

**CARACTERIZACIÓN DE LAS FALLAS MÁS REPRESENTATIVAS EN  
ARRANCADORES SUAVES Y VARIADORES DE FRECUENCIA EN  
FACILIDADES ELÉCTRICAS PARA POZOS DE EXTRACCIÓN DE PETRÓLEO**

**JAIME ESPINOSA SANDOVAL**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA  
Y DE TELECOMUNICACIONES**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA**

**2013**

**CARACTERIZACIÓN DE LAS FALLAS MÁS REPRESENTATIVAS EN  
ARRANCADORES SUAVES Y VARIADORES DE FRECUENCIA EN  
FACILIDADES ELÉCTRICAS PARA POZOS DE EXTRACCIÓN DE PETRÓLEO**

**JAIME ESPINOSA SANDOVAL**

**Trabajo de Grado para optar al título de  
Ingeniero Electrónico**

**Director**

**JULIO A GELVEZ FIGUEREDO, M.Sc.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA**

**2013**

## AGRADECIMIENTOS

Mi gratitud a Dios por mi existencia y por la oportunidad que me permitió, hoy estar culminando una de las primeras y más importantes etapas de mi vida.

A mis padres Jesús Benedicto Espinosa y María Eulalia Sandoval que gracias a todos sus esfuerzos hoy pueden tener el orgullo de ver en mi realizados sus esfuerzos.

A mis hermanos Diego, Eduardo y German por el constante apoyo, de forma especial a mi hermana Mariluz por ser la inspiración con su ejemplo para avanzar este paso.

A la empresa Mantenimiento & Confiabilidad Ltda. y todo su personal operativo de mantenimiento eléctrico del Corregimiento el Centro en Barrancabermeja que me permitieron la oportunidad de aprender cómo desde mi profesión ejercer en la compleja industria petrolera.

A los Ingenieros Ricardo Vallejo y Elkin Lara, por su especial apoyo y orientación durante la ejecución del proyecto

Al ingeniero Julio Gelvez por su disposición y orientación para la presentación de la propuesta y los resultados finales.

## SIGLAS Y ABREVIATURAS

A: Amperio

AC: Corriente alterna

AWG: American Wire Gage (Calibre de un conductor eléctrico Galga Americana)

°API: Grados API, medida de densidad que en comparación con el agua, precisa cuán pesado o liviano es el petróleo

AS: Arrancador Suave

BPPD: Barriles de Producción por Día

BFPD: Barriles de Fluido por Día

Bypass: Contactador que enclava en el instante que el Arrancador Suave termina la rampa de arranque, quedando energizado el motor directamente de la red

C: Condensador

°C: Grados Celsius (Unidad de medida de temperatura)

Casing: Espacio entre la pared del pozo y la tubería de producción

CC: Corriente continua

CCW: Sentido anti horario

CD: Control directo

CT: Transformador de corriente

CW: Sentido horario

DC: Corriente directa

Diferida: Cantidad de barriles de petróleo que deja de producir un pozo, por un paro no programado de la unidad de Bombeo, asociado a una falla ya sea mecánica, eléctrica o electrónica

ESP: Bomba Electro Sumergible

Fieldbus - Modbus: Protocolo estándar para conectar dispositivos e intercambiar información

Fluido: Combinación de petróleo, agua y lodo que extraen las Unidades de Bombeo del subsuelo

ft: Pies

GCS: Sistema de Control Gráfico

hp: Caballos de fuerza

I: Corriente

In: Pulgada

Inmediatez: Actividad o tarea que surge de manera imprevista que debe ser ejecutada y documentada de carácter inmediato, en el contexto de mantenimiento

Inversor: Configuración de elementos de estado sólido que permite el cambio de tensión continua a tensión alterna de frecuencia variable.

IV: Corriente de varilla en las UBM's

IP: Corriente de pesas en las UBM's

ISB: Tarjetas de Señal de Inversor

IGBT: Transistor Bipolar de Puerta Aislada

IOT : Interrupción por Sobrecarga Instantánea

L: Bobina

PTC: Positive temperature coefficient

PWM: Modulación por ancho de pulso

SCR: Rectificador Controlado de Silicio

T: Temperatura

TBT: Tablero de baja tensión

Tubing: Tubería de producción de un pozo extractor de petróleo.

R: Resistencia

SCB: Placa de control del sistema

SAES: Sistema de aislamiento eléctrico seguro

SP: Swiche de presión

UBM: Unidad de Bombeo Mecánico

V: Voltio

VFD: Variador de frecuencia

VSD: Variador de velocidad

VVI: Inversor de tensión variable

$\Omega$ : Ohm (Unidad de medida de resistencia eléctrica)

## CONTENIDO

INTRODUCCION.....	14
1. DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	15
1.1 JUSTIFICACION.....	15
1.2 PLANTEAMIENTO Y DEFINICION DEL PROBLEMA.....	16
1.3 OBJETIVOS .....	17
1.3.1 Objetivo general.....	17
1.3.2 Objetivos específicos .....	17
2. CONCEPTOS PRELIMINARES.....	18
2.1 UNIDAD DE BOMBEO MECÁNICO (UBM).....	18
2.1.1 Tipos de unidades de Bombeo mecánico .....	19
2.1.2 Componentes del Bombeo mecánico .....	21
2.1.3 Fallas comunes de las unidades de Bombeo mecánico.....	23
2.2 BOMBEO ELECTRO SUMERGIBLE (ESP).....	24
2.2.1 Componentes de superficie .....	26
2.2.2 Componentes de subsuelo .....	27
2.3 SISTEMA ELÉCTRICO 480V DE LOS POZOS DE EXTRACCION DE CRUDO <sup>28</sup>	
2.3.1 Control Eléctrico Directo .....	28
2.3.2 Arrancador Suave .....	32
2.3.3 VARIADOR DE FRECUENCIA .....	36
2.4 VARIADOR DE FRECUENCIA GCS ELECTRO SPEED 12 PULSOS (Bombas Electro Sumergibles) [3].....	40
3. CARACTERIZACIÓN DE LAS PRINCIPALES FALLAS DE LOS CONTROLES DIRECTOS, ARRANCADORES SUAVES Y VARIADORES DE FRECUENCIA .....	41
3.1 CARACTERÍSTICAS DE CONTROLES DIRECTOS.....	42
3.1.1 Análisis de fallas en controles directos.....	42
3.2 CARACTERÍSTICAS ARRANCADOR SUAVE.....	44
3.2.1 Análisis de fallas Arrancador Suave MCD3000.....	44

3.2.2	Análisis de fallas Arrancador Suave MCD-500 .....	46
3.2.3	Análisis de fallas Arrancador Suave ABB PST-142 .....	48
3.3	CARACTERÍSTICAS VARIADOR DE FRECUENCIA .....	50
3.3.1	Análisis de fallas Variador de frecuencia Danfoss FC302.....	51
3.3.2	Análisis de fallas Variador de frecuencia ACS800-11.....	54
3.4	INSTRUCTIVO DE MANTENIMIENTO VARIADOR GCS BOMBAS ELECTRO SUMERGIBLES (ESP) .....	55
3.4.1	Inspección visual y chequeo de conexiones .....	56
3.4.2	Prueba de los transistores bipolares de compuerta aislada (IGBT's). .....	57
3.4.3	Prueba de interruptor principal de potencia .....	58
3.4.4	Prueba de fusibles de potencia.....	59
3.4.5	Prueba de SCR's.....	59
3.4.6	Prueba de DIODOS. ....	60
3.4.7	Prueba de CONDENSADORES .....	60
3.4.8	Prueba de otros componentes .....	60
3.5	RECOMENDACIONES A LAS ACCIONES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EJECUTADAS A LOS ARRANCADORES SUAVES Y VARIADORES DE FRECUENCIA.....	62
4.	CONCLUSIONES.....	64
	BIBLIOGRAFÍA .....	65

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Unidad de Bombeo Mecánico .....	18
Figura 2	Unidad de Bombeo mecánico tipo convencional .....	20
Figura 3	Unidad de Bombeo mecánico tipo Mark II.....	21
Figura 4	Partes del Bombeo Mecánico.....	22
Figura 5	Variador de Frecuencia de una Bomba Electro -Sumergible .....	24
Figura 6	Componentes del Bombeo Electro Sumergible.....	26
Figura 7	Componentes de subsuelo .....	27
Figura 8	Control eléctrico convencional (Control Directo) en funcionamiento .....	28
Figura 9	Contactador General Electric.....	29
Figura 10	Motor de inducción trifásico .....	30
Figura 11	Relé de sobrecorriente (OL) .....	30
Figura 12	Dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS).....	31
Figura 13	Monitor de termistores .....	31
Figura 14	Arrancadores suaves Danfoss MCD500, MCD3000, ABB PST-142 respectivamente.....	32
Figura 15	Esquemático de un arrancador suave .....	33
Figura 16	Variadores de Frecuencia Abb acs800 y danfos fc302.....	36
Figura 17	Esquemático de un Variador de Frecuencia.....	37
Figura 18	Variador de frecuencia electro speed GCS 12 pulsos .....	41
Figura 19	IGBT del GCS .....	58
Figura 20	SCR's del GCS.....	59
Figura 21	Diodo del GCS .....	60

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1	Rango de aplicación de las Unidades de Bombeo Mecánico .....	19
Cuadro 2	Rangos de aplicación de las Electro Sumergibles .....	25
Cuadro 3	Problemas y fallas generales de los arrancadores suaves.....	35
Cuadro 4	Problemas y fallas generales de los variadores de frecuencia .....	39
Cuadro 5	Características de controles directos .....	42
Cuadro 6	Análisis de fallas en controles directos .....	43
Cuadro 7	Características Arrancador suave .....	44
Cuadro 8	Análisis de fallas Arrancador Suave MCD3000.....	45
Cuadro 9	Análisis de fallas Arrancador Suave MCD-500.....	47
Cuadro 10	Análisis de fallas en arrancadores suave PST-142 .....	48
Cuadro 11	Características variador de frecuencia.....	50
Cuadro 12	Análisis de fallas Variador de Frecuencia FC302.....	51
Cuadro 13	Análisis de falla VSD ACS800-11 .....	54

## RESUMEN

**TÍTULO: CARACTERIZACIÓN DE LAS FALLAS MÁS REPRESENTATIVAS EN ARRANCADORES SUAVES Y VARIADORES DE FRECUENCIA EN FACILIDADES ELÉCTRICAS PARA POZOS DE EXTRACCIÓN DE PETRÓLEO.\***

**AUTOR: JAIME ESPINOSA SANDOVAL\*\***

**PALABRAS CLAVE:** Control directo, arrancador suave, variador de frecuencia.

### CONTENIDO:

Este proyecto de investigación tiene como propósito identificar parámetros y actividades de mantenimiento, que permitan caracterizar los eventos de falla y la mejora en el mantenimiento de controles directos, arrancadores suaves y variadores de frecuencia de las Unidades de Bombeo Mecánico (UBM) de 500 pozos de extracción de crudo ubicados en los alrededores de la ciudad de Barrancabermeja, en pro de disminuir los tiempos de paradas no programadas y la frecuencia de las fallas.

En la primera etapa se depuraran y organizaran los registros de las imediateces presentadas en los pozos y documentadas durante el último año, con lo cual se busca identificar las fallas con relación a la electrónica de potencia y control, basándose en el registro digital de los eventos de falla, documento generado por la contratista encargada de suministrar el mantenimiento eléctrico y electrónico a los pozos durante este periodo.

El siguiente paso será la clasificación de las principales fallas asociadas a los controles directos, arrancadores suaves y variadores de frecuencia, identificando a su vez las causas generadoras y la acción correctiva que se debe tomar en el mantenimiento para disminuir la ocurrencia de dichas fallas, estos resultados estarán acompañados de un instructivo para realizar el mantenimiento al variador de frecuencia GCS para bombas electrosumergibles.

---

\*Proyecto de grado

\*\*Facultad de Ciencias Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Dirigido por el Ing. Julio Augusto Gelvez Figueredo.

## ABSTRACT

**TITLE: CHARACTERIZATION OF FAULTS MOST REPRESENTATIVE IN SOFT STARTERS AND VARIABLE FREQUENCY DRIVE IN ELECTRICAL FACILITIES FOR OIL EXTRACTION WELLS.\***

**AUTHOR: JAIME ESPINOSA SANDOVAL\*\***

**KEYWORDS:** Direct control, soft starte, variable frequency drive.

### CONTENT:

The main goal of this research project is to identify the parameters and maintenance activities which allow to characterize the failure events and the improvement in the maintenance of direct controls, soft starters and variable frequency of the Mechanical Pumping Units (MPU) of 500 wells oil extraction located around the city of Barrancabermeja, in favor of reducing unscheduled downtime and the frequency of failures.

In the first stage the records of the immediacies presented in the wells and documented over the past year will be debugged and organized. This action seeks to identify failures in relation to the power electronics and control, based on the digital recording of failure events, the document generated by the contractor responsible for supplying electrical and electronic maintenance to wells during this period.

The next step will be the classification of the major failures related to the direct controls, the soft starters and the variable frequency, in turn identifying the generator root causes and corrective action that has to be taken in the maintenance process in order to reduce the occurrence of such failures, these results will be accompanied by an instructive to perform the maintenance to the frequency inverter GCS for electric submersible pumps.

---

\* Degree Project

\*\* Physic-Mechanic Science Faculty, Electric, Electronic and Telecommunications Engineering School, directed by Ing. Julio Gelvez Figueredo

## INTRODUCCION

La industria ha venido desarrollando un enfoque orientado hacia la mejora de capacidades tales como: competitividad, eficacia y eficiencia, factores determinantes para la permanencia de una compañía en el mercado; en el caso de la industria del petróleo, donde la utilidad de la compañía está basada en la producción de crudo con bajos costos operativos, ambientales y humanos, el mantenimiento juega un papel muy importante, otorgando confiabilidad a los procesos, razón por la cual está en constante evolución brindando así, nuevas estrategias para optimizar su ejecución.

Un buen planteamiento de las estrategias de mantenimiento debe incluir la revisión de los requerimientos operativos y específicos de los equipos en funcionamiento, por esto es importante una evaluación detenida de los activos en pro de identificar las tareas de mantenimiento apropiadas que logren el objetivo de extraer petróleo de forma continua, segura y a un bajo costo.

El enfoque orientado hacia la identificación de las fallas, así como de las características técnicas de las mismas, centra la atención en las actividades de mantenimiento que más incidencia tienen en el desempeño o funcionamiento de las instalaciones. Ésto garantiza que el capital invertido en mantenimiento sea inyectado donde se genere el mayor beneficio.

El propósito de este proyecto es identificar estrategias que permitan disminuir la ocurrencia de fallas en los equipos para los que no existe mucha documentación, apoyándose en la experiencia del personal de mantenimiento y los operadores de los equipos del lugar donde se encuentran instalados (Corregimiento el centro, Barrancabermeja Santander, Magdalena Medio), siendo éstos equipos; Arrancadores Suaves y Variadores de Frecuencia, empleados en las Unidades de Bombeo Mecánico de extracción de petróleo.

# 1. DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

## 1.1 JUSTIFICACION

Para el levantamiento de crudo en la Región del Magdalena Medio los equipos de Bombeo más empleados son las Unidades de Bombeo Mecánico (UBM's), éste tipo de Bombeo es accionado por motores de inducción, los cuales tienen acoplados un control de arranque que puede ser control directo, Arrancador Suave (AS) o Variador de Frecuencia (VFD). En esta región Colombiana el clima es templado, alcanza una temperatura media máxima de 32 °C y una temperatura máxima absoluta<sup>1</sup> de 39.9 °C según el IDEAM. Los Variadores de Frecuencia y Arrancadores Suaves utilizados en éste control están diseñados para trabajar en una temperatura ambiente máxima de 40 °C [1], lo cual hace que los equipos de control trabajen en condiciones límites a las que fueron diseñados, ésto lleva a que incurran en constantes fallas por sobre temperatura, además las unidades de Bombeo son equipos que imponen alto torque en el arranque pues levantan crudos pesados y en algunos casos petróleo con altos contenidos de arena, causando fallas por sobre corriente.

Por causa de las fallas se paran los pozos productores de petróleo y se refleja en reducción de la producción neta de crudo de un campo productor, ésto ocasiona pérdidas económicas a la empresa extractora que puede alcanzar varios millones de pesos por hora. Por éste motivo es importante garantizar la continuidad del servicio y el correcto funcionamiento del sistema eléctrico de los equipos para extracción de crudo.

Con este trabajo, se busca documentar las características de los equipos y las fallas más frecuentes del sistema de electrónica de potencia y control de las Unidades de Bombeo Mecánico de los pozos de extracción de crudo en la región,

---

<sup>1</sup> Temperatura más alta de las temperaturas máximas mensuales observadas en un mes dado durante un número determinado de años

con el fin de identificar las fallas, las actividades e indicadores que permitan mejorar las acciones de mantenimiento de los Arrancadores Suaves y Variadores de Frecuencia, y así garantizar la continuidad de servicio de los equipos asociados al pozo.

## 1.2 PLANTEAMIENTO Y DEFINICION DEL PROBLEMA

En la industria petrolera un paso fundamental es levantar el crudo del subsuelo utilizando Unidades de Bombeo Mecánico, estas unidades son movidas por motores trifásicos de inducción de jaula de ardilla; en el arranque directo de un motor de inducción, éste exige a la red una intensidad de hasta siete veces la corriente nominal que trae como consecuencia la caída de tensión en la red, incremento de la temperatura en los devanados del motor y pulsos de torque que pueden afectar los rodamientos del motor, la caja reductora de la unidad y en general el sistema mecánico de Bombeo; razón por la cual se debe controlar la corriente de arranque con Arrancadores Suaves o Variadores de Frecuencia.

La velocidad de extracción de crudo debe ser controlada de acuerdo con la producción del yacimiento de petróleo, la capacidad de la planta deshidratadora y posteriormente con la refinería, por ello es necesario controlar la producción, esto conlleva a constantes arranques y paros de las unidades de Bombeo de los pozos menos productores; en los pozos más productores se regula la velocidad del motor de la unidad de Bombeo; para lograr esto se emplea un Arrancador Suave o un Variador de Frecuencia respectivamente.

Éstos equipos se construyen con elementos de estado sólido tanto de potencia como de control, los cuales son afectados por factores climáticos, operacionales, ambientales, limitaciones de componentes de fábrica, fluctuaciones de red, fallas de configuración y operación. Las fallas en el control de las Unidades de Bombeo generan paros no programados, y por consiguiente se detiene la producción del pozo, que inmediatamente se debe intervenir por personal capacitado, que

identifica la falla y establece el procedimiento para ejecutar la respectiva acción ya sea reinicio del equipo o reparación y arranque del pozo, ésto trae asociado costos de mano de obra en reparación, repuestos, transporte y tiempo que incrementa la “diferida<sup>2</sup>” por paro en la producción del pozo.

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 Objetivo general

Identificar parámetros, actividades e indicadores de mantenimiento, que permitan caracterizar los eventos de falla y la mejora en el mantenimiento preventivo en Variadores de Frecuencia y Arrancadores Suaves, de las Unidades de Bombeo Mecánico (UBM) de 500 pozos de extracción de crudo ubicados en los alrededores de Barrancabermeja, en pro de disminuir los tiempos de paradas no programadas y la frecuencia de las fallas.

#### 1.3.2 Objetivos específicos

- Depurar y organizar los registros de las inmediateces de los pozos en estudio documentadas durante el último año, identificando las fallas con relación a la electrónica de potencia y control, de los arrancadores suaves y variadores de frecuencia.
- Clasificar las principales fallas asociadas a los Arrancadores Suaves y Variadores de Frecuencia, según el tipo de control identificando a su vez las causas generadoras y la acción correctiva que se debe tomar en el mantenimiento.
- Proponer recomendaciones a las acciones de mantenimiento preventivo ejecutadas a los Arrancadores Suaves y Variadores de Frecuencia utilizados

---

<sup>2</sup> Diferida: Cantidad de barriles de petróleo que deja de producir un pozo, por un paro no programado de la unidad de Bombeo, asociado a una falla ya sea mecánica, eléctrica o electrónica.

en Unidades de Bombeo Mecánico, basado en los resultados obtenidos durante la ejecución del plan.

## 2. CONCEPTOS PRELIMINARES

En este capítulo se describen los diferentes equipos y dispositivos electrónicos que hacen parte del sistema eléctrico presente en un pozo con unidad de Bombeo mecánico para la extracción de crudo. De la misma forma se mencionan los principales modos de falla para cada uno de éstos equipos eléctricos.

### 2.1 UNIDAD DE BOMBEO MECÁNICO (UBM)

En la figura 1 se presenta la imagen de una Unidad de Bombeo mecánico que es el sistema de levantamiento artificial de petróleo más utilizado en el mundo, su importante uso se debe a características como: facilidad para la operación, resistencia a condiciones severas, Alta eficiencia energética, Alto rango de aplicaciones y fácil diagnóstico de fallas[2].

Figura 1 Unidad de Bombeo Mecánico



Fuente: El autor

En el cuadro 1 se describe las características más relevantes de las unidades de Bombeo mecánico.

Cuadro 1 Rango de aplicación de las Unidades de Bombeo Mecánico

<b>Criterio a considerar</b>	<b>Rango típico</b>	<b>Máximos</b>
<b>Profundidad de Asentamiento</b>	100-8000 ft	12000 ft
<b>Caudal de producción</b>	5-1500 BFPD	5000 BFPD
<b>Temperatura de operación</b>	38-177 °C	288 °C
<b>Desviación del pozo</b>	0-20°	90°
<b>Manejo de corrosión</b>	De bueno a excelente, con materiales de última tecnología.	
<b>Manejo de gas</b>	De razonable a bueno.	
<b>Manejo de Sólidos</b>	De razonable a bueno, pueden generar mal funcionamiento de la bomba.	
<b>Gravedad API del fluido</b>	> 8 °API	
<b>Tipo de Motor</b>	Eléctrico o de combustión interna.	
Fuente: MONTES PÁEZ. Erick Giovany, “Curso Herramientas Echometer [Diapositivas],” <i>Bucaramanga</i> , p. 165 diapositivas, 2012.		

### 2.1.1 Tipos de unidades de Bombeo mecánico

En el mercado se encuentran diferentes tipos de unidades de Bombeo mecánico, la selección de uno u otro tipo de Bombeo depende de las características y condiciones del yacimiento de petróleo, a continuación se describen las Unidades de Bombeo Mecánico utilizadas en el Corregimiento El Centro de la Ciudad de Barrancabermeja, región del Magdalena Medio.

#### 2.1.1.1 Unidad Convencional

En la figura 2 se presenta la Unidad de Bombeo Mecánico tipo convencional que es la más antigua del mercado, a continuación se mencionan sus ventajas y desventajas.

Ventajas:

- Bajos costos de adquisición
- Sentido de giro horario ó anti-horario
- Altas velocidades de Bombeo
- Contrapesas pequeñas

Desventajas:

- Cajas reductoras muy grades
- Baja eficiencia energética en comparación con las unidades mark II

Figura 2 Unidad de Bombeo mecánico tipo convencional



Fuente: El autor.

#### 2.1.1.2 Unidad Mark II

En la figura 3 se ilustra la UBM tipo Mark II que es de gran uso en la extracción de petróleo, gracias a que basa su geometría en tres características (La ubicación de la caja reductora, punto de apoyo en el extremo de la unidad y la manivela

desfasada), las cuales reducen el torque y la carga con respecto a una unidad Convencional.

Ventajas:

- Bajos torques
- Alta eficiencia energética

Desventajas:

- Baja velocidad de Bombeo
- Rota únicamente en sentido anti-horario
- Contrapesas Grandes comparadas con la unidad convencional

Figura 3 Unidad de Bombeo mecánico tipo Mark II



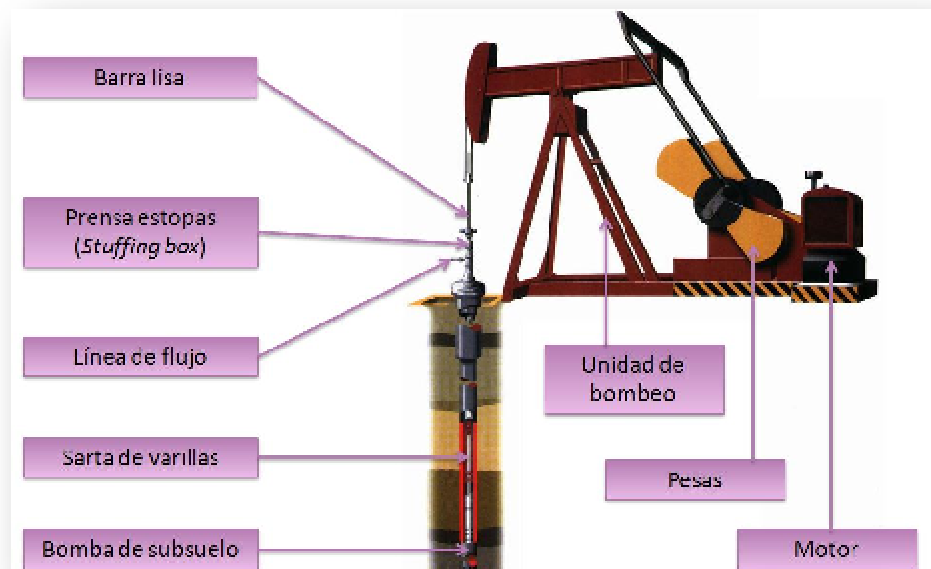
Fuente: El autor.

### 2.1.2 Componentes del Bombeo mecánico

El Bombeo mecánico tiene componentes tanto en la superficie como en el subsuelo, como se puede evidenciar en la figura 4 en la superficie se encuentran

los componentes de la parte eléctrica y mecánica, que hacen posible se genere el movimiento reciprocante que se transmite a la bomba de subsuelo por medio de la sarta de varillas, en el subsuelo se encuentra la bomba que hace posible la extracción de crudo del yacimiento de petróleo.

Figura 4 Partes del Bombeo Mecánico



FUENTE: MONTES PÁEZ. Erick Giovany Curso Herramientas Echometer. [Diapositivas] Bucaramanga: 2012, 165 diapositivas.

#### 2.1.2.1 Componentes de superficie

- Unidad de Bombeo
- Pesas
- Caja Reductora
- Barra lisa
- Cabezal del pozo
- Transformador reductor 13400 /480 V
- Control (Variador de Frecuencia, Arrancador Suave o Arrancador Directo.)
- Motor

### 2.1.2.2 Componentes de subsuelo

**Sarta de varillas:** Las varillas cumplen la función de transmitir la potencia que se genera en la unidad de Bombeo hasta la bomba de subsuelo. La bomba de subsuelo está constituida por los siguientes componentes:

- Sarta de varillas
- Tubería de Producción
- Bomba de subsuelo
- Pistón
- Barril
- Válvula viajera
- Válvula fija

### 2.1.3 Fallas comunes de las unidades de Bombeo mecánico

- Yacimiento de petróleo con altos contenidos de arena: Al detener la producción de un pozo por un tiempo prolongado genera asentamiento de arena en la bomba de subsuelo la que causa atascamiento, provocando que el motor opere en condiciones de rotor bloqueado.
- Se parte o se suelta la sarta de varilla: Al ocurrir esta falla causa que el motor opere con un gran desbalance de torque al funcionar solamente con las pesas generando que el motor trabaje en condiciones de rotor bloqueado, además ocasiona que no sea posible transmitir la potencia a la bomba de subsuelo y el pozo no cumpla la función de extraer petróleo.
- Correas reventadas: El funcionamiento prolongado de la unidad ó una mala instalación de las correas que transmiten la potencia desde el motor hasta la caja reductora de la unidad puede generar la ruptura de estas, haciendo que el motor trabaje en vacío.

## 2.2 BOMBEO ELECTRO SUMERGIBLE (ESP)

El Bombeo Electro Sumergible se ha desarrollado en los últimos años con el fin de maximizar la producción de petróleo en yacimientos profundos y con altos caudales, ubicándose como el Bombeo más implementado en yacimientos de petróleo que poseen características de alta profundidad, alrededor de 10.000 ft, y altos caudales aproximadamente 5.000 barriles de fluido por día. En la figura 5 se puede apreciar el Variador de una Bomba Electrosumergible.

Figura 5 Variador de Frecuencia de una Bomba Electro -Sumergible



Fuente: El autor

Ventajas[2]:

- Altos caudales de producción
- Uso a altas profundidades de yacimiento
- Buena aplicación en pozos desviados
- Buen manejo de gas
- Adaptación a ambientes corrosivos y abrasivos

- Buen desempeño a altas temperaturas con materiales de última tecnología
- Se pueden instalar en pozos costa a fuera
- Alto nivel de automatización

Desventajas [2]:

- Alto costo inicial
- Alto consumo de energía eléctrica en comparación con el Bombeo mecánico
- Pobre manejo de sólidos
- Conificación de yacimiento
- Requieren de un estricto seguimiento de la temperatura especialmente en el cable
- Pueden presentar fallas por presencia de gas libre en la bomba

Cuadro 2 Rangos de aplicación de las Electro Sumergibles

<b>Criterio a considerar</b>	<b>Rango típico</b>	<b>Máximos</b>
<b>Profundidad de Asentamiento</b>	100-12000 ft	15000 ft
<b>Caudal de producción</b>	100- 10000 BFPD	15000 BFPD
<b>Temperatura de operación</b>	38-148 °C	176 °C
<b>Desviación del pozo</b>	Desde verticales hasta horizontales.	
<b>Manejo de corrosión</b>	De bueno a excelente, con materiales de última tecnología.	
<b>Manejo de gas</b>	Bueno con separadores de fondo.	
<b>Manejo de Sólidos</b>	Pobre.	
<b>Gravedad API del fluido</b>	> 8 °API	
<b>Tipo de Motor</b>	Eléctrico.	
Fuente: MONTES PÁEZ. Erick Giovany Curso Herramientas Echometer. [Diapositivas] Bucaramanga: 2012 165 diapositivas.		

### 2.2.1 Componentes de superficie

En el Bombeo Electro Sumergible los componentes que se encuentran en la superficie son principalmente eléctricos como se puede apreciar en la figura 6, estos componentes son los encargados de variar la frecuencia y elevar la tensión para que pueda ser transmitida al motor que se encuentra en el subsuelo.

Figura 6 Componentes del Bombeo Electro Sumergible



Fuente: El autor

Dentro del equipo principal de superficie que compone las bombas Electro Sumergibles se destaca:

- Transformador reductor 13400 / 480 V
- Variador de frecuencia
- Transformador elevador 480 / 2400 V

- Caja de venteo
- Cabezal del pozo

### 2.2.2 Componentes de subsuelo

En el subsuelo se encuentra el cable de potencia que transporta la energía eléctrica desde la superficie hasta el motor en el subsuelo y éste genera la potencia mecánica rotatoria que permite girar la bomba que impulsa el crudo a la superficie, en la figura 7 se señala cada uno de los componentes de subsuelo.

Figura 7 Componentes de subsuelo



Fuente: MONTES PÁEZ. Erick Giovany Curso Herramientas Echometer. [Diapositivas] Bucaramanga: 2012 165 diapositivas.

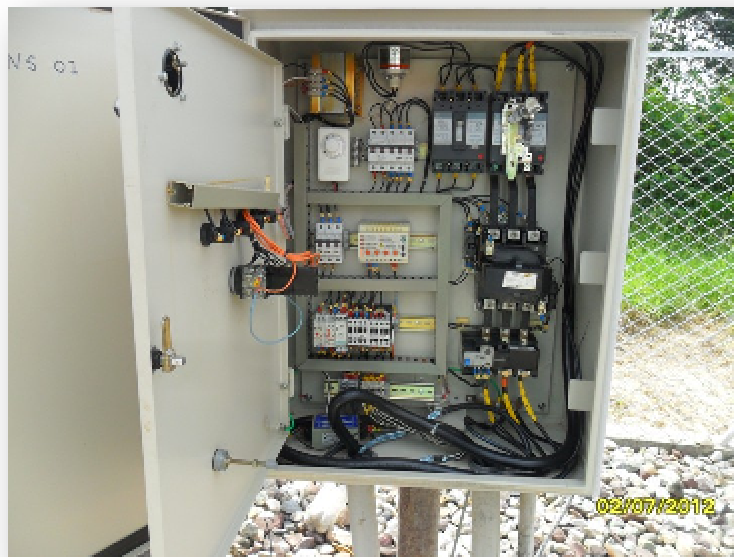
## 2.3 SISTEMA ELÉCTRICO 480V DE LOS POZOS DE EXTRACCION DE CRUDO

Dentro del sistema eléctrico a 480V de los pozos con unidad de Bombeo mecánico (UBM) se distinguen 3 clases, la primera que utiliza Control Eléctrico Convencional (control directo CD), la segunda que utiliza arrancador suave (AS) y la tercera que utiliza Variador de Frecuencia (VFD).

### 2.3.1 Control Eléctrico Directo

En la figura 8 se presenta la imagen de control eléctrico convencional el cual se usa para energizar o des-energizar el motor eléctrico de la unidad de Bombeo de manera directa así como para proteger al motor de sobre-corrientes instantáneas, sobre-temperatura de operación del motor y controlar los tiempos de trabajo y descanso del pozo productor de petróleo.

Figura 8 Control eléctrico convencional (Control Directo) en funcionamiento



Fuente: El autor

Las partes que conforman el subsistema de potencia son la acometida eléctrica, el contactor de línea y el motor eléctrico.

- Acometida Eléctrica: Es la parte del subsistema de potencia que se construye desde el secundario del transformador de distribución de energía eléctrica hasta el motor eléctrico, y está conformada por los siguientes componentes: punto de alimentación, conductores, ductos e interruptor general. Es el medio para la transmisión de energía eléctrica de la red de distribución al motor.
- Contactor: Es un dispositivo electromagnético que tiene por objetivo establecer o interrumpir el paso de corriente en el circuito de potencia tan pronto se energiza la bobina de control, en la figura 9 es posible observar el contactor de línea.

Figura 9 Contactor General Electric



Fuente: El autor

- Motores eléctricos: Su función es proporcionar la energía que requiere el sistema de Bombeo, la potencia del motor depende de la profundidad de la bomba, del nivel del fluido, la velocidad de Bombeo, entre otros factores. En muchos casos el motor se sobre-dimensiona para garantizar la energía necesaria para mover la unidad de Bombeo, suelen ser motores trifásicos de inducción de

jaula de ardilla, los motores eléctricos utilizados son de alto deslizamiento el cual puede estar entre el 5 y el 13% de la velocidad nominal, el motor de la figura 10 es un motor de inducción trifásico del tipo jaula de ardilla de 100 hp.

Figura 10 Motor de inducción trifásico



Fuente: El autor

- Relé de sobrecorriente (OL): El dispositivo que se puede observar en la figura 11 se utiliza dentro del sistema de protecciones del sistema eléctrico para proteger al motor contra sobrecorrientes.

Figura 11 Relé de sobrecorriente (OL)



Fuente: El autor

- Dispositivo de protección contra sobretensiones (DPS): Éste dispositivo que se puede observar en la figura 12, protege al sistema eléctrico de sobretensiones externas causadas por descargas atmosféricas o internas causadas por conmutación: arranque y parada de equipos, operaciones de interruptores.

Figura 12 Dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS)



Fuente: El autor

- Monitor de termistores: El monitor de termistores protege al motor eléctrico contra condiciones de sobre temperatura, el monitor de termistores que se presenta en la figura 13 posee una indicación de energizado y otra de disparo y su restablecimiento puede ser manual o automático, por lo general el nivel de disparo es ajustado a los  $3400\Omega$ , y el nivel de reset en  $1600\Omega$ .

Figura 13 Monitor de termistores



Fuente: El Autor

- Termistor: Es un semiconductor que varía su resistencia en función de la temperatura a la que está expuesto y aumenta la resistencia de manera directa al cambio positivo de temperatura, además el cambio de resistencia no

es lineal al cambio de temperatura, el termistor es seleccionado por el fabricante del motor dependiendo del tipo del aislamiento de éste.

### 2.3.2 Arrancador Suave

En la figura 14 se presentan los arrancadores suaves comúnmente instalados en las UBM's y en la figura 15 su esquema eléctrico en el cual se identifican las partes que lo componen, es un dispositivo electrónico con seis SCR's, destinado al arranque controlado de los motores trifásicos de inducción mediante una rampa de tensión aplicada a éste. En sus funciones principales está el control de la corriente de arranque del motor por el cambio de la tensión eficaz que lo energiza, protección contra sobrecorriente y sobreintensidad en el arranque y durante el funcionamiento del motor. Los rangos de corriente de salida del equipo son ajustables para adaptarse a distintas potencias de motores eléctricos.

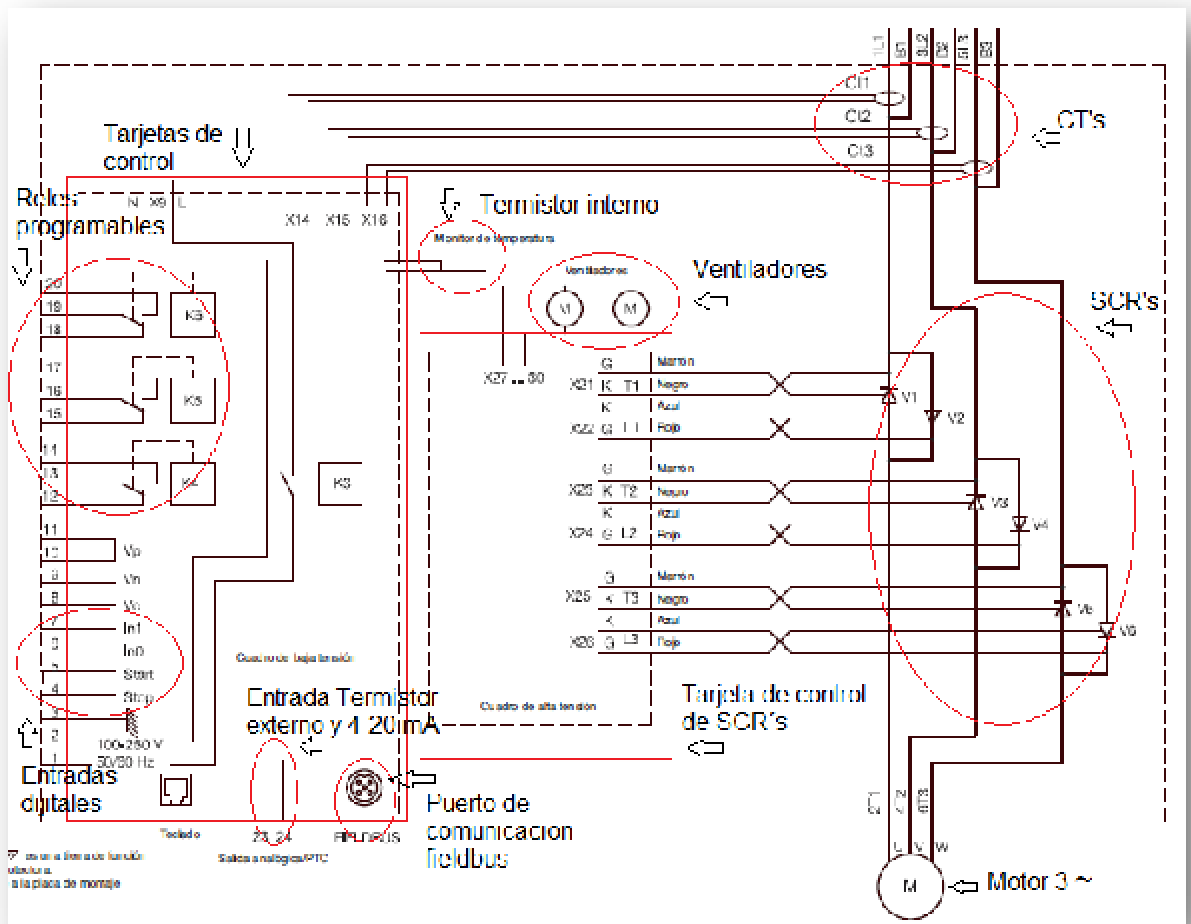
Figura 14 Arrancadores suaves Danfoss MCD500, MCD3000, ABB PST-142 respectivamente



Fuente: ASEA BROWN BOVERY ABB. Arrancadores suaves Tipo PST30 PSTB 1050 [Manual de instalación y puesta en servicio]. Västerås Suecia: ABB, 2006. DANFOS VLT. Arrancador suave, el accionamiento de velocidad única. [Catalogo]. Madrid España, PE-MMSC, 2011.

### 2.3.2.1 Partes de un arrancador suave y su función

Figura 15 Esquemático de un arrancador suave



Fuente: ASEA BROWN BOVERY ABB. Arrancadores suaves Tipo PST30 PSTB 1050 [Manual de instalación y puesta en servicio]. Västerås Suecia: ABB, 2006. Pág. 19

- Un arrancador suave trifásico tiene 6 SCR's, están ubicados en la línea de potencia que alimenta al motor, la función del SCR elemento de estado sólido es regular la tensión eficaz aplicada al motor, es el elemento actuador en el lazo de control del arrancador suave.

- *CT's*: Cada arrancador suave dispone de 3 Transformadores de Corriente uno por cada línea de potencia; su función es medir la corriente de línea que ingresa al motor y así ejercer una acción de control si la corriente sale de los rangos especificados.
- *Tarjetas de control*: Las tarjetas de control son el cerebro del arrancador suave se encargan de recibir las señales de los Transformadores de Corriente, las entradas digitales, el puerto de comunicación fieldbus y el termistor; a partir de la información recibida, ejecuta la protección programada, la cual puede ser parar el motor, indicar una alarma o actuar ante un evento de falla para evitar daños permanentes en los componentes mecánicos y eléctricos del pozo.
- *Puerto de comunicación fieldbus*: Éste puerto es utilizado para interconectar al arrancador suave con el centro de control, por este medio se puede observar estado de variables como tensión, corriente y temperatura, además emitir señales de arranque y paro al Arrancador Suave que controla el motor.
- *Termistor*: Es un dispositivo que está instalado en disipador de calor de los tiristores, censa la temperatura de éstos durante el arranque del motor.
- *Entrada analógica 4-20 mA*: Éste puerto es usado para dos propósitos, toma de datos del termistor que puede ser también programado para lectura del transmisor de presión.
- *Relés programables*: Éstos puertos son usados para conectar el selector que se instala en la parte frontal del gabinete en el cual está instalado el arrancador suave, es usado para dar arranque o paro al motor además para dejar en operación al arrancador en modo automático o en modo manual, el modo automático permite comunicación fieldbus, mientras que el modo manual no.

### 2.3.2.2 Problemas y fallas generales de los arrancadores suaves

Los arrancadores suaves instalados en unidades de Bombeo mecánico están expuestos a condiciones de sobrecargas, sobretensiones y condiciones ambientales severas, que los hacen incurrir en fallas, a continuación se documentan las fallas más relevantes:

Cuadro 3 Problemas y fallas generales de los arrancadores suaves

<b>INDICACION DE FALLA</b>	
<b>Falla de pérdida de fase</b>	El contactor principal o el interruptor están abiertos Fusible quemado Hay un dispositivo externo abierto o disparado El breaker principal se abre demasiado rápido
<b>Falla de conexión</b>	La conexión del motor no es correcta Cortocircuito en tiristor al arrancar
<b>Falla de frecuencia</b>	La frecuencia está fuera de rango (57 a 63 Hz)
<b>Falla de entrada</b>	La tensión de alimentación no es correcta en el lado de la línea
<b>Falla de cortocircuito en tiristor</b>	Hay un cortocircuito en uno o varios tiristores
<b>Tiristor en circuito abierto</b>	Uno o varios SCR's en circuito abierto
<b>Falla bypass no abre</b>	El contactor de bypass no se abre correctamente
<b>Falla bypass no cierra</b>	El contactor de bypass no se cierra correctamente
<b>Falla de entrada/triángulo</b>	El arrancador suave no es capaz de detectar con exactitud si está conectado en línea o dentro de triángulo. Lo más probable es que se deba a una alimentación de entrada inestable
<b>Fallas internas</b>	Se ha producido una falla de comunicación interna del arrancador suave
<b>Falla de exceso de la duración del arranque</b>	La duración del arranque ha excedido el tiempo límite máximo programado
<b>Falla de sobrecorriente</b>	El motor ha experimentado una condición de sobrecarga que excede su capacidad térmica.
<b>Falla del termistor del motor</b>	Los termistores en el motor han indicado un estado de sobretemperatura.
<b>Falla de desequilibrio de fase</b>	Un desequilibrio en las corrientes de fase ha excedido los límites programados
<b>Falla de rotación de fase</b>	La protección de rotación de fase se ha ajustado y se ha detectado una rotación de fase prohibida
<b>Falla de sobrecarga instantánea</b>	Se ha detectado una sobrecarga instantánea que excede el límite programado
<b>Falla de baja corriente</b>	La corriente de marcha del motor a caído por debajo del límite programado
<b>Sobrettemperatura del arrancador</b>	Se ha registrado una temperatura excesiva en el radiador del AS
Fuente: ASEA BROWN BOVERY ABB. Arrancadores suaves Tipo PST30 PSTB 1050 [Manual de instalación y puesta en servicio]. Västerås Suecia: ABB, 2006.	

### 2. 3.3 VARIADOR DE FRECUENCIA

En la figura 16 se presentan los variadores de frecuencia ABB ac 800 y Danfos fc302 y en la figura 17 el esquema eléctrico, los convertidores de frecuencia de baja tensión 480 Voltios, también llamados variadores de frecuencia se utilizan para el control de arranque, velocidad y par en motores de inducción estándar; contienen circuitos de electrónica de potencia para variar la frecuencia de salida del equipo, el cual alimenta un motor trifásico de inducción de jaula de ardilla; se construyen de diferente tecnología dependiendo la potencia nominal; algunas de las técnicas empleadas son por PWM y control por vector espacial. La tecnología de los convertidores de frecuencia extiende el rango de velocidad de trabajo de los motores eléctricos, desde casi cero hasta valores por encima de la velocidad nominal. Éste equipo controla la velocidad a par constante lo que lo hace apto para el control de procesos de Bombeo, pues el caudal es proporcional a la velocidad de la bomba.

Figura 16 Variadores de Frecuencia Abb acs800 y danfos fc302



Fuente: ASEA BROWN BOVERY ABB. Arrancadores Convertidores de frecuencia industriales ACS800, convertidores únicos de 0,55 a 5600 kW [Catálogo]. España: ABB, 2012.  
DANFOS VLT. Automation drive [Catálogo]. Madrid España, PE-MMSC, 2011.

Figura 17 Esquemático de un Variador de Frecuencia

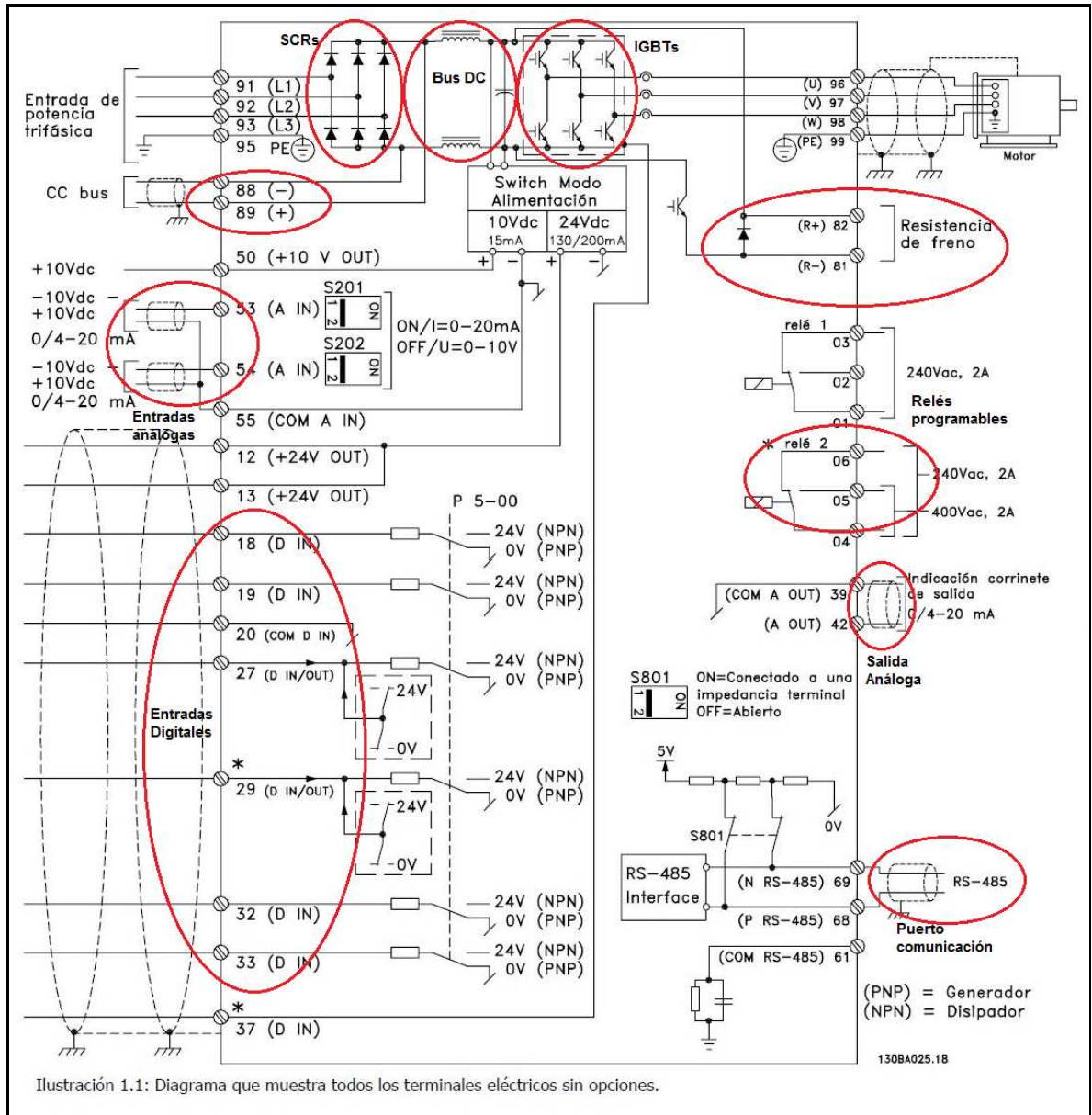


Ilustración 1.1: Diagrama que muestra todos los terminales eléctricos sin opciones.

Fuente: DANFOS VLT. Automation drive [Catálogo]. Madrid España, PE-MMSC, 2011. Pág., 15

- En los variadores de frecuencia los SCR's son los encargados de convertir la tensión alterna (AC) de la red en tensión continua por medio de la configuración de puente rectificador trifásico.

- Bus DC: En esta parte del variador se encuentra un filtro construido de condensadores y bobinas LCL que tienen el propósito de mantener un tensión continuo sin rizado.
- IGBT's: Permiten generar la modulación PWM a la salida del Variador de Frecuencia y así variar la frecuencia de salida y por ende la velocidad del motor de inducción al que se conecta.
- Resistencia de Freno: Éste módulo está compuesto por un transistor y una resistencia, su función es quemar la energía producto de la regeneración en el motor, esta opción es activada en las Unidades de Bombeo Mecánico.
- Entradas Analógicas: En éstos puertos se conectan señales de CD, como pueden ser sensores temperatura o transmisores de presión, las señales de éstos instrumentos son leídas por el variador de frecuencia y pueden ser empleadas para ejercer una acción sobre el proceso de extracción de crudo.
- Entradas Digitales: Las entradas digitales se usan para seleccionar varias funciones del convertidor de frecuencia, en el momento en que ocurra el evento para que fueron programadas.
- Comunicación Modbus: Éste puerto es utilizado para interconectar al variador de frecuencia con el centro de control, por éste medio se puede observar el estado de las variables Tensión, Corriente y temperatura, además emitir señales de arranque y paro al Variador de Frecuencia que controla el motor.
- Relés Programables E/S: Éstos puertos son utilizados para indicar información importante que ocurre en el variador, algunos ejemplos pueden ser: listo, en marcha, falla, alarma, bloqueo del motor.

#### 2.3.3.1 Problemas y fallas generales de los variadores de frecuencia

Los variadores de frecuencia a diferencia de los arrancadores suaves trabajan todo el tiempo en que se requiera que el motor esté en funcionamiento, esto conlleva al aumento de probabilidades de fallas en los equipos. A continuación se documentan las fallas más relevantes:

Cuadro 4 Problemas y fallas generales de los variadores de frecuencia

<b>Indicación de falla</b>	
<b>Falla sin motor</b>	No se ha conectado ningún motor a la salida del convertidor de frecuencia
<b>Falla pérdida de fase de alimentación</b>	Tensión de CC del circuito intermedio oscilante debido a la falta de una fase de la tensión de alimentación, un fusible fundido o la falla interno de un puente rectificador. Se produce el disparo cuando el rizado de la tensión de CC representa el 13% de la tensión de CC
<b>Falla sobretensión CC</b>	Si la tensión del circuito intermedio supera el límite, el convertidor de frecuencia emitirá una alarma y después de un periodo de tiempo determinado se desconectara
<b>Falla sobrecarga del inversor</b>	El convertidor de frecuencia está a punto de desconectarse a causa de una sobrecarga (intensidad muy elevada durante demasiado tiempo mayor a 2 segundos). El contador de la protección térmica y electrónica del inversor emite un aviso al 98% y se desconecta al 100% con una alarma
<b>Falla sobretemperatura del PTC del motor</b>	La protección del termistor indica que el motor está demasiado caliente
<b>Falla límite de Torque</b>	El torque es más elevado que el valor ajustado en el parámetro límite de par
<b>Falla sobrecorriente</b>	Se ha sobrepasado el límite de intensidad pico del inversor (aproximadamente el 200% de la intensidad nominal)
<b>Falla a tierra</b>	Hay una descarga de las fases de salida a tierra, o bien, en el cable entre el convertidor de frecuencia y el motor o en el motor mismo
<b>Falla cortocircuito</b>	Hay un cortocircuito en los terminales del motor o en el motor
<b>Falla resistencia de freno cortocircuitada</b>	La resistencia de freno se controla durante el funcionamiento. Si se cortocircuita, la función de freno se desconecta y se muestra una advertencia
<b>Falla chopper de freno cortocircuitado</b>	El transistor de freno se controla durante el funcionamiento, y si se produce un cortocircuito aparecerá esta advertencia y se desconectará la función de freno
<b>Falla comprobación del freno</b>	Falla de la resistencia de freno: La resistencia de freno no está conectada o no funciona correctamente
<b>Falla temp. Disipador</b>	La temperatura de desconexión del disipador es de $95\text{ }^{\circ}\text{C} + 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . La falla de temperatura no se puede restablecer hasta que la temperatura del disipador se encuentre por debajo de $70\text{ }^{\circ}\text{C} + 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . La falla podría consistir en: - Temperatura ambiente excesiva
<b>Falla falta la fase del motor</b>	Falta una fase del motor entre el convertidor de frecuencia y el motor
<b>Falla alimentación de 24 V baja</b>	Es posible que la alimentación externa de 24 V CC esté sobrecargada

<b>Falla límite de intensidad</b>	La intensidad es superior al valor indicado en el parámetro
<b>Falla frecuencia de salida en límite máximo</b>	La frecuencia de salida es mayor que el valor ajustado en el parámetro
<b>Falla límite de tensión</b>	La combinación de carga y velocidad requieren una tensión de motor superior a la tensión de CC actual
<b>Falla temperatura excesiva en placa de control</b>	Hay un exceso de temperatura en la tarjeta de control: la temperatura de desconexión de la tarjeta de control es de 80 °C
<b>Parada segura</b>	Se ha activado la parada de seguridad. Se continúa con el funcionamiento normal cuando se desactiva la parada segura. Advertencia: Rearranque automático
<b>PTC 1 Parada segura</b>	Se ha activado la parada segura desde la tarjeta termistor (motor demasiado caliente)
Fuente: DANFOS VLT. VLT® Automation Drive FC 300 [Manual de funcionamiento PE-MMSC, 2011. Pág. 56-58.	

## 2.4 VARIADOR DE FRECUENCIA GCS ELECTRO SPEED 12 PULSOS (Bombas Electro Sumergibles) [3]

El Electrospeed GCS que se puede observar en la figura 18 está clasificado como un inversor de tensión variable (VVI en inglés). Usa un rectificador controlado de silicio (SCR) de doce pulsos para convertir energía de CA en energía de CC de tensión variable y reducir los armónicos en comparación con los rectificadores de seis pulsos. Se usan un inductor y capacitores en serie a través del bus de CC para filtrar la fluctuación de CA. El inversor usa seis transistores bipolares de puerta aislada (IGBT) de energía para sintetizar un tensión de salida trifásico casi sinusoidal usando el algoritmo de inversión. Este inversor de tensión variable de CA está diseñado para satisfacer todos los requerimientos de instalaciones que precisen una fuente de frecuencia variable. Opera directamente a partir de energía trifásica de 50/60 Hertz de 380 a 480 VCA.

Figura 18 Variador de frecuencia electro speed GCS 12 pulsos



Fuente: CENTRILIFT DIVISIÓN DE BAKER HUGHES. Manual GCS electro speedd 12 pulsos. [Manual]. Baker Hughes, 2004. Pág 7

### 3. CARACTERIZACIÓN DE LAS PRINCIPALES FALLAS DE LOS CONTROLES DIRECTOS, ARRANCADORES SUAVES Y VARIADORES DE FRECUENCIA

En este capítulo se presenta de manera precisa los resultados obtenidos durante la ejecución del proyecto, alcanzando los objetivos específicos planteados desde el inicio en el plan de trabajo, aquí se presenta la caracterización de las principales fallas asociadas a los Controles Directos, Arrancadores Suaves y Variadores de Frecuencia, según el tipo de control identificando a su vez las causas generadoras y la acción correctiva que se debe tomar en mantenimiento y se presenta un instructivo de mantenimiento para el variador GCS de Bombas Electro Sumergibles (ESP).

### 3.1 CARACTERÍSTICAS DE CONTROLES DIRECTOS

A continuación se presentan las características más importantes de los controles directos utilizados en las Unidades de Bombeo Mecánico de los pozos de extracción de petróleo en el área de estudio ubicada en Barrancabermeja Santander.

Cuadro 5 Características de controles directos

CARACTERÍSTICAS	
<b>Control eléctrico</b>	Control eléctrico convencional (Control Directo)
<b>Marca</b>	General electric
<b>Modelos</b>	Nema 1, Nema 2, Nema 3 y Nema 4*
<b>Bombeo utilizado</b>	Unidad de Bombeo Mecánico
<b>Controles utilizados en campo</b>	Nema 1: 144, Nema 2: 32, Nema 3: 35, Nema 4: 20
<b>Tensión de potencia</b>	480 v
<b>Tensión de control</b>	110, 60 hz
<b>Capacidad relé de sobrecarga (OL)</b>	6.5-13 A; 13-27 A; 27-50 A; 50 - 136 A.
<b>Potencia</b>	5, 15, 20, 30, 40, 50, 75 y 100hp.
<b>Funciones principales</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Protección de sobrecorriente del motor</li><li>- Protección contra sobretensión al motor**</li><li>- Protección contra ausencia de fase</li></ul>
Fuente: El autor.	

\* Nema x, hace referencia a la capacidad de corriente que puede manejar el contactor de línea

\*\* La protección contra sobretensión al motor es habilitada para los motores de 50, 75 y 100 hp.

#### 3.1.1 Análisis de fallas en controles directos

Los controles directos analizados presentan como falla de mayor índice de ocurrencia la sobrecorriente que es debida a altos torques aplicados al motor.

Cuadro 6 Análisis de fallas en controles directos

Fallas mas repetitivas (Eventos/año)	Causas	Acción en mantenimiento correctivo
<b>Sobre corriente (159)</b>	Alto torque aplicado al motor y/o rotor bloqueado por desgaste en los rodamientos, bajo aislamiento en la acometida al motor	Revisar la tensión de alimentación, el aislamiento de la acometida al motor, el aislamiento del motor, revisar el valor programado de corriente del relé OL, si todo está en los límites aceptados, resetear la falla y dar arranque al pozo
<b>Breaker disparado (21)</b>	Altas corrientes o fluctuación de tensión en el secundario del transformador de la Subestación Eléctrica, las altas corrientes pueden ser debidas al desbalance de la unidad, alto torque aplicado al motor o problemas con la bomba en el subsuelo	Revisar seting del Breaker y las demás acciones sugeridas en la falla sobrecorriente, luego accionar el breaker y dar arranque al pozo
<b>Correas (11)</b>	Correas reventadas por el uso, canales de la polea del motor desgastados, correas muy desajustadas ó hay desalineamiento de las poleas	Revisar la tensión, la alineación y el desgaste de las correas periódicamente cada seis meses. De éstos factores depende la vida útil de las correas
<b>SW de presión (11)</b>	Alta presión en el tubing, problemas de lectura de la señal analógica del swich de presión	Revisar cableado del swich de presión y revisar la presión del tubing, si la presión es normal, dar arranque al pozo
<b>Falta de fase (6)</b>	Falta una fase en la alimentación del control directo	Comprobar la tensión de alimentación del control
<b>Relé de Sobrecorriente fallado (5)</b>	Humedad o punto caliente en el gabinete del control directo	Revisar empaque puerta gabinete control, sellar bien la entrada del tubo de la acometida al gabinete con silicona, cambiar Relé de Sobrecorriente y hacer las revisiones sugeridas en la falla sobrecorriente
<b>Termistor (4)</b>	Daño en el cable del termistor o en el termistor	Cambio del cableado o termistor si es necesario
<b>Alta Temperatura Motor (2)</b>	Ventilador del motor dañado, trabaja con corrientes arriba de la nominal, rotor bloqueado, rodamientos desgastados	Revisión periódica de rodamientos cada seis meses, ventilador y corrientes del motor
<b>Contactador (2)</b>	Falta de alimentación (220 ó 110v) de la bobina del contactador, Bobina del contactador dañada, contactador atascado	Cambio de bobina de cierre del contactador, contactador o control directo si es necesario
Fuente: El autor		

### 3.2 CARACTERÍSTICAS ARRANCADOR SUAVE

A continuación se presentan las características más importantes de los arrancadores suaves utilizados en las Unidades de Bombeo Mecánico de los pozos de extracción de petróleo ubicados en la región del Magdalena Medio.

Cuadro 7 Características Arrancador suave

CARACTERÍSTICAS	
<b>Control eléctrico</b>	Arrancador suave
<b>Marca</b>	DANFOSS, ABB
<b>Modelo</b>	MCD-3000; MCD-500; PST-142.
<b>Bombeo utilizado</b>	UBM
<b>Controles utilizados en campo</b>	95 arrancadores MCD-3000; 24 arrancadores MCD-500; 155 arrancadores PST-142
<b>Tensión de potencia</b>	460 V + 10% / -15% 50/60 Hz ±5%
<b>Tensión de control</b>	100-250 V - 50/60 Hz ±5%
<b>Potencia</b>	60hp / 100hp
<b>Funciones principales</b>	- Rampas de arranque y paro
	- Limitación de intensidad regulable entre 2–5 x Corriente Nominal
	- Terminal para Termistores (PTC) para supervisión de la temperatura del bobinado del motor
	- Reloj en tiempo real
	- Registro de los últimos 20 eventos con indicación de fecha y hora en que se produjeron
	- Comunicación con bus de campo
	- Protección de sobrecarga del motor que se basa en la simulación de la temperatura del motor por las intensidades medidas
	- Protección contra rotor bloqueado
	- Protección contra subcarga del motor
	- Protección contra desequilibrio de fases
- Protección contra inversión de fases	
Fuente: ASEA BROWN BOVERY ABB. Arrancadores suaves Tipo PST30 PSTB 1050 [Manual de instalación y puesta en servicio]. Västerås Suecia: ABB, 2006	

#### 3.2.1 Análisis de fallas Arrancador Suave MCD3000

El arrancador suave Danfoss MCD3000 es uno de los equipos más utilizados en el campo para dar arranque a los motores de las unidades de Bombeo mecánico, los

cuales presentan con mayor frecuencia las siguientes fallas, sobrecorriente y exceso de rampa de arranque, ésto debido a programaciones de tiempo de rampa de arranque demasiado elevados, para un arranque efectivo se debe programar el tiempo de arranque de 3 a 5s para asegurar un arranque eficiente.

Cuadro 8 Análisis de fallas Arrancador Suave MCD3000

<b>Fallas mas repetitivas (Eventos/año)</b>	<b>Causas</b>	<b>Acción correctiva en mantenimiento</b>
<b>Sobre Corriente (34)</b>	Unidad desbalanceada, Arrancador Suave mal programado, daño en el CT (Censa corrientes erróneas), pérdida de una fase, o pozo arenado, imponiendo alto torque al motor	Revisar programación del AS, Revisar la tensión de alimentación, el aislamiento de la acometida al motor, el aislamiento del motor, si todo está en los límites aceptables, resetear la falla y dar arranque al pozo
<b>Exceso rampa de arranque (32)</b>	Parámetro 4 (tiempo de rampa) muy elevado. Parámetro 10 (protección de exceso de duración del arranque) debe ser mayor al parámetro 4	Fijar el tiempo de arranque del motor parámetro 4 en un tiempo (de 3 a 5s). Identificar y remediar la causa que el motor tarde más de lo normal en acelerar. Reset del MCD3000. Volver a arrancar el motor
<b>Termistor (26)</b>	Mala conexión del termistor entre borneras 5 y 6 del Arrancador Suave, Termistor del motor en mal estado	Revisar cableado y estado del termistor, si es necesario cambiar el termistor. Si no hay termistor puentear bornera de control 5 y 6
<b>Desbalance de fases (18)</b>	Un desequilibrio en las corrientes de fase ha excedido los límites programados en el Parámetro 7 Sensibilidad de Desequilibrio de Fase	Compruebe el suministro de corriente, verifique el Parámetro 7 sensibilidad de desequilibrio de Fase. Verifique el circuito del motor. Reset del MCD3000 y volver a arrancar el motor. Comprobar las corrientes de fase
<b>Breaker disparado (10)</b>	Altas corrientes o fluctuación de tensión en el secundario del transformador de la Subestación Eléctrica, las altas corrientes pueden ser debidas al desbalance de la unidad, alto torque aplicado al motor o problemas con la bomba en el subsuelo	Revisar seting del Breaker y las demás revisiones sugeridas en la falla sobrecorriente, luego accionar el breaker y dar arranque al pozo
<b>Alimentación (10)</b>	Problemas con la red de alimentación, ausencia de tensión	Depende de la red de media tensión

<b>Alta temperatura motor (9)</b>	El termistor en el motor ha indicado un estado de sobretemperatura debido a posible daño del ventilador del motor, trabaja con corrientes arriba de la nominal o rotor bloqueado	Identificar y corregir la causa de sobrecalentamiento del motor. Esperar hasta que el motor se enfríe lo suficiente para volverlo a arrancar. Reset del MCD3000. Volver a arrancar el motor
<b>Sobre temperatura arrancador (7)</b>	Se ha registrado una temperatura excesiva en el radiador debido probablemente a ventilador del AS muy sucio ó averiado, alta temperatura ambiente o demasiados re-arranques en un corto periodo de tiempo	Limpiar el disipador y los ventiladores del arrancador suave. Reset y volver a arrancar el MCD3000 después de haber dejado enfriar el radiador
<b>Daño de tarjetas de control y SCR's (5)</b>	Descarga eléctrica	Revisar el estado del DPS y de las puestas a tierra en el mantenimiento preventivo
<b>Comunicación (4)</b>	Problemas de comunicación en las borneras modbus.	Revisar el terminal 68 y 69 que haya buena conexión y revisar los parámetros 22, 23 y 24 correspondientes a comunicación.
<b>Daño en borneras de potencia (3)</b>	Puntos calientes por mala conexión de los cables de potencia	Realizar inspecciones termográficas a las conexiones de potencia periódicamente cada seis meses
<b>Correas (3)</b>	Correas reventadas por el uso, canales de la polea del motor desgastados, correas muy desajustadas ó hay desalineamiento de las poleas	Revisar la tensión, la alineación y el desgaste de las correas periódicamente. De éstos factores depende la vida útil de las correas
<b>Pérdida de fase (3)</b>	Problemas con la red de alimentación	Comprobar la tensión de alimentación del control
<b>Falla en el arranque (2)</b>	Falla en el bloque del selector, ausencia de 24 V en la bornera 15 y 16	Revisar cableado y estado de los bloques del selector automático-manual. Comprobar tensión de 24 V
<b>Falla circuito de potencia (1)</b>	Corto circuito en los SCR's, no está conectado el motor	Comprobar los módulos de potencia del MCD3000 (SCR's), mediante multímetro en posición de Diodo o meger, entre L1-T1;L2-T2;L3-T3
Fuente: El autor.		

### 3.2.2 Análisis de fallas Arrancador Suave MCD-500

El arrancador suave Danfoss MCD-500 es poco usado en el campo sin embargo a continuación se presentan informe de las principales fallas registradas con éstos equipos:

Cuadro 9 Análisis de fallas Arrancador Suave MCD-500

Fallas mas repetitivas (Eventos/año)	Causas	Acción correctiva en mantenimiento
<b>Breaker disparado (32)</b>	Altas corrientes o altas tensiones en el secundario del transformador de la Subestación Eléctrica	Revisar seting de Breaker del Tablero de Baja Tensión, Revisar la tensión de alimentación, el aislamiento de la acometida al motor, el aislamiento del motor, si todo está en los límites aceptables, accionar el breaker y dar arranque al pozo
<b>Sobre corriente (18)</b>	El motor ha experimentado una subida brusca de la intensidad, debida probablemente a una condición de bloqueo del rotor durante el funcionamiento. Ésto puede indicar una carga atascada o el desbalance de la unidad	Revisar la programación del Arrancador Suave parámetros relacionados: 2-6 Sobreintensidad instantánea, 2-7 Retardo sobreintensidad instantánea
<b>Comunicación (2)</b>	El maestro de la red ha enviado un comando de desconexión al arrancador, o existe un problema de comunicación en la red	Compruebe la red en busca de causas de inactividad en las comunicaciones. Parámetros relacionados: 16-11 comunicación red
<b>Correas (2)</b>	Correas reventadas por el uso, canales de la polea del motor desgastados, correas muy desajustadas ó hay desalineamiento de las poleas	Revisar la tensión, la alineación y el desgate de las correas periódicamente. De estos factores depende la vida útil de las correas
<b>Desbalance de fases (2)</b>	<p><b>Causas desequilibrio de Tensión</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Problemas con el motor</li> <li>- Un desequilibrio en la tensión de red entrante</li> <li>- Un problema con los bobinados del motor</li> <li>- Una carga ligera en el motor.</li> </ul> <p><b>Causas desequilibrio de Corriente</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cableado incorrecto entre el interruptor del bypass externo y el arrancador suave</li> <li>- Problema interno del arrancador suave, particularmente</li> <li>- Un SCR que no ha abierto un circuito</li> </ul>	Verificar la tensión de alimentación y revisar los siguientes parámetros relacionados: 2-2 desequilibrio de corriente, 2-3 retardo de desequilibrio de corriente
<b>Pérdida de fase (1)</b>	Durante el prearranque el arrancador ha detectado una pérdida de fase como se indica en el display. En estado de marcha, el arrancador ha detectado que la corriente en la fase afectada ha caído por debajo del 3,3% de la corriente programada para el motor durante más de un segundo, indicando	Compruebe la fuente de alimentación y las conexiones de entrada y salida en el arrancador y en el motor. La pérdida de fase también puede ser causada por un SCR averiado, en particular por un SCR que no ha abierto un circuito

	que la fase entrante o la conexión con el motor se han perdido	
<b>Sobre temperatura (1)</b>	Mala conexión puente entre borneras 5 y 6 del AS, Los termistores en el motor han indicado un estado de sobretemperatura	Revisar cableado y estado del termistor, si es necesario cambiar el termistor, corregir el problema de sobrecalentamiento de motor antes de arrancar el pozo
Autor: El autor.		

### 3.2.3 Análisis de fallas Arrancador Suave ABB PST-142

El arrancador suave ABB PST-142 al igual que el AS MCD-3000 es muy usado en el campo para dar arranque a los motores de las unidades de Bombeo mecánico, los cuales presentan con mayor frecuencia las siguientes fallas, sobrecorriente y rotor bloqueado ésto debido a naturaleza del funcionamiento de las UBM's que imponen alto torque al motor al momento de dar arranque al pozo.

Cuadro 10 Análisis de fallas en arrancadores suave PST-142

<b>Fallas mas repetitivas (Eventos/año)</b>	<b>Causas</b>	<b>Acción en mantenimiento correctivo</b>
<b>Sobre corriente (53)</b>	Se ha producido una intensidad de falla, superior al variador programado al Arrancador Suave (2-5 Inm), debida probablemente a una condición de bloqueo del rotor durante el funcionamiento. Esto puede indicar una carga atascada, el desbalance de la unidad o el pozo arenado	Revisar la programación del AS, compruebe los circuitos incluido el motor, para detectar fallas de aislamiento entre las fases o defectos en la conexión a tierra. Parámetro relacionado 7. Limitación de intensidad
<b>Rotor bloqueado (28)</b>	El motor está funcionando con bloqueo por algún motivo. Algunas de las causas probables son daños en un rodamiento o bloqueos en la carga	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Compruebe la carga y los rodamientos del motor</li> <li>- Compruebe que la carga no esté bloqueada</li> </ul>
<b>Breaker disparado (17)</b>	Altas corrientes en el secundario del transformador de la Subestación Eléctrica, las altas corrientes pueden ser debidas al desbalance de la unidad, alto torque aplicado al motor o problemas con la bomba en el subsuelo	Revisar seting del Breaker y las demás revisiones sugeridas en la falla sobrecorriente, luego accionar el breaker y dar arranque al pozo
<b>Correas (11)</b>	Correas reventadas por el uso, canales de la polea del motor desgastados, correas muy desajustadas ó hay desalineamiento de las poleas.	Revisar la tensión, la alineación y el desgaste de las correas periódicamente. De éstos factores depende la vida útil de las correas
<b>Sobre</b>	Los termistores de PTC del motor	Revisión de rodamientos, ventilador y

<b>temperatura motor (10)</b>	detectan una temperatura excesiva; por causas como ventilador del motor dañado, trabaja con corrientes arriba de la nominal, rotor bloqueado, rodamientos desgastados	corrientes del motor. - Compruebe que el circuito de PTC esté cerrado y que las entradas estén conectadas terminales 23 y 24 - Busque y corrija las causas del sobrecalentamiento - Espere a que el motor se enfríe lo suficiente y póngalo de nuevo en marcha
<b>Sobre temperatura control (10)</b>	Temperatura excesiva en el disipador de los SCR's. Si la falla no desaparece al restablecer el sistema, quiere decir que la temperatura del disipador es excesiva	- Compruebe que los ventiladores funcionan correctamente - Compruebe que las vías de aire de refrigeración estén libres de suciedad y polvo - Compruebe que la temperatura ambiente no sea excesiva
<b>Comunicación (7)</b>	La comunicación con el bus de campo no funciona	- Compruebe que el conector del bus de campo esté conectado correctamente - Compruebe que se utiliza el tipo correcto de conector de bus de campo - Compruebe que el parámetro 60. Tipo FieldBus tenga el valor que corresponde al tipo de bus de campo utilizado
<b>Daño de tarjetas de control y SCR's (6)</b>	Descarga eléctrica	Revisar el estado del DPS y de las puestas a tierra en el mantenimiento preventivo
<b>Desbalance de fases (5)</b>	Existe un desequilibrio entre las corrientes de fase	- Compruebe la tensión de alimentación y el circuito del motor. - Arranque de nuevo el motor y compruebe las corrientes de las fases
<b>Desbalance de unidad (3)</b>	El motor presenta una diferencia significativa de corriente de pesas (Ip) y corriente de varilla (Iv), causa de la unidad de Bombeo desbalanceada	Balancear Unidad de Bombeo Mecánico
<b>Falta de fase (3)</b>	El contactor principal o el interruptor están abiertos, posibilidad de fusible quemado. Hay un dispositivo externo abierto o disparado.	- Compruebe y cierre el contactor o el interruptor o cualquier dispositivo de interrupción. - Compruebe y sustituya el fusible en las tres (3) fases
<b>Daño en borneras de potencia (2)</b>	Puntos calientes por mala conexión de los cables de potencia	Realizar inspecciones termográficas a las conexiones de potencia periódicamente cada seis meses
<b>Baja tensión (2)</b>	Problema con la red de alimentación	Revisar la tensión de potencia y alimentación del control, si se encuentra en los límites permitidos, dar arranque al pozo.
Fuente: ASEA BROWN BOVERY ABB. Arrancadores suaves Control tipo PST30 .... PSTB1050 [Manual de instalación y puesta en servicio] . Västerås Suecia: ABB, 2006. DANFOS VLT. Arrancador		

### 3.3 CARACTERÍSTICAS VARIADOR DE FRECUENCIA

A continuación se presentan las características más importantes de los variadores de frecuencia ABB ACS800–11 y el variador Danfoss FC302 utilizados en las UBM's de los pozos de extracción de crudo en el campo en estudio.

Cuadro 11 Características variador de frecuencia

CARACTERISTICAS	
<b>Control eléctrico</b>	VARIADOR DE FRECUENCIA.
<b>Marca</b>	DANFOSS, ABB
<b>Modelo</b>	FC302; ACS800-11-0070-5
<b>Bombeo utilizado</b>	UBM
<b>Controles utilizados en campo</b>	79 VARIADORES FC302; 79 VARIADORES ACS800-11
<b>Tensión de potencia</b>	380 - 500 V 60HZ.
<b>Tensión de control</b>	100-250 V - 50/60 Hz ±5%
<b>Potencia</b>	30hp - 50hp - 75hp -100hp
<b>Principales características</b>	Fácil montaje en pared
	Filtro de línea LCL interno
	Ventilador y condensadores de larga vida de servicio
	Entradas/Salidas programables con entradas aisladas galvánicamente
	Panel de control alfanumérico multilingüe, con función de Asistente de Puesta en Marcha
<b>Funciones principales</b>	Terminales de alimentación grandes que permiten utilizar una amplia gama de tamaños de cable
	Control de velocidad de motores eléctricos
	Control de arranque y parada
	Control de torque
	Detección de bajo aislamiento
	- Limitación de intensidad regulable hasta 2xlnominal
	- terminal para Termistores (PTC) para supervisión de temperatura en el bobinado del motor
	- Reloj tiempo real
	- Registro de los últimos 100 eventos con indicación a las horas de trabajo que se produjeron
	- Comunicación con bus de campo
	- Protección de sobrecarga del motor
	- Protección contra rotor bloqueado
	- Protección contra subcarga del motor*
	- Protección contra desequilibrio de fases
- Protección contra inversión de fases	
Fuente: ASEA BROWN BOVERY ABB. Convertidores de frecuencia industriales ACS800, convertidores únicos de 0,55 a 5600 kW [Catálogo]. España: ABB, 2012. DANFOS VLT. Automation drive [Catálogo]. Madrid España, PE-MMSC, 2011.	

\*Esta protección solo se activa en las bombas de cavidades progresivas (PCP)

### 3.3.1 Análisis de fallas Variador de frecuencia Danfoss FC302

Cuadro 12 Análisis de fallas Variador de Frecuencia FC302

Fallas mas repetitivas (Eventos/año)	Causas	Acción en mantenimiento correctivo
<b>Sobre corriente (69)</b>	Se ha sobrepasado el límite de intensidad pico del inversor (aproximadamente el 200% de la intensidad nominal). Esta advertencia durará aproximadamente de 8-12 segundos y el convertidor se desconectará y emitirá una alarma	Apague el convertidor de frecuencia y compruebe si se puede girar el eje del motor y si el tamaño del motor coincide con el ajustado en el convertidor de frecuencia. Si está seleccionado el control de freno mecánico ampliado, la desconexión puede reiniciarse desde el exterior (Modo Remoto).
<b>Alto torque (32)</b>	El torque es más elevado que el valor ajustado en el parámetro 4-16 Modo motor límite de torque o en 4-17 Modo generador límite de torque.	Si el límite de par del motor se supera durante una rampa de aceleración, amplíe el tiempo de rampa de aceleración. Si se alcanza el límite de par en funcionamiento, es posible aumentarlo. Asegúrese de que el sistema puede funcionar de manera segura con un par mayor. Compruebe la aplicación para asegurarse de que no haya una intensidad excesiva en el motor.
<b>Pérdida de fase (12)</b>	Falta una fase en la alimentación de red, o bien el desequilibrio de tensión de la red es demasiado alto. Este mensaje aparece también en el caso en que se produzca una avería en el rectificador de entrada del convertidor de frecuencia.	Compruebe la tensión de alimentación y las intensidades de alimentación del convertidor de frecuencia.
<b>Sobre temperatura (9)</b>	Se ha superado la temperatura máxima del disipador. La falla de temperatura no se puede reiniciar hasta que la temperatura se encuentre por debajo de la temperatura del disipador especificada. El punto de desconexión y el de reinicio se basan en la magnitud de potencia del convertidor de frecuencia.	Compruebe si se dan las siguientes condiciones: Temperatura ambiente excesiva. El cable de motor es demasiado largo. Separación incorrecta por encima y por debajo del convertidor de frecuencia. Flujo de aire bloqueado alrededor del convertidor de frecuencia. Ventilador del disipador dañado. Disipador sucio.
<b>Sobre tensión BUS DC (9)</b>	Si la tensión del circuito intermedio (Bus DC) supera el límite, el convertidor de frecuencia se desconectará después de un período de tiempo determinado. Causas: Operar el variador a frecuencias arriba de la frecuencia de la red de alimentación.	Limitar la frecuencia de operación del variador en rangos adecuados que no incurran en sobretensiones en el bus DC.

<p><b>Breaker disparado (8)</b></p>	<p>Altas corrientes o altas tensiones en el secundario del transformador de la Subestación Eléctrica</p>	<p>Revisar seting del Breaker teniendo en cuenta la corriente nominal del motor, revisar la tensión de alimentación, el aislamiento de la acometida al motor, el aislamiento del motor, si todo está en los límites aceptables, accionar el breaker y dar arranque al pozo</p>
<p><b>Comunicación (8)</b></p>	<p>El bus de campo de la tarjeta de opción de comunicación no funciona</p>	<p>Revisar la conexión del terminal 68 y 69 si están haciendo buen contacto y que existan, estos terminales corresponden a la comunicación de modbus de variador, revisar los parámetros correspondientes a los protocolos de comunicación parámetro 800 (Comunicaciones y opciones)</p>
<p><b>Alta temperatura motor (7)</b></p>	<p>La protección termo - electrónica (ETR) indica que el motor está demasiado caliente. Seleccione si el convertidor de frecuencia emitirá una advertencia o una alarma cuando el contador alcance el 100 % en 1-90 Protección térmica motor. Esta falla se debe a que el motor se ha sobrecargado más de un 100 % durante demasiado tiempo</p>	<p>Compruebe si el motor se está sobrecalentando. Compruebe si el motor está sobrecargado mecánicamente. Compruebe que la intensidad del motor configurada en 1-24 Intensidad motor está ajustada correctamente. Asegúrese de que los datos del motor en los parámetros de 1-20 a 1-25 están correctamente ajustados. Si se está utilizando un ventilador externo, compruebe en 1-91 Ventilador externo motor que está seleccionado. La activación de la Adaptación Automática del Motor (AMA) en el parámetro 1-29 puede ajustar el convertidor de frecuencia con respecto al motor con mayor precisión y reducir la carga térmica</p>
<p><b>Correas (5)</b></p>	<p>Correas reventadas por el uso, canales de la polea del motor desgastados, correas muy desajustadas ó hay desalineamiento de las poleas</p>	<p>Revisar la tensión, la alineación y el desgaste de las correas periódicamente. De éstos factores depende la vida útil de las correas</p>
<p><b>Falta de fase (5)</b></p>	<p>Falta una fase en el lado de alimentación, o bien el desequilibrio de tensión de alimentación es demasiado alto. Este mensaje también aparece si se produce una avería en el rectificador de entrada del convertidor de frecuencia. Las opciones se programan en 14-12 Función desequilibrio de alimentación</p>	<p>Compruebe la tensión de alimentación y la intensidad en el convertidor de frecuencia</p>

<p><b>Sobrecarga del Inversor (4)</b></p>	<p>El convertidor de frecuencia va a desconectarse por una sobrecarga (intensidad muy elevada durante mucho tiempo). El contador para la protección térmica y electrónica del inversor emite una advertencia al 98 % y se desconecta al 100 % con una alarma. El convertidor de frecuencia no se puede reiniciar hasta que el contador se encuentre por debajo del 90 %. Esta falla se debe a que el convertidor de frecuencia presenta una sobrecarga superior al 100 % durante demasiado tiempo.</p>	<p>Compare la intensidad de salida mostrada en el display con la intensidad nominal del convertidor de frecuencia. Compare la intensidad de salida mostrada en el display con la intensidad medida de la unidad.</p> <p>Al funcionar por encima de la intensidad nominal continua del convertidor de frecuencia, el contador debería aumentar. Al funcionar por debajo de la intensidad nominal continua del convertidor de frecuencia, el contador debería disminuir.</p>
<p><b>Falla ausencia de tensión (4)</b></p>	<p>Esta advertencia / alarma solo se activa si la tensión de alimentación al convertidor de frecuencia se pierde y si el parámetro 14-10 Falla alimentación NO está ajustado en [0] Sin función.</p>	<p>Compruebe los fusibles del convertidor de frecuencia y la tensión de la fuente de alimentación de red a la unidad.</p>
<p><b>Falla A tierra (3)</b></p>	<p>Hay corriente procedente de las fases de salida a tierra, bien en el cable entre el convertidor de frecuencia y el motor o bien en el motor mismo.</p>	<p>Verificar aislamiento de la acometida a motor y el motor, verificar la conexión del la correa de comunicaciones entre la tarjeta de potencia y control.</p>
<p><b>Resistencia de frenado en cortocircuito (1)</b></p>	<p>La resistencia de freno del variador de frecuencia se encuentra dañada, ocasionando que el transistor de freno quede en cortocircuito.</p>	<p>Desconecte la alimentación del convertidor de frecuencia, retire la resistencia de freno y cámbiela.</p>
<p>Fuente: DANFOSS, "Manual de funcionamiento VLT AutomationDrive FC 300,"</p>		

### 3.3.2 Análisis de fallas Variador de frecuencia ACS800-11

Cuadro 13 Análisis de falla VSD ACS800-11

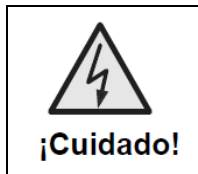
Fallas mas repetitivas (Eventos/año)	Causas	Acción correctiva en mantenimiento
<b>Sobre corriente (186)</b>	La corriente de salida supera el límite de disparo, debida probablemente a una condición de bloqueo del rotor durante el funcionamiento. Esto puede indicar una carga atascada, el desbalance de la unidad o el pozo arenado	Compruebe la corriente del motor. Compruebe el tiempo de aceleración. Compruebe el aislamiento del motor y el cable a motor (incluyendo las fases) para descartar corto circuito. Compruebe que no haya condensadores de corrección de factor de potencia ni amortiguadores de sobretensiones transitorias en el cable a motor.
<b>Comunicación (9)</b>	Problema de cableado o una falla del hardware en el enlace del panel	Compruebe las conexiones del enlace del panel. Pulse RESET. La restauración del panel puede tomar hasta medio minuto, espere
<b>Fase a motor (8)</b>	Pérdida de una de las fases del motor debido a una falla en el motor o en el cable a motor.	Compruebe el estado del motor y el cable a motor.
<b>Sw de presión (8)</b>	Problemas de lectura de la señal analógica.	Revisar cableado del sw de presión
<b>Correas (6)</b>	Correas reventadas por el uso, canales de la polea del motor desgastados, correas muy desajustadas ó hay desalineamiento de las poleas	Revisar la tensión, la alineación y el desgaste de las correas periódicamente. De estos factores depende la vida útil de las correas
<b>Pérdida de fase (6)</b>	Tensión de CC del circuito intermedio oscilante debido a la falta de una fase de la tensión de alimentación, un fusible fundido o la falla interna de un puente rectificador. Se produce el disparo cuando el rizado de la tensión de CC representa el 13% de la tensión de CC	Compruebe la alimentación principal y los fusibles. Verifique si existe un desequilibrio de alimentación principal
<b>Sobre temperatura motor (5)</b>	La temperatura del motor es excesiva (o parece serlo). Puede deberse a una carga excesiva, a potencia insuficiente del motor, a refrigeración inadecuada o a datos de partida incorrectos	Compruebe las especificaciones, la carga y la refrigeración del motor. Compruebe los datos de partida. Compruebe los valores de los parámetros de Función de falla
<b>Line conv (5)</b>	Falla en el convertidor en la parte de regeneración. Motor de Unidad de Bombeo Mecánico con alto grado de regeneración	Desconecte la alimentación del convertidor de frecuencia, retire la resistencia de freno, examínela si es necesario y cámbiela
<b>Sobre temperatura control (5)</b>	La temperatura de los IGBT es excesiva. El límite de disparo por falla es de 100%	Compruebe las condiciones ambientales. Compruebe el flujo de aire y el funcionamiento del ventilador. Compruebe la acumulación de polvo en las aletas del disipador térmico. Compruebe la potencia del motor con respecto a la potencia de la unidad

<b>Desbalance de fases (4)</b>	El convertidor ha detectado un desequilibrio excesivo de intensidad de salida en la unidad inversora de diversos módulos inversores conectados en paralelo. Puede deberse a una falla externa (falla a tierra, motor, cables a motor.) o a una falla interna (componente del inversor dañado)	Compruebe que no exista una falla a tierra en el motor o cables a motor: mida las resistencias de aislamiento del motor y el cable a motor
<b>Desbalance de unidad (3)</b>	El motor presenta una diferencia significativa de corriente de pesas (Ip) y corriente de varilla (Iv), causa de la unidad de Bombeo desbalanceada	Balancear Unidad de Bombeo Mecánico
<b>Sobre tensión (2)</b>	La tensión de alimentación del convertidor es excesiva. Cuando la tensión de alimentación es superior al 124% de la tensión nominal.	Verifique la tensión de alimentación, la tensión nominal del convertidor y el rango permitido por el variador de frecuencia.
<b>Fuente:</b> ASEA BROWN BOVERY ABB. Manual de Firmware Programa de control estándar 7.x del ACS800 [Manual] . Barcelona España: ABB, Pág. 253-271		

\* Los eventos aquí citados se presentaron durante un año

### 3.4 INSTRUCTIVO DE MANTENIMIENTO VARIADOR GCS BOMBAS ELECTRO SUMERGIBLES (ESP)

El mantenimiento en Variadores de Frecuencia aplicados a las Bombas Electro Sumergibles (ESP's), se recomienda que sea cada año, con una limpieza general de los componentes del equipo con aire comprimido, brochas y trapos suaves, se recomienda medir los SCR's, IGBT's, condensadores del Bus DC, condensadores del motor del ventilador del disipador, medir los fusibles, la resistencia del motor del ventilador, aislamiento de la acometida y el motor teniendo en cuenta conectar el terminal positivo del Megger a la tierra y el terminal negativo a la fase, ya que en el subsuelo están los sensores de temperatura de operación del motor y presión de la bomba los cuales se alimentan de la misma línea de potencia que alimenta al motor, el sensor tiene un diodo en la línea de alimentación que al hacer la prueba de la forma descrita lo polariza inversamente impidiendo el paso de la corriente al sensor y aislándolo en la prueba.



Aplice Sistema de Aislamiento Eléctrico Seguro (SAES) y verifique ausencia de tensión antes de realizar las siguientes pruebas al equipo con el fin de evitar daños personales y al equipo.

#### 3.4.1 Inspección visual y chequeo de conexiones

- Una inspección visual en el controlador puede ser un enorme tiempo salvado ya que muchos problemas potenciales pueden ser corregidos antes que ellos lleguen a ser “problemas reales”
- Chequear que no se encuentre dentro del equipo arena ni agua; si hay evidencias de estos allí, podría haber una fuga o está sellado inapropiadamente por lo tanto requiere reparación
- Busque daños de transporte y repárelos si es necesario. Remover los paneles de enfrente y de atrás para acceder a la sección de los Reactor Link e inspeccionar las conexiones mecánicas y eléctricas
- Observar todas las tarjetas de circuitos y verificar que los “conectores Molex” estén bien conectados y donde corresponden. Esto es muy importante, en la tarjeta de alimentación y la Placa de Control de Sistema (SCB). La mayoría de estos conectores Molex se encuentran en todas las tarjetas del Variador de Frecuencia GCS
- Asegurarse que todas las tarjetas de señal del inversor y tarjeta de señal del rectificador estén bien conectadas a la placa del control de Sistema (SCB)
- Chequear pernos y tuercas que estén apretados, especialmente aquellos de las conexiones eléctricas. Esto incluye todas las conexiones del bus bar en la sección rectificadora, sección bus DC y sección inversora

- Las conexiones de los cables deben estar apretadas. Inspeccionar los cables largos en sus terminales de la caja de conexión (entrada) al interruptor del controlador y frente al interruptor los fusibles de entrada. Chequear el cableado de salida de la sección inversora a la caja de conexiones (salida).
- Los cables pequeños (18 AWG y menores) son tan importantes como los cables grandes. Asegurarse de las conexiones apretadas en el bus DC positivo y negativo de la barra del bus de capacitores. Estos cables son usados como retroalimentación en la SCB y son críticos para una operación adecuada del controlador. Lo mismo es aplicado a los cables de percepción del Interrupción por carga instantánea (IOT) en la sección inversora. Estos cables conectados a la barra del bus plano, uno en el terminal positivo del IGBT y otro en la salida de cada fase.
- Chequear el apropiado ponchado de los terminales intentando halar el cable. Inspeccionar los terminales molex para asegurarse que el terminal tendrá un buen contacto en la tarjeta.

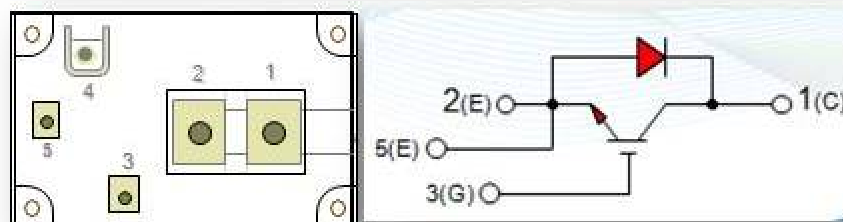
#### 3.4.2 Prueba de los transistores bipolares de compuerta aislada (IGBT's).

Con un medidor de resistencia puede asegurarse que los dispositivos de potencia no estén cortocircuitados. Tenga cuidado al declarar que un dispositivo es “defectuoso” luego de haber medido 6 megaohm en lugar de 10 megaohm. La única prueba segura en el campo es “¿Funciona en el controlador?”. Cuando pruebe un transistor bipolar de compuerta aislada (IGBT), realice primero todas las mediciones de terminal a terminal usando la escala de “diodo” en el medidor. La mayoría de éstas deberían indicar un circuito abierto. La excepción es la medición desde el colector al emisor con la punta positiva en el emisor. Esta lectura debería ser la caída hacia delante del diodo paralelo interno o aproximadamente 0,3 a 0,4V. Luego cambie a la escala de ohm y verifique de compuerta a emisor. Se verá el efecto de la capacidad de la compuerta si mira rápidamente al multímetro cuando conecta las puntas. El despliegue debería mostrar un cambio rápido de

baja a alta resistencia a medida que carga la capacidad interna de la compuerta. Si se invierte las puntas, se debería ver el mismo efecto.

- Utilice un Multímetro en la escala de ohm y conecte sus terminales entre la compuerta (3) y el emisor (5), observando una variación incremental de la lectura hasta Open Line (OL). Repita la operación cambiando la polaridad y observara los mismos resultados. Con un Multímetro en la escala para medir condensadores, medir la compuerta (3) y el emisor (5) en ambos sentidos se obtiene una lectura comprendida entre: 0.07 uF y 0.18 uF.
- En la figura 19 se presenta el IGBT del variador GCS, las pruebas que se le debe hacer es: entre las terminales colector (1) – emisor (2) utilice el Multímetro en la escala de diodo conectando el cable positivo (+) en el emisor y el negativo (-) en el colector. Se observara el comportamiento de conducción de un diodo. Al realizar la operación en polarización inversa observara una lectura de Open Line (OL).

Figura 19 IGBT del GCS



Fuente: Curso Operador de GCS

### 3.4.3 Prueba de interruptor principal de potencia

- Al interruptor principal SW1 estando en la posición ON se le verifica continuidad entre entrada y salida en cada fase usando un multímetro en la escala de resistencia. Se comprueba el aislamiento entre fases y el aislamiento entre fase y tierra

- Verifique que los terminales del SW1 estén presentes y operativos utilizando las llaves respectivas
- Compruebe el funcionamiento e integridad del mecanismo de accionamiento de SW1

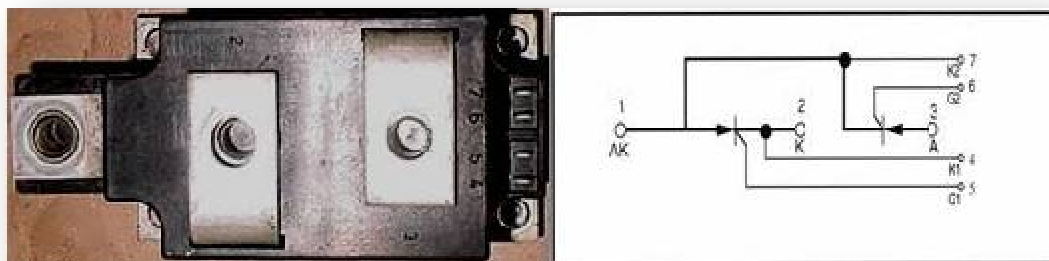
#### 3.4.4 Prueba de fusibles de potencia

- Verifique la continuidad de los fusibles de potencia usando un Multímetro en la escala de continuidad audible.

#### 3.4.5 Prueba de SCR's.

- Con un Multímetro en la escala de diodo verifique la continuidad en los SCR's entre ánodo-cátodo común (1) y cátodo (2) – ánodo(3) individualmente. Repita la operación cambiando la polaridad, teniendo como resultado Open Line (OL)
- En la figura 20 se presenta el SCR del variador GCS, las pruebas que se le debe hacer es: verifique las lecturas entre las terminales de las compuertas (7-6) – cátodo(4-5) deben ser (aprox) : de 0.0075 a 0.036 (en escala de diodo) con un Fluke 87 y de 5 a 20 ohms con un Simpson 260.

Figura 20 SCR's del GCS.



Fuente: Curso Operador de GCS.

### 3.4.6 Prueba de DIODOS.

- En la figura 21 se presenta el diodo del variador GCS, las pruebas que se le debe hacer es: con un multímetro en la escala de diodo verifique continuidad entre ánodo-cátodo común (1) y cátodo (2) – ánodo (3) individualmente. Su valor debe estar comprendido entre 0,7 a 0,8 VDC, esto equivale a la caída de tensión de los dos diodos.

Figura 21 Diodo del GCS



Fuente: Curso Operador de GCS

### 3.4.7 Prueba de CONDENSADORES

- Con un Multímetro en la escala capacitiva en auto rango realice la medición con la polaridad correcta de forma individual a todos los condensadores pertenecientes al sistema de filtrado del Bus DC. El valor obtenido debe estar dentro de la tolerancia y valor indicado en la impresión del mismo.

### 3.4.8 Prueba de otros componentes

- ✓ Capacitores Del Motor De Ventilación
- Con un Multímetro en la escala capacitiva en auto rango realice la medición a los condensadores de los ventiladores exteriores. Los valores obtenidos deben estar dentro de la tolerancia y valor indicado en la impresión del mismo.

✓ Motores De Ventiladores Y Ventiladores Pequeños

- Verificar el libre giro de estos y que el juego radial sea mínimo
- Compruebe con un Multímetro en la escala de Ohm, la continuidad de la bobina a través de los terminales del motor

✓ CT's

- Con un Multímetro en la escala de ohm verifique que estos posean continuidad en relaciones similares.

✓ Lugar De Salida (Borneras de Salida)

- Tome una llave y verifique el recorrido de los prisioneros para descartar cualquier traba

✓ Cables De Potencia Y Control

- Verifique la integridad de los cables, midiendo el aislamiento, continuidad y observar el estado de sus terminales.

✓ Inductores

- Realizando una prueba de aislamiento a 1000V se debe obtener lecturas mayores a 5000Mohm. El ensayo se realiza por un tiempo aproximado de 1 minuto.

✓ Resistencias

- Utilice un Multímetro en la escala de ohm, verifique el valor expresado en las resistencias. El valor obtenido debe estar dentro de la tolerancia y valor indicado en la impresión del mismo.

✓ Sensores De Temperatura

- Con un Multímetro en continuidad audible, verifique la continuidad entre sus terminales. Para los equipos GCS, el Sensor de temperatura se verifica comparando su lectura con otros sensores internos del variador. Si la lectura es errónea, éste debe ser reemplazado.

✓ La Pila

- Con un Multímetro en la escala VDC verifique que la tensión medida coincida con la indicada en la impresión de la misma.

✓ Transformadores Fuente

- Con un Multímetro en escala de ohm, se verifica que su impedancia de entrada sea diferente de cero y que no exista corto a tierra con cualquiera de sus terminales[4].

### 3.5 RECOMENDACIONES A LAS ACCIONES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EJECUTADAS A LOS ARRANCADORES SUAVES Y VARIADORES DE FRECUENCIA

- Realizar seguimiento a las advertencias registradas en el historial de fallas de los Arrancadores Suaves y Variadores de Frecuencia, con el fin de predecir un estado de mal funcionamiento de los equipos y corregirlo antes de que el equipo se vaya a falla, generando el paro de la unidad de Bombeo.

- Instalar ventiladores auxiliares en los equipos que presentan sobretemperatura, buscando corregir el sobrecalentamiento en la electrónica de potencia y control de los variadores de frecuencia instalados en las UBM's, ya que son los equipos más afectados por la temperatura de operación.
- Inspeccionar el aislamiento a las acometidas instaladas del control al motor de la unidad de Bombeo mecánico, esperando identificar las que poseen aislamiento defectuoso para realizar el cambio del componente.
- Hacer revisión a la programación de los Arrancadores Suaves y Variadores de Frecuencia instalados en las UBM's, con el fin de identificar programaciones defectuosas que generan el mal funcionamiento de los equipos, provocando que se vayan a falla continuamente.
- Inspeccionar periódicamente la corriente consumida por el motor de la UBM, para identificar posible unidad desbalanceada y estados de sobrecalentamiento en el motor por operaciones de sobrecarga del mismo.
- Identificar plenamente los pozos con mayor producción de petróleo con el fin de priorizar la atención a estos en caso de presentar una falla y así reducir la diferida generada por el mal funcionamiento del componente eléctrico y electrónico del pozo

#### 4. CONCLUSIONES

- La falla que más se presenta en los controles empleados en las unidades de Bombeo mecánico es sobrecorriente, esto debido al alto torque impuesto al motor en el arranque y desbalance de la unidad de Bombeo por cambios en la producción de fluido del yacimiento, baches de gas y arenamiento del pozo, lo que genera diferencia en las corrientes de pesa y varilla del Bombeo mecánico que trae como consecuencia que estas superen la corriente nominal del motor.
- En pro de identificar las causas y las acciones correctivas de las fallas presentadas en los Controles Directos, Arrancadores Suaves y Variadores de Frecuencia de los pozos del campo es necesaria una mejor recopilación y gestión documental de los eventos de falla, ya que de esto depende un buen análisis e identificación de la acción correctiva en mantenimiento que permiten optimizar tanto recursos de componentes como recursos humanos.
- Realizar este trabajo conjuntamente con personal técnico en mantenimiento, constituye una herramienta fundamental para definir una estrategia eficaz de mantenimiento y así poder alcanzar los objetivos de confiabilidad y disponibilidad del sistema eléctrico de baja tensión de los pozos productores, garantizando que cuando el equipo se pare se le realicen solamente las tareas de mantenimiento necesarias, optimizando los tiempos de reparación y los recursos del Departamento de Mantenimiento.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] ASEA BROWN BOVERY ABB, “Arrancadores suaves tipo PST30...PSTB1050, [Manual de instalación y puesta en servicio],” *Västerås Suecia*, p. 26, 2006.
- [2] MONTES PÁEZ. Erick Giovany, “Curso Herramientas Echometer [Diapositivas],” *Bucaramanga*, p. 165 diapositivas, 2012.
- [3] BAKER HUGHES, “Electrospeed GCS 12 pulsos [Manual].” p. 7, 2004.
- [4] DANFOSS, “Manual de funcionamiento VLT AutomationDrive FC 300,” p. 8.
- [5] DANFOS VLT. Arrancador suave, el accionamiento de velocidad única. [Catalogo]. Madrid España, PE-MMSC, 2011.
- [6] ASEA BROWN BOVERY ABB. Arrancadores Convertidores de frecuencia industriales ACS800, convertidores únicos de 0,55 a 5600 kW [Catálogo] . España: ABB, 2012.
- [7] DANFOS VLT. Automation drive [Catálogo]. Madrid España, PE-MMSC, 2011.
- [8] DANFOS VLT. VLT® Automation Drive FC 300 [Manual de funcionamiento PE-MMSC, 2011. Pág. 56-58.
- [9] ASEA BROWN BOVERY ABB. Manual de Firmware Programa de control estándar 7.x del ACS800 [Manual]. Barcelona España: ABB, Pág. 253-271
- [10] BAKER HUGHES, “Curso Operador de GCS [Diapositivas],” *Barrancabermeja*, diapositivas, 2012.