sala de bombas, esta conexión ocurre cerca del batallón y es controlada desde el laboratorio de la Planta de Tratamiento por un compresor de aire.

Figura 6. Adición de cal

2.6 AIREACIÓN

Es el proceso de poner en contacto el aire con el agua para eliminar gases disueltos en exceso tales como oxígeno, anhídrido carbónico, ácido sulfúrico y sustancias volátiles, introducir oxígeno y oxidar el hierro o manganeso presente.

En nuestro caso la aireación se lleva a cabo en la Obra de Repartición en forma de cascada, donde también se mezclan la cal y el sulfato de aluminio. Su objetivo es eliminar los malos olores y oxidar iones para luego precipitarlos en el decantador.

2.7 DECANTACIÓN (DECANTADORES DE LECHO DE FANGO)

El objeto de la decantación es el de conseguir que se depositen las partículas que se encuentran en suspensión en el agua, tanto si se trata de partículas presentes en el agua bruta (cruda), como si se debe a la acción de un reactivo químico añadido en el tratamiento.

En este tratamiento de agua se utiliza la floculación y decantación en un mismo aparato como lo es el pulsator (produce un manto de fango en cuyo seno la concentración de materia en suspensión es elevada), por medio de los cuales se consigue reacciones completas con precipitados densos. Con estos decantadores puede obtenerse un agua decantada siempre de calidad buena y constante, cualesquiera que sea la turbiedad del agua cruda y la naturaleza del tratamiento.

Una cámara especial (Concentrador de lodo) garantiza el espesamiento del exceso de fango y permite su evacuación de manera automática.

Este sistema de decantación mejora los fenómenos de floculación y se obtiene un rendimiento óptimo de la calidad del reactivo introducido, debido a la concentración que se produce en el lecho de fango.

La clave de la alta eficiencia de estos decantadores es la intermitencia en el agua que produce la campana de vacío. Si la entrada de agua se realiza de una manera intermitente, introduciendo un fuerte caudal durante un tiempo muy corto seguido de un periodo prolongado de reposo, se comprueba que la masa de fango se mantiene en suspensión regular. Todo el fango es arrastrado hacia arriba durante la introducción de agua, pero, a continuación, durante el período de reposo siguiente, se deposita de forma regular según el principio de cohesión del fango. Si se tuviera un flujo continuo de agua por el lecho de fango, en éste se crearían unos canales que disminuirían sensiblemente la eficiencia del decantador.

El lecho de fangos se comporta como un resorte que tiende a comprimirse por la gravedad, pero se estira más o menos bajo la acción de la fuerza ejercida por el agua sobre las partículas de fango que constituyen el resorte. El resorte se rompe si se estira demasiado, lo que es preciso evitar adoptando una velocidad conveniente.

Puede incrementarse la resistencia del resorte, y o aumentar por tanto la velocidad máxima posible, mejorando la cohesión del lecho de fangos, mediante el empleo de ayudantes de floculación tales como sulfato de aluminio.

El decantador está constituido por un depósito de fondo plano, provisto en su base con una serie de tubos perforados (32) que permiten introducir el agua bruta uniformemente por todo el fondo del decantador. En su parte superior está provisto de canaletas mediante las cuales se consigue la recogida uniforme del agua decantada y se evita cualquier irregularidad de velocidad en las diferentes partes del aparato. Para alimentar el colector de agua el procedimiento efectuado en la Planta de Tratamiento de Agua La Lana "Campo 23", consiste en introducir agua a la campana de succión en cuyo interior se aspira el aire por medio de una electro válvula que extrae un caudal de aire sensiblemente igual a la mitad del caudal máximo de agua a tratar. Esta campana se encuentra conectada con la parte inferior del decantador por medio de los 32 tubos de asbesto-cemento que están perforados en la parte de abajo en dos líneas separadas por un ángulo de 60°.

Como se dijo, en la campana de succión el agua sufre movimientos de ascenso (extracción de aire por medio de una bomba de vacío) que dura alrededor de 30 seg. y una ruptura del vacío donde cae el agua por 10 seg. provocando pulsaciones que aumentan la velocidad de sedimentación. El control de tiempo de ascenso y descenso del agua por la bomba de vacío se lleva a cabo por medio de unos aparatos llamados de relojería M-1 y M-2, controlados desde el computador ubicado en el cuarto del operador. En caso de un corte de la energía eléctrica existe un sistema integrado de RTU, en caso de que éste también falle existe un respaldo llamado PLC.

Entre tubo y tubo perforado están colocados unas laminas curvas en forma de V invertida los cuales se llaman Tranquilizadores, su finalidad es la de amortiguar las pulsaciones provocadas por la succión y suavizar la velocidad de ascenso del agua en el Decantador. Si se tiene exceso de lodo en el fondo, este rebosa dentro de tres concentradores de lodo (por decantador), los que son descargados por medio de una tubo por concentrador, al abrirse una electro válvula. En total hay 6 electro válvulas (una por concentrador) las cuales están programadas desde el tablero de instrumentos para descargar alternadamente. **Ver figuras 7 y 8.**

Figura 7. Corte del decantador (Cámara de vacío y tranquilizadores)

Figura 8. Corte del Decantador

2.8 FILTRACIÓN (FILTROS DE CAUDAL CONSTANTE Y COMPENSACIÓN DE ATASCAMIENTO)

Fue el primer procedimiento empleado para tratar las aguas. Consiste en hacer pasar el agua con sólidos disueltos por un medio poroso para que retenga los sólidos y deje pasar el agua filtrada.

Debido a la progresiva retención de sólidos por el filtro, se va produciendo una obstrucción en los intersticios que existe entre los granos que conforman el material poroso, esto se denomina Atascamiento de Filtro y a medida que se produce, la calidad de filtración baja. Cuando el atascamiento es grande hay la necesidad de lavar el filtro, ver ATS de lavado de filtros.

La velocidad con que el filtro se atasca (perdida de carga) depende de:

1. Naturaleza del agua tratada, turbidez.
2. Granulometría del material filtrante, entre más fino sea el atascamiento será mayor.

En la filtración intervienen los siguientes factores:

- Granulometría de la arena.
- Velocidad de filtración.
- Pérdida de carga.
- Calidad de agua para filtrar.
- Lavado de filtros.

En la Planta de Tratamiento de Agua la Llana hay seis (6) filtros Aguazur tipo N, que están construidos en forma de cuba rectangular en hormigón provista de un falso fondo, sobre la cual están sujetas las boquillas colectoras, llamadas toberas construidas en plástico que actúan como medio filtrante.

El agua llega al filtro por medio de una válvula batiente, ésta regula el suministro a cada filtro. El nivel de agua en los filtros es fijo o varía poco. El caudal en los filtros es igual al caudal total que llega a la instalación, dividido por el número de filtros en servicio. El agua filtrada pasa a un colector general. En el fondo se encuentra tubería para el lavado del filtro, o sea, tubería de agua para lavado y tubería del aire para el lavado. El falso fondo está construido por placas de hormigón donde están empotrados anillos en los cuales se atornillan las boquillas colectoras.

Un filtro está compuesto por: **Ver figuras 9 y 10.**

- (a) Una válvula de salida para el agua filtrada.

- (b) Una válvula de entrada para el agua de lavado.
- (c) Una válvula de entrada de aire para el lavado.
- (d) Dos válvula batientes.
- (e) Una caja de parcialización.
- (f) Un registrador de pérdida de carga.

Para regular el caudal que viene del decantador se tiene los siguientes elementos:

– Sifón Parcializado: está constituido por dos tubos concéntricos, efectuándose la circulación desde el tubo interior hacia el tubo exterior. El exterior se ensancha en la parte superior, funciona como un sifón ordinario, su objetivo es regular el caudal del agua que sale del filtro de tal manera que se mantenga constante a través del tiempo para un mismo caudal. Su funcionamiento es el siguiente: Cuando el filtro está limpio se introduce aire por su parte superior, este aire es arrastrado por el agua en el conducto de salida, donde la densidad de la mezcla aire-agua decrece, disminuyendo así el vacío que se produce en el cuello, así mismo su caudal a filtrar a través del lecho filtrante. A medida de que el filtro se ensucia se restringe el caudal de aire de entrada por la caja de parcialización aumentando el vacío en el cuello y aumentando el caudal de agua a filtrar.

– Caja de Parcialización: Es el órgano que regula el caudal de aire que se introduce en la parte superior del sifón. A medida de que el filtro se atasca el caudal de aire decrece, dando lugar a un aumento de la densidad de la mezcla agua-aire en el sifón aumentando el caudal de agua a filtrar. Cuando el filtro se encuentra totalmente atascado, no penetra más aire y el filtro trabaja a su máxima carga, y es momento de lavarlo. Con la caja de parcialización se consigue por tanto, una compensación automática por atascamiento.

Al terminar el proceso de filtración, el agua pasa al sistema de bombeo (Sala de Bombas).

Figura 9. Esquema de un Filtro en periodo de Filtración

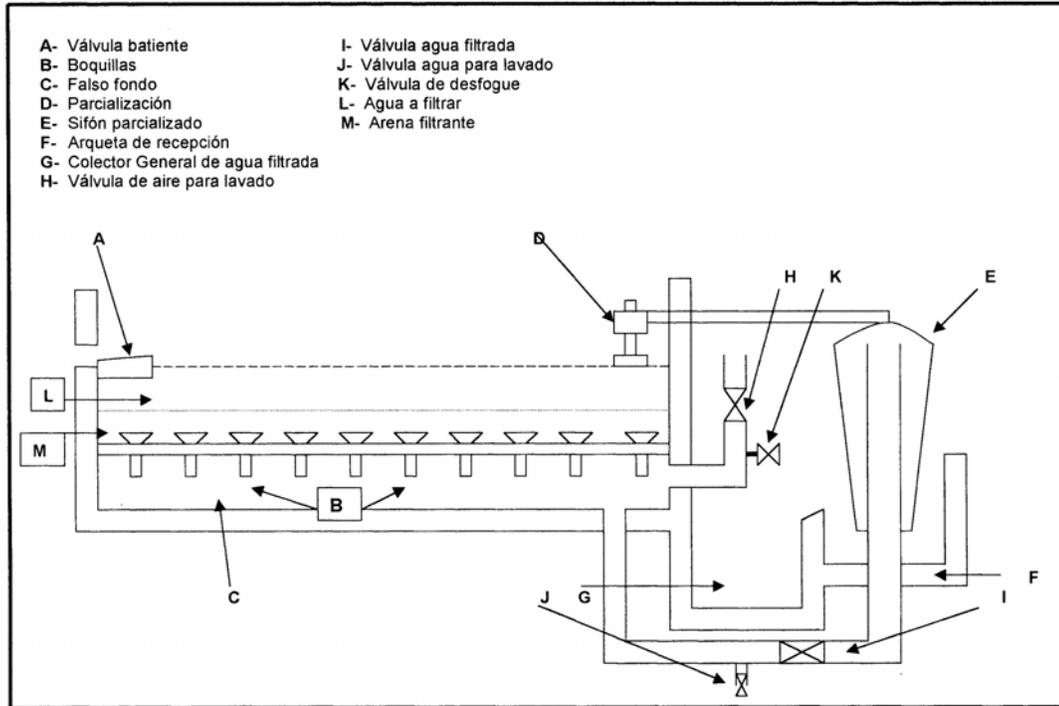
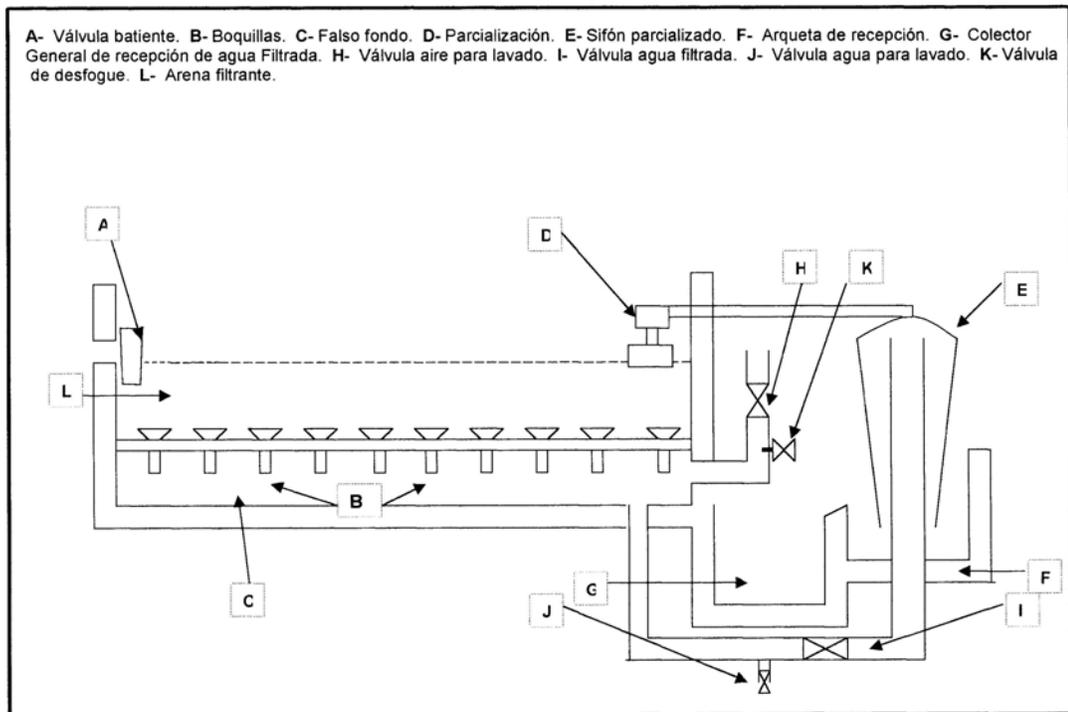


Figura 10. Esquema de un Filtro en periodo de lavado.



2.9 SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL (RTU, DPC, RADIO ENLACE)

Actualmente, existe un sistema de monitoreo de las variables involucradas en los procesos de la planta de tratamiento de agua, bocatoma del campo 50, bocatoma auxiliar, sala de bombas y planta 5. Este monitoreo se hace desde dos puntos: el cuarto de control de la planta del campo 23 y desde las oficinas generales de El Centro ubicadas a 11 Km. La comunicación se hace vía RS-485 y vía radio-módem

que enlaza una RTU (Remote Terminal Unit) y cuatro controladores de procesos distribuidos (DPC's) ubicadas en cada uno de los lugares a los cuales se les hace monitoreo. La DPC 3330 del campo 23 actúa como maestro de otra DPC 3330 del campo 23 y de la DPC 3330 de la sala de bombas. La comunicación entre ellas es a través de cable RS-485. Así mismo, la DPC 3330 del campo 23 sirve de maestro de las DPC 3330 de la bocatoma del campo 50 y de la RTU 3310 de las oficinas, esta comunicación se hace a través de radio-módem. La frecuencia utilizada para esta transmisión es de 168.3 KHz. La arquitectura de esta red de comunicación es como se ilustra en la figura 2.

Las unidades terminales remotas (RTU) y los controladores de procesos distribuidos (DPC) son controladores basados en un microprocesador que pueden funcionar como unidades independientes o como nodo de un sistema en red. La RTU monitorea y controla un número de señales conectadas al proceso a través de las tarjetas de Entrada/Salida (I/O's), cuyos datos son analizados en tiempo real, ejecuta algoritmos de control basados en la configuración del software del usuario y se comunica en red a través de un esquema jerárquico de unidades maestro y esclavo, **ver figura 11.**

Estas RTU están nombradas desde ECO 1 hasta ECO 5, de la siguiente forma:

DPC 3330 del Campo 23:	ECO 1 (Gabinete blanco)
DPC 3330 del Campo 23:	ECO 2 (Gabinete azul)
DPC 3330 Sala de Bombas:	ECO 3
DPC 3330 Campo 50:	ECO 4
RTU 3310 Oficinas:	ECO 5

2.9.1 Monitores de Potencia: Los parámetros eléctricos de los motores de 450 HP a 2400 voltios de cada una de las bombas localizadas en la Bocatoma del Campo 23, serán registrados por medio de monitores de potencia 3710 ACM de la Power Measurement Ltda.

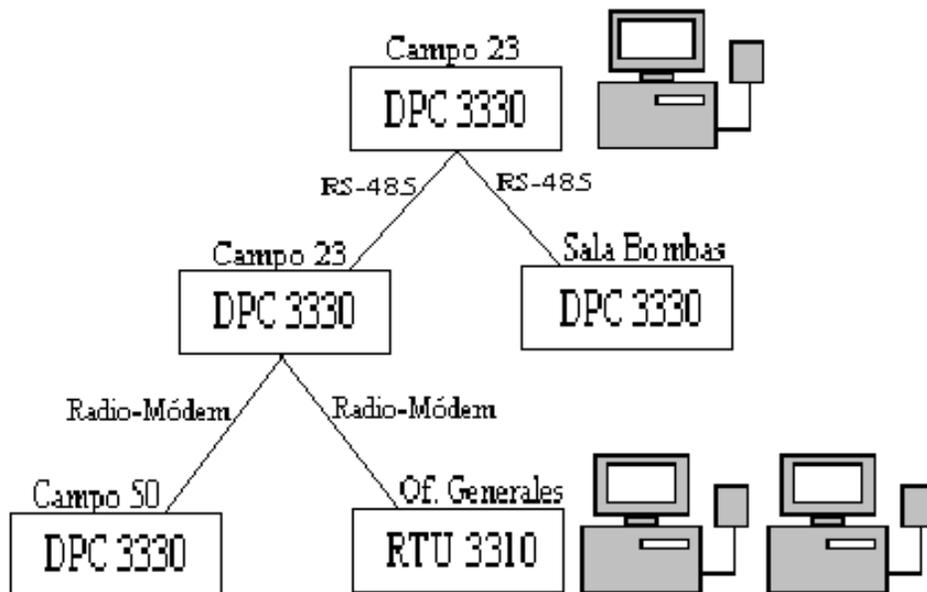
Los parámetros de potencia que se registran son los siguientes:

- Voltajes de línea de barraje general
- Las corrientes de línea de cada motor
- El factor de potencia del sistema

En la bocatoma del campo 50 hay 4 monitores de potencia distribuidos así: uno para cada uno de los tres motores y el cuarto para el Master.

En la Sala de bombas hay 5 monitores de potencia distribuidos así: uno para cada uno de los 4 motores y el quinto para el Master.

Figura 11. Sistema de monitoreo



2.10. SALA DE BOMBAS

La ubicación de esta instalación es 100 m. al sur de la Planta de Tratamiento de Agua La Llana. Su perímetro está protegido con un enmallado, dentro de éste están ubicados tres tanque (1 y 2 de agua industrial y 3 de agua potable) la capacidad de los tanques 2 y 3 es de 10.000 Bls. y del tanque 1, capacidad 11.600 Bls.

También está un salón de bombas, el cuarto del operador donde está todo el equipo electrónico y de automatización, por ultimo el salón de adición de cloro.

El objetivo principal de esta instalación es adicionar el cloro y bombear el agua ya clorada hacia El Centro para el consumo residencial y para la inyección al yacimiento La Cira. El agua que viene de la Planta ya tratada por los Decantadores y Filtros es almacenada en los tanques del área de la sala de bombas. En la succión de las bombas se lleva a cabo la adición de cloro por medio de un dosificador, **Ver figura 12.**

Por 6 bombas (3 de agua Industrial y 3 de agua Potable), El agua es tomada de los tanques, en el caso del Agua Industrial tomada de los tanques 1 y 2, enviada por una línea de 20" al tanque Cerro Borrero. Para el caso del Agua Potable, es tomada del tanque 3 y bombeada con un pH entre 7.5 y 7.9 hacia el tanque Casa Loma, tanque 30.000 y tanque Planta Eléctrica. Después distribuida a las casas, hospital, club, etc.

Las especificaciones de las Motobombas son, **tabla 10:**

Tabla 10. Especificaciones de las motobombas

USO	AGUA INDUSTRIAL	AGUA POTABLE
MARCA	Goulds	Goulds
TIPO	3415	3316
GPM	2480	759
TDH	460	640
RPM	1780	3560
MOTOR	AEG	G.E.
POTENCIA, HP	440	200
VOLTAJE, V	440	440
LUB. BOMBA	Teresso 43	Teresso 43
LUB. MOTOR	Grasa	Grasa

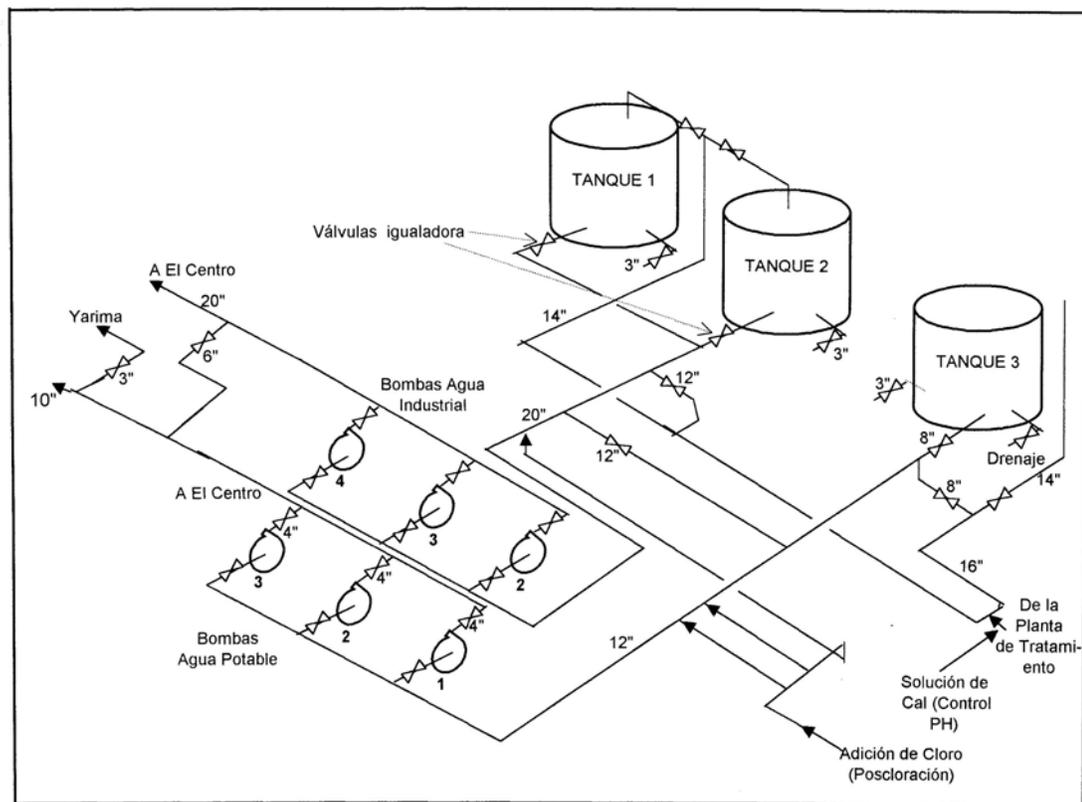
En la descarga de los tanques existe una válvula igualadora, cuya función es aumentar el caudal del tanque debido a un alto nivel en comparación a los demás. Esta válvula restringe o aumenta el flujo del tanque hacia las bombas según sea el caso. Para ubicarlas **ver la figura 12**.

Una importante operación que tiene que hacer el operador de la sala de bombas es cuando en la galería de filtros se está derramando el agua y se tiene que desairar la línea. Los pasos a seguir son los siguientes:

1. Se cierra la entrada al tanque #3 por espacio de 5 minutos para que se represione la línea y ésta desaire por la ventosa ubicada pasos arriba de la sala de bombas.

2. En los tanques #1 y #2 se cierra el by-pass para que el agua suba por la T y descargue por la parte de encima de esos dos tanque permitiendo que haya represión en la línea y desplace el aire por la ventosa en un tiempo de 5 minutos.
3. Pasado el tiempo recomendado normalizar la operación.

Figura 12. Tanques de Almacenamiento de Agua Potable e Industrial



2.10.1 Esterilización: Todas las aguas así hayan pasado por procesos de decantación y filtración aún están contaminadas con organismos, que al ser introducidos a nuestro cuerpo son nocivos para la salud. Por medio de la

esterilización del agua se logra la eliminación de estos organismos que son: virus y bacterias.

Los métodos de esterilización son:

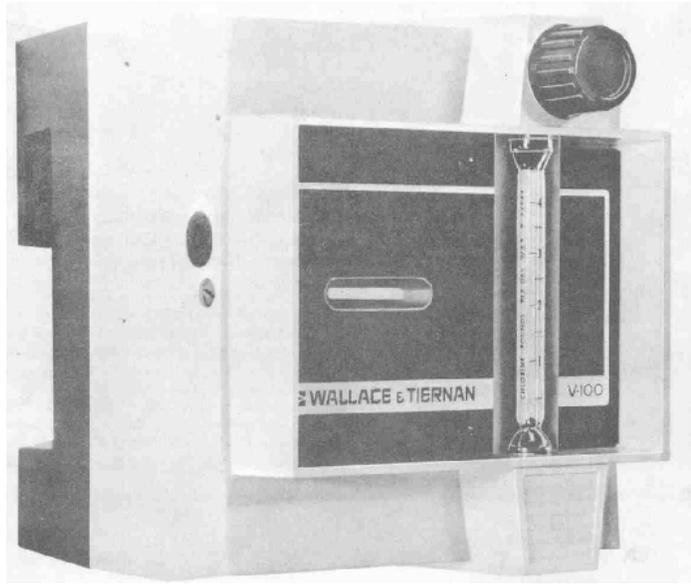
1. Adición de cloro o sus derivados (cloración)
2. Adición de ozono (ozonización)
3. Rayos ultravioletas
4. Otros.

Como en la Planta de Tratamiento de Agua la Llana se utiliza es la adición de cloro, hablaremos solo de ella.

Las propiedades fisicoquímicas del Cloro son: Su símbolo es Cl, peso atómico es: 65.457, punto de fusión -101.4°C y punto de ebullición: -34.5°C . El cloro gaseoso tiene color verde amarillento, densidad 2.5 teniendo como referencia la del aire de 1.

2.10.2 Cloración: Es el proceso por el cual el cloro es adicionado al agua para esterilizarla. Es el método más efectivo por su bajo costo con respecto a la Adición de ozono, también es muy confiable y de fácil manejo. El cloro puede agregarse como gas o en solución y también en compañía de otras sustancias químicas. El suministro del cloro se hace por medio de unos aparatos llamados “cloradores o clorinadores”, **Ver figura 13.**

Figura 13. Clorinador o Clorador.



TOMADO CATALOGO DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN, ECOPETROL

El cloro que se utiliza en la planta es cloro como gas y éste al reaccionar con el agua forma ácido clorhídrico (HCl) y ácido Hipocloroso (HOCl) de acuerdo con la siguiente reacción:



A su vez el ácido hipocloroso que se forma se descompone en iones de hidrógeno (H^+) e iones de hipoclorito (ClO^-) de acuerdo a la reacción:



En el poder oxidante del ácido hipocloroso y del ion hipoclorito radica todo el poder desinfectante del cloro, ya que esta es la que reacciona con la materia orgánica presente en el agua.

La formación de ácido hipocloroso e ion hipoclorito depende del pH del agua. Cuando el pH está por debajo de 5 se encuentra el cloro en forma molecular (Cl_2), entre 5.0 y 6.0 el cloro se encuentra como ácido hipocloroso (HClO), cuando el pH

está entre 6.0 y 10 se encuentra como HClO y ClO^- , Pero si está sobre 10 solo se encuentra como (ClO^-).

Siempre que se trabaja con cloro hay que agregar más cloro (excedente) para que reaccione con la materia orgánica que pueda aparecer más adelante, éste recibe el nombre de “Cloro residual libre”.

Los factores que afectan la cloración son:

1. Tiempo y concentración: El tiempo se refiere al tiempo de contacto entre el cloro y la bacteria, y la concentración a la cantidad de cloro suministrado. Estos factores son muy importantes para una buena purificación del agua.
2. Temperatura: A mayor temperatura la desinfección es más rápida.
3. pH: El poder desinfectante del cloro disminuye con el aumento del pH.
4. Naturaleza del agua: en el agua pueden estar presentes las siguientes sustancias:
 - a) La materia orgánica, que al reaccionar con el cloro produce compuestos secundarios que eliminan su poder desinfectante.
 - b) Sólidos en suspensión, que protegen a las bacterias del cloro.
 - c) El manganeso, éste interfiere en la determinación del cloro residual.
 - d) El hierro, en concentraciones mayores a 1.0 ppm, causa error en la prueba con la ortotolidina.

Según el momento donde se aplique el cloro el proceso recibe un nombre:

PRECLORACIÓN: Es cuando se aplica el cloro antes de cualquier otro tratamiento.

POSCLORACIÓN: Es la aplicación del cloro después de cualquier otro tratamiento.

Este aumenta el cloro residual para que llegue al sitio de consumo con el valor recomendado mínimo.

RECLORINACIÓN: Consiste en la aplicación de cloro en uno o más puntos de la línea de distribución, después que el agua previamente haya sido posclorada. Este se usa en sitios donde la red es muy grande y el cloro residual no alcanza a llegar en los límites recomendados.

2.10.3 Recipientes de Cloro: El cloro es despachado como líquido bajo presión en recipientes de acero, de conformidad con las especificaciones de seguridad. Hay

tres clases de recipientes contenedores de cloro: cilindros, recipientes de tonelada (900 Kg) y por ultimo carro-tanques. Ya que el utilizado en la Planta de Tratamiento de Agua La Llana "Campo 23" es el Recipiente de tonelada ampliaremos un poco su descripción.

Recipientes de Tonelada: Son tanques de acero con uniones soldadas, **Ver figura 14**. El recipiente está equipado con dos válvulas iguales, cerca del centro en uno de los extremos. Este tipo de válvulas difiere de la válvula estandard para cilindros, en que no tiene tapón fusible, teniendo un pasaje interno más largo; cada válvula conecta con un tubo interno. Las válvulas están protegidas por un capuchón protector de acero removible.

Todos los recipientes de tonelada están equipados con fusibles metálicos de seguridad. La mayoría tiene seis tapones fusibles, tres en cada extremo. El metal fusible está diseñado para fundirse entre 70 y 74°F.

Figura 14. Cilindro de Tonelada.



2.10.4 Manejo del Cloro: El cloro no constituye un riesgo industrial serio, si quienes trabajan con él adecuadamente instruidos y supervisados en la manera correcta de manejarlo. El personal debe conocer los peligros que pueden resultar de un manejo inadecuado, igualmente cada persona debe saber cómo actuar en caso de emergencia, ver anexo de ATS.

Durante el manejo de recipientes de Cloro deben extremarse las precauciones, observando las normas y medidas que se indican a continuación:

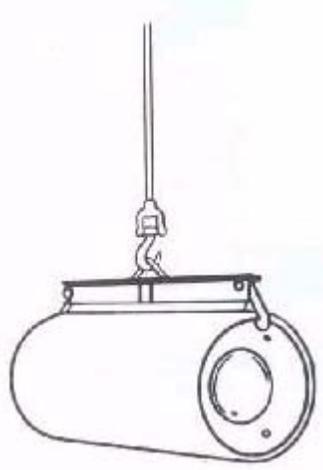
- Al mover los recipientes de cloro, los capuchones de protección de las válvulas deberán estar en su lugar y evitar que sean golpeados.
- La movilización interna de cilindros de tonelada se debe hacer individualmente y de manera horizontal utilizando la grúa elevadora especial.
- Siempre que sea necesario movilizar cilindros, deben tener colocados en su lugar los tapones de las válvulas y el capuchón protector. La falta de estas partes puede causar accidentes.

2.10.5 Transporte de Cloro: Para este fin se requiere observar medidas especiales de seguridad, con el fin de evitar daños en los cilindros, lo cual puede ocasionar emergencias de graves consecuencias. Los conductores de los vehículos en los que se efectúa este transporte deberán ser instruidos sobre las normas al igual que sobre el procedimiento a seguir en caso de emergencia por escapes de cloro durante el viaje.

- El cargue y descargue de los cilindros al vehículo transportador deberá hacerse por medio de una plataforma utilizando una grúa, ver figura 15.
- Para su transporte se deben colocar en forma horizontal, y llevar los capuchones protectores de las válvulas, así estos cilindros estén vacíos.
- Para la protección de conductor se debe contar en cada camión transportador con una máscara antigas con filtro contra cloro, para utilizarlo en caso de emergencia.

- El vehiculo que transporta cloro deberá llevar en un lugar visible un aviso que indique que es lo que transporta, con la leyenda: “PELIGRO – TRANSPORTAMOS CLORO – GAS TÓXICO”.

Figura 15. Transporte del cilindro por medio de grúa.



TOMADO CATALOGO ECOPETROL

2.10.6 Almacenamiento de Cloro: Los cilindros así estén llenos o vacíos, deben almacenarse en una zona limpia, bien ventilada, relativamente aislada, alejada de cualquier fuente de calor, protegida contra rayos del sol y de cambios extremos de temperatura, retirados de zonas donde se almacene otros productos químicos y gases comprimidos. No se debe almacenar en zonas subterráneas.

Los cilindros llenos se almacenaran en forma tal que el acceso a la zona sea fácil y el retiro de los cilindros pueda hacerse con el mínimo de manejo.

Si hay riesgo de humedad, los cilindros se deben almacenar sobre plataformas adecuadas, **ver figura 16**. Como se ha reiterado, se deben proteger los capuchones protectores de las válvulas.

Los cilindros llenos se deben almacenar en un lugar diferente a los vacíos colocando avisos de su estado.

Figura 16. Almacenamiento de los Cilindros de Tonelada



TOMADO CATALOGO ECOPETROL

2.10.7 Determinación del Cloro Residual: En el momento de adicionarse el cloro al agua, éste reacciona con la sustancias orgánicas presentes, como es lógico el cloro es finito y se acaba, por tanto cesa el poder desinfectante. Por ello hay que agregar cloro en la cantidad suficiente para que reaccione con la materia orgánica y además nos quede cloro residual libre y con esto cumplir con las especificaciones de un agua de buena calidad.

Para determinar el Cloro Residual Libre se siguen los siguientes pasos:

Se toman 10 cc de agua tratada o filtrada según sea el caso y se agregan 5 gotas de solución de ortotolidina, enseguida el agua toma un color amarillo, cuya intensidad depende de la cantidad de Cloro Residual Libre presente.

Este color se compara con una tablilla que nos indica la cantidad de Cloro Residual Libre presente expresada en ppm y si éste está en la proporción requerida.

El cloro residual libre debe llegar al lugar de consumo con una concentración entre 0.1 y 0.5 ppm, para que esto se cumpla de la Planta debe salir con una concentración que oscile entre 1.5 y 2.2 ppm.

2.10.8 Calidad del agua Potable: Para que el agua sea considerada como agua potable debe satisfacer las siguientes condiciones:

- (a) No debe contener organismos parásitos o patógenos.
- (b) El color comprendido en unidades de Platino-cobalto debe estar comprendido entre 5 y 15.
- (c) No debe presentar olor ni sabor desagradables.
- (d) No debe presentar índices químicos de contaminación, ni concentración de sustancias tóxicas.

Debido a la diferente composición del agua de una región a otra es imposible establecer normas estrictas de calidad química.

Los límites que se deben tener en cuenta son, **Tabla 11:**

Tabla 11. Valores deseable y admisible del agua Potable.

PROPIEDAD	VALOR DESEABLE mg/l	VALOR ADMISIBLE mg/l
Turbidez, JTU	5	25
PH	7.0 a 8.5	6.5 a 9.2
Dureza total, ppm CaCO ₃	-	30 - 150
Sólidos totales, ppm	200	500
Color, U (Escala Pt – Co)	5	15
SUSTANCIA (PPM)		
Hierro (Fe)	-	0.3
Manganeso (Mn)	-	0.1
Cobre (Cu)	-	1.0
Zinc (Zn)	-	10
Calcio (Ca)	75	200
Magnesio (Mg)	-	36

Sulfatos (SO ₄)	-	250
Cloruros (Cl ⁻)	-	250
Compuestos fenólicos	0.001	0.002
Detergentes aniónicos	0.2	1.0
Aceites minerales	0.01	0.30
Fluoruros (F ⁻)	0.6	0.8
Nitratos (NO ₃)	-	45
Plomo (Pb)	-	0.05
Selenio (Se)	-	0.01
Arsénico (As)	-	0.05
Cianuros (CN)	-	0.1
Cadmio (Cd)	-	0.005
Mercurio total (Mg)	-	0.001

TOMADO DE REGISTROS COOR. AGUA Y GAS.

Criterio de calidad química para características con implicaciones de tipo económico o acción indirecta contra la salud:

Tabla 12. Calidad Química para el Agua.

características	Expresadas como	Valor admisible mg/l
Calcio	Ca	60
Acidez	CaCO₃	50
Hidróxidos	CaCO₃	-
Alcalinidad total	CaCO₃	100
Cloruros	Cl	250
Dureza total	CaCO₃	160
Hierro total	Fe	0.3

Magnesio	Mg	36
Manganeso	Mn	0.1
Sulfatos	SO₄⁻²	250
Zinc	Zn	5
Fluoruros	F	1.2
Fosfatos	PO₄⁻³	0.2

TOMADO DE REGISTROS COOR. AGUA Y GAS.

2.11 Distribución del agua tratada

Como vimos durante los capítulos anteriores, el agua después de pasar por los procesos de decantación y filtración llega a los tanques ubicados en la sala de bombas, de estos tanques, el agua va a alimentar las respectivas bombas de agua potable y agua industrial, aplicándole antes la postcloración, cumpliendo la esterilización del agua, quedando lista para ser distribuida entre los diferentes consumidores, **Ver Figura 17.**

Figura 17. Sistema de Distribución de Agua Industrial y Potable.

2.11.1 Sistema de Agua Potable: El agua es bombeada por dos de las tres motobombas destinadas para el agua potable con las especificaciones de salubridad, a través de una línea de 10" que básicamente alimenta los tanques "Casa loma", "Treinta mil" y "Planta Eléctrica" por rebose del tanque "Treinta mil". La interconexión hace circuito cerrado con las líneas de agua industrial. Esta agua se utiliza para consumo domestico.

2.11.2 Sistema de Agua Industrial: Por medio de dos de las tres bombas instaladas en la sala de bombas se transporta el agua industrial a través de una línea de 20", que termina en el tanque "Cerro Borrero". En el Campo 16, de esta

línea de 20" sale una línea de 8" que lleva el agua para consumo de la Planta de Gasolina El Centro, también alimentar el tanque de Planta Eléctrica y otros consumos menores.

Los sistemas de agua industrial y potable están interconectados en varios sitios, el primero es en la Sala de Bombas en línea de 6", el segundo es en el Campo 16 en línea de 8" desde la línea de 20" de agua industrial que empalma con el sistema de agua potable. Otra interconexión sale de un ramal de 8" que lleva agua al tanque "Casa Loma", una más de 6" sale cerca del cuartel del ejercito y la une con la línea de 20". Del tanque "Cerro Borrero" salen dos líneas de 20" y 14", para alimentar las turbinas, bombas centrifugas y bombas reciprocantes de la planta de inyección #5.

2.11.3 Necesidades Volumétricas de Agua Potable: Los requerimientos de agua por parte de la empresa son aproximadamente 53,000 BPD distribuidos de la siguiente manera:

Agua de Inyección:

Teniendo en cuenta los modelos de inyección actuales de los campos de la SMA, se necesitan 33,000 BPD como volumen necesario para recuperación secundaria de crudo manteniendo una presión del sistema de inyección en 1800 Psig.

Agua Uso Industrial en Plantas y Talleres:

Se considera que el volumen de agua necesario para las actividades de éstas plantas y talleres es de 3,000 BPD distribuidos de la siguiente forma: 1,700 BPD planta de Gas, 800 BPD deshidratadoras y 500 BPD zona industrial.

Agua Potable para consumo en Oficinas y Barrios de Ecopetrol:

Para los 3 barrios de ECOPETROL, Oficinas y Casinos se estima necesario un volumen de 2,000 BPD.

Agua Potable para consumo en las veredas:

Considerando que el consumo básico mensual para una familia promedio de 6 integrantes es de 24 m³ / mes (5.03 BPD) y que el numero de familias estimadas para 1999 es de 2808, se necesitarían 14,131 BPD. Según la oficina de relaciones con la comunidad la distribución geográfica de éste volumen es la siguiente, **tabla 13:**

Tabla 13. Consumo de Agua Potable.

LOCALIZACION	No. FAMILIAS	CONSUMO m³/D	CONSUMO BPD
EL CENTRO	2,379	1,903.20	11,972.07
CAMPO 50	32	25.60	161.04
YARIMA	320	256.00	1,610.37
TENERIFE	77	61.60	387.49
TOTAL	2,808	2,246.40	14,130.97

TOMADO REGISTROS DE ECOPETROL

3. PLANTA DE INYECCIÓN # 5 (MANUAL DE OPERACIÓN)

Cuando el tiempo de Producción en un yacimiento de aceite es prolongado, como es propio, la curva de producción (Barriles de crudo por día) contra tiempo se hace más inclinada (declinación de la producción). Para aminorar esta tendencia y sacarle provecho por un poco más de tiempo al yacimiento se desarrollaron técnicas que fueron llamadas recuperación secundaria que son: inyección de gas a la formación productora e inyección de agua a la formación productora, con lo cual se intenta mejorar la presión del yacimiento logrando esto con un desplazamiento (barrido) del aceite por el fluido inmisible y a su vez esto mejora la producción. En nuestro caso el método de recuperación secundario utilizado en el Campo La Cira es inyección de agua.

Además de la recuperación secundaria se han venido implementando nuevas técnicas alrededor del mundo llamadas recuperación mejorada que contemplan el uso de inyección de polímeros desarrollados en laboratorio, combustión in-situ que disminuye la viscosidad de crudos pesados, y así, cada vez más surgen nuevas técnicas innovadoras que buscan aumentar el factor de recobro de aceite en los yacimientos.

En el transcurso de este documento veremos generalidades del campo La Cira, su inyección y nos centraremos en la Planta de inyección # 5.

3.1. GENERALIDADES

3.1.1 LOCALIZACIÓN: El Campo La Cira se encuentra ubicado hacia la parte central de la antigua Concesión De Mares, al Este del río Magdalena y al Sur del río Sogamoso, abarcando un área de aproximadamente 160 km² y a una distancia de 22 km al SE de la ciudad de Barrancabermeja, siendo éste uno de los campos de mayor producción a lo largo de la historia en la Cuenca del Valle Medio del Magdalena.

3.1.2 RESEÑA HISTÓRICA: La perforación del anticlinal de La Cira comenzó en febrero de 1925, con el pozo LC -58 (completado en zona "A"). En este mismo año se descubre la zona "B" y las arenas "116" de la zona "A", mediante la perforación del pozo LC-116. Con la perforación y el completamiento del pozo LC-125 (Julio/26) se descubre la zona "C", que inicia con una tasa de 2350 BPD. A finales de 1940 se habían perforado un total de 675 pozos: 610 en la zona "C", 37 en la zona "B" y 28 en la zona "A".

En 1928, se inicia la inyección de gas en la zona "B", suspendiéndose antes de cumplir un año, para reiniciarlo en 1931 y suspenderla en 1936, debido a las altas presiones y la falta de resultados concluyentes. En enero de 1929 se inyectó gas en la zona "A". En mayo 1930, se inició la inyección de gas en la zona "C" y se mantuvo

a tasas variables hasta los inicios de la recuperación secundaria. Esta se desarrollo principalmente en el área 02. En 1947 se suspende la perforación, habiéndose perforado 857 pozos. El espaciamiento promedio es de 14 acres.

El primer programa de inyección de agua en el campo La Cira se realizó entre 1946 y 1949, a través de siete pozos localizados en su periferia sobre el acuífero, en el sector del área 3W, con el propósito de presurizar el yacimiento.

En 1957, se inició la ejecución de recobro de aceite por inyección de agua en la zona “ C “ del campo la Cira, en un área de 280 acres, localizado en la parte central del área 3W. A finales de 1958, se inicia el segundo desarrollo en el área 3W.

Durante los años de 1964 hasta comienzos de 1966, ECOPETROL perforó 19 pozos que permitieron el desarrollo del Area La Cira Norte, considerando el pozo LC 1753 como el descubridor del área.

ECOPETROL ha realizado programas de inyección en Zona “A” (Arenas “58”) en un sector del área 3W. Entre Febrero/73 y Mayo/77, se inyectaron 2.4 Mbls de agua y Kbls secundarios. En noviembre/78 se reinicia la inyección en esta zona, el volumen de agua inyectado en esta segunda fase es de 6.3 Mbls y la producción secundaria recuperada es de 375 Kbls. Este programa fue suspendido en septiembre de 1988.

En Zona “B”: Se realizaron pilotos de inyección en las arenas “244”, “13” y “ La Cira” del área 3W que involucró como pozos productores centrales a: LC-892, LC-762, LC-853. La producción máxima del campo se obtuvo en 1939 con un valor de 53000 Bopd, el pico de producción secundaria se alcanzo en octubre de 1974, con una tasa de 11780 Bopd. con una rata de inyección de 120300 Bwpd.

En la actualidad se han perforado en el área de la Cira - Infantas 1703 pozos, de los cuales hay aproximadamente 721 productores, 113 inyectores de agua, siendo actualmente la producción promedio de aceite de 7000 bls. por día y una producción de aceite acumulada de 713 Mbls.

3.1.3 GEOLOGIA: Geológicamente el campo está ubicado en la sección central de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena, la cual fue un área de depositación de

sedimentos no marinos y de agua salobre durante el Terciario; estos sedimentos descansan discordantemente sobre los sedimentos marinos del Cretáceo y algunas veces sobre rocas del basamento Pre-Cretáceo.

3.1.4 HISTORIA DE PRODUCCION: La producción promedio actual para La Cira-Infantas es de 7000 BOPD, con 63 % BSW la cual proviene de 721 pozos activos, que producen por Bombeo mecánico. La inyección de agua sólo se presenta en el campo La Cira.

El Campo La Cira, al igual que el campo Infantas en el año 1926 inicia su explotación y se consideró desarrollado en 1947, cuando se habían perforado 857 pozos. La curva de producción presenta una declinación con tendencia hiperbólica, que en la actualidad es de 3 % anual, **ver figura 18**.

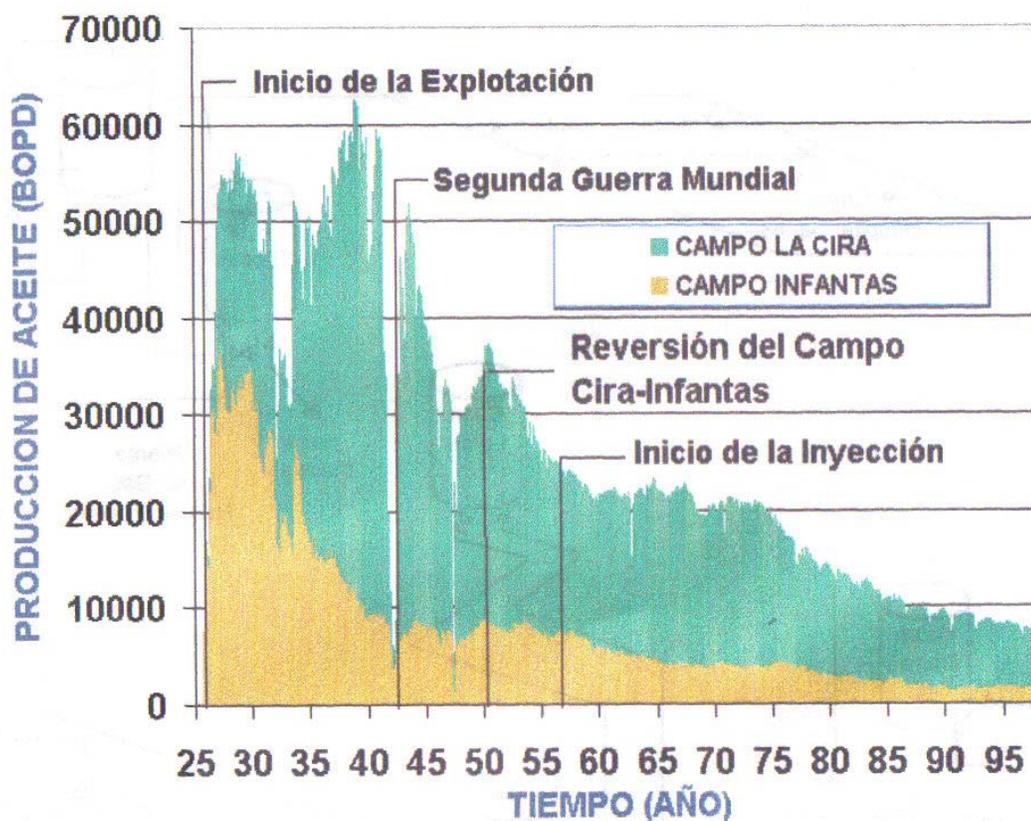
El total de pozos perforados en el campo es de 1138, de los cuales permanecen activos 528, con un espaciamiento promedio de 14 acres. La máxima producción se obtuvo en 1939 con una tasa de 53000 bpd de petróleo, siendo actualmente de 5530 bpd de aceite, **ver tabla 14**. El campo La Cira (a excepción de Area 01) se encuentra en proceso de recuperación secundaria por inyección de agua desde 1957.

Tabla 14. Generalidades

Descripción	Infantas	La Cira
Año de descubrimiento	1918	1926
Producción actual prom. (BOPD)	1560	6065
Número de pozos activos	193	528
Número de pozos inyectores	-	113
Producción prom. Por pozo (BOPD)	8	11
BSW prom. (%)	45	80
Sistema de levantamiento	Bombeo Mecánico	
Recuperación secundaria	-	Si

TOMADO ARCHIVOS DE ECOPEPETROL

Figura 18. Historia de Producción



3.2. AGUA DE INYECCION

La Inyección de Agua es un método de recuperación secundaria de crudo (aceite) y sirve para mejorar la producción de aceite (factor de recobro), aumentando la presión del yacimiento por medio de un desplazamiento del crudo ejercido por el agua inyectada a alta presión (1800 psig).

El crudo se encuentra en los poros de la roca, una analogía de esto puede ser una esponja mojada, siendo la esponja el yacimiento y el agua el crudo. A medida de que se va explotando el yacimiento por un gradiente de presión (diferencia de presiones entre la superficie y el yacimiento), se produce el crudo y la presión del yacimiento disminuye. Para tratar de aliviar esta pérdida de presión se utiliza las propiedades de baja compresibilidad e inmiscibilidad del agua con el crudo para lograr un desplazamiento del crudo. Algunas propiedades que se tienen que tener en cuenta son, por parte del yacimiento, permeabilidad, mojabilidad, presión capilar y porosidad.

La **figura 19 y 20** muestran una explicación gráfica de lo que sucede en la formación productora al inyectarse agua para recuperación secundaria.

El agua de inyección utilizada en el sistema secundario de la estructura La Cira ha provenido de diferentes fuentes, y por tanto con características diferentes.

Inicialmente, en las primeras etapas de proceso secundario el agua de inyección fue extraída de pozos de agua que explotaban acuíferos de agua dulce de las denominadas arenas ripiosas. Posteriormente, con la expansión del proceso secundario a otras áreas de la estructura La Cira, el agua de inyección es tomada del río La Llana y tratada en la Planta de Tratamiento de Agua La Llana “campo 23”. La composición del agua de inyección, por ser tomada del río y tratada en un sistema abierto, presenta variaciones asociadas principalmente a las épocas de lluvias y a la calidad del tratamiento. A lo largo del sistema de distribución también se presentan variaciones, especialmente en el contenido de O₂, hierro, sólidos disueltos y actividad bacterial. Estas variaciones están asociadas a deterioro del sistema de distribución, fundamentalmente a problemas de corrosión y a presencia de la bacteria sulfato reductora.

La información aquí presentada es extraída de reportes de análisis físico-químicos de aguas de inyección tomadas en el área 02 y en varios puntos del sistema de captación y distribución y en un pozo productor afectado por la inyección, se presentan a continuación, **tabla 15**.

Tabla 15. ANALISIS FISICO-QUIMICO AGUAS DE INYECCION

LUGAR MUESTR.	pH	Resist . Ohm-m	O2 Mg/l	HCO 3 Mg/l	Ca++ Mg/l	Mg+ +Mg/l	Fe tot Mg/l	Fe++ +Mg/l	SO4 = Mg/l	Cl- Mg/l	NaCl eq Mg/l
PTA TRAT	6.8 1	43.47	7	56	29	2.1	1.0	1.0	46	4.5	109
PLANTA 5	7.1 0	43.47	6	77.6	33	2.2	0.8	0.8	37	4.5	113
MULT.39	6.8 2	47.62	6	57.7	30	2.2	1.3	1.3	42	4.3	105
LC1823-C	6.8 0	37.04	7	59.6	29	2.1	0.9	0.9	41	4.5	106

LC1823-F	7.3 6	38.46	7	69.5	34	2.2	5.9	0.6	40	5.4	113
LC 1819-C	7.1 9	41.67	6	88.5	33	2.1	1.3	1.3	30	5.2	137
LC 1824*	6.9 4	0.75	0.2 5	959.9	250	75	3.5	3.0	6	3822	6993

TOMADO REGISTROS ECOPETROL

LC 1824* - Pozo Productor

El Contenido de Ba⁺⁺, Sr⁺⁺, en las aguas de inyección no fue detectado y en las aguas producidas estuvo en los rangos 46-61 y 18-30 Mg/lit, respectivamente. El de CO₂, para las aguas de inyección siempre fue < 10 Mg/lit y para las aguas producidas estuvo en el rango 40-100 mg/lit.

Figura19. Recuperación Primaria.

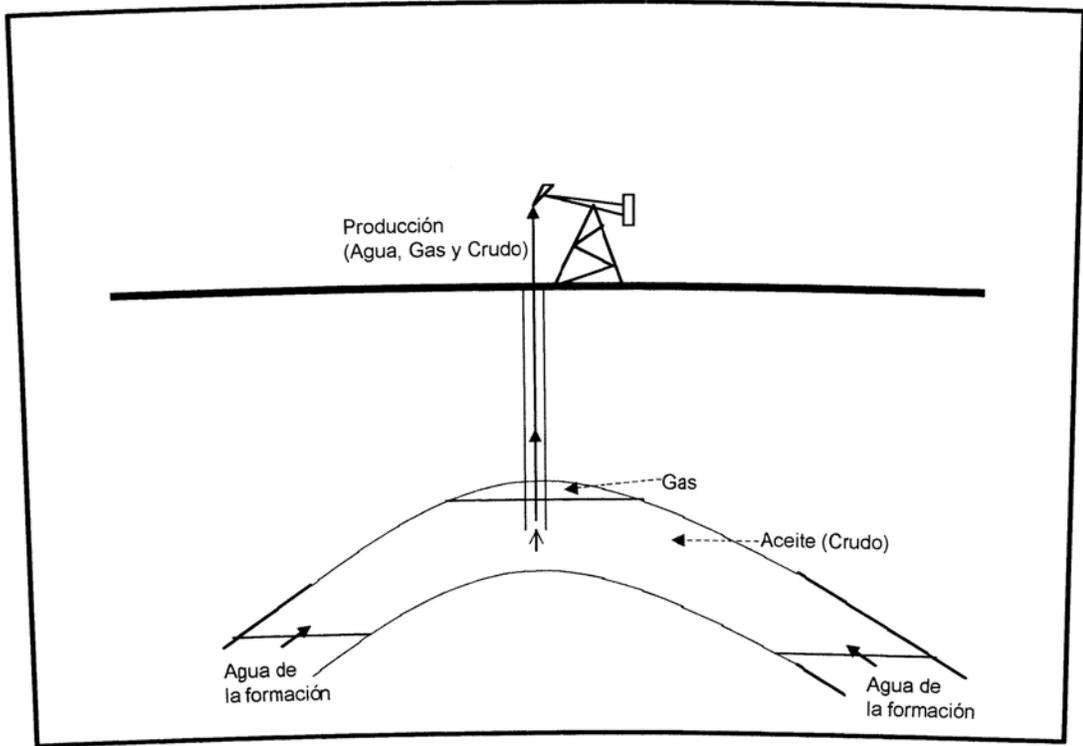
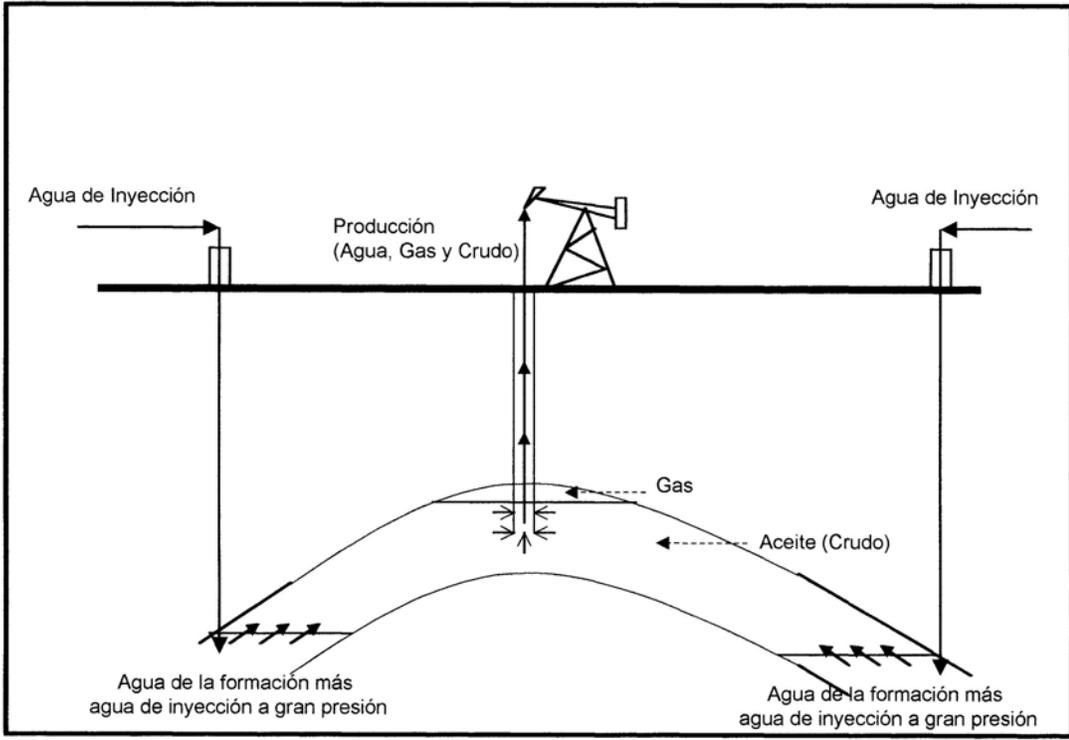


Figura 20. Recuperación secundaria



3.2.1 SISTEMA SECUNDARIO: Como se mencionó anteriormente, la inyección de agua en la estructura La Cira se inició a finales de los años cuarenta, cuando entre 1946 y 1949 a través de siete pozos localizados en el acuífero se inyectó agua en la zona C, en el sector del área 3W, con el propósito de presurizar el yacimiento. En 1957 La Forest Oil Corporation inició la ejecución de un proyecto de recuperación secundaria por inyección de agua en un área de 280 acres localizado en la parte central del área 3W formada por 17 modelos de 5 puntos (24 inyectoras y 18 productores) y una tasa de inyección de 1000 BWPD/pozo, denominado “Primer Desarrollo”. A finales de 1958, se inicia el segundo desarrollo en el área 3W conformado por 30 pozos productores y 45 pozos inyectoras, en una extensión de 530 acres adicionales, formado por patrones que rodeaban el área del primer programa de inyección realizado en 1957.

Estudios posteriores realizados por ECOPETROL para cada una de las áreas, recomendaron la expansión del sistema secundario a la zona “C” de las mismas, desarrollándose en la siguiente forma:

AREA	AÑO DE INICIO	PATRON DE INYECCION
3E	1965	Líneas Alternas
4-5-6	1969	7 puntos
02	1969	Líneas Alternas
07	1970	7 puntos
LCN	1971 - 1982	Periférico / 5 puntos

En el área 01 se desarrolló un piloto de inyección de agua en la zona “C”, el cual se inició en febrero de 1972 con cinco pozos inyectoras y 10 pozos productores y finalizó en febrero de 1976 (después de haber inyectado 6.0 Mbbls de agua) al concluirse que la inyección no fue efectiva en la recuperación de petróleo por problemas de inyección preferencial y pérdida de agua a través del sistema de fallas.

Actualmente se encuentran afectados por la inyección de agua la mayor parte de los sectores productores de zona C de las Áreas de la estructura de La Cira,

exceptuando la parte alta de la estructura en el Área 02, el Área 01 y el Área 00 (Cira Norte); en esta última la inyección fue suspendida en el año de 1998. Otro sector afectado secundariamente es el de algunos pozos localizados en el sector norte de Infantas (Área 08 de Infantas) que han sido afectados por la inyección de agua en el Área 07 de La Cira.

En resumen a Enero de 1999, la inyección de 958.39 Mbls de agua han producido 68.98 Mbls de petróleo secundario, con una relación de 13.98 Bls inyect/BI petróleo secundario. Los resultados obtenidos por la inyección en las diferentes áreas han sido variables, siendo la de mejor comportamiento el área 3W, con un recobro de 31.7 MBls. secundarios y la peor la 4-5-6, con un recobro de 6.1 Mbls.

3.3 Planta de inyección # 5

Esta Planta comprende el eje central de la Inyección de Agua en el Campo La Cira. Recibe agua industrial de la Planta de Tratamiento de Agua La Llana “Campo 23”, con caudales variables dependiendo de las necesidades volumétricas de la Inyección, sin contar las conexiones ilegales que hace la comunidad en el anillo de inyección, las cuales disminuyen en cierto grado la presión de inyección.

El agua industrial llega al tanque Cerro Borrero ubicado a pocos metros de la Planta de Inyección #5, sus especificaciones se ven la **tabla 16**.

Tabla 16. Tanque Cerro Borrero

Altura	35 Pies
Diámetro	60 Pies
Volumen disponible	17.700 Bbl
Volumen total	20.000 Bbl

Bbl / pie	500
-----------	-----

El nivel del tanque debe oscilar entre 20 a 35 pies para que la operación no se vea interrumpida por falta de agua para suministrarle a las turbo-bombas. Cuando el nivel del tanque empieza a bajar el operador de la Planta de inyección # 5 debe comunicarse con el Operador de La Planta de Tratamiento de Agua para saber el porque de la disminución del nivel del tanque Cerro Borrero y así tomar los correctivos a ésta disminución, como poner en servicio una bomba más de agua industrial.

El monitoreo del nivel del tanque se hace desde la misma Planta de inyección en el cuarto de control a cargo del operador de turno y también desde la oficina de la Coordinación de Agua y Gas ubicada en las oficinas principales de El Centro a cargo del ingeniero o supervisor de la Planta de Inyección.

Del Tanque Cerro Borrero salen dos líneas hacia la Planta de inyección #5, una de 24" que alimenta las turbinas para ser bombeadas hacia el anillo de inyección y otra de 20" que dirige el agua a las bombas Interco las cuales elevan la presión (de 50-60 psig a 90-120 psig) para ser llevadas a la Planta de Inyección #2.

3.3.1 EQUIPOS: Los equipos presentes en la Planta de Inyección #5 son: seis (6) bombas accionadas por el mismo número de turbinas con reductor de velocidad. Hay que aclarar que la turbina # 1 esta desmantelada. Además hay dos (2) bombas Interco para el bombeo hacia la Planta #2 las cuales son accionadas por motores eléctricos. Mas adelante profundizaremos en su funcionamiento, por ahora sus especificaciones se muestran en las siguientes tablas 17 y 18.

Tabla 17. Características conjunto Turbo-Bomba.

Características Turbina	Características Reductor	Características Bomba
Solar, una etapa	Western	Byron Jackson

Tipo axial de rotor con alabe	1400 HP	25000 BPD
Relación Compresión: 6:2:1	Entrada: 22300 RPM	Tipo: DVMX
22.300 RPM	Salida: 6000 RPM	6000 RPM
1080 HP	Eficiencia: 98%	1038 BHP
Alimentado por gas natural		Tamaño: 3x4x9 5 Etapas
850 BTU/pie ² , 360KPCD		Centrifuga

Tabla 18. Especificaciones técnicas Bomba Interco.

USO	Interco
Marca	Goulds
Tipo	3330
GPM	750
RPM	1750
Motor	General Electric
Potencia, HP	75
Voltaje, V	220 / 440
Lubr. Bomba	SAE 40
Lubr. Motor	Grasa

En la Planta de Inyección #2 se encuentran en funcionamiento bombas Frank Wheatley cuyas generalidades se presentan a continuación:

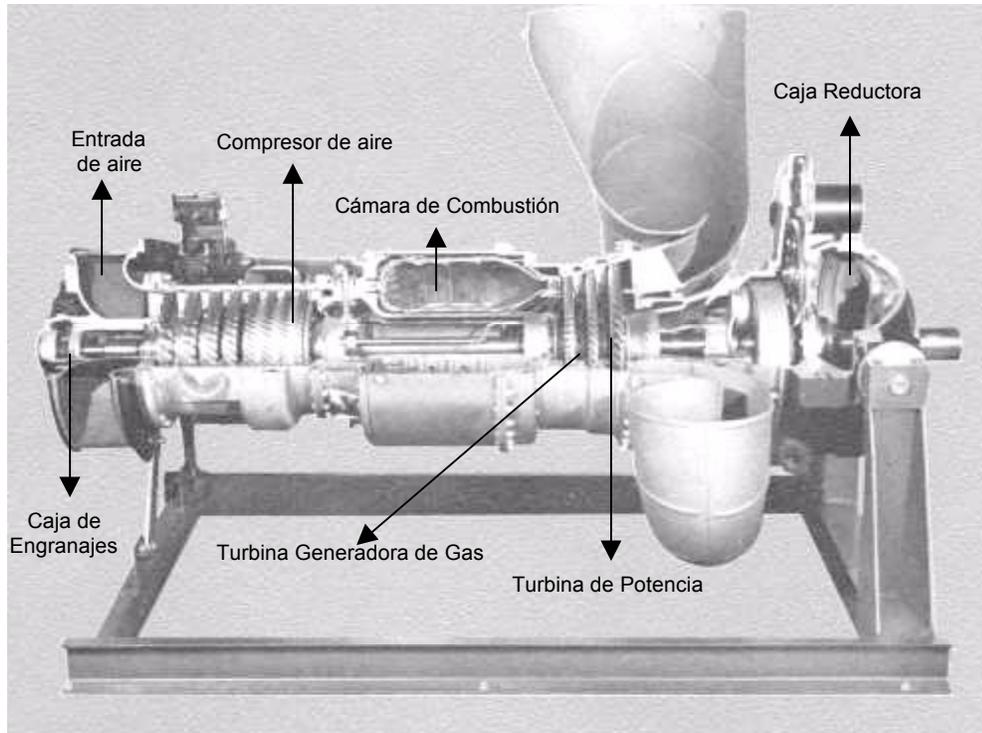
Tabla 19. Equipo Planta de Inyección #2

Características Bomba	Características Reductor	Características Motor
Frank Wheatley	Falk	General Electric
315 RPM	Entrada: 870 RPM	200 HP
250 HP, Reciprocante	Salida: 315 RPM	440 V
Tres pistones		870 RPM

3.3.2 Turbinas Solar.

3.3.2.1 DESCRIPCIÓN TURBINAS SOLAR: Las turbinas solar son unidades de flujo axial diseñadas para aplicaciones industriales de extenso tiempo de servicio; los componentes básicos pesan 1250 Lb y ocupan un volumen de 51 pies cúbicos; está compuesta de un compresor de flujo axial de ocho etapas, una cámara anular de combustión, una turbina de flujo axial de tres etapas (2 etapas generadoras de gas, una etapa de potencia) y una caja reductora de velocidad, **ver Figura 21.**

Figura 21. Esquema de los componentes de la Turbina



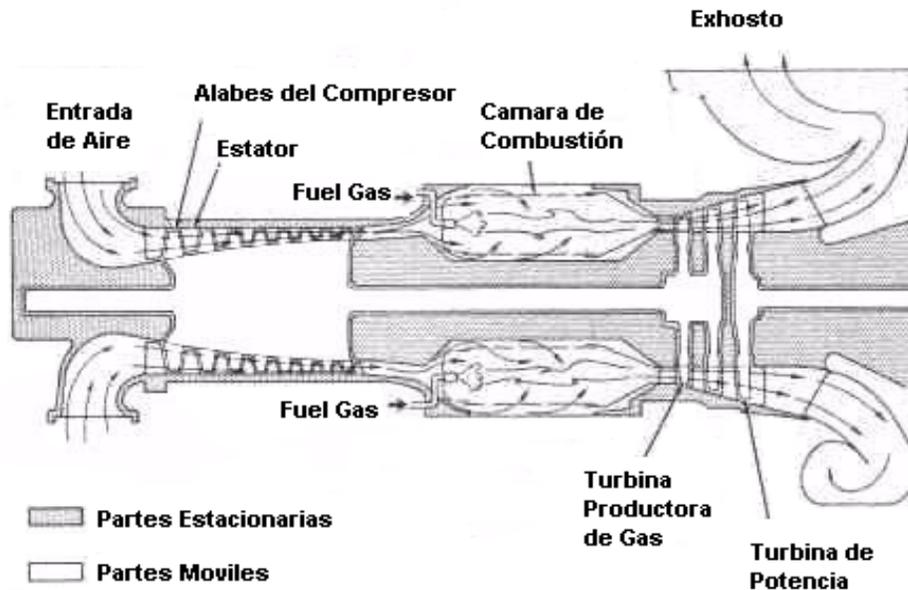
TOMADA ANTIGUO MANUAL DE OPERACIÓN

A un costado del compresor se encuentra la sección de engranajes encargada de transferir movimiento desde el sistema compresor/turbina, al sistema de lubricación de la turbina, al sistema de enfriamiento de aceite lubricante y al gobernador de gas combustible. Un motor está montado sobre el eje de esta caja de engranajes con la finalidad de impartir movimiento en el momento de la arrancada, tanto al eje del sistema compresor/turbina de gas, como a los demás accesorios.

Compresor, Turbina productora de gas y Turbina de potencia giran a una velocidad máxima de 22,300 rpm, el eje de esta última está engranado a un reductor de velocidad de una sola etapa que da un velocidad final máxima de 6000 rpm.

3.3.2.2 PRINCIPIOS DE OPERACIÓN:

Figura 22. Esquema de operación de la turbina



TOMADA DE ANTIGUO MANUAL DE OPERACIÓN

La turbina está diseñada de tal manera que el eje de la sección generadora de gas es independiente del eje de la sección de potencia, **ver Figura 22**, este arreglo permite trabajar en un amplio rango de velocidades generando un ahorro de combustible, en razón de que la turbina trabaja de acuerdo a la demanda de energía que le genera la bomba y ésta última a la demanda de caudal y presión del sistema de inyección.

La turbina productora de gas consiste de dos (2) rotores conformados por una serie de alabes y difusores que ocasionan el cambio de dirección del flujo de gases de expansión contra la fila de hojas de los rotores con gran eficiencia y proporcionan a la turbina una velocidad alrededor de 22300 R.P.M. suministrando la potencia necesaria para mover el compresor de aire, debido a que están instaladas sobre un

mismo eje, mientras los gases producidos suministran la energía necesaria para mover la turbina de potencia.

La turbina de potencia esta compuesta por un rotor que recibe el flujo de los gases expandidos. El flujo de salida de gases es axial o radial y salen por un difusor hacia el exosto a una temperatura 860 °F

La entrada de aire se hace a una tasa de 12000 ft²/min y pasa a través de un filtro de aire provisto de un silenciador que atenúa el ruido alrededor de 20 decibeles. El aire atmosférico es succionado constantemente hacia la turbina por medio del compresor de flujo axial de ocho etapas, en el arranque este compresor es inicialmente acelerado por el motor de arranque, el aire comprimido es dirigido mediante un difusor a la cámara de combustión donde se encuentra con el gas combustible, en el ciclo de arranque la ignición se produce por un arco de voltaje, los gases calientes productos de la combustión se expanden enormemente al pasar de la cámara de combustión a la sección de las turbinas de gas y potencia. La turbina generadora de gas produce la rotación del eje del compresor de aire, garantizando así la continuidad de la combustión, mientras la turbina de potencia suministra la energía para mover la bomba centrifuga a través del engranaje reductor de velocidad.

La cámara de combustión consiste de una caja anular (cilíndrica) y del ensamble del combustor. La caja forma parte de la estructura de la máquina y esta pernada a la brida trasera de la caja del difusor y a la brida delantera de la caja de la turbina.

La cámara posee como aditamentos: instalación para la bujía la cual hace funcionar la chispa a 6000 voltios, línea de descarga del compresor de aire del cual salen las señales que llegan al manómetro que indica la presión de la cámara de combustión y la señal regulada al controlador de velocidad (señal de 3 a 5 lbs/pul²), el cual a su vez actua sobre el gobernador de la máquina. La presión del gas que entra a la cámara de combustión es de 140 a 150 psi, con un consumo de 360 MPCED de gas seco proveniente de la Planta de gasolina El Centro; la temperatura de operación de la mezcla gas aire es del orden de los 1450°F. A la cámara de combustión entran aproximadamente 13.2 Lb/s de aire, cantidad cuatro veces superior a la que estequiometricamente se necesita para la combustión; este exceso de aire tiene

como finalidad reducir la temperatura de los gases al mezclarse con los productos de combustión de tal manera que entren a la primera etapa de la turbina generadora de gas en un rango de 1400-1500 °F. La extracción de energía por las turbinas durante el proceso de expansión de los gases se refleja en una temperatura de gases exhosto entre 800 y 900 °F.

3.3.2.3. Caja de Accesorios:

Consiste en un sistema de engranajes y piñones, que son el enlace entre la turbina y los accesorios que mueven y gobiernan la misma. Además se encuentra la caja con una abertura anular para la entrada de aire al compresor, cubierto con una malla de acero inoxidable. La caja soporta el eje del rotor del compresor, llevando en su extremo una balinera y un piñón que hace el papel de conducido y conductor del tren de engranajes, compuesto por dos ejes accesorios (auxiliares). Este ensamble posee sus piñones conducidos para el montaje de los accesorios. La unidad esta perñada en la parte de atrás de la caja de entrada de aire. Transmite movimiento a cuatro (4) componentes: dos en la parte superior (equipos de control, gobernador y tacómetro generador), uno en la parte de abajo y el motor de arranque colocado detrás la caja.

3.3.2.4. SECUENCIA DE ARRANQUE:

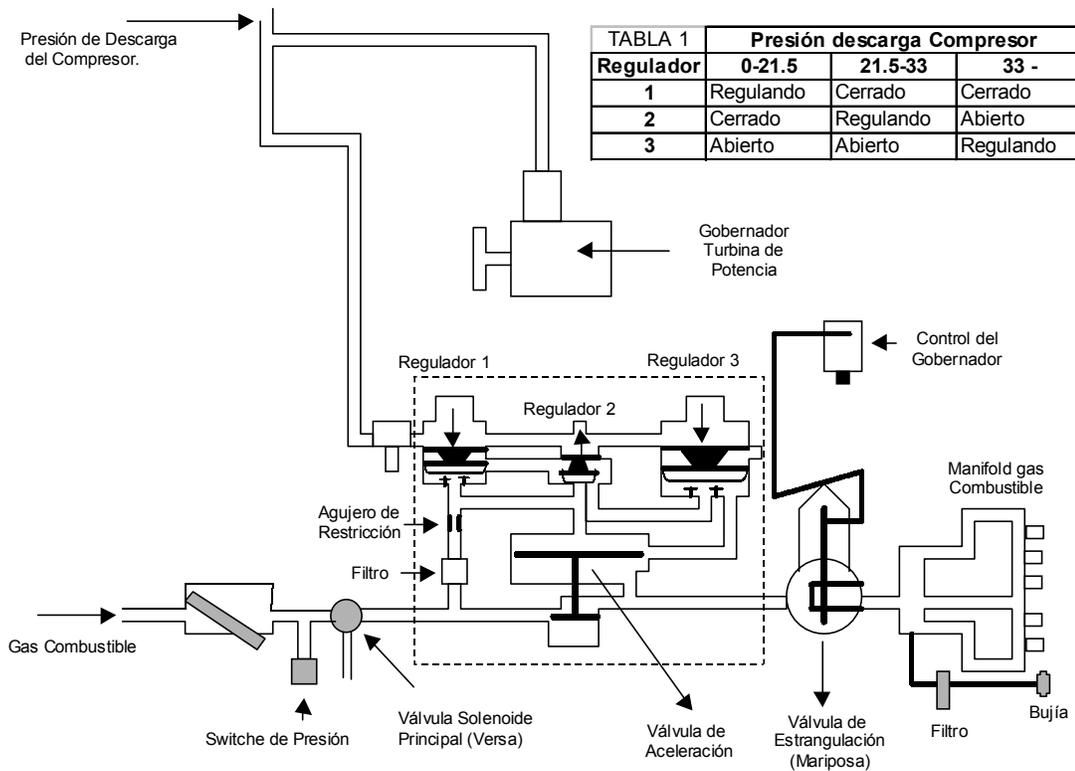
Independiente del procedimiento de arranque seguro de la turbina especificado en el ATS (ver anexos), la turbina tiene una secuencia programada de arranque que verifica una serie de parámetros a medida que se produce la aceleración de la misma:

1. Cuando se presiona "START" se energiza el motor de arranque, se activan los sistemas de gas combustible, de ignición y un cronometro que apaga la unidad si esta no alcanza el 45% de la velocidad máxima (10,000 rpm) antes de 60 segundos.

2. Cuando la Turbina alcanza el 21% de la velocidad máxima (4680 rpm) se energiza la bujía de ignición y abre la válvula solenoide principal de gas combustible (versa); La combustión comienza y la maquina continúa acelerando, transmitiendo movimiento a la caja de accesorios y ésta a su vez a la bomba de aceite lubricante; La turbina se apagará si la presión de aceite no supera los 22 psig en el momento que la turbina alcance el 45% de la velocidad máxima.
3. Una vez la turbina alcanza el 45% de la velocidad máxima, se desenergiza el motor de arranque y la bujía de ignición. La maquina continúa acelerando a causa del proceso de combustión generado hasta alcanzar una velocidad del 55 %, velocidad a la cual el nivel de potencia queda bajo control del gobernador.

3.3.2.5. SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE:

Figura 23. Esquema general del sistema de gas combustible

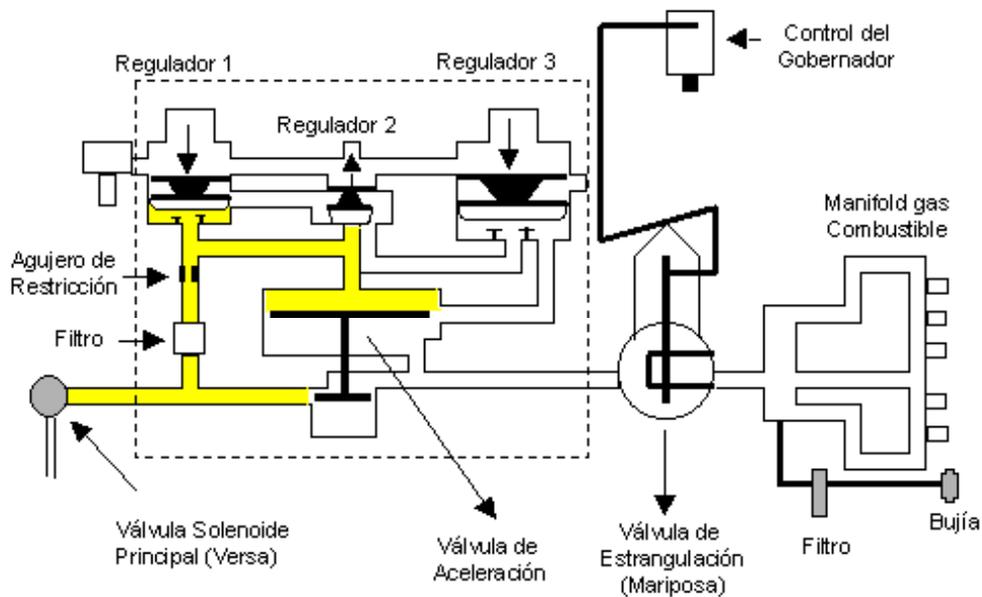


TOMADO DE ANTIGUO MANUAL DE OPERACIÓN

La función del sistema de gas combustible es permitir a la maquina arrancar, acelerar hasta el nivel de potencia deseado y mantenerlo en el valor seleccionado mediante el control del gobernador. Para ello la turbina cuenta con 3 reguladores, una válvula de aceleración, una válvula estranguladora y su gobernador, cada uno de ellos realiza la regulación del flujo de gas combustible en una etapa de la secuencia de arranque, tomando el control uno a continuación del otro, dependiendo de la presión de aire a la cual están calibrados sus respectivos diafragmas (En la tabla de la **figura 23** se relaciona el estado de cada regulador de acuerdo a la presión de descarga del compresor). El sistema requiere que el gas combustible sea suministrado a una presión entre 140 –150 psig.

1. Cuando el motor de arranque es energizado el eje de la máquina comienza a rotar; una vez llega al 21% de la velocidad máxima de rotación se abre la válvula solenoide principal y el gas es admitido a la entrada de la válvula de control de aceleración, una pequeña cantidad del flujo de gas pasa a través del filtro y del orificio de restricción, llegando a la parte superior del diafragma de la válvula de control de aceleración, **ver Figura 24**.

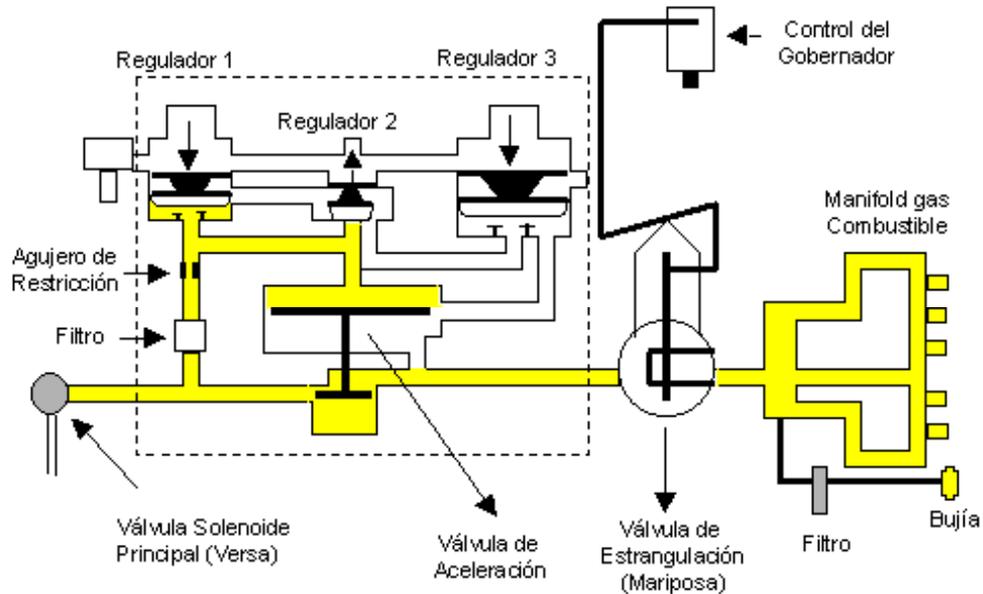
Figura 24. Inicio del suministro de gas combustible



TOMADA DE ANTIGUO MANUAL DE OPERACIÓN

2. Debido a que el regulador #1 controla el paso de gas combustible, la presión aumenta rápidamente sobre el diafragma de la válvula aceleradora, abriéndola y descargando el gas a la válvula estranguladora entre 1 y 2 psig, de allí el gas fluye al manifold de combustible, una pequeña cantidad se dirige hacia el piloto donde la bujía genera la descarga eléctrica que inicia la combustión en las boquillas del manifold.

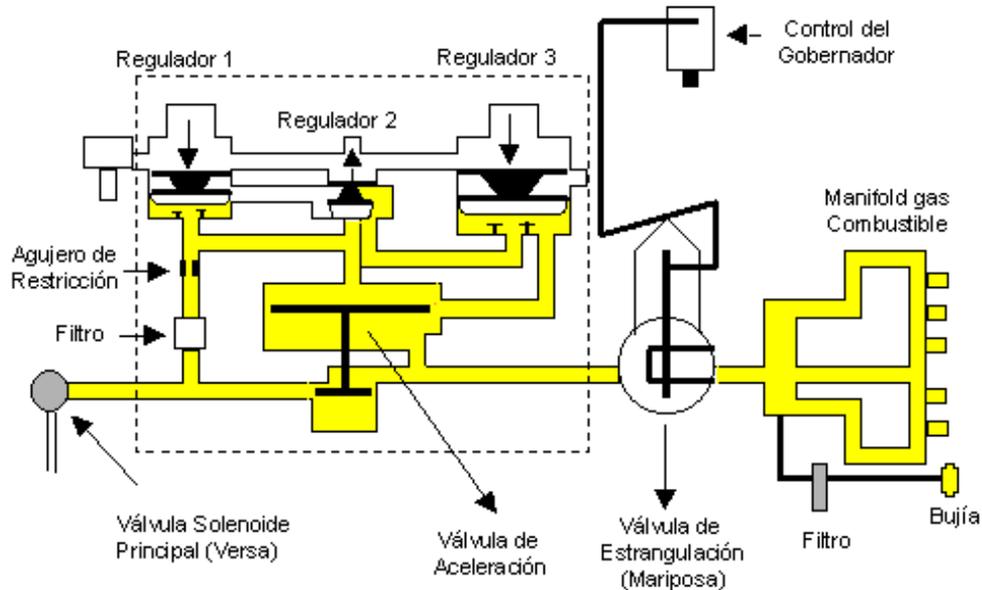
Figura 25. Inicio de la Combustión



TOMADO DE ANTIGUO MANUAL DE OPERACIÓN

3. La turbina comienza a acelerar y la presión de descarga del compresor de aire a incrementarse, el diafragma del regulador #1 sensa el aumento de presión y comienza a cerrarse, lo que aumenta la presión de gas combustible sobre el diafragma de la válvula aceleradora, ésta abre más aumentando el flujo de gas combustible hacia la cámara de combustión lo que causa que la turbina se siga acelerando progresivamente.
4. Cuando la turbina alcanza el 45% de la velocidad máxima (10,000 rpm) se apaga el motor de arranque y la bujía de ignición, la presión de aire debe haber llegado a 21.5 psig, por tanto el regulador #1 está completamente cerrado y quien comienza a controlar el flujo de gas es el regulador #2, éste comienza a abrirse aumentando aún más la presión sobre el diafragma de la válvula aceleradora (el regulador #3 está totalmente abierto) y por ende aumenta el flujo de gas combustible y la turbina sigue acelerando.

Figura 26. Funcionamiento de los reguladores 2 y 3



TOMADO DE ANTIGUO MANUAL DE OPERACIÓN

5. Una vez la turbina llega al 55% queda bajo control del gobernador y sólo seguirá acelerando si se incrementa desde el computador, cada incremento provocará que el gobernador abra más la válvula de estrangulación, entre más flujo de gas a la cámara de combustión, aumente la aceleración y suba la presión de descarga del compresor obligando al regulador #2 a abrir; lo que genera un nuevo ciclo de aceleración que sólo se detiene cuando la turbina alcanza el Porcentaje (%) deseado desde el computador (el gobernador regula nuevamente la entrada de gas con la válvula de estrangulación).
6. Cuando la turbina es llevada al 85% de la velocidad máxima (19,000 rpm) la presión de descarga de aire llega 33 psig y el regulador #3 empieza a actuar de acuerdo a las exigencias de flujo del gobernador; una vez se está cerca de la velocidad máxima, el gobernador toma el control total de la velocidad mediante

regulación de la válvula estranguladora, ya que a partir de ese momento la válvula de aceleración por intermedio del regulador #3 suministra más gas combustible que el requerido por la turbina bajo las máximas condiciones de carga.

3.3.2.6. SISTEMA DE LUBRICACIÓN:

El sistema de lubricación es un circuito cerrado que incluye tanque de aceite, mecanismo para la bomba de aceite, enfriador aire – aceite, filtro de aceite, válvula de alivio de presión de aceite, circuito de venteos e interruptores por baja presión y por alta temperatura del aceite lubricante. Las condiciones normales de operación son de 35 – 40 psig y temperatura de 160 °F.

El aceite está almacenado en un tanque de 50 galones (37 galones en condiciones de operación) localizado por debajo del nivel de la base de la turbina, de allí es tomado por la bomba y luego de pasar por el filtro es enviado a la caja de accesorios, al gobernador y a todos los cojinetes de lubricación, **Ver Figura 27**; desde todos estos puntos el aceite fluye hacia el enfriador y luego retorna al tanque. El enfriador se compone por unos tubos y una carcasa con agua. Para mejorar la percepción de este proceso **ver figura 28**.

A continuación profundizaremos en los componentes del sistema de lubricación.

1. **TANQUE DE ACEITE:** Esta caja almacena 50 galones de aceite; lleva como aditamentos un baffle interno, una válvula de drenaje, una tapa para llenado, un indicador de nivel y una conexión de venteo. La cantidad de aceite es mayor que la necesaria para la operación de lubricación del sistema. El tanque está provisto de una buena área de expansión para la remoción rápida de los vapores hacia la atmósfera.
2. **Válvula de Pre-Post:** Válvula (versa) de dos vías, solenoides accionados por pilotos, funciona con 24 voltios corriente directa y aproximadamente con 40 psi de presión de gas. Para controlar el paso de gas, pasando por un lubricador para la operación de la bomba de pre-post de lubricación de la turbina. El gas

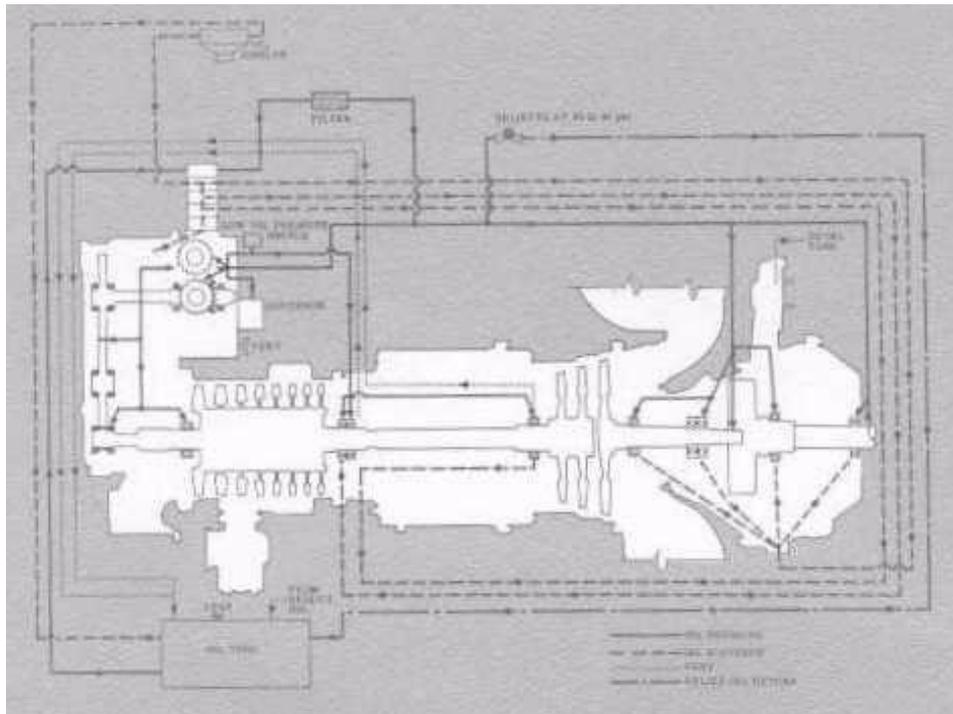
arrastra el aceite del lubricador con el fin de mantener lubricadas las paletas del rotor del motor.

3. **Interruptor de nivel de aceite:** Esta montado en el tope del tanque de aceite y éste tiene como función parar la máquina cuando la cantidad de aceite se reduce aproximadamente hasta 20 galones.
4. **Interruptor de alta temperatura de aceite:** se encuentra instalado en la línea de aceite y para la máquina, cuando la temperatura del aceite alcanza 172 °F.
5. **Bomba de aceite de lubricación (principal):** Esta se compone de dos (2) piñones (bombas rotarias) la cual sostiene la circulación del aceite en todo el sistema, mientras la máquina está trabajando, va montada en la caja de accesorios parte inferior.
6. **Enfriador de aceite:** Enfriador de tubos y carcaza que usa agua de Intercó o agua de succión según sea el caso.
7. **Bomba hidráulica de aceite:** Esta unidad es de engranaje (desplazamiento positivo), el cual está movido a 4060 rpm a través de un adaptador montado en la caja de accesorios.
8. **Filtro de aceite lubricante:** Consiste en un filtro con elementos filtrantes intercambiables (dos por unidad), de 10 micrones de paso y recibe el aceite que llega del enfriador, asegurando a través de él un flujo de aceite limpio. El filtro se debe cambiar cuando la presión diferencial alcance los 15 psi.
9. **Válvula de alivio del sistema Pre-post de lubricación:** Esta unidad protege al sistema de la bomba de Pre-post lubricación, de un exceso de presión durante la operación. La unidad actúa a una presión de 15 psi y retorna el exceso al tanque.
10. **Válvula de alivio de regulación de presión:** Esta unidad mantiene la presión de operación del sistema, si la presión de llegada a la válvula excede aproximadamente 50psi, la válvula abre y retorna el exceso de aceite al tanque para mantener la presión de operación. Está situado en la parte inferior del filtro de aceite.
11. **Interruptor baja presión de aceite:** Esta unidad protege la máquina contra la pérdida de presión del aceite lubricante, si ésta cae aproximadamente 15 psi el

interruptor de baja presión se energiza y para la máquina. Este se ubica en la caja de empalme a prueba de explosión.

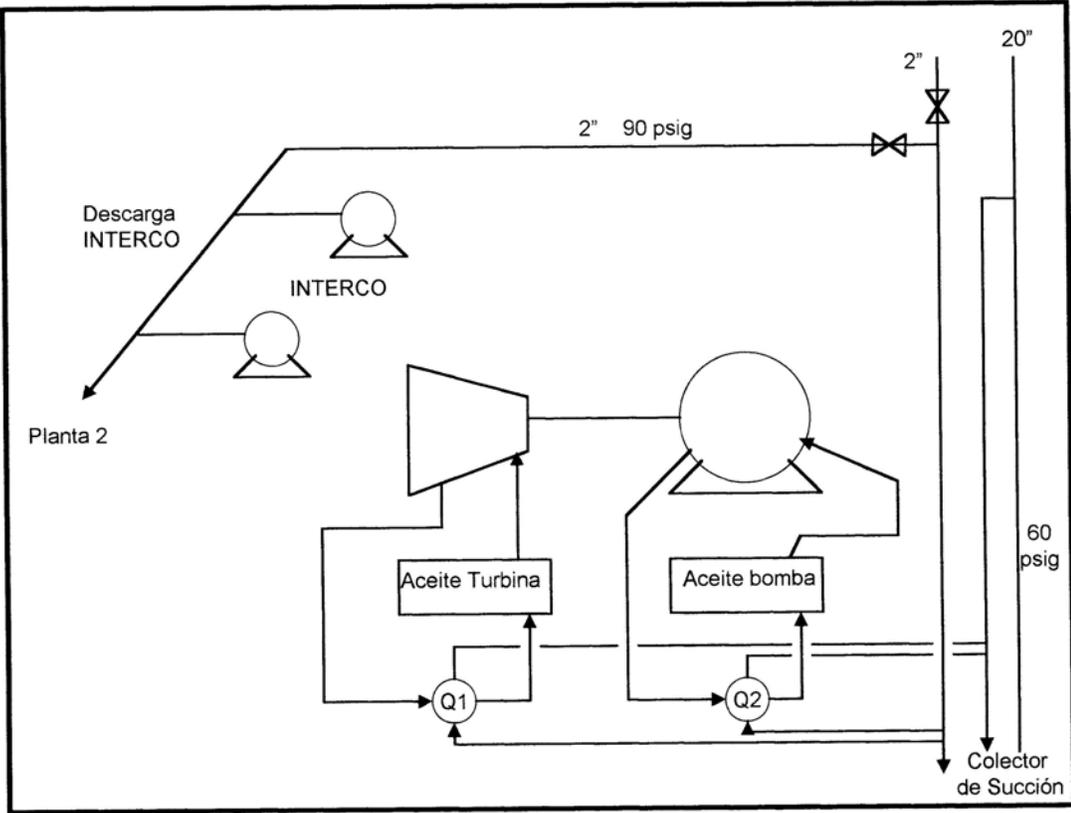
12. Bomba Pre-Post lubricación: Movida por un motor a gas y compuesta por dos (2) piñones y actuada por medio de una válvula versa de solenoide automático. Funciona durante 30 segundos antes de iniciar el arranque de la máquina y se para cuando alcanza 16 psi, y cuando se para la máquina la bomba arranca automáticamente y trabaja durante 30 minutos. Mantiene una presión y enfría los rodamientos durante todo éste tiempo.

Figura 27. Sistema cerrado de lubricación



TOMADO ANTIGUO MANUAL DE OPERACION

Figura 28. Sistema de Lubricación.



3.3.3 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS BOMBAS FRANK WHEATHEY DE LA PLANTA DE INYECCIÓN #2:

Son del tipo recíprocante, de acción simple y triple efecto (tres pistones), trabajan a 315 RPM con la potencia que le suministra un motor de 200 HP, entre el motor y la bomba existe un reductor de velocidad marca "FALK" que disminuye la velocidad de 870 RPM (velocidad del motor) a las 315 RPM requerida por la bomba. La capacidad de bombeo de estas unidades y su presión de descarga están determinadas por el diámetro de los pistones ($2 - \frac{3}{4}$).

El tipo de lubricante para los pistones y para el carter de la bomba (con una capacidad de 17 galones) se utiliza aceite Turbina-150 ó EP-150 y el reductor de velocidad (6 galones de capacidad) aceite Expartan-220.

3.3.3.1 INSTRUCCIONES PARA PONER EN MARCHA ÉSTAS BOMBAS: Antes de poner en servicio estas bombas el Operador debe tenerse en cuenta las siguientes precauciones y efectuar las siguientes operaciones:

- 1) Revisar el nivel del aceite en el lubricador, carter de la bomba y reductor de velocidades; en caso de que alguno de estos se encuentren bajos de nivel, llenarlo hasta la marca indicada en el visor de nivel.
- 2) Observar si la presión de succión de las bombas está en el límite recomendado (20 – 30 psig).
- 3) Inspeccionar el sistema de calefacción de los motores.
- 4) Abrir las válvulas de succión y el By-pass de la bomba.
- 5) Cerrar la válvula de descarga.
- 6) Colocar el interruptor del Mercoid de aceite en la posición de servicio "ON" y pulsar el interruptor de arranque.
- 7) Observar si hay vibración o ruidos anormales en todo el conjunto.
- 8) Revisar la presión de aceite de lubricación en el interruptor de seguridad (Mercoid) la cual debe permanecer entre 35 y 48 psig; observar posibles fugas de aceite.
- 9) Verificar si los lubricadores de los pistones funcionan correctamente (deben gotear continuamente).

- 10) Abrir lentamente la válvula de descarga de la bomba.
- 11) Cerrar lentamente la válvula del by-pass de la bomba.
- 12) Revisar las tuercas prensa-empaques, en caso de encontrar alguna mal ajustada, hacer el ajuste necesario utilizando la herramienta. “No se debe apretar en exceso”, lo que causaría recalentamiento en las barras impulsoras de los pistones.
- 13) Bajar manualmente el interruptor del mercoid a la posición “OFF”.

3.3.3.2 INSTRUCCIONES PARA SACAR DE SERVICIO LAS BOMBAS FRANK WHEATHLEY:

- 1) Abrir lentamente la válvula del By-pass de la bomba.
- 2) Cerrar lentamente la válvula de descarga de la bomba.
- 3) Oprimir el interruptor de parada en el tablero de control.
- 4) Desenergizar el sistema.
- 5) Cerrar nuevamente el By-pass.

3.3.3.3 ANOMALÍAS QUE PUEDEN PRESENTARSE EN LA OPERACIÓN DE LAS BOMBAS F.W.I. Y SUS POSIBLES SOLUCIONES: ver tabla 20.

Tabla 20. Posibles anomalías y soluciones

problema	Causa Posible	Solución
1. Vibración de la bomba.	a. Aire de la línea de succión o en las cámaras de compresión de la bomba después de haber efectuado reparaciones en la línea de succión o en la bomba.	a. Circular la bomba por el By-pass. Si persiste la vibración parar la bomba y efectuar drenaje y circular nuevamente por el By-pass.

	b. Falta de carga en los amortiguadores.	b. Llenar los amortiguadores con gas nitrógeno, según la presión de trabajo de la bomba. Para 1800 psig, 300 libras de nitrógeno.
2. No sube la presión de aceite	a. Aire en la bomba de lubricación por parada prolongada de la bomba.	a. Llenar manualmente la bomba de lubricación por los tapones de los lubricadores, teniendo la bomba F.W.I. parada, o aflojar la unión de la línea de aceite cerca de los lubricadores y accionar la perilla manual, hasta cebar el visor expulsando el aire. Si no se soluciona el problema llamar al supervisor de la Planta.
3. Disparo de válvula de seguridad.	a. Caída de la compuerta de la válvula de descarga de la bomba. b. Obstrucciones en la línea de descarga de la bomba. c. Demasiados pozos cerrados o taponados.	a. Revisar o cambiar la válvula de descarga. b. Revisar y limpiar línea de descarga de la bomba. c. Revisar las válvulas de los pozos o tomar rata instantánea con un medidor ultrasónico de flujo.
4. Caída de Presión diferencial.	a. La válvula del By-pass no cierra bien. b. Válvulas de admisión o	a. revisar o cambiar la válvula del By-pass. b. Informar al supervisor de

	descarga de la bomba en mal estado o cabezote en mal estado	la Planta.
5. Caída de presión y aumento de la presión diferencial en los transmisores de flujo FT 2001, FT 2002 y FT 2003.	a. Línea rota. b. Pozos canalizados.	a. Localizar y reparar la línea. b. Tomar ratas instantáneas a los pozos con un registrador de flujo.

TOMADO DE ANTIGUO MANUAL DE OPERACIÓN

3.3.4 INSTRUCCIONES DE INSTALACIÓN DEL AMORTIGUADOR O ESTABILIZADOR DE FLUJO EN LA DESCARGA DE LAS BOMBAS:

- El diámetro de la conexión del amortiguador no debe ser menor que el diámetro de salida de la bomba, el de la conexión del estabilizador es de 6”.
- La colocación del estabilizador debe ser tan cerca como sea posible de la descarga de salida de la bomba para una mayor eficiencia. La posición horizontal es preferible siempre que sea posible, esto es necesario para permitir el flujo directo de las pulsaciones del fluido en la parte exterior del estabilizador.
- Cuando se está instalando un amortiguador modelo FFS o FTS una posición a 360° es permitida.

3.3.4.1 INSTRUCCIONES PARA CARGAR EL NITRÓGENO EN EL ESTABILIZADOR DE FLUJO:

1. Pare la bomba y alivie la presión de la línea.
2. Abra el respiradero de la válvula A.
3. Quite la válvula del cargador B.
4. Remueva el tapón de carga de la válvula C.

5. Abra la tuerca D, gírela dos vueltas no más.
6. Usando nitrógeno, cargue el cartucho a través del cargador de la válvula C a las siguientes presiones de operación recomendadas, **ver tabla 21**:

Tabla 21. Presiones recomendadas

Presión de Descarga (psig)	Presión de Carga (psig)
0-500	0-100
500-900	100-275
900-3000	300
3000-3600	350-400
3600-5000	450-500

7. Cierre el aliviadero de la válvula de descarga A.
8. Apriete la tuerca D en la válvula de carga C. (no apriete demasiado la tuerca D).
9. Colocar en su lugar el protector de la válvula cargadora.
10. Con la presión de operación de la línea, abra el aliviadero de la válvula A hasta que el fluido aparezca, cierre la válvula y el estabilizador está operando.
11. Si el sistema de la bomba se vuelve duro proceda en la siguiente forma:
 - Abra el aliviadero de la válvula A con el sistema operando, permitiendo que el aire se escape.
 - Con la bomba parada y el sistema de presión aliviado, verifique la carga de presión del cartucho.

Si es necesario repita las instrucciones.

Si persiste la falla, verifique el mecanismo de la bomba.

No intente quitar el cartucho de su caja antes de aliviar el sistema y presurizarlo.

3.3.5 VÁLVULAS DE COMPUERTA Y DE AGUJA INSTALADAS EN EL ANILLO DE INYECCIÓN:

Las válvulas de compuerta instaladas en las líneas de los pozos no deben utilizarse para regular flujos pues:

- 1) Unas válvulas de compuerta que están medio abierta tienen tendencia a vibrar y esta vibración puede termina dañando la compuerta.
- 2) El paso de fluido por el borde de la compuerta la desgasta y después de poco tiempo la válvula no cierra completamente y hay que reemplazarla.

Para regular flujos deben utilizarse siempre la válvula de aguja debido a que el diseño de su asiento la hace ideal para este propósito.

3.3.6 Tubería: Las líneas presentes en la Planta de Inyección #5, #2 y en el anillo de inyección varia desde tubería con un diámetro de 24" hasta un diámetro de 6". Para efectuar cualquier reparación en las líneas de los pozos hay que asegurarse de que dichas líneas estén descargadas. Esto puede hacerse, primero cerrando la válvula de corte del pozo y además cerrando la válvula del cabezal de inyección para evitar retorno del pozo, después se conecta una válvula de desfogue en el Unibolt.

Nunca usar trompos, ni sillas para reparar escapes de agua en la línea de inyección, usar conchas para solucionar el escape (piting o pitera), esto es una medida de seguridad ya que debido a las altas presiones pueden convertirse en proyectiles y causar un accidente. No golpear la línea.

3.4 Condiciones de Operación:

Tabla 22. Condiciones de Operación

Compresor aire	8 etapas, flujo axial, relación de compresión 6-2-1
Turbina	2 etapas T.P de gas y una etapa T.P de potencia, flujo axial
Cámara de Combustión	Tipo anular, flujo axial
Unidad reductora "Western"	Unidad reductora de alta velocidad, simple etapa de reducción de 22.300 a 6.000 rpm a 1080 HP.
Caja de Accesorios	Donde van montados el gobernador, el tacómetro generador, el motor de arranque, la bomba hidráulica y la bomba principal de lubricación.
Sistema de controles electrónicos	Un controlador Mystic, tarjetas de señales análogas y digitales Opto 22, transmisores de flujo, presión y temperatura y sensores de velocidad.
Sistemas de gas combustible	Con válvulas versas, basado en solenoides, válvula principal, gobernador, válvula de estrangulación y manifold de boquillas.
Sistema de lubricación	Circuito cerrado, 50 galones, filtro de 10 micrones para lavado de filtros.
Sistema de ignición	Automático, momentáneo, mediante bujía al 21% de la velocidad y a 6000 voltios (transformador, capacitor, tipo excitador).
Sistema de aire	Filtro de aire (de cortina), compresor de aire, gases de salida, enfriamiento a sellos, aceite, caras de turbinas productoras y de

	potencia y sangrado de la 6ª etapa.
Velocidad turbina productora de gas	22.300 a 22.850 rpm.
Velocidad turbina de potencia	22.300 rpm a 80°F de aire de entrada.
Temperatura de gases de salida	860 °F a 80 °F de aire de entrada.
Rata de flujo de aire	13.2 lbs/seg. a 80 °F de aire de entrada.
Máxima pérdida de entrada ductos	4.0" de H ₂ O
Máxima pérdida ductos salida	6.0" de H ₂ O
Interruptor nivel de aceite	Los contactos abren a 20 galones.
Válvulas de alivio (Presión de aceite)	Abre de 45 a 55 psig.
Interruptor alivio de temperatura del aceite	Los contactos abren a 172 °F.
Válvula termostática (aceite)	Cerrada a 140 °F
Interruptor presión de prelubricación	Se dispara a 3 psig si va incrementando presión a 2.5 psig si va decreciendo la presión en el sistema de prelubricación.
Válvula alivio sistema de Pre-Post	15 psig.
Interruptor suministro de gas	Los contactos cierran a 140 psig incrementando la presión y abren a 100 psig decreciendo la presión.
Válvula cheque drenaje cámara de combustión	Cierra de 5 a 10 psig.
Temperatura aceite turbina	135 a 150 °F, para en 20 °F
Temperatura tanque aceite turbina	150 a 160 °F, para en 172 °F
Temperatura carcasa bomba Bairon Jackson	90 a 130 °F, para en 150 °F.
Temperatura cojinete axial B. J.	120 a 150 °F, para en 165 °F.
Temperatura cojinete radial B.J.	120 a 150 °F, para en 165 °F.
Temperatura tanque aceite bomba B. J.	90 a 110 °F.
Presión cámara combustión de turbina	45 a 55 psig.
Presión diferencial filtro de aceite	8 a 12 psig, se cambia filtro cuando la

	presión es mayor de 15 psig.
Presión aceite turbina	40 a 65 psig.
Presión aceite Bairon Jackson	9 a 15 psig.
Presión aire suministro	20 a 25 psig (en el gabinete).
Presión de succión de bomba Bairon Jackson	30 a 45 psig (en el gabinete).
Presión máxima de operación B.I.	2000 psig.
Presión de gas combustible	140 a 155 psig para a 100 psig.

TOMADO DE ANTIGUO MAUNUAL DE OPERACION

4. ANÁLISIS DE TRABAJO SEGURO (ATS) Y PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO (PON)

Se creó un compendio en las plantas de la Coordinación de Agua y Gas de ATS y PON de tal manera que recoja toda la información suelta y facilite su divulgación y conocimiento por parte de la organización (SMA) para cualquier emergencia operativa en dichas plantas.

Con la recolección y procesamiento de la información mencionada, la SMA contará con una memoria documental actualizada de valiosa información operativa y de seguridad.

Estos formatos de seguridad se mantendrán en sitios visibles en todas las plantas en lugares donde se desarrollen los procedimientos descritos por ellos, para que se sigan al pie de la letra por los operadores encargados.

A continuación se presentan un ejemplo de cada uno de estos formatos.



**EMPRESA COLOMBIANA DE PETROLEOS
GERENCIA CENTRO ORIENTE
ANALISIS DE TRABAJO SEGURO**

TRABAJO: ARRANQUE Y PARADA DE UNA TURBINA EN LA PLANTA DE INYECCIÓN # 5.

SUPERINTENDENCIA: DE MARES

DEPARTAMENTO: PRODUCCIÓN

FECHA: JUNIO/03

COORDINACIÓN DE AGUA Y GAS, PLANTA DE INYECCIÓN # 5.

Aprobado: Ing. Carlos Efraim Roa D.

Revisado: Ing. Vladimir Rojas

Elaboró: U. Ferreira

PROCEDIMIENTO	FACTOR DE RIESGO	FACTOR DE SEGURIDAD	FACTOR DE CALIDAD	FACTOR AMBIENTAL
PARA ARRANCAR				
1- Verificar que el nivel del tanque Cerro Borrero sea suficiente para colocar en línea las turbinas.	1- La bomba se puede averiar al quedar sin cabeza en la succión y comenzar a cavitación.	1- Realizar mantenimiento preventivo al sensor de nivel.	1- Mantener siempre comunicación con el operador de la Planta de Tratamiento de Agua La Llana.	
2- Inspeccionar la turbina verificando que la chimenea de salida de gases se encuentra destapada.	1- Avería de la turbina por obstrucción en la salida de gases de combustión.	1- Al salir al campo usar dotación de seguridad, especialmente protectores auditivos.		1- Inminente contaminación atmosférica por gases de combustión.
3- Verificar el nivel de aceite de lubricación de la turbina.	1- Avería de la turbina por rozamiento.	1- Inspeccionar que no haya fugas.	1- Si falta adicionar aceite Terpel Turbina 46.	1- Contaminación del área de trabajo por posible derrame de aceite.
4- Verificar el nivel de aceite de lubricación de la bomba.	1- Daño en los cojinetes de la bomba.	1- Inspeccionar que no haya fugas.	1- Si falta adicionar aceite Terpel Turbina 32.	1- Contaminación del área de trabajo por posible derrame de aceite.
5- Verificar el nivel de aceite de lubricación del motor de arranque y la bomba Pre/Post.	1- Daño en los motores por falta de lubricación.	1- Inspeccionar que no haya fugas.	1- Si falta adicionar aceite Terpel Turbina 32.	1- Contaminación del área de trabajo por posible derrame de aceite.
6- Verificar que la válvula en la succión de la bomba esté abierta.	1- La bomba se puede averiar al quedar cabeza en la succión y comenzar a cavitación.	1- Esta válvula siempre debe permanecer abierta.	1- Estar atento en cada uno de los pasos de la operación.	
7- Cerrar la válvula en la descarga de la bomba.	1- Avería del equipo por alta vibración ó cavitación.	1- Manipular correctamente el volante, para evitar lesiones físicas.		
8- Abrir válvula (1) del By-pass de la turbina.	1- Avería del equipo por descarga obstruida.			

PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO

COORDINACIÓN DE AGUA Y GAS

PLANTA COMPRESORA DE GAS LISAMA

ELABORADO POR: Uriel Ferreira B.

TRABAJO: Lanzamiento del raspador desde la Estación Sur a la Planta Compresora de Gas Lisama

- 1.-Coordinar trabajos.**
- 2.- Despresurizar el sistema.**
- 3.- Abrir compuerta de lanzamiento.**
- 4.- Introducir el raspador e independizar el sistema.**
- 5.- Cerrar válvula de entrada de gas de las estaciones de tesoro 12 pulg. sol 14 pulg. y sur 14 pulg.**
- 6.- Acondicionar indicadores de paso para que nos señale la ubicación del raspador.**
- 7.- Presurizar el sistema (lanzamiento del raspador), abriendo la válvula de compuerta de 2 pulg.**
- 8.- Establecer condiciones normales de operación en la planta. Cerrar la válvula de entrada al colector general y abrir válvula de paso del raspador a la trampa en la planta compresora Lisama.**

BIBLIOGRAFÍA

- **Antiguos Manuales de Operación, ECOPELROL.**
- **Archivos de la Coordinación de Agua y Gas SMA.**
- **Documentación Operacional, Coordinación de Agua y Gas, SMA.**