

# Universidad Nacional de Ingeniería

## Facultad de Ingeniería Mecánica



### TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

## **Diseño del sistema de control de accionamiento de giro, para incrementar el porcentaje de recuperación en celdas de flotación de concentrado de cobre 300m<sup>3</sup>**

Para obtener el título profesional de Ingeniero Mecatrónico.

Elaborado por

Alan Andres Yance Paucar

 [0009-0008-7977-7117](https://orcid.org/0009-0008-7977-7117)

Asesor

MSc. Alcides Guillermo Joo Aguayo

 [0000-0002-8459-8489](https://orcid.org/0000-0002-8459-8489)

TOMO II DE II

LIMA – PERÚ

2023

*Dedicado a mi hijos Alejandro y Andrés, las dos personitas más maravillosas que pusieron mi mundo de cabeza, que me motivan a ser una mejor persona, por brindarme su amor y alegrar mi vida con cada una de sus ocurrencias.*

*A mis padres Alejandro y Paulina, las personas más trabajadoras que he conocido y que me enseñaron que el éxito se logra con mucho esfuerzo, dedicación y honestidad.*

*A mis hermanos, Diana, Christian e Iván, quienes me apoyaron en todo momento en mi vida académica y me enseñaron el valor de la fraternidad.*

*A mis tíos Cesar, Daniel, Juan e Hipólita, personas magnificas que siempre compartieron su tiempo para cuidarme y guiarme en las etapas más difíciles de mi niñez y vida académica.*

*A mi amada esposa Frizzia, mi fiel compañera, confidente y amiga, que me enseñó que un sueño es más hermoso si tienes personas especiales con quien compartirlo y quien me ayuda a ser un mejor hijo, hermano, padre y esposo.*

## RESUMEN

El Perú es uno de los principales países productores de metales, en el 2019 fue el segundo productor de cobre, plata y zinc a nivel mundial y el sector minero e hidrocarburos representa el 10% del PBI nacional [1], por lo que la optimización en el proceso de obtención de concentrado de cobre es muy relevante para la industria nacional.

La etapa principal dentro del proceso de obtención de concentrado de cobre es la flotación, en este proceso se logra separar el metal valioso del resto de concentrado que se dispone como relaves. El equipo que se utiliza en este proceso es la celda de flotación, el cual es diseñado para procesar el concentrado bajo determinadas condiciones, siendo el porcentaje de recuperación el indicador de la eficiencia de este proceso

Durante la vida útil de la planta concentradora se ha incrementado el tonelaje de procesamiento y las características del material procesado han ido cambiando, por ello se busca realizar mejoras en los equipos que permitan incrementar la producción sin afectar la calidad del concentrado de cobre y siendo rentables para asegurar la operación de la planta en el tiempo.

El presente trabajo de suficiencia tendrá como finalidad diseñar un sistema de control de accionamiento de giro para incrementar el porcentaje de recuperación en celdas de flotación de concentrado de cobre de 300m<sup>3</sup>.

Como parte de la metodología de implementación se realizó una evaluación de las actuales instalaciones y se propuso un sistema de control

que permita su implementación para realizar las pruebas de su eficiencia mientras continua el proceso de producción de concentrado de cobre. Las pruebas son realizadas en diferentes escenarios de velocidad y flujo de ingreso de aire y los resultados metalúrgicos se obtienen por medio de muestras tomadas en cada escenario y analizadas en el laboratorio de la planta concentradora.

Finalmente se evalúan los resultados a fin de evaluar el sistema de control de giro implementado y verificar si hay una correlación entre la velocidad de giro del accionamiento del rotor de la celda de flotación y el porcentaje de recuperación de concentrado de cobre.

**Palabras claves:** concentrado, recuperación, celda, control, accionamiento, variador de velocidad.

## ABSTRACT

Peru is one of the main metal-producing countries, in 2019 it was the second largest producer of copper, silver and zinc worldwide and the mining and hydrocarbons sector represents 10% of the national PBI [1], so optimization in the production process obtaining copper concentrate is very relevant for the national industry.

The main stage in the process of obtaining copper concentrate is flotation, in this process it is possible to separate the valuable metal from the rest of the concentrate that is disposed of as tailings. The equipment used in this process is the flotation cell, which is designed to process the concentrate under certain conditions, with the percentage recovery being the indicator of the efficiency of this process.

During the useful life of the concentrator plant, the processing tonnage has increased and the characteristics of the processed material have been changing, for this reason, improvements are sought in the equipment that allow increasing production without affecting the quality of the copper concentrate and being profitable. to ensure the operation of the plant in time.

The purpose of this sufficiency work will be to design a rotation drive control system to increase the percentage recovery in 300m<sup>3</sup> copper concentrate flotation cells.

As part of the implementation methodology, an evaluation of the current facilities was carried out and a control system was proposed that allows its implementation to carry out the tests of its efficiency while the

copper concentrate production process continues. The tests are carried out in different speed and air inlet flow scenarios, and the metallurgical results are obtained through samples taken in each scenario and analyzed in the concentrator plant's laboratory.

Finally, the results are evaluated in order to evaluate the implemented spin control system and verify if there is a correlation between the spin speed of the flotation cell rotor drive and the percentage recovery of copper concentrate.

**Keywords:** concentrate, recovery, cell, control, main drive, variable speed drive.

## ÍNDICE

RESUMEN .....	I
ABSTRACT.....	III
ÍNDICE.....	V
PRÓLOGO.....	1
1. CAPÍTULO I .....	3
1.1 Generalidades .....	3
1.2 Descripción del problema de investigación.....	4
1.3 Objetivo del estudio .....	9
1.4 Antecedentes investigativos .....	9
1.4.1 Investigaciones internacionales .....	9
1.4.2 Investigaciones nacionales .....	10
2. CAPITULO II .....	12
2.1 Marco teórico .....	12
2.1.1 Variadores de Velocidad: .....	12
2.1.2 Flotación de espumas .....	14
2.1.3 Celdas de Flotación por aire forzado.....	18
2.1.4 Recuperación de Concentrado.....	21
2.1.5 Tamaño de partículas.....	22
2.2 Marco conceptual .....	23
3. CAPÍTULO III .....	25
3.1 Hipótesis general .....	25
3.2 Operacionalización de variables .....	25
4. CAPÍTULO IV .....	27
4.1 Tipo y diseño de la investigación .....	27
4.2 Unidad de análisis .....	28
4.3 Matriz de consistencia .....	29
5. CAPÍTULO V .....	30
5.1 Características de la Celdas de Flotación.....	32
5.1.1 Dimensiones Generales .....	33

5.1.2	Sistema de Accionamiento .....	34
5.1.3	Sistema de Aireación .....	35
5.1.4	Sistema de Fuerza .....	37
5.1.5	Sistema de Control.....	39
5.2	Diseño del sistema de Control .....	44
5.2.1	Selección de sistema .....	44
5.2.2	Requerimientos del sistema .....	45
5.2.3	Limitaciones .....	45
5.2.4	Arquitectura propuesta .....	46
5.2.5	Selección de variador de velocidad.....	50
5.2.6	Evaluación de propuestas técnicas .....	52
5.3	Arquitectura final del sistema de control accionamiento de giro .....	53
5.3.1	Sistema de Fuerza Final .....	53
5.3.2	Sistema de Control Final .....	55
6.	CAPÍTULO VI .....	63
6.1	Pruebas del Variador .....	64
6.1.1	Protocolos de prueba del sistema de Fuerza .....	64
6.1.2	Protocolos de prueba del sistema de Control.....	65
6.2	Pruebas de Recuperación .....	67
6.2.1	Proceso de muestreo .....	68
6.2.2	Resultados Metalúrgicos .....	71
6.2.3	Consumo de potencia. ....	75
	CONCLUSIONES .....	79
	RECOMENDACIONES.....	81
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82
	ANEXOS.....	84

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1:</b> Porcentaje PBI promedio por actividad económica del 2010 al 2019.....	5
<b>Figura 1.2:</b> Distribución general de equipos de la planta concentradora Cusco 1.....	6
<b>Figura 1.3:</b> Partes de Celdas de Flotación de aire forzado.....	8
<b>Figura 2.1:</b> Partes de un variador de Frecuencia.....	13
<b>Figura 2.2:</b> Esquema de comportamiento de partículas hidrofóbicas e hidrofílicas.....	16
<b>Figura 2.3:</b> Esquemas de zonas en una celda de flotación en operación ...	19
<b>Figura 2.4:</b> Diseño de rotor y movimiento del flujo de concentrado en la zona de mezcla .....	20
<b>Figura 2.5:</b> Balance de masas en el proceso de flotación.....	21
<b>Figura 2.6:</b> Esquema físico de un tamiz.....	23
<b>Figura 4.1 :</b> Ubicación de Celdas de Flotación a investigar .....	28
<b>Figura 5.1:</b> Disposición de banco de celdas Rougher.....	30
<b>Figura 5.2:</b> Flujograma de análisis de sistema de recuperación .....	32
<b>Figura 5.3:</b> Banco de celdas de flotación rougher planta concentrado .....	33
<b>Figura 5.4:</b> Elementos del sistema de accionamiento de una celda e300. .	35
<b>Figura 5.5:</b> Distribución tuberías de ingreso de aire de una celda e300 .....	36
<b>Figura 5.6:</b> Sistema Colector de espumas de una celda e300.....	37
<b>Figura 5.7:</b> Sistema de accionamiento de una celda de flotación e300 .....	38
<b>Figura 5.8:</b> Lazo de control de una celda de flotación e300.....	39

<b>Figura 5.9:</b> Válvulas de posicionamiento tipo dardo (a), tapón cónico restrictor de flujo (b), mecanismo boya-plato (c).....	40
<b>Figura 5.10:</b> Sistema control de aire a celda e300.....	41
<b>Figura 5.11:</b> Diagrama de instrumentación de las celdas de flotación.....	43
<b>Figura 5.12:</b> Vista frontal MCC (MC-302-2) .....	46
<b>Figura 5.13:</b> Propuesta de ubicación de variadores de velocidad.....	47
<b>Figura 5.14:</b> Vista de planta de sala 301.....	47
<b>Figura 5.15:</b> Diagrama unifilar de alimentación de motores de las Celdas FC006 y FC007.....	48
<b>Figura 5.16:</b> Esquema de caseta de los variadores de las celdas FC006 y FC007 .....	50
<b>Figura 5.17:</b> Evaluación técnica económica de propuestas de instalación de variador.....	53
<b>Figura 5.18:</b> Diagrama unifilar de alimentación a motores de celdas de flotación FC006 y FC007 .....	54
<b>Figura 5.19:</b> Conexión entre el medidor de energía y el variador de velocidad.....	56
<b>Figura 5.20:</b> Diagrama de mando de fuerza del variador de velocidad.....	57
<b>Figura 5.21:</b> Diagrama de mando de sistema de enfriamiento de tableo autosoportado.....	58
<b>Figura 5.22:</b> Diagrama de conexión entre MPS300 y AB700.....	59
<b>Figura 5.23:</b> Diagrama de conexión del variador y sistemas periféricos.....	60
<b>Figura 5.24:</b> Esquema de rectificado de señal de salida del variador.....	61

<b>Figura 5.25:</b> Diagrama de sistema de control de variador de velocidad de las celdas de flotación FC006 y FC007 .....	62
<b>Figura 6.1:</b> Tablero de Alimentación Eléctrica de celda de flotación FC006 energizado .....	65
<b>Figura 6.2:</b> Display de variador de celda de flotación FC006 en operación	67
<b>Figura 6.3:</b> Placa de motor de accionamiento de la celda de flotación Rougher .....	69
<b>Figura 6.4:</b> Grafica de superficie de porcentaje recuperación de cobre .....	74
<b>Figura 6.5:</b> Grafica de contorno de porcentaje de recuperación de cobre. .	75
<b>Figura 6.6:</b> Frecuencia Alimentación vs Potencia del motor FC006.....	77
<b>Figura 6.7:</b> Frecuencia Alimentación vs Potencia del motor FC006.....	77

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1:</b> Tipos de Concentración.....	15
<b>Tabla 3.1 :</b> Relación de variables e indicadores .....	26
<b>Tabla 4.1:</b> Matriz de Consistencia .....	29
<b>Tabla 5.1:</b> Características generales de una celda e300 .....	33
<b>Tabla 5.2:</b> Características del sistema de accionamiento de celda e300 ....	34
<b>Tabla 5.3:</b> Características del motor de una celda e300 .....	38
<b>Tabla 5.4:</b> Características del sensor de flujo.....	42
<b>Tabla 5.5:</b> Características de la válvula controladora de ingreso de aire ....	42
<b>Tabla 5.6:</b> Evaluación de variables de diseño .....	44
<b>Tabla 5.7:</b> Características técnicas del variador de las celdas FC007 y FC014 .....	49
<b>Tabla 6.1:</b> Valores de operación en puntos de muestreo .....	70
<b>Tabla 6.2:</b> Valores de porcentaje de metales en concentrado de recuperación .....	71
<b>Tabla 6.3:</b> porcentaje concentrado de Cobre y condiciones operativas en los puntos de muestreo. ....	73
<b>Tabla 6.4:</b> Potencia de los motores de las celdas FC006 y FC007 .....	76

## PRÓLOGO

El presente trabajo de suficiencia profesional tiene como finalidad diseñar un sistema de control de accionamiento de giro para incrementar el porcentaje de recuperación en las celdas de flotación de concentrado de cobre de 300m<sup>3</sup>. Este trabajo abarca los siguientes capítulos:

En el capítulo I, se describe la problemática del proceso de recuperación de concentrado de cobre en una celda de flotación, así como el objetivo general del presente trabajo y los antecedentes investigativos nacionales e internacionales relacionados a la problemática y cumplimiento del objetivo.

En el capítulo II, se presentan las bases teóricas de los variadores de velocidad, proceso de flotación de espumas de concentrado de cobre, operación de celdas de flotación por aire forzado y fundamentos de cálculo de recuperación de concentrado de cobre.

En el capítulo III, se establece la hipótesis de la presente investigación y la identificación de variables de estudio.

En el capítulo IV, se describe la metodología de investigación utilizada, precisando el tipo y diseño de investigación, así como la unidad de análisis y la matriz de consistencia.

En el capítulo V, se describe la secuencia para realizar el diseño de sistema de control de velocidad de giro la cual abarca una descripción de operación y control de las celdas de flotación y los criterios técnicos utilizados para la selección de equipos, arquitectura del sistema de control

de fuerza y control del motor de accionamiento del rotor de las celdas de flotación.

En el capítulo VI, se muestran los resultados del presente trabajo de suficiencia, analizando la correlación entre la variación de la velocidad de giro del motor de accionamiento del rotor de la celda de flotación y el incremento de porcentaje de recuperación de concentrado de cobre.

Finalmente se enuncian las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo de suficiencia.

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

#### **1.1 Generalidades**

La flotación, es una etapa del proceso de producción de concentrado de cobre en las unidades mineras, donde se realiza la separación del cobre y otros metales valiosos (molibdeno y oro) del concentrado de cobre. Los equipos que son utilizados para este proceso son conocidos como celdas de flotación, los cuales consisten: en un tanque de forma circular, un sistema de agitación, un sistema de inyección de aire y un sistema de dosificación de reactivos.

Las celdas de flotación son diseñadas de acuerdo a los siguientes variables:

- La capacidad de procesamiento de mineral que tendrá la planta concentradora.
- El tamaño promedio de ingreso de partículas contenidas en el concentrado de cobre.
- El contenido de minerales a recuperar.

El indicador de eficiencia de la flotación es el porcentaje de recuperación de concentrado (%), el cual es afectado directamente ante la variación de alguno de los parámetros de diseño de las celdas de flotación [2].

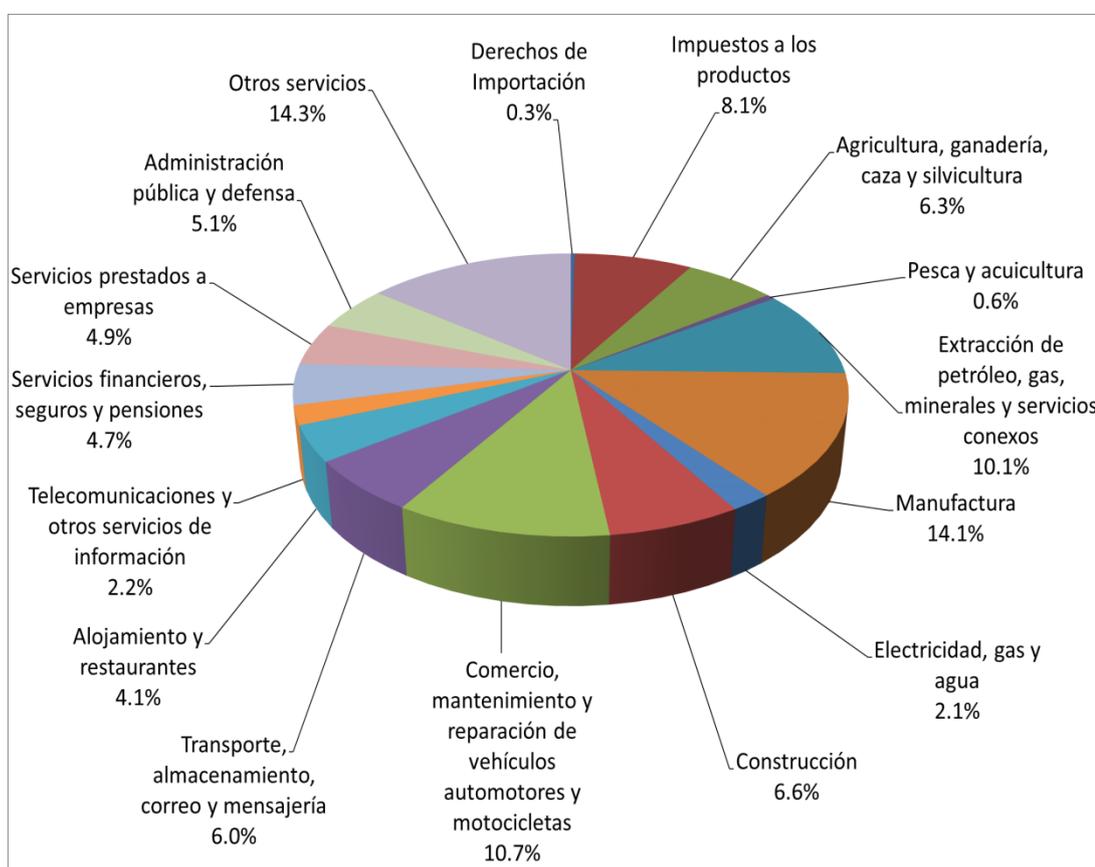
Para lograr que el porcentaje de recuperación de cobre se mantenga dentro de los valores objetivos de producción (% de recuperación, costos y tonelaje) a pesar de la variación de alguna de las variables de diseño requiere realizar: modificaciones en el equipo, regular el ingreso de inyección de aire, cambiar la velocidad de giro del sistema agitador o variar la cantidad de reactivos a dosificar. La implementación de estas mejoras dependerá del tipo de instalación que se tenga dentro de la planta concentradora.

Por lo que es necesario implementar una o todas las propuestas de mejora en las celdas de flotación para lograr incrementar el porcentaje de recuperación de concentrado. Estas mejoras deben ser lo suficiente robustas y confiables para soportar los cambios de las variables de diseño y a la vez estén interconectadas con el sistema de control y monitoreo de la sala de control con la finalidad de facilitar la tarea al operador.

## **1.2 Descripción del problema de investigación**

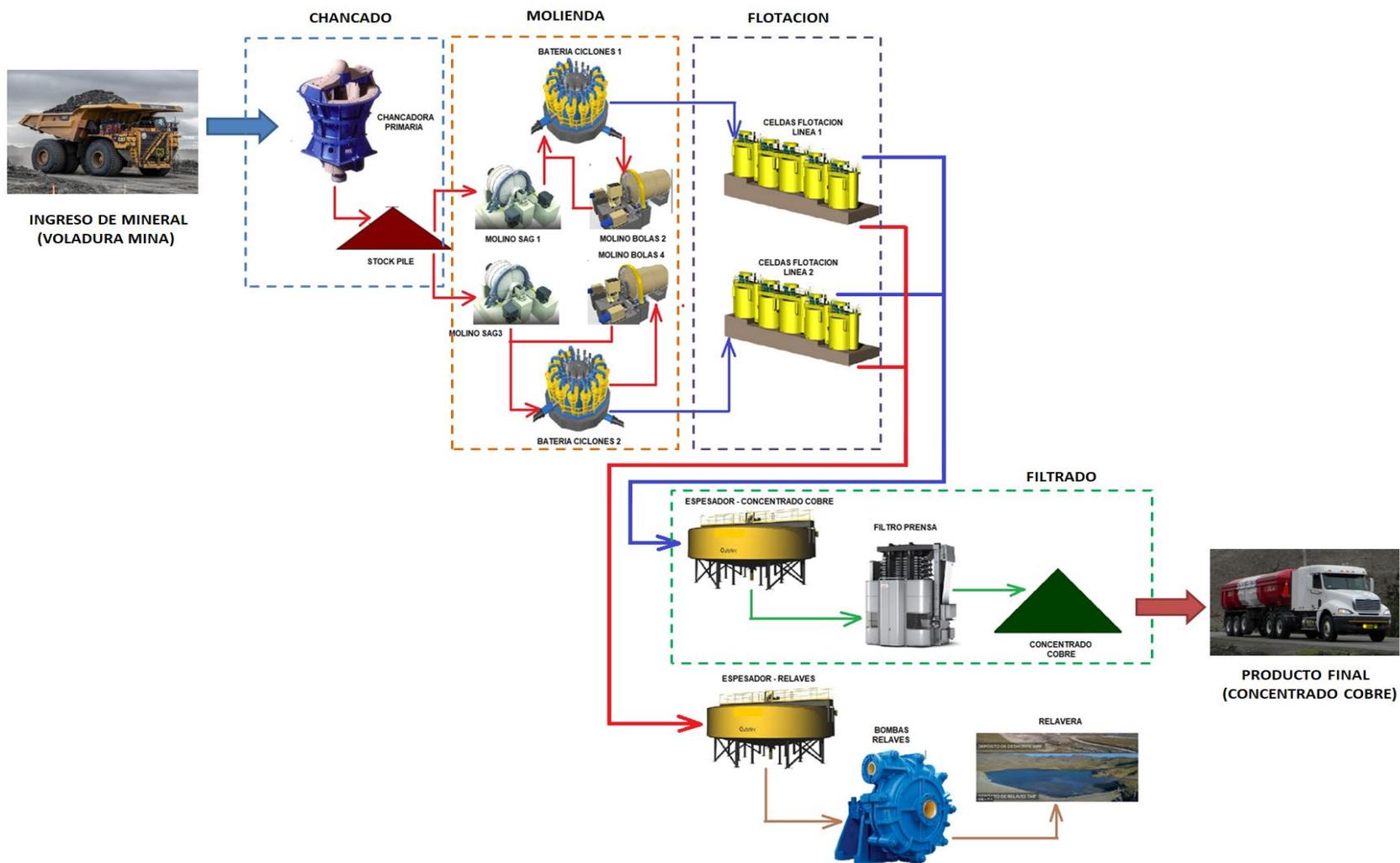
El Perú es uno de los principales países productores de metales, según SNMPE [1] , en el 2019 el Perú fue el segundo país productor de cobre, plata y zinc a nivel mundial, por lo que la optimización de la eficiencia en sus procesos de obtención de los metales preciosos tiene un impacto positivo en los ingresos económicos del país. Durante la última década, el PBI generado por el sector minero e hidrocarburos ha representado el 10% del PBI nacional. En la **Figura**

1.1, se muestra el porcentaje de participación promedio por sector económico en el PBI nacional de los últimos 10 años.



**Figura 1.1:** Porcentaje PBI promedio por actividad económica del 2010 al 2019  
**Fuente:** Principales Indicadores Macroeconómicos, INEI, 2020

Debido a que el proceso de producción de concentrado de cobre se realiza de forma secuencial, asegurar que los equipos trabajen en condiciones óptimas es necesario debido a que una falla en cualquiera de las etapas de producción influirá de manera directa en la capacidad de procesamiento de la planta concentradora. En la **Figura 1.2**, se muestran las cuatro etapas fundamentales del proceso de concentrado de cobre: Chancado, molienda, flotación y filtrado.

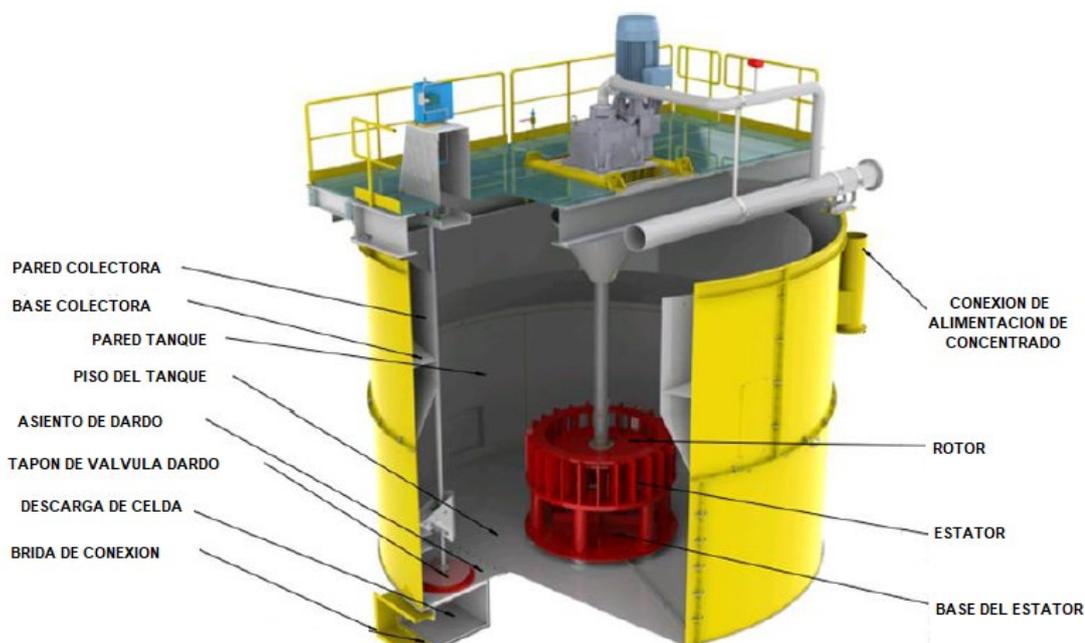


**Figura 1.2:** Distribución general de equipos de la planta concentradora Cusco 1  
**Fuente:** Elaboración propia

La flotación es la principal etapa de obtención de concentrado dentro de una planta de procesamiento de minerales [3], en ella se realiza la separación del concentrado de cobre (metal valioso) del resto de concentrado que se dispone como relave. El proceso de flotación depende de las siguientes variables: Tipo de material, tamaño de partícula, cinética de flotación y grado de concentración. El parámetro que mide la eficiencia del proceso de flotación se denomina porcentaje de recuperación, que es la relación entre masa de metal recuperado entre la masa de metal valioso contenido en el material alimentado [4]. No contar con un buen control en las variables de flotación afectara de manera directa al porcentaje de recuperación.

El principal equipo utilizado en el proceso de flotación son las celdas de flotación, las cuales constan de un tanque de almacenamiento de concentrado y un sistema de accionamiento que permite la recirculación del concentrado dentro del tanque [3]. Para plantas procesadores con producciones mayores a 5000 TMD se utilizan celdas de flotación con aire forzado, esto debido a que su diseño permite tener un bajo consumo de energía, mejor dispersión de aire dentro de la celda y facilidad para controlar el nivel de concentrado dentro de la celda [4].

En la **Figura 1.3**, se muestra un esquema con las principales partes de conforman una celda de flotación, sin embargo, ante alguna variación en las variables de flotación, estos equipos no tienen el control directo y para no afectar su eficiencia se tienen que realizar modificaciones en la cantidad de reactivos que se utilizan (incremento de costos) o incrementar el tiempo de permanencia del concentrado en la celda (disminución de capacidad de producción)



**Figura 1.3:** Partes de Celdas de Flotación de aire forzado.  
**Fuente:** Manual Celda Flotación e300, Outotec, 2014.

El principio de separación del concentrado de cobre se basa en la interacción de estas partículas con las burbujas de aire que son inyectadas por un soplador externo [4]. El tamaño y la distribución de estas burbujas son controlados por la velocidad fija de giro del mecanismo impulsor [5], esta velocidad corresponde a un determinado rango de tamaño y tipo de partícula y ante algún cambio de estos dos parámetros por el tipo de material que ingrese al circuito se perderá eficiencia de recuperación.

Por lo que se plantea la siguiente interrogante:

¿En qué medida la velocidad de giro influirá en el porcentaje de recuperación concentrado en una celda de flotación de cobre de 300m<sup>3</sup>?

### 1.3 Objetivo del estudio

Diseñar un sistema de control de accionamiento de giro de una celda de flotación de concentrado de 300m<sup>3</sup> para incrementar el porcentaje de recuperación.

### 1.4 Antecedentes investigativos

El impacto de las condiciones operativas dentro de una celda de flotación ha llevado a muchos a realizar diferentes estudios de cómo se relaciona con la cinética y de sus efectos con la recuperación de concentrado de cobre.

#### 1.4.1 Investigaciones internacionales

- **Newcombe, Bianca et al. (2018): “The effect of rotor speed on the flash flotation performance of Au and Cu in an Industrial concentrator”**, [5]. Mencionan que el rendimiento de recuperación en el proceso de flotación se puede lograr manipulando las siguientes variables operativas: tiempo de alimentación, porcentaje de alimentación de sólidos, velocidad del rotor y el flujo de salida de la celda.

En las pruebas realizadas se muestra el detalle de como la variación de la velocidad afecta al flujo interno dentro de la celda y como este cambio mejora en la recuperación de los materiales preciosos (Cobre y Oro) cuando se optimiza la velocidad de giro del rotor.

- **Ebisu, Yosuke (2018): en su tesis “Comportamiento de las partículas finas ocluidas de sulfuros de cobre en el yacimiento de proyecto Arqueros”**, [6] . Manifiesta, que la mejora en los resultados en el proceso de flotación en yacimientos que contienen baja ley y fineza de sus

partículas se puede lograr realizando algunas modificaciones en sus parámetros hidrodinámicos como son la velocidad del rotor de la celda y el flujo de aire dentro del proceso de flotación.

Ambos parámetros son necesarios para incrementar el proceso de recuperación, sin embargo, existe un punto de equilibrio entre ambas variables para que optimizar la recuperación, la cual también depende de la fineza del material con el que es alimentada la celda de flotación.

- **Norori-McCormac, A. et al. (2017): “The effect of particle size distribution on froth stability in flotation”, [7].** Manifiestan que el proceso de flotación por espumas es el más utilizado en la industria de procesamiento de minerales y su eficiencia depende de la estabilidad en las espumas que se generan dentro de la celda de flotación. La generación de espumas depende de forma directa de la cantidad de aire que se inyecta en la celda y la distribución de este flujo dentro de la celda de flotación.

Las celdas de flotación son diseñadas para un determinado rango de tamaño de partículas óptimo dentro de la pulpa de concentrado y en la investigación realizada nos muestran como la velocidad de las burbujas dentro de la celda de flotación pueden responder ante estos cambios y mejorar la recuperación de las partículas que se encuentran fuera del tamaño óptimo.

#### **1.4.2 Investigaciones nacionales**

- **Cjanahuiri, Nelson (2017):** en su tesis **“Evaluación de la flotación en la planta concentradora San Rafael”, [8]** . Manifiesta, que el proceso de

flotación por espumas es el más utilizado para concentrar minerales sulfuros complejos de Cu-Mo de bajo grado de ley y que las variables que se tienen que considerar para el proceso de flotación se dividen en tres grupos: Dosificación química, tipo de equipamiento instalado y la manera de operación en la etapa de flotación.

Encontrar el punto óptimo de operación de este proceso implica una constante evaluación de los parámetros de alimentación del mineral que ingresa en la pulpa y las diferentes reacciones físico-químicas dentro de la celda, la adhesión de las partículas con las burbujas generadas dentro de esta es el principal factor para la recuperación del concentrado de cobre.

- **Huallpa, Manuel (2018):** en su tesis “**Concentración por flotación de minerales sulfurados: Planta, Plomo, cobre, Zinc y Oro en minerales polimetálicos**”, [9] . Manifiesta, que la flotación es un proceso donde separan materias de distinto origen desde una pulpa concentrada utilizando burbujas de aire, teniendo en cuenta sus propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas.

La flotación tiene tres fases: sólida, líquida y gaseosa. En la fase sólida se encuentra presente el metal precioso a extraer, en la fase líquida es el agua que se utiliza dentro de la celda y la fase gaseosa que es el aire que se inyecta dentro de la celda que es el principal medio físico que permite la recuperación del material precioso de la pulpa con la que es alimentada la celda. Es la velocidad y la uniformidad con la que distribuye este ingreso de estas burbujas la eficiencia de recuperación en el proceso de flotación.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

#### 2.1 Marco teórico

##### 2.1.1 Variadores de Velocidad:

Martin Castillo, Juan Carlos et al (2016) en su libro “Arranque y variación de motores de velocidad”, [10]. Manifiesta que: Son sistemas electrónicos que se utilizan en diferentes maquinas industriales para controlar la velocidad de giro de su accionamiento eléctrico. El método más utilizado industrialmente, es por medio de la variación de la frecuencia del voltaje del motor eléctrico.

Los reguladores de frecuencia tienen 4 partes fundamentales:

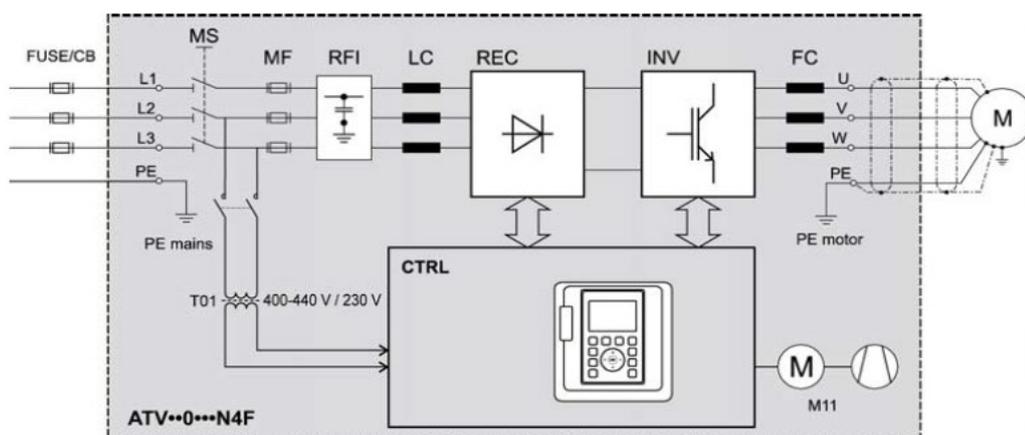
**A. Rectificador:** En esta etapa el variador convierte el voltaje de alimentación alterno en voltaje continuo por medio de un puente de diodos o un puente de tiristores.

**B. Circuito Intermedio:** El voltaje continuo es filtrado por medio de un puente de condensadores que permite suavizar las ondas de voltaje provenientes del rectificador.

**C. Inversor:** El variador calcula el voltaje y corriente que son necesarios para girar el motor eléctrico, siendo la modulación por ancho de pulsos el método más usado para la generación de este voltaje alterno.

**D. Circuito de control:** Se mide la velocidad del motor y esta señal es un input para el sistema inversor el cual ira ajustando la señal de voltaje con el cual se alimenta el motor hasta llegar a la velocidad de giro seteada.

En la **Figura 2.1**, se muestra un diagrama de bloques de las partes de un variador de frecuencia.



**Figura 2.1:** Partes de un variador de Frecuencia

**Fuente:** Manual Variador Velocidad ATV630, Schneider Electric, 2018.

Por el tipo de control, los variadores se clasifican de la siguiente manera:

**A. Variador con Control Escalar:** Son de bajo costo, no requieren dispositivos de retroalimentación y su aplicación está limitado a equipos que no requieren gran precisión. El variador con control escalar alimenta al motor con un voltaje “senoidal” de acuerdo

a una relación V/f predeterminada. Tiene una dinámica de control limitada y baja eficiencia del inversor. Mayormente es usado en aplicaciones muy simples de control de velocidad y los cambios de velocidad no son muy constantes.

**B. Variador con Control Vectorial:** El variador con control vectorial controla el flujo magnético del motor directamente, obteniendo un variador más eficiente y de mejor dinámica comparado con uno del tipo senoidal. El sistema se basa en la modelización del motor utilizando la teoría de vectores y mediante sistemas matemáticos controla los vectores magnetizantes y productores de corriente del estator. El control vectorial se caracteriza por una alta eficiencia pero al mismo tiempo limitado a bajas velocidades. Está limitado a aplicaciones de baja dinámica.

**C. Variador con Control PWM:** El variador con ancho de pulso modulado mantiene el par del motor de manera constante mientras regula la velocidad de giro del motor. El variador con control de ancho de pulso modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica, para controlar la cantidad de energía que se envía al motor.

### **2.1.2 Flotación de espumas**

Linares, Nataniel (2014) en su libro “Procesamiento de Minerales”, [2]. Manifiesta que: La concentración de minerales, es el proceso de separación del metal valioso de la ganga, esta separación se logra utilizando una diferencia específica en las propiedades físicas o químicas entre el metal

valioso y los minerales de la ganga en la mena. En la **Tabla 2.1**, se muestra los diferentes tipos de concentración que se utilizan en las plantas concentradoras.

**Tabla 2.1:** Tipos de Concentración

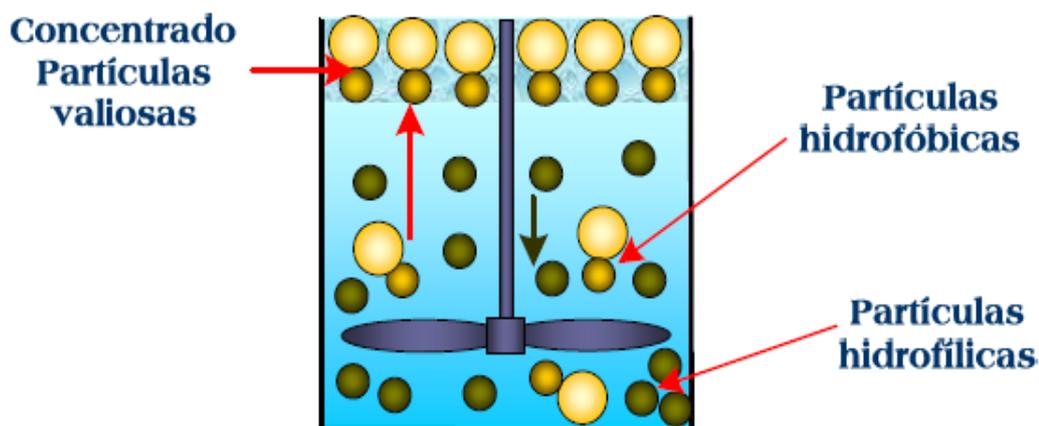
TIPO	CARACTERÍSTICAS
GRAVIMÉTRICA	Depende de las diferencias en la gravedad específicas de los minerales. Utiliza el movimiento diferencial de los minerales debido a los efectos de masa
FLOTACIÓN DE ESPUMAS	Utiliza las propiedades superficiales de los minerales. La pulpa se acondiciona con varios químicos con lo que se logra una separación de los minerales.
MAGNÉTICA	Depende de las propiedades magnéticas. Se acerca un imán a la pulpa para atraer al material ferroso y dejar dentro del contenedor al material no ferroso.
ELECTROSTÁTICA	Depende de las propiedades de conductividad eléctrica. Utiliza la carga que tienen los minerales dentro de una mezcla las cuales pueden ser atraídas hacia un polo o repelidas hacia el otro polo.

**Fuente:** Procesamiento de Minerales, Nataniel Linares, 2014

La flotación de espumas es un proceso de separación de materias que se encuentran concentradas por medio de burbujas de gas (aire) y que utiliza sus propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas, por lo que la flotación es un proceso mineralúrgico-químico-cinético.

- A. Minerales hidrofílicos:** Son mojables por el agua por lo que están en suspensión en la pulpa y finalmente se hunden. Constituidos por: óxidos, sulfatos, carbonatos, silicatos, etc.
- B. Minerales Hidrofobicos:** No son mojables o poco mojables por el agua por lo que pueden adherirse a las burbujas de aire y poder ascender. Constituidos por: metales nativos, sulfuros de metales, grafito, carbón, talco, etc.

En la **Figura 2.2** se muestra el comportamiento de los minerales hidrofóbicos e hidrofílicos dentro de una celda de flotación.



**Figura 2.2:** Esquema de comportamiento de partículas hidrofóbicas e hidrofílicas  
**Fuente:** Procesamiento de Minerales, Nataniel Linares, 2014

El diseño de etapa de flotación dentro de una planta concentradora depende de dos variables:

- A. Tiempo de retención:** Es el tiempo necesario para que ocurra el proceso de separación, con el cual se determina el volumen de pulpa y el número de celdas requeridas.
- B. Agitación y aireación:** Necesarios para generar condiciones óptimas de separación, con las cuales se determina el tipo de mecanismo de flotación y la energía requerida.

Las variables de operación de mayor importancia para el proceso de flotación son las siguientes:

- A. Granulometría:** Adquiere gran importancia dado que la flotación requiere que las especies minerales útiles tengan un grado de liberación adecuado para su concentración.
- B. Tipo de Reactivos:** Los reactivos pueden clasificarse en colectores, espumantes y modificadores. La eficiencia del proceso dependerá de la selección del a mejor fórmula de reactivos.
- C. Dosis de Reactivo:** La cantidad de reactivos requerida en el proceso depende de las pruebas metalúrgicas preliminares del balance económico desprendido de la evaluación de los consumos.
- D. Densidad de Pulpa:** Existe un porcentaje de sólidos óptimo para el proceso que tiene influencia en el tiempo de residencia del mineral en los circuitos, en la recuperación del metal valioso y en la calidad del concentrado obtenido.
- E. Aireación:** La aireación permitirá aumentar o retardar la flotación en beneficio de la recuperación o la ley, respectivamente. El aire es uno de los tres elementos imprescindibles en el proceso de flotación, junto con el mineral y el agua.
- F. Regulación del pH:** La flotación es sumamente sensible al pH, especialmente cuando se trata de flotación selectiva. Cada fórmula de reactivos tiene un pH óptimo, ambiente en el cual se obtendría el mejor resultado operacional.
- G. Tiempo de Residencia:** El tiempo de residencia dependerá de la cinética de flotación de los minerales, de la cinética de acción de

reactivos, del volumen de la celda, el porcentaje de sólidos de la pulpa en las celdas y de las cargas circulantes.

**H. Calidad del agua:** En las plantas concentradoras la disponibilidad de agua es un problema latente. De ahí que normalmente se utiliza agua de recirculación de espesadores que contiene cantidades residuales de reactivos y sólidos en suspensión, con las consecuencias respectivas derivadas por este flujo de recirculación.

### **2.1.3 Celdas de Flotación por aire forzado**

Las celdas de flotación son los equipos industriales más utilizados en las plantas concentradoras [2] y se caracteriza por tener un agitador mecánico que está conformado un por rotor unido con un eje central por donde ingresa el aire que es inyectado por un soplador externo dentro de la celda de flotación y un difusor (estator) por donde atraviesa todo el concentrado que es mezclado con las burbujas de aire y mantener la pulpa en suspensión.

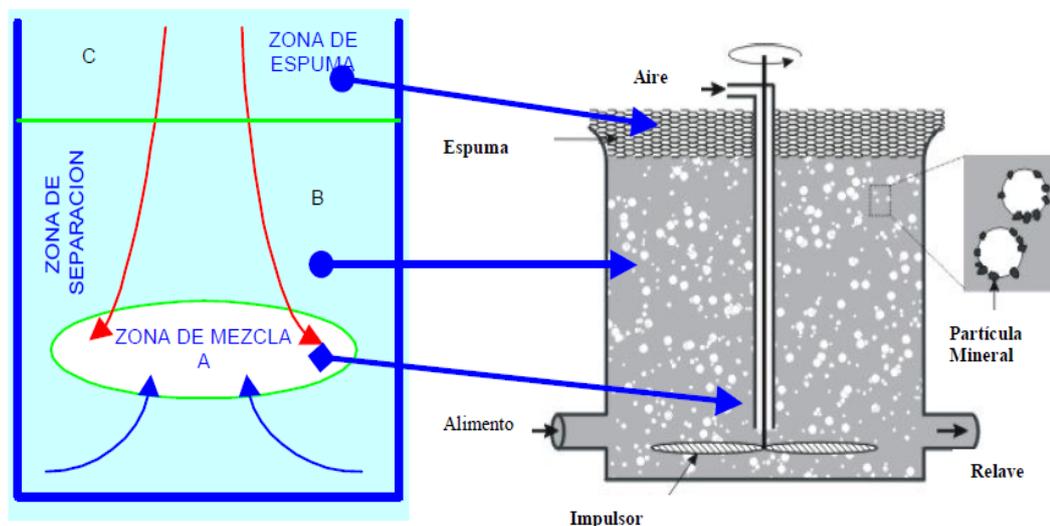
En el volumen interior de una celda de flotación se tienen 3 zonas de operación:

**A. Zona de mezcla:** Ubicada alrededor del rotor y por donde ingresa el aire. En esta zona existe una gran turbulencia que es generada por el giro del rotor lo que ayuda a que el aire se convierta en burbujas que se mezcla con el concentrado que está dentro de la celda.

**B. Zona de separación:** de movimiento hidrodinámico poco turbulento en donde las burbujas de aire atrapan al metal valioso y los separa de los componentes no deseados los cuales se decantan a la parte inferior de la celda (cola).

**C. Zona de espuma o concentración:** el movimiento del flujo es menor con respecto a las zonas anteriores y de donde se forma un colchón de espuma de altura variable, el cual es removido de la celda por rebose y que contiene el material valioso concentrado.

En la **Figura 2.3** se muestra las zonas que se producen en una celda de flotación por aire forzado en operación.



**Figura 2.3:** Esquemas de zonas en una celda de flotación en operación  
**Fuente:** Procesamiento de Minerales, Nataniel Linares, 2014

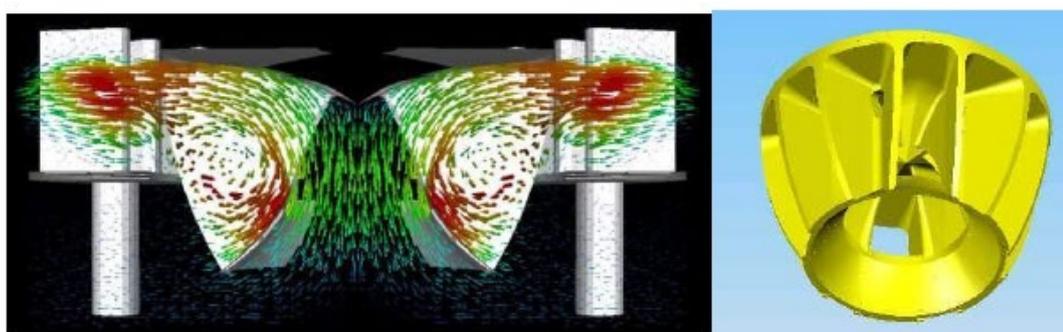
El mecanismo de accionamiento de giro de la celda de flotación cumple dos funciones:

- Dispersa el aire de flotación hacia el concentrado que se encuentra contenido en la celda de flotación.

- Mantiene al concentrado en un estado de suspensión completa mediante su acción de bombeo.

El aire de flotación atraviesa el eje de accionamiento principal y se distribuye de manera uniforme a través de las ranuras del rotor el cual se encuentra girando a la velocidad del eje de accionamiento principal. La dispersión de las burbujas de aire en todo el volumen de la celda de flotación dependerá de la velocidad de diseño del rotor [7]. Las partículas de concentrado de cobre son atrapadas por las burbujas de aire y son elevadas a la superficie y forman parte de la espuma que es recuperada por la canaleta colectora de la celda de flotación.

El diseño del mecanismo de accionamiento principal mantiene el concentrado en movimiento semi laminar. Esto asegura un mezclado completo en toda la celda de flotación que posibilita una mejor recuperación [11]. En la **Figura 2.4** se muestra diseño del rotor y el movimiento del flujo de concentrado en la zona de mezcla.



**Figura 2.4:** Diseño de rotor y movimiento del flujo de concentrado en la zona de mezcla  
**Fuente:** Manual Celda Flotación e300, Outotec, 2014.

### 2.1.4 Recuperación de Concentrado

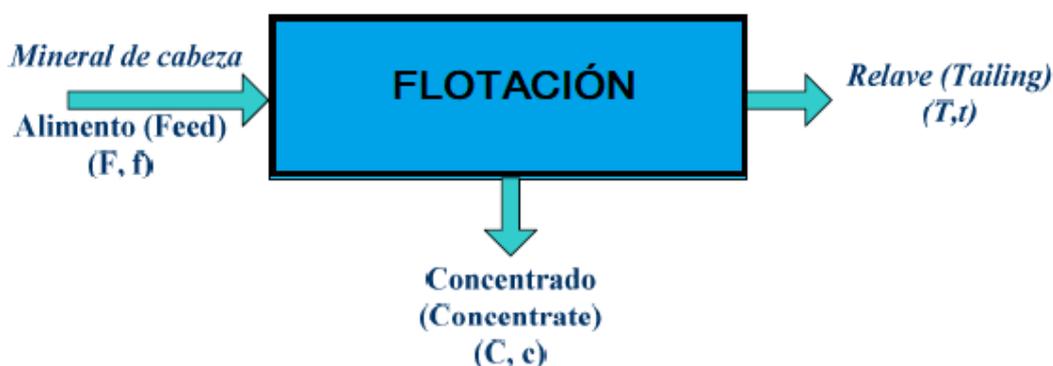
El instituto Tecnológico Superior (2014) en su libro “Fundamentos de operación de plantas concentradoras”, [3]. Manifiesta que: Es el parámetro de mide la eficiencia del proceso de separación dentro de una celda de flotación. La recuperación se enfoca en el metal de interés y no al mineral con el que se alimenta a la celda. La recuperación compara la cantidad de mineral de valor contenido en el producto recuperado contra la cantidad contenida en la alimentación.

La recuperación se calcula dividiendo la cantidad de metal valioso contenido en el concretado entre la cantidad de metal valioso contenido en la alimentación.

Recuperación (%)=

$$\frac{\text{Masa de metal contenido en el concentrado}}{\text{Masa de metal contenido en el mineral alimentado}} \times 100$$

En la **Figura 2.5** se muestra un esquema del balance de masas en el proceso de flotación.



**Figura 2.5:** Balance de masas en el proceso de flotación

**Fuente:** Procesamiento de Minerales, Nataniel Linares, 2014

Con ayuda de la **Figura 2.5** podemos obtener una segunda ecuación que nos permite calcular la recuperación de concentrado:

$$\text{Recuperación (\%)} = \frac{c \times C}{f \times F} \times 100$$

Donde:

F = Mineral de cabeza en toneladas

f = Ley del metal valioso en el mineral de cabeza o alimento, en %

C = Concentrado del mineral valioso, en toneladas

C = Ley del metal valioso en el concentrado, en %

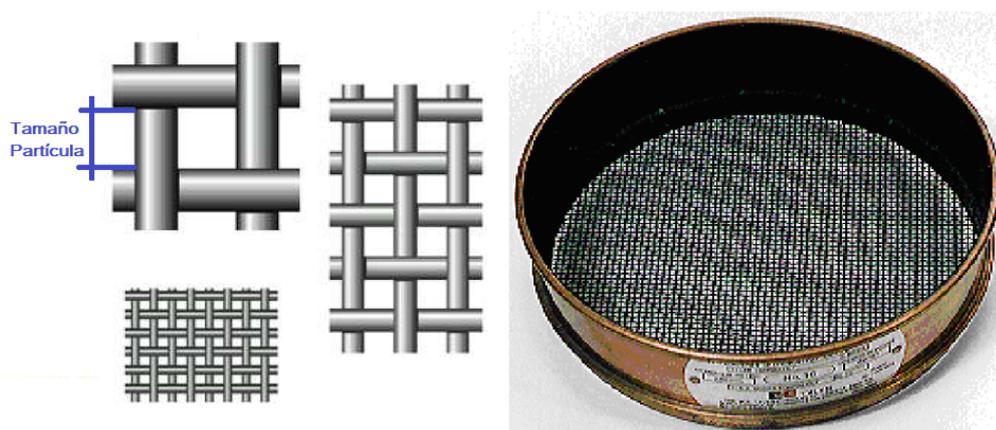
La obtención de estos valores es a través de ensayos químicos que se realizan en un laboratorio metalúrgico, donde se analiza las muestras obtenidas en un determinado periodo. Las pruebas más utilizadas son los análisis volumétricos y los análisis por absorción atómica [4].

### **2.1.5 Tamaño de partículas**

Las principales características de la partícula del mineral en una planta de procesamiento de minerales son la forma y el tamaño. El tamaño de partícula es una medida de control del proceso de reducción del mineral y es igual a una dimensión representada de su volumen en formas geométricas regulares [4].

Para medir el tamaño de partículas de concentrado de mineral se utilizan tamices con diferentes medidas de apertura los cuales cumplen la

función de retener el mineral de acuerdo a su tamaño. La muestra que se utiliza para realizar estas medidas debe encontrarse seca. En la **Figura 2.6** se muestra la forma del tamiz.



**Figura 2.6:** Esquema físico de un tamiz  
**Fuente:** Procesamiento de Minerales, Nataniel Linares, 2014

Para la evaluación del tamaño de partícula en una planta de tratamiento de minerales se utiliza como medida el 80 por ciento del peso total de la muestra que pasa a través de un determinado de tamaño de malla [2]. A esta medida del tamaño de partícula se le conoce como P(80).

## 2.2 Marco conceptual

- **Accionamiento:** Componente de la celda de flotación que convierte la energía eléctrica en movimiento.
- **Recuperación:** Parámetro utilizado para medir la eficiencia del proceso de flotación dentro de una planta de concentrado de cobre.
- **Concentrado:** Producto fino que contiene el metal valioso del material con el cual es alimentado las celdas de flotación.

- **Celda:** Tanque metálico de forma circular que tiene un mecanismo de mezcla conformado por un rotor y un estator que permite uniformizar el material que fluye a través de él.
- **Banco:** Conjunto de celdas de flotación ubicados de manera secuencial para mejorar la eficiencia de recuperación de concentrado.
- **Cola:** Residuo de concentrado que no es recuperado durante el proceso de flotación dentro de una celda.

## CAPÍTULO III

### HIPÓTESIS Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

#### 3.1 Hipótesis general

El control de accionamiento de giro incrementará el porcentaje de recuperación, en una celda de flotación de concentrado de cobre de 300m<sup>3</sup>.

#### 3.2 Operacionalización de variables

- **Variable dependiente (VD):** Porcentaje de recuperación de cobre.
- **Variable independiente (VI):** Control de accionamiento de giro de una celda de flotación de concentrado de cobre de 300m<sup>3</sup>.

En la **Tabla 3.1** se muestran los indicadores de la investigación para la variable independiente.

**Tabla 3.1** : Relación de variables e indicadores

VARIABLES	INDICADORES
<b>VD:</b> Recuperacion concentrado de cobre	Grado (Porcentaje) de recuperaci3n de concentrado de cobre
<b>VI:</b> Control de accionamiento de giro de una celda de flotaci3n de concentrado de cobre de 300m3.	Potencia (kW) consumida por el accionamiento de giro.

**Fuente:** Elaboraci3n propia

## **CAPÍTULO IV**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **4.1 Tipo y diseño de la investigación**

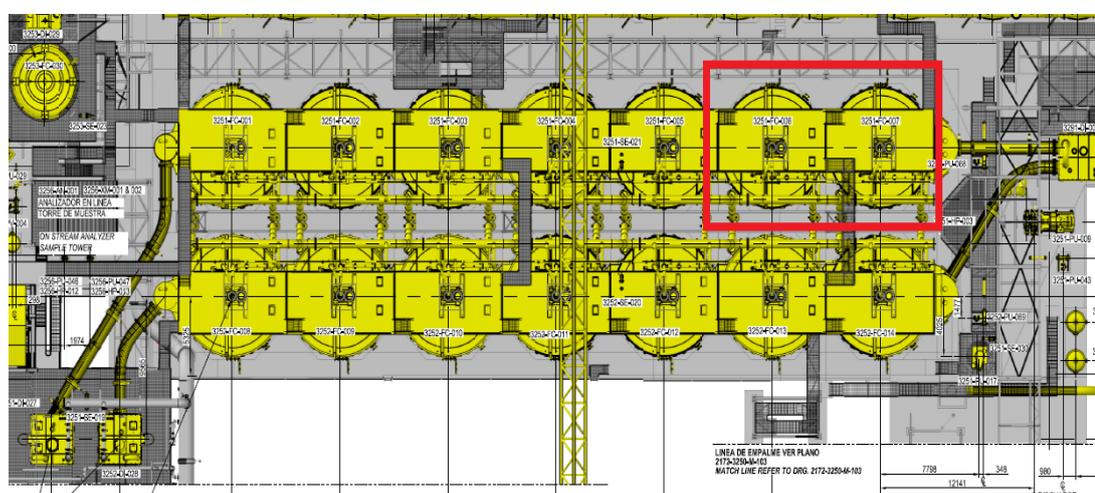
El tipo de investigación es de carácter cuantitativo debido a que las variables que forman parte de la hipótesis pueden ser medidas en el tiempo y podemos tener registros de ellas.

El diseño de la investigación es de carácter experimental, ya que la variable dependiente será contralada en diferentes escenarios y su respuesta dependerá del tipo de material y condiciones operativas en donde se desarrollara la hipótesis y nos mostrara como existe una relación entre las variables.

Para la evaluación de los resultados utilizaremos las herramientas de análisis de superficie y análisis de contorno del software MINITAB con una licencia educativa que nos permitirá graficar los diferentes escenarios de la presente investigación.

## 4.2 Unidad de análisis

La presente investigación tiene como unidad de análisis las últimas celdas de un banco de 7 celdas de flotación rougher de una de líneas de producción de concentrado de cobre de la planta concentradora Cusco 1. Las Celdas FC006 y FC007 correspondientes a la línea rougher concentrado 1. En la **Figura 4.1** se muestra la posición de las celdas que son parte de la investigación.



**Figura 4.1** : Ubicación de Celdas de Flotación a investigar  
**Fuente:** Manual Celda Flotación e300, Outotec, 2014

### 4.3 Matriz de consistencia

DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE ACCIONAMIENTO DE GIRO, DE UNA CELDA DE FLOTACIÓN DE 300m<sup>3</sup> DE CONCENTRADO DE COBRE, PARA MEJORAR EL PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN.

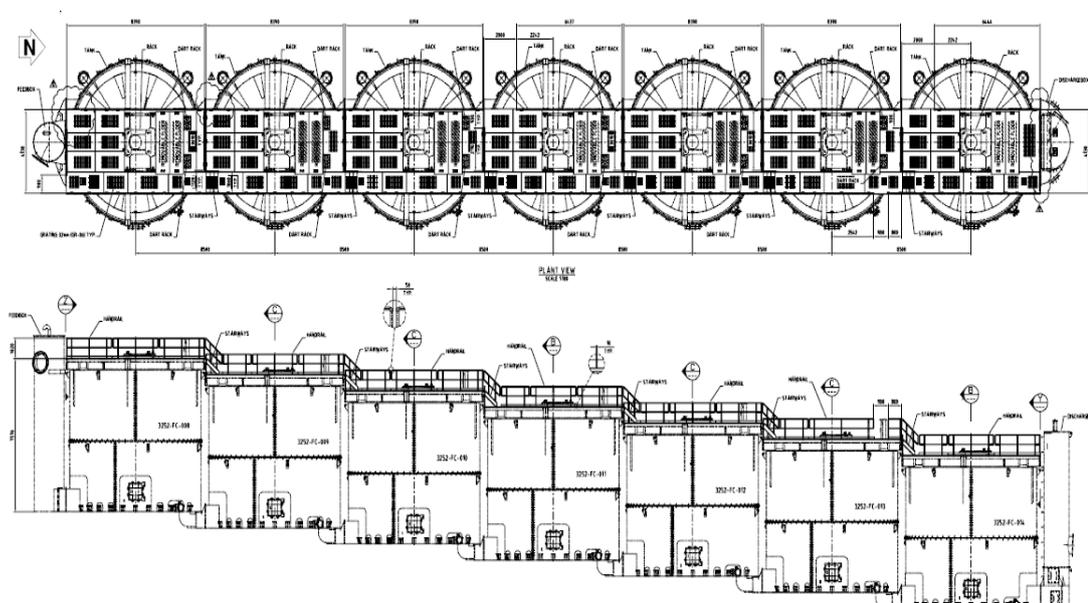
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES		INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS
			DEPENDIENTE	INDEPENDIENTE		
¿De qué manera disminuimos la ineficiencia del porcentaje de recuperación en celdas de flotación de concentrado de cobre de 300m <sup>3</sup> ?	Diseñar un sistema de control de accionamiento de giro de una celda de flotación de concentrado de 300m <sup>3</sup> para incrementar el porcentaje de recuperación.	El control de accionamiento de giro incrementará el porcentaje de recuperación en una celda de flotación de concentrado de cobre de 300m <sup>3</sup> .	Porcentaje de recuperación de concentrado de cobre.	Diseño del sistema de control de accionamiento de giro de una celda de flotación de concentrado de cobre de 300m <sup>3</sup> .	Grado (Porcentaje) de recuperación de concentrado de cobre  Potencia (kW) consumida por el accionamiento de giro.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recopilación de información técnica de diseño de celdas de flotación.</li> <li>Planos de las instalaciones industriales (arquitectura, electricidad, control, mecánicos, etc.).</li> <li>Registros de parámetros de operación y eficiencia de celdas de flotación.</li> </ul>

**Tabla 4.1:** Matriz de Consistencia  
Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO V

### DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

El proceso de flotación Rougher de la UM Cusco 1 está conformado por un banco de 7 celdas ubicadas de manera secuencial que permite realizar la recuperación del concentrado de cobre. En la **Figura 5.1** se muestra la disposición del banco de celdas Rougher.

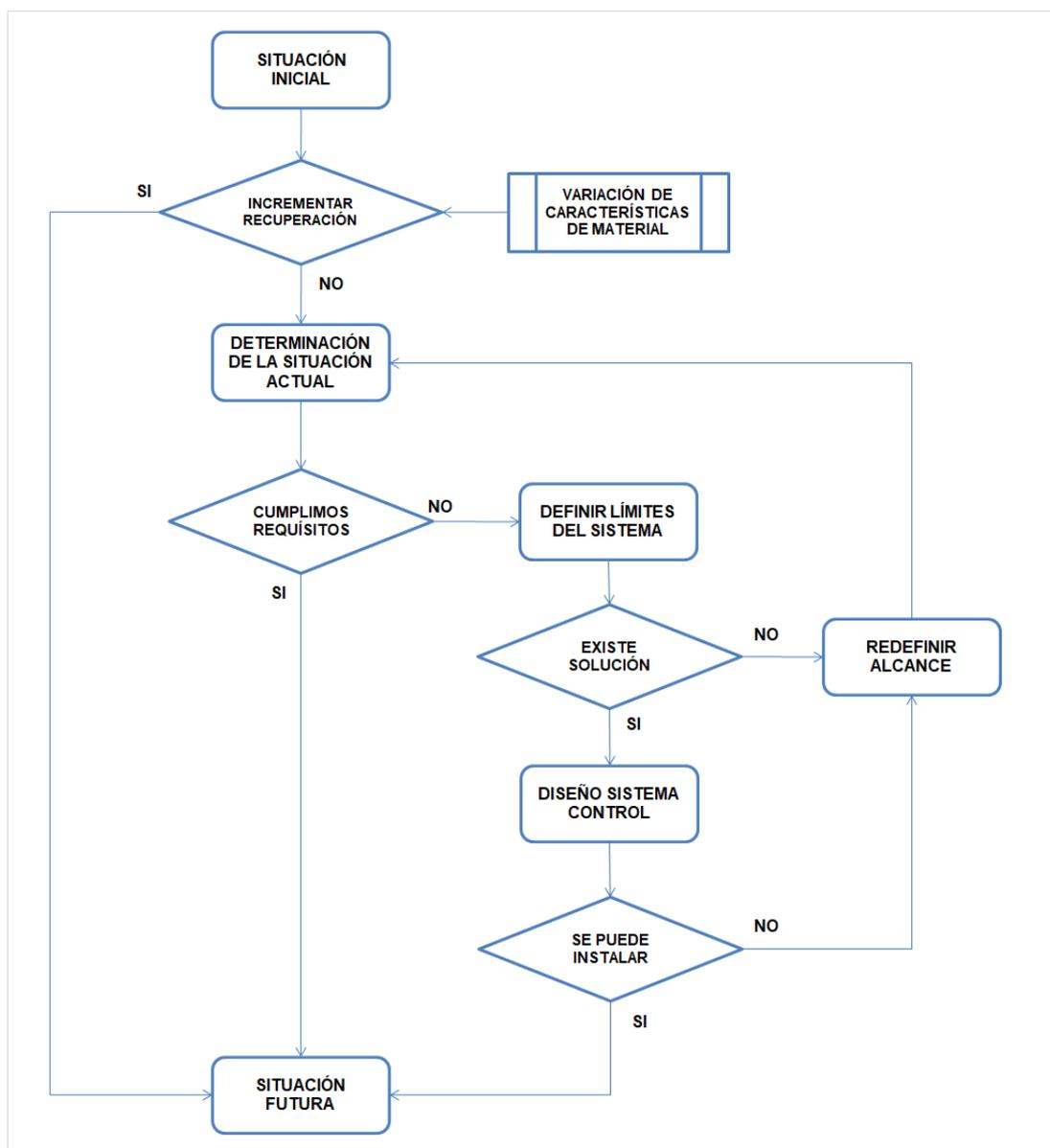


**Figura 5.1:** Disposición de banco de celdas Rougher  
**Fuente:** Manual Celda Flotación e300, Outotec, 2014

Las celdas de flotación Rougher han sido diseñadas para procesar concentrado de cobre en condiciones estables: flujo de alimentación, porcentaje de sólidos en peso, gravedad específica de material, tamaño medio de partícula de sólidos y contenido de minerales contaminantes (Cobre oxidado, Plomo y Zinc). La desviación de los parámetros de diseño afecta directamente la recuperación de concentrado de cobre y para mantener los niveles de recuperación, ante estas variaciones, requerimos realizar una evaluación de nuestras instalaciones y plantear la mejor alternativa técnico-económica.

El proceso se inicia definiendo nuestra situación actual y cuáles serán las nuevas condiciones de operación, evaluar nuestro sistema y confirmar que podremos mantener los parámetros de recuperación establecido, de no ser posible definir que mejoras debemos realizar en nuestros equipos y su factibilidad de instalación, con la mejora implementada realizar una comparación entre la situación actual y la situación futura para verificar la eficacia de la mejora implementada.

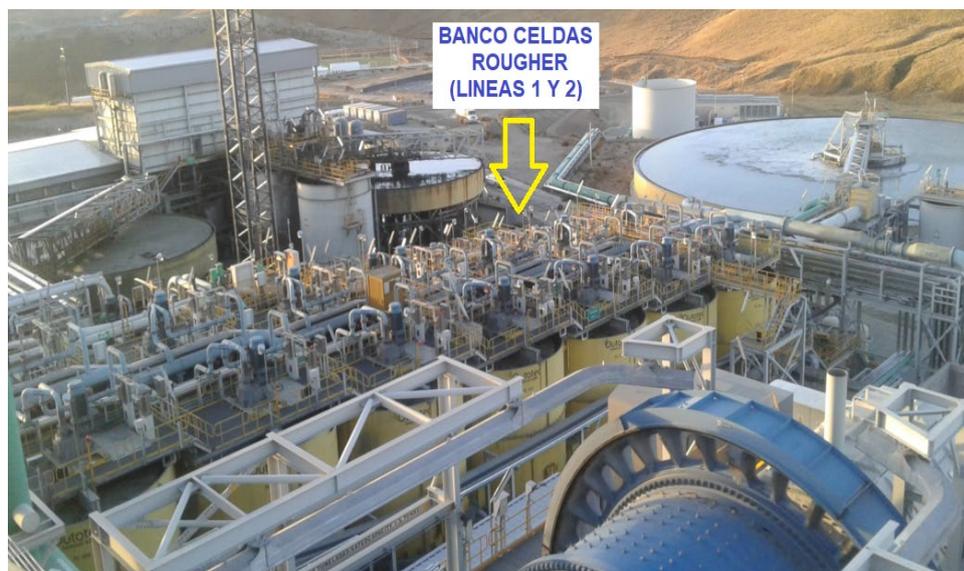
En la **Figura 5.2** se muestra el diagrama de flujo con la secuencia del análisis del sistema de recuperación de concentrado de cobre.



**Figura 5.2:** Flujograma de análisis de sistema de recuperación  
**Fuente:** Elaboración propia

## 5.1 Características de la Celdas de Flotación

A continuación describiremos las características de las celdas de flotación FC006 y FC007 de la planta concentradora Cusco 1. En la **Figura 5.3** se muestra el banco de celdas rougher de las líneas 1 y 2.



**Figura 5.3:** Banco de celdas de flotación rougher planta concentrado  
**Fuente:** Elaboración propia

### 5.1.1 Dimensiones Generales

Las celdas de flotación son tanques circulares de acero estructural con un recubrimiento interior de caucho natural que permite que el concentrado que almacena no corroa las paredes interiores y brindar mayor tiempo de vida útil del equipo. En la **Tabla 5.1** se muestra un resumen de las medidas principales de las celdas de flotación.

**Tabla 5.1:** Características generales de una celda e300

CARACTERÍSTICA	DETALLE
MARCA	OUTOTEC
MODELO	e300
DIÁMETRO	8000 mm
ALTURA	7000 mm
MATERIAL TANQUE	ASTM A36
ESPESOR TANQUE	6mm (PARED) / 10mm (BASE)
RECUBRIMIENTO	CAUCHO NATURAL (6mm)
CAPACIDAD	300 m <sup>3</sup>
FLUJO DE ALIMENTACIÓN	3261 m <sup>3</sup> /hr

**Fuente:** Manual Celda Flotación e300, Outotec, 2014

Las dimensiones y el flujo de alimentación de concentrado definen el tiempo de residencia en la celda de flotación, durante este periodo se recupera el metal valioso. El incremento de tamaño de la celda flotación implica el uso de mayor energía para recuperar el metal valioso ya que mayor volumen de concentrado requiere mayor inyección de aire y mecanismos agitadores que consumen mayor energía eléctrica.

En el **Anexo 1** se muestra el plano con las medidas generales de la celda de flotación e300.

### 5.1.2 Sistema de Accionamiento

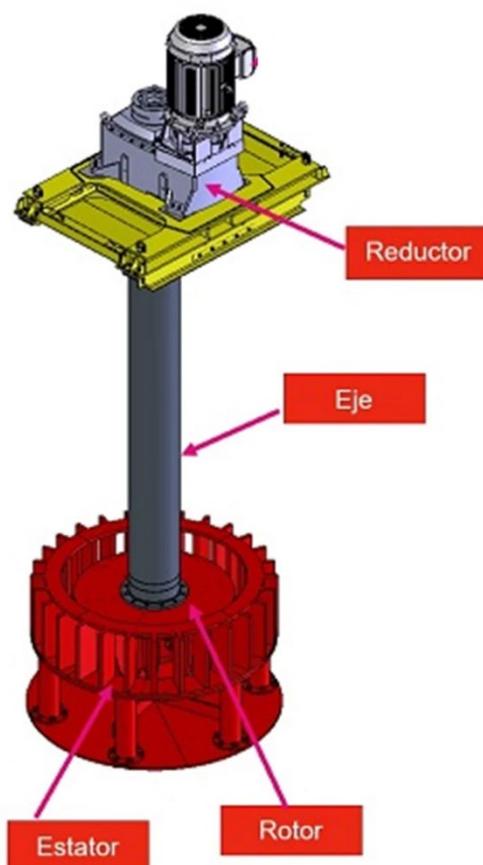
Las Celdas de flotación cuentan con un mecanismo de agitación que permite que el concentrado que está dentro del tanque se mezcle de manera uniforme con el aire que ingresa a través de él y con los reactivos que se utilizan para facilitar el proceso de flotación. Este mecanismo cuenta con un reductor, un eje, un rotor y un estator. En la **Tabla 5.2** se muestra el resumen de las características del sistema de accionamiento de la celda e300.

**Tabla 5.2:** Características del sistema de accionamiento de celda e300

CARACTERÍSTICA	DETALLE
TIPO	FLOATFORCE
VELOCIDAD GIRO	70 RPM
DIÁMETRO ROTOR	1750 mm
MODELO REDUCTOR	MIXFO80
RATIO REDUCTOR	25.78
POTENCIA REDUCTOR	260 kW
DIMENSIONES (LxAxH)	1.6x1.2x1.5 m

**Fuente:** Manual Celda Flotación e300, Outotec, 2014.

En la **Figura 5.4** se muestra la disposición y elementos que conforman el sistema de accionamiento.

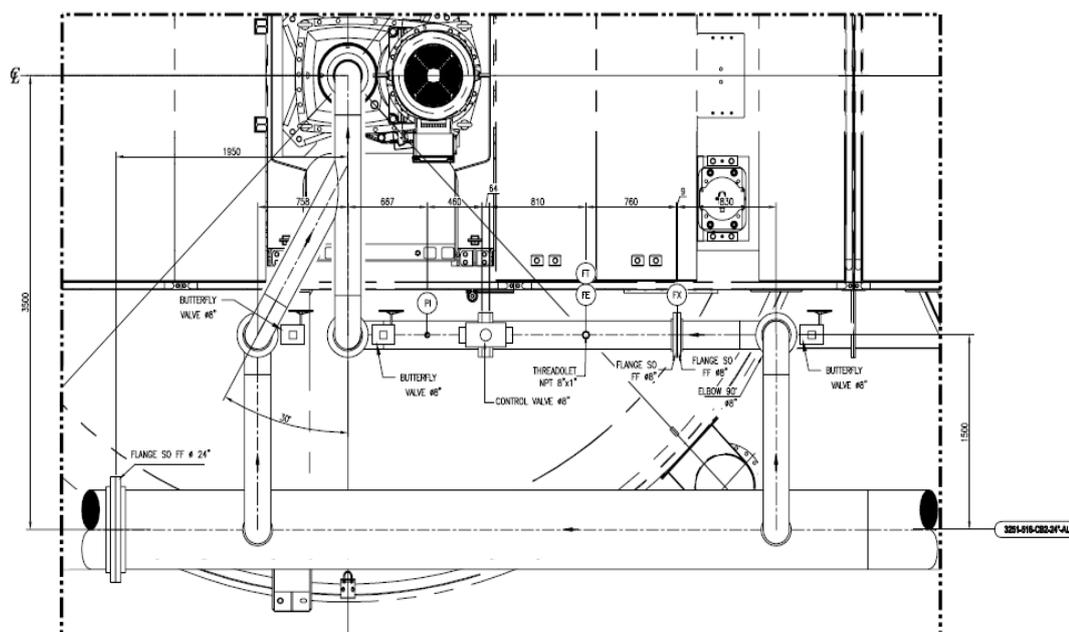


**Figura 5.4:** Elementos del sistema de accionamiento de una celda e300.  
**Fuente:** Manual Celda Flotación e300, Outotec, 2014.

### 5.1.3 Sistema de Aireación

Las celdas de flotación tipo aire forzado cuentan con un sistema de inyección de aire a baja presión que ingresa a la celda de concentrado a través del eje hueco que soporta el rotor del agitador. La cantidad de ingreso de aire es controlada por una electroválvula neumática que permite el ingreso de aire a presión constante cuando la celda se encuentra con concentrado (70 kPa). El aire que utiliza la celda de flotación es suministrado

por un soplador que a través de una línea matriz alimenta a todo el banco de celdas rougher. En la **Figura 5.5** se muestra la distribución de las tuberías de ingreso de aire hacia la celda de flotación.



**Figura 5.5:** Distribución tuberías de ingreso de aire de una celda e300  
**Fuente:** Manual Celda Flotación e300, Outotec, 2014.

La distribución de las burbujas de aire que ingresa se logra a través del movimiento relativo entre el rotor y el estator que se encuentran en la parte final del eje de accionamiento. Estas burbujas de aire son las que atrapan el metal valioso del concentrado y son llevados hacia la parte superior de la celda de flotación donde son capturados por bandejas y recuperados para continuar con el proceso de recuperación de concentrado de cobre.

La relación entre el ingreso de aire y la generación de burbujas dentro de la celda de flotación no es directamente proporcional porque depende de otros factores como: flujo de alimentación de concentrado, tamaño de

partículas de concentrado, tipo de material de alimentación y porcentaje de peso en el concentrado [2]. Por lo que la apertura de la válvula de ingreso de aire depende de la experiencia del operador de campo, quien realiza una inspección para confirmar que el concentrado se encuentre rebosando a través del sistema colector de espumas, en la figura X se muestra el sistema colector de espumas en una celda de flotación.



**Figura 5.6:** Sistema Colector de espumas de una celda e300  
**Fuente:** Elaboración propia

#### 5.1.4 Sistema de Fuerza

El mecanismo de accionamiento de giro del agitador de la celda de flotación es accionado por un motor eléctrico de baja tensión que se encuentra acoplado al reductor y trabaja en una posición vertical. Las características técnicas del motor se muestran en la **Tabla 5.3**.

**Tabla 5.3:** Características del motor de una celda e300

CARACTERÍSTICA	DETALLE
MARCA	WEG
TIPO	JAULA DE ARDILLA
VOLTAJE	460V - TRIFÁSICO
POTENCIA	250kW
CORRIENTE NOMINAL	403A
FRECUENCIA	60 Hz
VELOCIDAD	1790 RPM
NÚMERO POLOS	4
TORQUE NOMINAL	1388 Nm

**Fuente:** Manual Celda Flotación e300, Outotec, 2014.

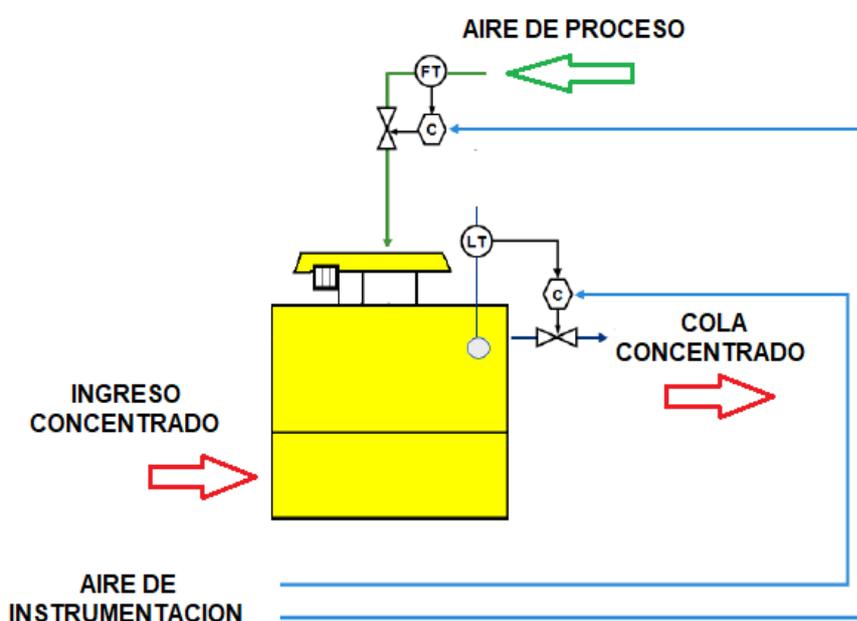
En la **Figura 5.7**, se muestra la posición de ubicación del motor, reductor y líneas de alimentación de aire en la celda de flotación FC007.

**Figura 5.7:** Sistema de accionamiento de una celda de flotación e300

**Fuente:** Elaboración propia

### 5.1.5 Sistema de Control

La celda de flotación e300 tiene dos variables que pueden ser controladas por el operador de la sala de control que son: el nivel concentrado y el flujo de ingreso de aire que ingresa a la celda de flotación. Ambos parámetros tendrán un set point que dependerá de la experiencia del operador, su seteo es regulado de acuerdo a la percepción visual que se tiene al ver el efecto de generación de burbujas que se originan en el nivel superior de concentrado que está dentro de una celda y que es recuperado por las bandejas hacia un tanque de almacenamiento. En la **Figura 5.8** se muestra diagrama de lazo de control en una celda de flotación.

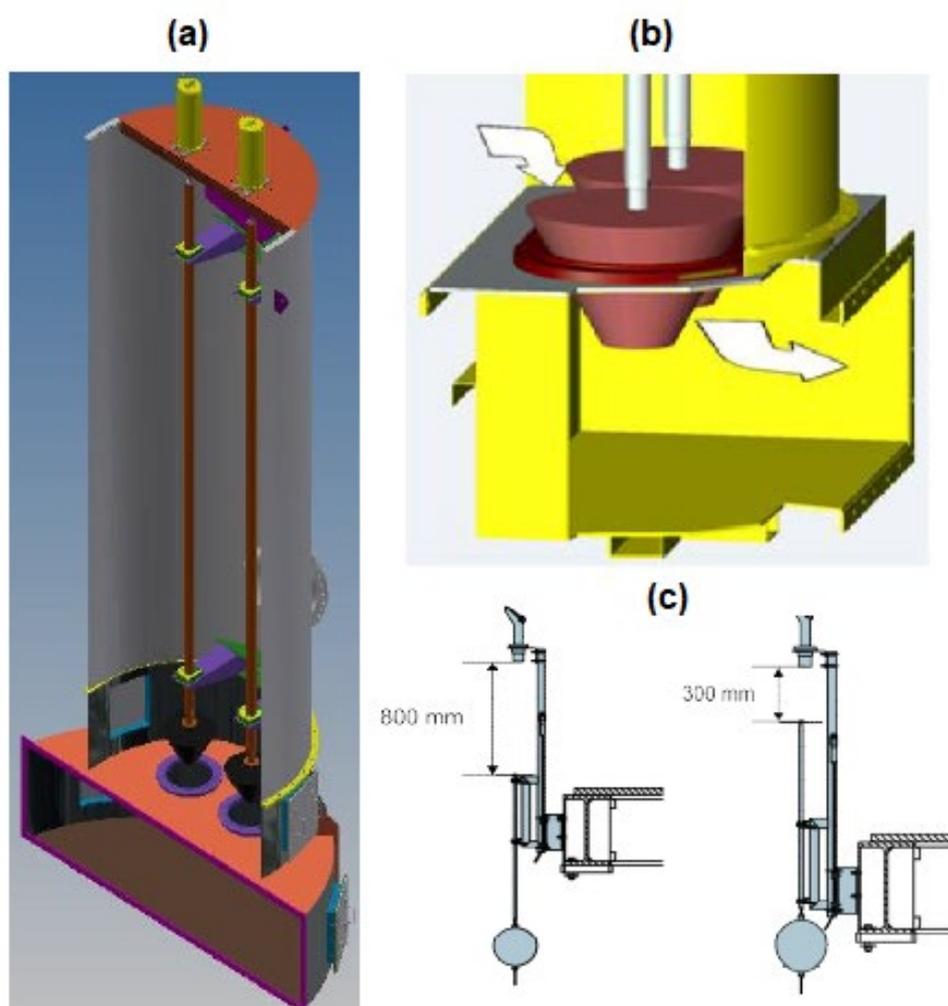


**Figura 5.8:** Lazo de control de una celda de flotación e300

**Fuente:** Elaboración propia

- **Control de Nivel:** Se logra a través de un mecanismo de restricción de descarga de la celda. Esta restricción se logra a través

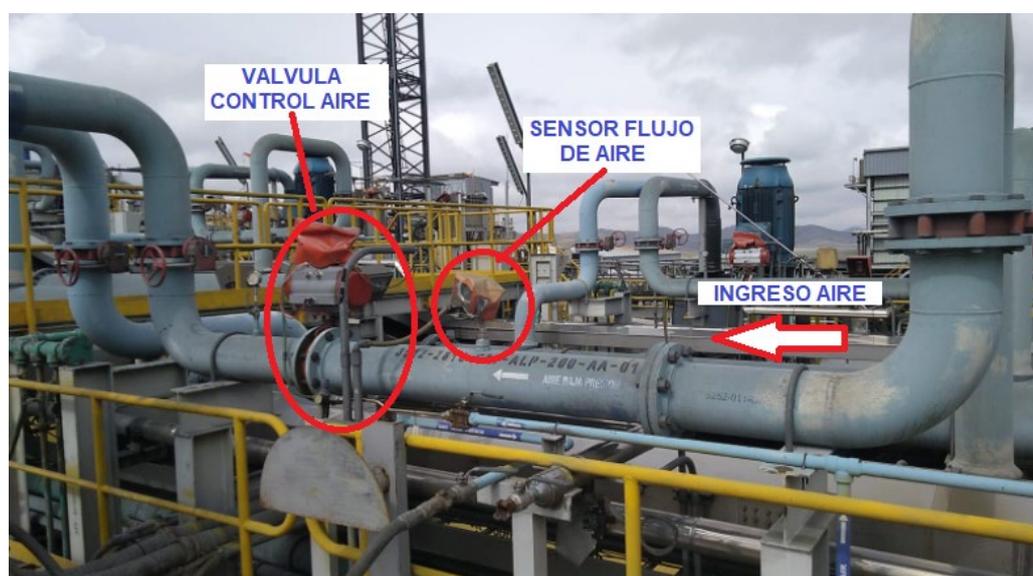
de unas válvulas dardo que son controladas de forma neumática y que en la parte inferior tienen un tapón de forma cónica que mientras más se acerca a su límite inferior limita la cantidad de flujo que pasa a través de la celda. La señal de nivel es obtenida por un sensor ultrasónico que mide la posición de una boya que está a nivel del concentrado de cobre. En la **Figura 5.9**, se muestra los componentes principales del mecanismo de control de nivel.



**Figura 5.9:** Válvulas de posicionamiento tipo dardo (a), tapón cónico restrictor de flujo (b), mecanismo boya-plato (c)

**Fuente:** Manual Celda Flotación e300, Outotec, 2014.

- **Control de Flujo de Aire:** La línea de ingreso de aire hacia la celda de flotación cuenta con un sensor de flujo de masa. La cantidad de flujo es controlada por una válvula mariposa de control neumático proporcional, el set point de apertura de esta válvula es controlada por el operador de sala de manera manual y su porcentaje de apertura, al igual que el control de nivel, del efecto visual de generación de espumas que se generan en la parte superior de la celda. El sistema de ingreso de aire también cuenta con un juego de válvulas que permite realizar una regulación manual. En la **Figura 5.10** se muestra los componentes que forman parte del sistema de control de aire.



**Figura 5.10:** Sistema control de aire a celda e300  
**Fuente:** Elaboración propia

En la **Tabla 5.4** y la **Tabla 5.5** se muestran las características técnicas del sensor de flujo de aire y la válvula controladora de flujo respectivamente.

**Tabla 5.4:** Características del sensor de flujo

CARACTERÍSTICA	DETALLE
MARCA	FCI
MODELO	ST98
RANGO	[0.75- 600] SFPS
PRESICIÓN	[+/-] 1%
TIPO	TÉRMICO

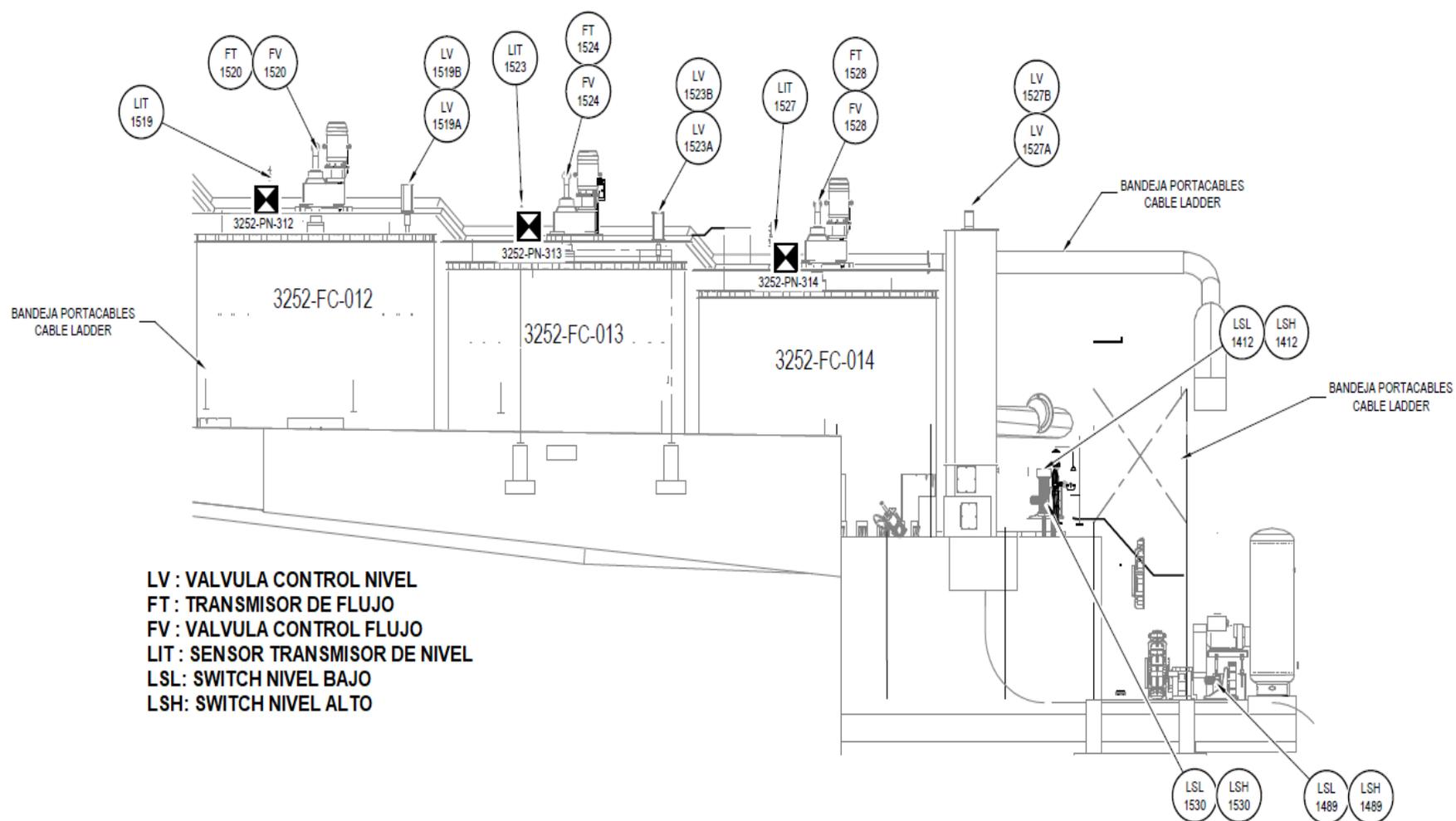
**Fuente:** Manual Celda Flotación e300, Outotec, 2014.

**Tabla 5.5:** Características de la válvula controladora de ingreso de aire

CARACTERÍSTICA	DETALLE
MARCA	BRAY
MODELO	S31
DIÁMETRO	6"
TIPO	MARIPOSA
POSICIONADOR	NEUMÁTICO
RANGO	[0- 90] °
RESOLUCIÓN	<0.05%

**Fuente:** Manual Celda Flotación e300, Outotec, 2014.

En la **Figura 5.11** se muestra el diagrama de instrumentación del de las últimas 3 celdas de flotación e300 del banco de la línea rougher 2.



**Figura 5.11:** Diagrama de instrumentación de las celdas de flotación.  
**Fuente:** Manual Celda Flotación e300, Outotec, 2014.

## 5.2 Diseño del sistema de Control

En el capítulo 2 se detalla que las principales variables para el diseño de una celda de flotación son: el tiempo de retención y el sistema de agitación y aireación. Ante alguna variación de la calidad del material la eficiencia de la celda de flotación es directamente afectada.

### 5.2.1 Selección de sistema

Ante esta problemática debemos evaluar la implementación de un nuevo sistema que nos permita trabajar con este nuevo escenario. En la Tabla 5.6 se muestra el detalle de las actividades que se deben realizar para la implementación de un nuevo sistema de flotación sin afectar el tonelaje procesado, tiempo de implementación y si requiere parada de planta.

**Tabla 5.6:** Evaluación de variables de diseño

VARIABLE DISEÑO	ACTIVIDADES PARA IMPLEMENTACIÓN	TIEMPO IMPLEMENTACIÓN	PARADA PLANTA
Tiempo de Retencion	Incremento de tamaño de Celdas	12 meses	SI
Sistema de Agitacion	Variacion de velocidad de giro del rotor	3 mese	NO
Sistema de Aireacion	modificacion de tuberias de alimentacion de aire.	12 meses	SI

**Fuente:** Elaboración propia

Por lo que la opción de modificar el sistema de accionamiento de giro es la propuesta técnica con mayor factibilidad. Cuenta con un mejor tiempo de implementación y no requiere una parada de línea, por lo que la producción de la planta concentradora no se verá afectada durante su instalación.

## 5.2.2 Requerimientos del sistema

El sistema de giro de las celdas de flotación está conformado por un motor de velocidad fija y un reductor con relación de transmisión fija. Para implementar un sistema de variación de velocidad se tiene que modificar uno de los componentes del sistema original. En el capítulo 2, se explica que para este tipo de implementación la mejor opción es la instalación de un variador de velocidad para el motor eléctrico.

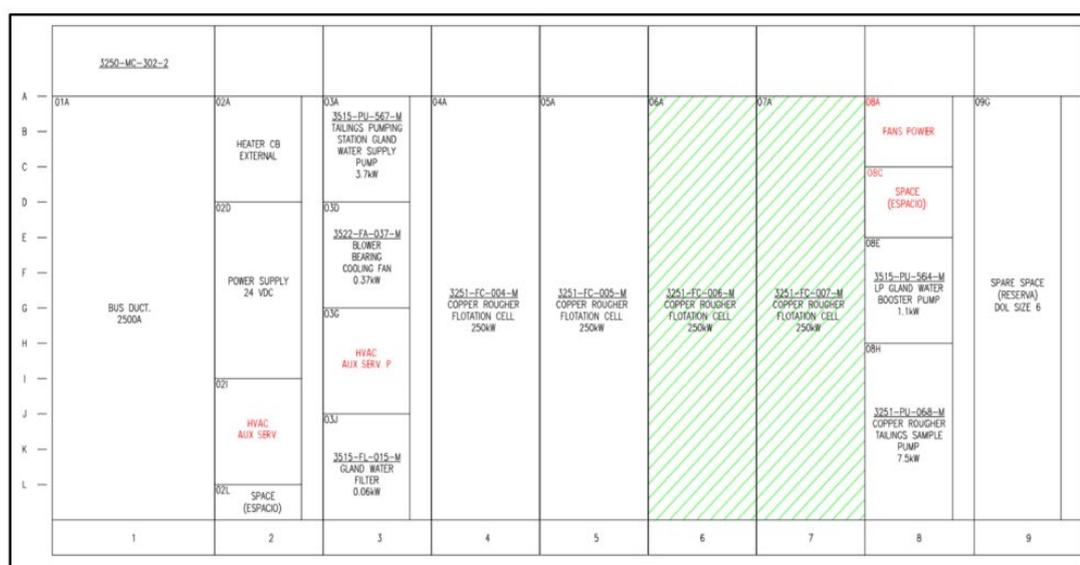
## 5.2.3 Limitaciones

- A. **Eléctricas:** El motor de accionamiento del rotor de la celda de flotación es tipo jaula de ardilla por lo que las únicas maneras de variar la velocidad son modificando la frecuencia eléctrica o el número de polos del motor
- B. **Mecánicas:** El sistema de accionamiento de giro del rotor de la celda de flotación tiene un reductor de velocidad con una geometría definida por lo que instalar un motor de diferente tamaño no será posible.
- C. **Sistema Control:** El sistema de control de la sala del operador no tiene espacio para poder implementar un control remoto de la variación de velocidad de los motores de las celdas de flotación. Por lo que el control de la variación de velocidad deberá ser operado de manera local.
- D. **Instalaciones Industriales:** La sala eléctrica de donde se alimentan a los motores de las celdas de flotación no cuenta con un

espacio físico para poder instalar los variadores de velocidad. Por lo que los variadores deberán instalarse a la intemperie, deberán contar con una base de concreto, techo aligerado y malla de protección para limitar el acceso.

## 5.2.4 Arquitectura propuesta

Los motores de accionamiento de las celdas de flotación FC007 y FC014 se alimentan desde cubículos arrancadores ubicados en el centro de control de motores (MCC) MC-302-2. La ubicación física de los MCCs de los motores se muestra en la **Figura 5.12**.



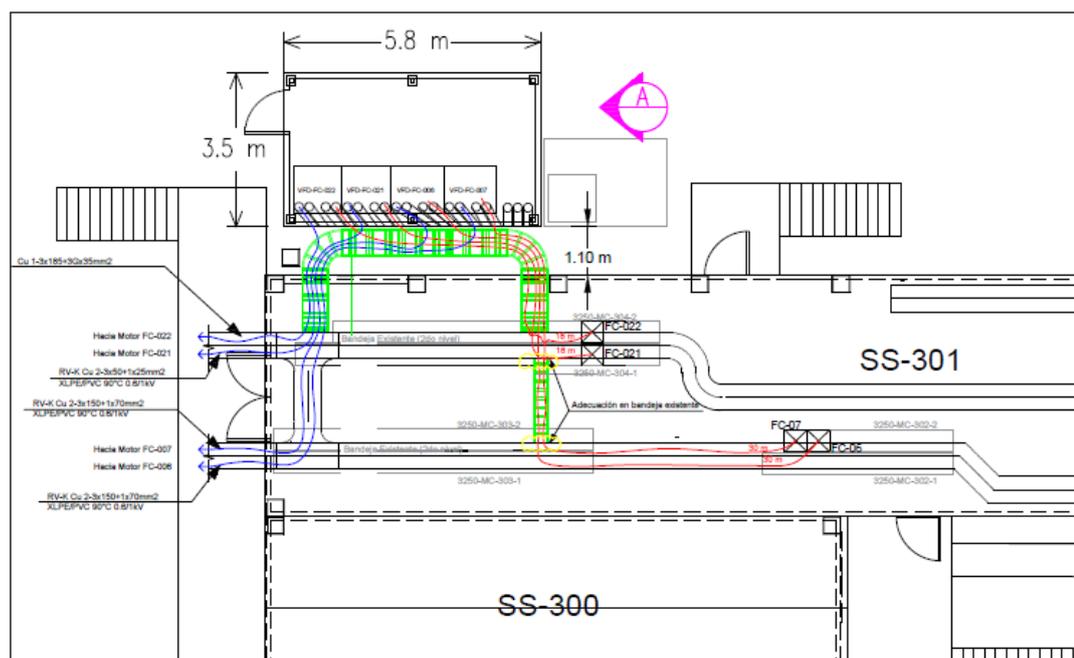
**Figura 5.12:** Vista frontal MCC (MC-302-2)  
**Fuente:** Manual Celda Flotación e300, Outotec, 2014

La instalación de los variadores de los motores de las celdas de flotación se realizara a la intemperie al costado de la sala 301 sobre una losa de concreto y con un cerceo perimétrico con malla metálica. En la **Figura 5.13** se muestra la ubicación propuesta y la condición del terreno que deberá ser acondicionado para la ubicación de la losa de concreto.



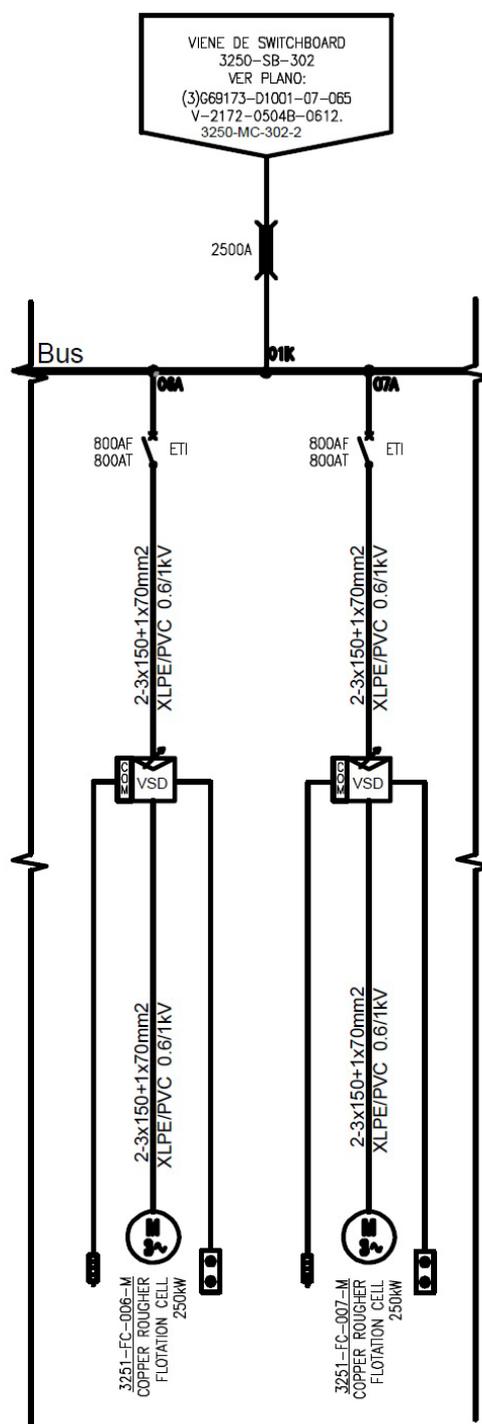
**Figura 5.13:** Propuesta de ubicación de variadores de velocidad  
**Fuente:** Elaboración propia

Con la ubicación de los variadores de los motores de las celdas de flotación se modificara la ruta de alimentación de corriente de los motores. En la **Figura 5.14** se muestra la vista de planta de la sala 301 con el detalle de la nueva ruta de alimentación.



**Figura 5.14:** Vista de planta de sala 301  
**Fuente:** Elaboración propia

En la **Figura 5.15** se muestra el nuevo diagrama unifilar que tendrán los motores de las celdas de flotación FC006 y FC007.



**Figura 5.15:** Diagrama unifilar de alimentación de motores de las Celdas FC006 y FC007

**Fuente:** Elaboración propia

En la **Tabla 5.7** se detallan las características técnicas del variador que se utilizara para los motores de las celdas de flotación FC006 y FC007.

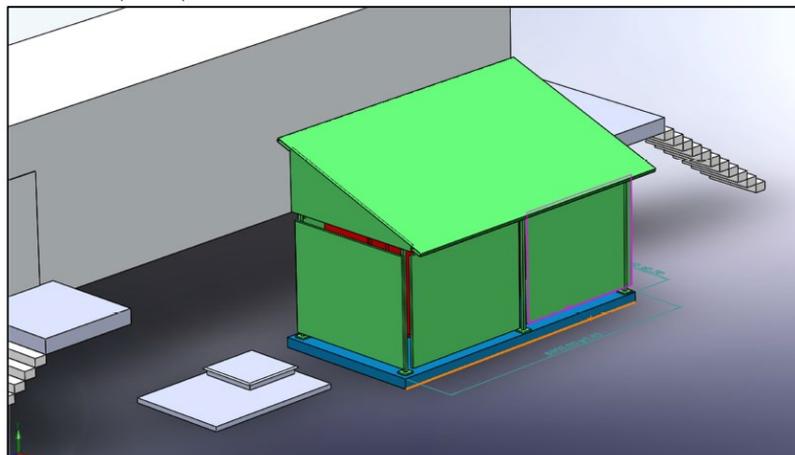
**Tabla 5.7:** Características técnicas del variador de las celdas FC007 y FC014

CARACTERÍSTICA	DETALLE
POTENCIA	350HP (258kW)
VOLTAJE	600V
VARIACIÓN DE FRECUENCIA	1% (+/-)
DESBALANCE VOLTAJE	1% (+/-)
AMPERAJE	65kA
ALTURA TRABAJO	4500 msnm
PROTECCIÓN	NEMA 3R/4
ESPESOR PLANCHA	2.5 mm
PINTURA	8 mils (epoxica)
DIMENSIONES (HXLXA)	2.4mX1.1mX1.1m
TIPO PUERTA	Con ventana protectora
SISTEMA APERTURA	Lockout
TIPO MONTAJE	Autosoportado



**Fuente:** Elaboración propia

La caseta metálica de protección de los variadores debe tener un techo con inclinación debido a que el clima tiene periodos de lluvia frecuentemente y contar con un cerco perimétrico de malla que limite su acceso. En la **Figura 5.16** se muestra un esquema del diseño a implementar.



**Figura 5.16:** Esquema de caseta de los variadores de las celdas FC006 y FC007  
**Fuente:** Elaboración propia

### 5.2.5 Selección de variador de velocidad

En el acápite anterior se detalló las características técnicas mínimas para la selección del variador de velocidad requerido para poder controlar la velocidad de giro de los motores de accionamiento de las celdas de flotación FC006 y FC007. El variador será instalado en los exteriores de la sala de control de motores, y serán dedicados para las celdas FC006 y FC007, por lo que la marca del variador no tendrá un valor relevante para la selección del equipo, pero si se consideraran mayores detalles técnicos, los cuales están detallados en la tabla de evaluación de propuestas. En la **Tabla 5.8** se muestra las características técnicas requeridas y las características ofrecidas por los diferentes proveedores que participaron del proceso de licitación.

Tabla 5.8 : Características técnicas de las propuestas de Variador

ITEM	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA	PRECISION	FAMETAL	GRTECH	OEM	GRAMSA
<b>1 GENERAL</b>							
1.01	FABRICANTE	Por el proveedor	Rockwell	Fametal	No especifica	Schneider	Weg
1.02	PROCEDENCIA	Por el proveedor	USA	Lima	No especifica	USA	Brasil
1.03	MARCA	Por el proveedor	Allen Bradley	Siemens	No especifica	Schneider	Weg
1.04	MODELO	Por el proveedor	Powerfle 755T	Sinamics G130	No especifica	ATV630	No especifica
1.05	ESTÁNDARES PRINCIPALES	ANSI / NEMA	NEMA	NEMA	No especifica	NEMA	No especifica
<b>2 SISTEMA DE POTENCIA</b>							
2.01	VOLTAJE NOMINAL [V]	460	ok	ok	ok	ok	ok
2.02	VARIACIÓN DE VOLTAJE [+/- %]	10	ok	ok	ok	ok	ok
2.03	FASES [ph]	3	ok	ok	ok	ok	ok
2.04	FRECUENCIA [Hz]	60	ok	ok	ok	ok	ok
2.05	VARIACION DE FRECUENCIA [+/- %]	1	5	1	1	5	1
2.06	DESBALANDE DE VOLTAJE [+/- %]	1	1	1	1	10	1
2.07	TIPO DE ATERRAMIENTO	Neutro Aterrado Directo	ok	ok	ok	ok	ok
<b>3 GABINETE ELECTRICO</b>							
3.01	GRADO DE PROTECCIÓN	Nema - 4	Nema - 4	Nema - 4	IP- 66	Nema - 4	Nema - 4
3.02	TIPO DE MONTAJE	Autosportado	ok	ok	ok	ok	ok
3.03	ESPESOR DE PLANCHA METÁLICA	2.5mm (minimo)	Plancha 3.0mm	Plancha LAF 2.5mm	Plancha 2.5mm	Plancha 2.5mm	Plancha 2.5mm
3.04	LOCK - OUT	SI	ok	ok	ok	ok	ok
3.05	ILUMINACIÓN INTERNA	SI	ok	ok	ok	ok	ok
3.06	RESISTENCIA DE CALEFACCIÓN						
	Suministro de Energía	Desde el propio Tablero	ok	ok	ok	ok	ok
	Tensión de Alimentación	Por el proveedor	120Vac	220Vac	110Vac	120Vac	220Vac
	Potencia	Por el proveedor	150W	150W	400W	90W	100W
	Activado por Termostato	SI	ok	ok	ok	ok	ok
3.07	ACCESO AL TABLERO	Frontal	ok	ok	ok	ok	ok
3.08	ENTRADA CABLE DE FUERZA	Inferior	ok	ok	ok	ok	ok
3.09	SALIDA DE CABLE DE FUERZA	Inferior	ok	ok	ok	ok	ok
3.10	MÉTODO DE ENFRIAMIENTO	Aire Filtrado Forzado	ok	Extractor con filtro	ok	ok	Extractor con Filtro
<b>4 INTERRUPTOR PRINCIPAL</b>							
4.01	ESTÁNDARES	UL 489 / NEMA	Nema	Nema	Nema - 4	Nema	Nema
4.02	MARCA	Por el proveedor	Allen Bradley	Siemens	Schneider	Square D	Weg
4.03	MODELO	Por el proveedor	150G	No Especifica	PJL36080U33A	LJL36600U33X	UBW
4.04	CAPACIDAD DE RUPTURA	65 kA @ 480V	65kA @ 480V	65kA @ 480V	65kA @ 480V	65kA @ 480V	65kA @ 480V
4.05	TIPO	Caja Moldeada	ok	ok	ok	ok	ok
4.06	PROTECCIÓN	Termomagnético	ok	ok	ok	ok	ok
4.07	OPERACIÓN	Manual	ok	ok	ok	ok	ok
4.08	CAPACIDAD	Por el proveedor	800A	1000A	800A	1200A	800A
4.09	SISTEMA LOCK - OUT	SI	ok	ok	ok	ok	ok
<b>5 VARIADOR DE FRECUENCIA</b>							
5.01	MARCA	Por el proveedor	Allen Bradley	Siemens	Siemens	Schneider	Weg
5.02	MODELO	Por el proveedor	Powerflex 755	SINAMICS G130	SINAMICS G130	ATV630	CFW11
5.03	TIPO TECNOLOGIA	Por el proveedor	IGBT	IGBT / PWM	IGBT	IGBT	IGBT
5.04	PULSOS	6	No especifica	6	6	6	6
5.05	SUPRESORES DE VOLTAJE						
	Marca	Por el proveedor	Allen Bradley	No Especifica	Siemens	Square D	APT
	Con Interruptor para maniobra	SI	ok	ok	ok	ok	ok
5.06	REACTOR DE ENTRADA						
	Marca	Por el proveedor	No Aplica	Siemens	Siemens	Transcoil	TCl
	Modelo	Por el proveedor	No Aplica	6SL3000	No especifica	KDRJ1L	KDRL3L
5.07	LONGITUD ENTRE VFD Y CARGA	> 150 metros					
	Reactor de Salida / Filtro dV/dT	Por el proveedor	Motor reactor	Motor reactor	Motor reactor	Filtro dV/dT	Motor reactor
	Marca	Por el proveedor	Sinware	Siemens	No especifica	Transcoil	TCl
	Modelo	Por el proveedor	No especifica	6SL3000	No especifica	V1K480	V1K600A00
5.08	MAXIMA POTENCIA @ 4500 m.s.n.m.	260 kW	ok	ok	ok	ok	ok
5.09	TEMPERATURA AMBIENTE DISEÑO	40°C	ok	ok	ok	ok	ok
5.10	ALTITUD DE TRABAJO	4500 m.s.n.m.	ok	ok	ok	ok	ok
5.11	ARMÓNICOS THI (%)	Por el proveedor	10%	3%	Menor a 24%	5%	Menor a 25%
5.12	MODOS DE CONTROL	Por el proveedor	Vectorial con o sin encoder	Vectorial sensorless / Control Adaptativo	Vectorial con o sin encoder / Vectorial de Torque / Lineal	Vectorial con o sin encoder / Vectorial de Torque / Lineal	Escalar / Vectorial de Tension / Vectorial con encoder / Vectorial sensorless

ITEM	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA	PRECISION	FAMETAL	GRTECH	OEM	GRAMSA
5.13	FUNCIONES DE PROTECCION						
	Sobrecorriente instantánea	SI	ok	ok	ok	ok	ok
	Sobrecarga de Motor	SI	ok	ok	ok	ok	ok
	Bajo Voltaje / Sobre Voltaje de Entrada	SI	ok	ok	ok	ok	ok
	Pérdida de Fase en la Entrada	SI	ok	ok	ok	ok	ok
	Sobretemperatura en el VFD	SI	ok	ok	ok	ok	ok
	Circuito Abierto en Salida del VFD	SI	ok	ok	ok	ok	ok
	Sobre / Bajo Voltaje en Salida del VFD	SI	ok	ok	ok	ok	ok
	Falla a Tierra en Salida del VFD	SI	ok	ok	ok	ok	ok
	Falla en el Circuito de Potencia	SI	ok	ok	ok	ok	ok
	Sobre Velocidad del Motor	SI	ok	ok	ok	ok	ok
	Perdida de Control	SI	ok	ok	ok	ok	ok
	Falla en el CPU	SI	ok	ok	ok	ok	ok
	Bajo / Sobre Voltaje en el DC Bus	SI	ok	ok	ok	ok	ok
	Falla en la Red de comunicación	SI	ok	ok	ok	ok	ok
	Falla en el Módulo de Potencia	SI	ok	ok	ok	ok	ok
5.14	MEDICIONES REQUERIDAS						
	Corriente de Entrada (A)	SI	ok	no	ok	ok	ok
	Corriente de Salida (A)	SI	ok	ok	ok	ok	ok
	Frecuencia de Salida (Hz)	SI	ok	ok	ok	ok	ok
	Voltajes de Entrdad (V)	SI	ok	ok	ok	ok	ok
	Voltajes de Salida (V)	SI	ok	ok	ok	ok	ok
	Potencia (Kw/HP)	SI	ok	ok	ok	ok	ok
	Energía (kW-hr)	SI	ok	ok	ok	ok	ok
	AI / AO (mA%)	SI	ok	ok	ok	ok	ok
5.15	REGISTRO DE EVENTOS	Mínimo 10	últimos 32	últimos 30	últimos 20	últimos 32	últimos 20
5.16	TECLADO Y DISPLAY CONTROL	SI	ok	ok	ok	ok	ok
5.17	COMUNICACIÓN DIGITAL CONTROL	Profibus	ok	ok	ok	ok	ok
5.18	ENTRADAS Y SALIDAS DISCRETAS	6 DI / 2 DO	ok	ok	ok	ok	ok
5.19	ENTRADAS Y SALIDAS ANALÓGICAS	2 AI / 2 AO	ok	ok	ok	ok	ok
5.20	ENTRADAS PARA RTDs	SI (8 Mínimo)	ok	ok	ok	ok	ok
5.21	ENTRADA PARA SENSOR VIBRACION	SI (1 Mínimo)	ok	ok	ok	ok	ok

Fuente: Elaboración propia

## 5.2.6 Evaluación de propuestas técnicas

Con el detalle del alcance del servicio, se realizó el proceso de licitación del suministro de los equipos y el servicio de instalación y puesta en marcha del variador de velocidad de los motores de las celdas de flotación FC006 y FC007. En la **Figura 5.17** se muestra el cuadro de evaluación técnica económica.

CRITERIO TÉCNICO	MAX	PRECISION		FAMETAL		GRTECH		OEM		GRAMSA	
REQUERIMIENTOS TÉCNICOS	2	CUMPLE	1.5	CUMPLE	1	CUMPLE	1.5	CUMPLE	2	CUMPLE	1.5
GARANTÍA	2	1 AÑO	1	1 AÑO	1	1 AÑO	1	2 AÑOS	2	1 AÑO	1
TIEMPO DE ENTREGA	2	13 SEMANAS	1.4	12 SEMANAS	1.5	14 SEMANAS	1.3	12 SEMANAS	1.5	9 SEMANAS	2
		3.9		3.5		3.8		5.5		4.5	
CRITERIO ECONÓMICO	MAX	PRECISION		FAMETAL		GRTECH		OEM		GRAMSA	
COSTO (\$)	2	179095.1		114759.45		85729.2		48700.0		56527.1	
		0.5		0.8		1.1		2.0		1.7	
EVALUACION TÉCNICA	60%	2.33		2.10		2.27		3.30		2.70	
EVALUACION ECONÓMICA	40%	0.22		0.34		0.45		0.80		0.69	
		2.55		2.44		2.73		4.10		3.39	

**Figura 5.17:** Evaluación técnica económica de propuestas de instalación de variador  
**Fuente:** Elaboración propia

Con la definición del proveedor se inició el proceso de levantamiento de información en campo para realizar un replanteo y una propuesta final de ingeniería.

En el **Anexo 3** se muestran las características técnicas de la propuesta seleccionada.

### 5.3 Arquitectura final del sistema de control accionamiento de giro

El sistema de accionamiento de giro de las celdas de flotación FC006 y FC007 tiene dos componentes: sistema de fuerza y el sistema de control, los cuales van a permitir que el motor que acciona el giro pueda variar su velocidad.

#### 5.3.1 Sistema de Fuerza Final

El variador de velocidad se instala en la línea de alimentación de energía de manera serial entre la barra de distribución de la sala 301 y la alimentación de corriente de los motores de las celdas de flotación FC006 y FC007. En la **Figura 5.18** se muestra el diagrama unifilar modificado.

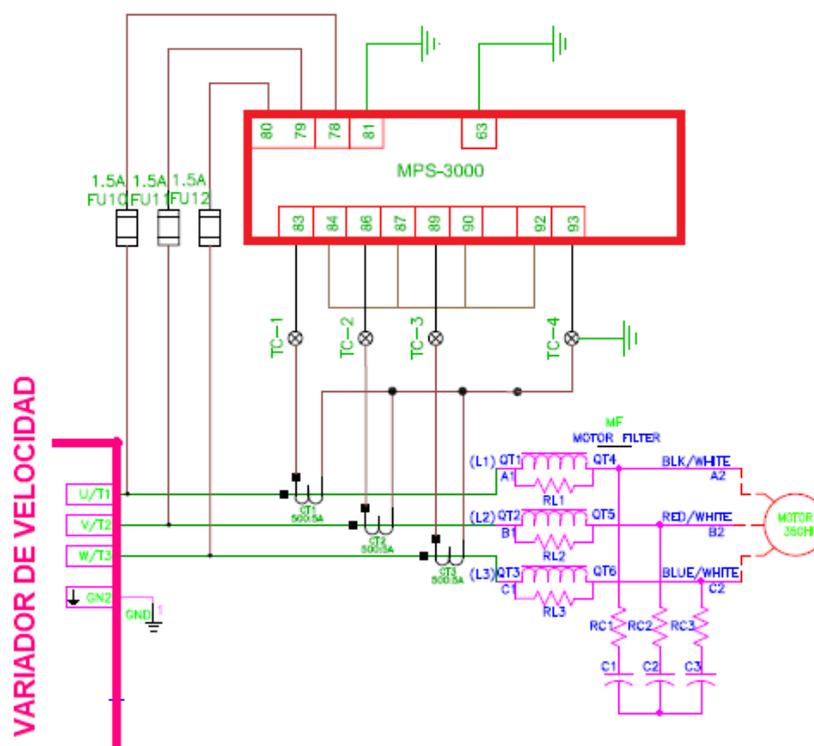


### 5.3.2 Sistema de Control Final

Las características técnicas de los componentes que forman parte del sistema de control se encuentran detallados en el **Anexo 3**, y forman parte de la propuesta técnica seleccionada en el acápite **5.2.5**. La cual cumple con los requerimientos técnicos especificados en la etapa de diseño para poder realizar el control de velocidad óptimo del motor de accionamiento de una celda de flotación e300.

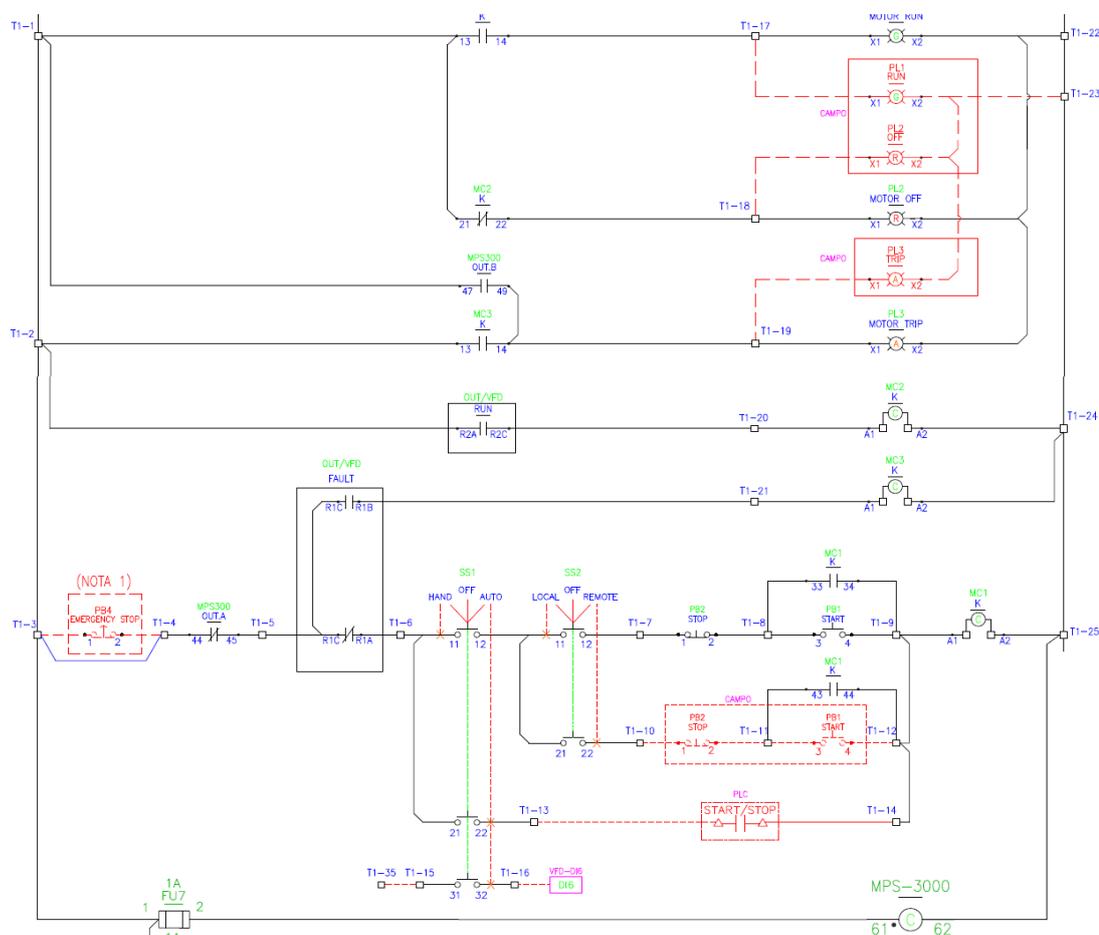
La caseta metálica de protección de los variadores debe tener un techo con inclinación debido a que el clima tiene periodos de lluvia frecuentemente y contar con un cerco perimétrico de malla que limite su acceso. El tablero del sistema de control tiene los siguientes elementos:

**A. Sistema de Medición de Energía:** Recibe las señales de corriente y voltaje con las que es alimentado el motor de accionamiento de la celda de flotación y las procesa para el monitoreo en línea. El equipo utilizado es el medidor de energía MPS-3000 (SOLCON) que por medio de su display nos indica el voltaje, la corriente y la potencia con la cual está siendo alimentado el motor de accionamiento. En la **Figura 5.19** se muestra las conexiones entre el sistema medidor de energía y el variador de velocidad.



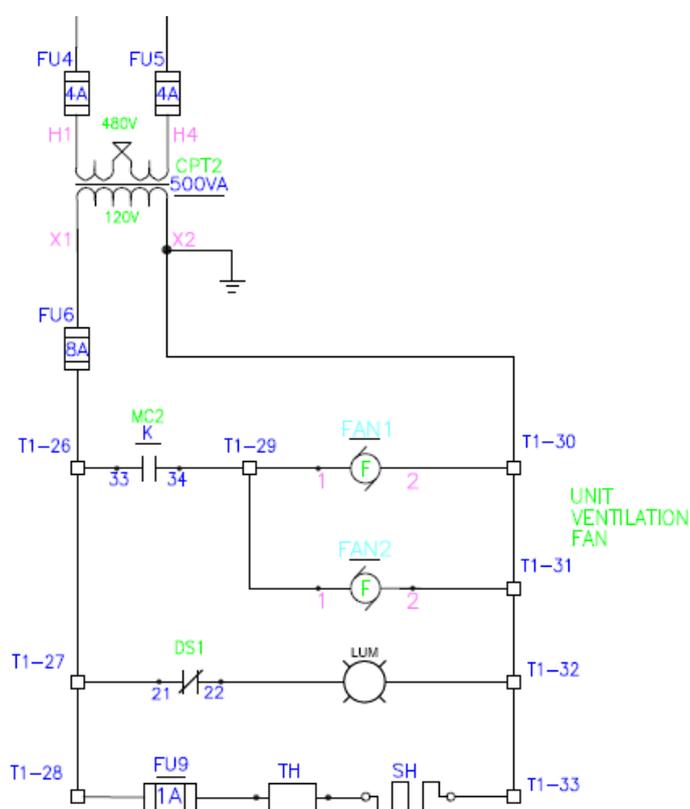
**Figura 5.19:** Conexión entre el medidor de energía y el variador de velocidad  
**Fuente:** Elaboración propia

**B. Sistema de Mando de Potencia:** El tablero del variador de velocidad es un sistema autoalimentado que utiliza la energía de alimentación principal para alimentar a los diferentes sistemas periféricos. El sistema utiliza voltaje de 120V, que es tomado de la línea principal de 480V, el cual alimenta a los pulsadores de arranque y parada locales y a los led indicadores de estado de alimentación del variador. Este mando es el que da pase para que el variador pueda trabajar, el mando tiene un selector que permite un arranque remoto. En la **Figura 5.20** se muestra el diagrama de mando de fuerza del variador.



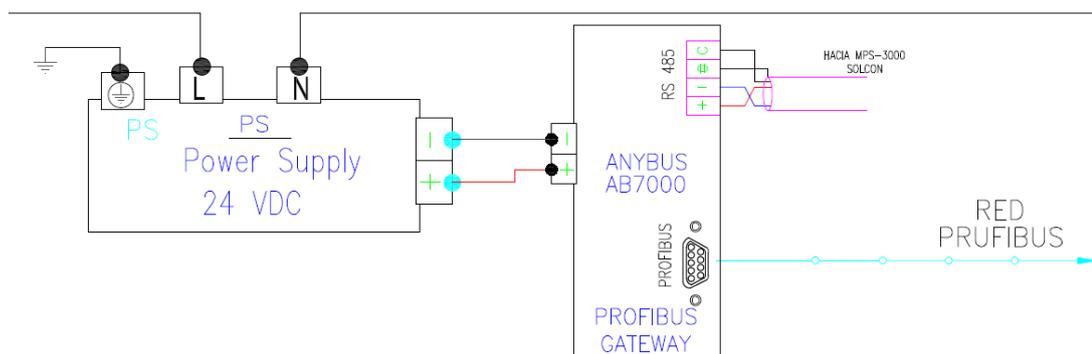
**Figura 5.20:** Diagrama de mando de fuerza del variador de velocidad  
**Fuente:** Elaboración propia

**C. Sistema de enfriamiento:** Conformado por dos ventiladores que refrigeran todo el tablero, son alimentados con un voltaje de 120V, que es tomado de la línea principal de 480V. Los ventiladores funcionan de forma paralela con el variador cuando recibe el pase de arranque por el mando de arranque de fuerza. En la **Figura 5.21** se muestra el diagrama de mando del sistema de enfriamiento del tablero autosoportado.



**Figura 5.21:** Diagrama de mando de sistema de enfriamiento de tablero autoportado  
**Fuente:** Elaboración propia

**D. Sistema de comunicación:** El tablero del variador de velocidad cuenta con un módulo de comunicación profibus que permite enviar las señales del medidor de energía a puntos remotos. El equipo utilizado es el AB7000 (HMS) que funciona con un voltaje de 24VDC, que es tomado de la línea principal de 480V, y se comunica con el medidor de energía MPS300 por una interfaz del tipo RS485 que utiliza un protocolo de comunicación Modbus. En la **Figura 5.22** se muestra el diagrama de conexión entre el medidor de energía MPS300 y el módulo de comunicación AB7000.



**Figura 5.22:** Diagrama de conexión entre MPS300 y AB700  
**Fuente:** Elaboración propia

**E. Sistema de variación de velocidad:** El equipo principal del tablero autosoportado que integra todos los sistemas anteriormente mencionados para generar la señal de salida de voltaje que permite regular la velocidad de giro del motor de accionamiento del agitador de las celdas de flotación rougher. El equipo utilizado es el ATV630 (Schneider Electric) que es alimentado de la línea principal de 460V y tiene un rectificador de línea como protección del variador ATV6300.

El variador ATV6300 es configurado por medio del terminal VW3A1111 (Schneider Electric) que se encuentra empotrado al tablero autosoportado y se comunica con el variador ATV6300 por una interfaz RJ45 que utiliza un protocolo de comunicación Ethernet. El terminal permite seleccionar el modo de operación del variador (Remota/Local), La variación remota se realiza mediante señales de control enviadas por un PLC y para el control local se realiza por un potenciómetro que se encuentra empotrado al tablero autosoportado.

El variador ATV6300 cuenta con un módulo de comunicación directo que permite llevar todas las señales hacia un punto remoto

utilizando las siguientes interfaces: RJ45 (Modbus), RJ45 (Ethernet) y DB9 (Profibus). En la figura X se muestra el diagrama de conexión del variador con los sistemas periféricos.

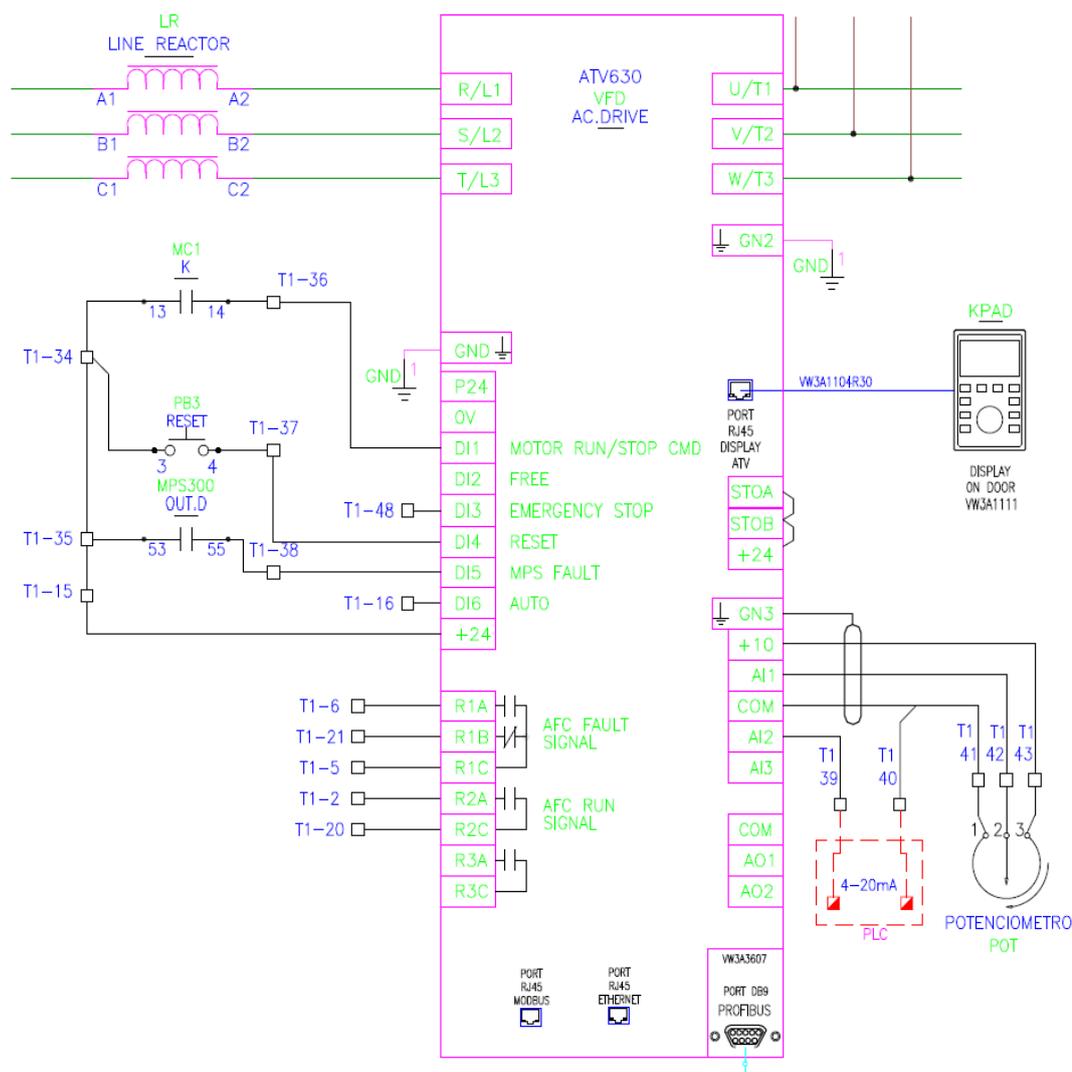
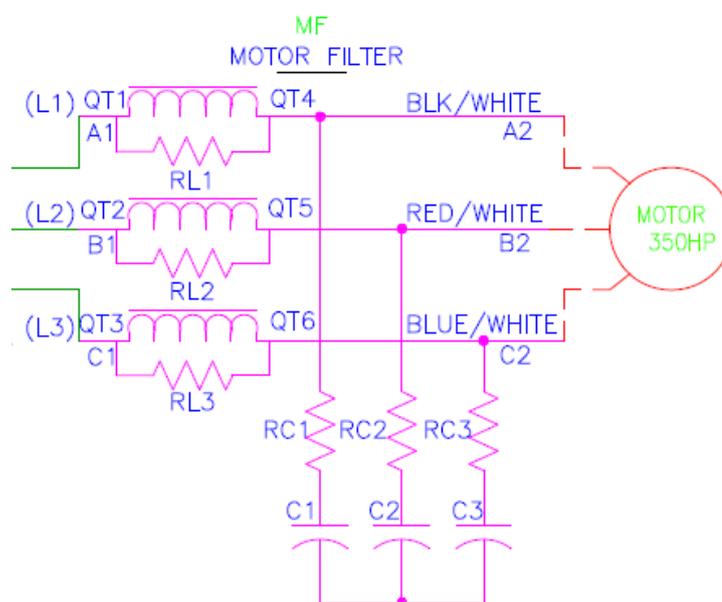


Figura 5.23: Diagrama de conexión del variador y sistemas periféricos

Fuente: Elaboración propia

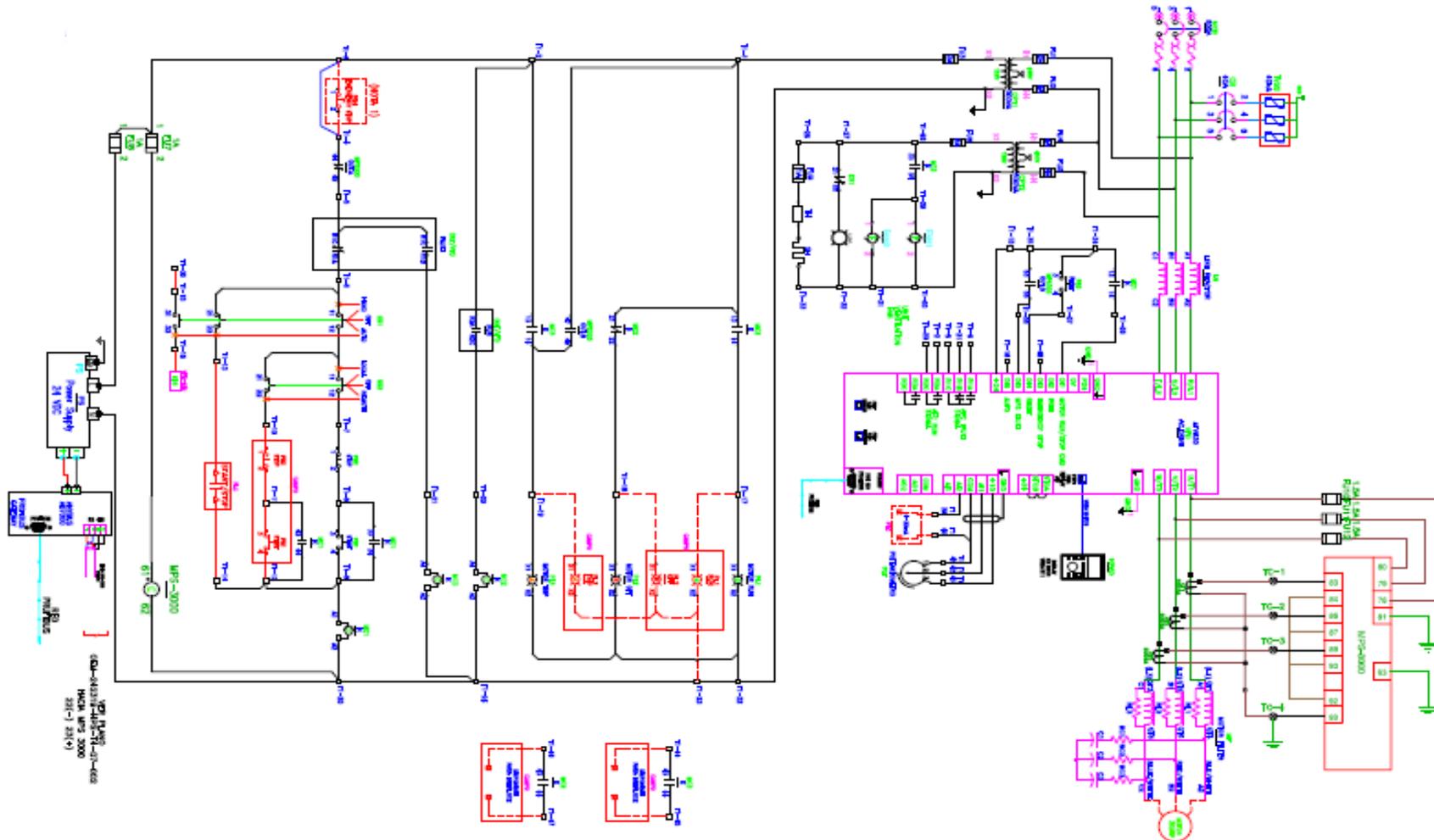
**F. Sistema de rectificación de salida:** La señal de salida del variador ATV6300 alimenta al motor de accionamiento del agitador de la celda de flotación tendrá armónicos que pueden dañar los componentes internos del motor. Por ello antes de su salida se

encuentra dentro del tablero autosoportado un juego de resistencias, condensadores y bobinas que permiten limpiar la señal de salida del variador y proteger al motor eléctrico ante alguna variación en la señal de voltaje. En la **Figura 5.24** se muestra el esquema del sistema de rectificado de señal de salida de voltaje.



**Figura 5.24:** Esquema de rectificado de señal de salida del variador  
**Fuente:** Elaboración propia

En la **Figura 5.25** se muestra un esquema del diseño del sistema de control a implementar.



**Figura 5.25:** Diagrama de sistema de control de variador de velocidad de las celdas de flotación FC006 y FC007

**Fuente:** Elaboración propia

## **CAPÍTULO VI**

### **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Las pruebas del trabajo de investigación tiene dos etapas: La primera etapa, consiste en las pruebas en el sistema de fuerza y control del accionamiento de antes de su conexión con el motor de accionamiento de las celdas de flotación FC006 y FC007, esta etapa es importante porque debemos asegurar que el sistema de accionamiento no se vera afectado durante la prueba porque las celdas forman parte de un banco de celdas y una falla de estos motores originara una parada de línea de producción.

La segunda etapa, consiste en realizar las pruebas de recuperación en diferentes escenarios que definimos por un periodo de tiempo. Las pruebas de recuperación de concentrado en diferentes puntos de velocidad son realizadas mientras la producción de concentrado de cobre continua. Por lo que la definición de los escenarios de prueba dependerá de las condiciones operativas de la planta y de la capacidad de los motores instalados en las celdas de flotación FC006 y FC007.

## 6.1 Pruebas del Variador

El sistema de accionamiento de giro tiene que pasar por pruebas eléctricas y de control antes de su puesta en marcha en operación para asegurar su funcionamiento durante las pruebas metalúrgicas.

### 6.1.1 Protocolos de prueba del sistema de Fuerza

Las pruebas se realizan entre la alimentación eléctrica de los motores de las celdas de flotación (FC006 y FC007), el variador de velocidad y la alimentación desde la sala 301.

**A. Prueba de Continuidad de Cables:** Prueba realizada con el circuito sin energía utilizando el equipo probador de circuitos FLUKE 789. En el **Anexo 5** y **Anexo 6** se muestran los resultados de las pruebas realizadas las celdas FC006 y FC007 respectivamente.

**B. Prueba de Aislamiento:** Prueba realizada para medir la eficacia del aislamiento del cable con el objetivo de asegurar que no ocurra un cortocircuito, una descarga eléctrica o un incendio. La prueba se realiza con el equipo megómetro MEGABRAS MD10KVX. En el **Anexo 7** y **Anexo 8** se muestran los resultados de las pruebas realizadas a las celdas FC006 y FC007.

**C. Prueba de Puesta a Tierra:** Prueba realizada para medir la seguridad de las instalaciones con el objetivo de asegurar que no ocurran descargas eléctricas al personal y a los equipos. La prueba se realiza con el equipo telurómetro MEGABRAS MTD20KWE. En el **Anexo 9** se muestra el protocolo de sistema de puesta a tierra de

toda la malla instalada para los variadores de las celdas FC006 y FC007.

En la **Figura 6.1** se muestra el tablero de alimentación eléctrica de la celda de flotación FC006 energizado.



**Figura 6.1:** Tablero de Alimentación Eléctrica de celda de flotación FC006 energizado  
**Fuente:** Elaboración propia

### 6.1.2 Protocolos de prueba del sistema de Control

Las pruebas del sistema de control de velocidad de los motores de las celdas de flotación (FC006 y FC007) consisten en la medición de la continuidad de las señales de monitoreo con los equipos de control que forman parte del variador y de la programación de los controladores del sistema de variación de velocidad (ATV6300) y medición de señales de energía (MPS3000). En el **Anexo 10** y **Anexo 11** se muestran las actividades de verificación a realizarse antes de poner en marcha los

variadores de velocidad de las celdas de flotación FC006 y FC007 respectivamente.

**A. Pruebas de Controlador de velocidad (ATV6300):** Se verifica las conexiones entre el controlador y los sistemas periféricos midiendo su continuidad entre puntos, medición del voltaje de salida del controlador y los circuitos de arranque / parada. Se ingresan los parámetros de operación de variador de velocidad utilizando el software SOMOVE (Schneider Electric). En el **Anexo 12** y **Anexo 13** se muestran los parámetros de programación utilizados en el controlador ATV6300 para los variadores de las celdas de flotación FC006 y FC007 respectivamente.

**B. Prueba de Registrador de Energía (MPS3000):** Se verifica la conexión entre el controlador y la línea de alimentación eléctrica al motor de accionamiento. Se ingresan los parámetros de operación del registrador utilizando el software SOLCONTROL (Solcon). En el **Anexo 14** y **Anexo 15** se muestran los parámetros programación utilizados en el registrador de energía MPS3000 de los variadores de velocidad de las celdas de flotación FC006 y FC007 respectivamente.

En la **Figura 6.2** se muestra el display del variador de la celda de flotación FC006 en funcionamiento donde se detalla la frecuencia de operación 66Hz y con el valor de la corriente de operación el cual se encuentra con un 85% de su carga máxima.



**Figura 6.2:** Display de variador de celda de flotación FC006 en operación  
**Fuente:** Elaboración propia

## 6.2 Pruebas de Recuperación

Para encontrar la relación entre la velocidad de giro del sistema de accionamiento y el porcentaje de recuperación de concentrado de cobre se tiene que realizar pruebas en operación. La recuperación de concentrado dentro de una celda de flotación tiene un periodo de estabilidad el cual depende de las variables de operación que fueron mencionadas en el capítulo 2 y de la experiencia del operador de la sala de control.

Por lo tanto, encontrar la relación entre las variables dependiente e independiente del presente trabajo de investigación requiere la evaluación del proceso de flotación en un determinado periodo y bajo condiciones de operación estables que permita realizar una correcta correlación.

Adicional a la velocidad de giro del sistema de accionamiento se utilizó el flujo de aire que ingresa a la celda, el cual también tiene un importante efecto en la

recuperación y durante el periodo de prueba el nivel dentro de la celda de flotación fue constante.

### **6.2.1 Proceso de muestreo**

El tipo de material que ingresa a la planta concentradora proviene de la mina, la cual tiene un programa de minado que de acuerdo a nuestra operación permite tener un tipo de material constante por un periodo máximo de dos días.

Las pruebas de recuperación se realizan con la planta operando y al trabajar bajo condiciones diferentes la recuperación del concentrado de cobre no es la óptima y para no afectar la producción de la planta concentradora se definió realizar las pruebas durante un periodo de 8 horas en un día.

El tiempo de estabilización del proceso de recuperación de concentrado en las celdas de flotación de nuestra unidad de análisis toma entre 15 a 20 minutos. Un proceso de flotación estable se logra cuando se forma una película de burbujas sobre toda la superficie superior del concentrado contenido dentro del tanque y la confirmación es visual.

El muestreo se realiza de manera manual y cada muestra debe ser trasladada al laboratorio y ser procesada para encontrar los valores de concentrado de cobre, este proceso toma 40 minutos.

Considerando estos 3 puntos: Tiempo de duración de prueba, tiempo de estabilización y tiempo de procesamiento de muestras se definió realizar 7 muestras por día.

El régimen de servicio de los motores de accionamiento de las celdas de flotación FC006 y FCC007 es del tipo S1. En la **Figura 6.3** se muestra la placa del motor típico instalado en las celdas de flotación rougher.



**Figura 6.3:** Placa de motor de accionamiento de la celda de flotación Rougher

El régimen de servicio está definido por la norma IEC 60034-I y especifica que el régimen de servicio tipo S1 es de servicio continuo: carga constante en el tiempo necesaria para que alcance su equilibrio térmico, por lo que no se encuentran preparados para trabajar con velocidades variables. Por lo que se define realizar las pruebas de variación de velocidad con un margen de +/-10% del valor nominal de su frecuencia de diseño para no dañar el equipo mientras se realizan la pruebas.

El Flujo de alimentación de aire promedio en nuestras celdas de flotación de nuestra unidad de análisis es de 1050 m<sup>3</sup>/hr. El efecto de no contar con un flujo de aire en el proceso de flotación ocasiona que la celda de arene y por lo tanto se tendría que parar toda la línea de producción para realizar la limpieza de la celda. El efecto de contar con un flujo de aire en exceso origina que el porcentaje de recuperación disminuya y se pierde eficiencia en el proceso. Estos valores de flujo para nuestras celdas de flotación se encuentran definidos y tienen un rango de 800m<sup>3</sup>/hr como valor

mínimo y 1400m<sup>3</sup>/hr como valor máximo con una velocidad de giro de rotor constante (69 RPM). Para nuestras pruebas definimos realizar escenarios con un margen de variación +/-15% del flujo de ingreso de aire promedio para asegurar encontrarnos dentro del margen de funcionamiento óptimo de la celda.

Teniendo en cuenta todas las premisas anteriores se preparan los 14 escenarios considerando diferentes valores para las 2 variables que afectan a la recuperación de concentrado y se muestran en la **Tabla 6.1**.

**Tabla 6.1:** Valores de operación en puntos de muestreo

PUNTO	FLUJO (m <sup>3</sup> /H)	FRECUENCIA CORRIENTE ROTOR (Hz)	VELOCIDAD ROTOR (RPM)	VELOCIDAD CORTE ROTOR (m/s)
1	944	63.5	74	6.7
2	1156	56.5	65	6.0
3	944	56.5	65	6.0
4	1156	63.5	74	6.7
5	1050	60	69	6.4
6	1050	60	69	6.4
7	1050	60	69	6.4
8	900	60	69	6.4
9	1050	60	69	6.4
10	1050	60	69	6.4
11	1050	55	64	5.8
12	1050	65	75	6.9
13	1050	60	69	6.4
14	1200	60	69	6.4

**Fuente:** Elaboración propia

En cada escenario de las pruebas de recuperación de las celdas de flotación se realiza la toma de 3 muestras en cada una de las celdas, y todos los valores obtenidos son promediados con el objetivo de equilibrar inestabilidades y lograr una mayor representatividad de la muestra.

Todas estas muestras son analizadas en el laboratorio de la unidad concentradora y los resultados nos detallan el porcentaje de metales que

contiene cada muestra. En la **Tabla 6.2** se muestra los resultados obtenidos de la composición del concentrado recuperado.

**Tabla 6.2:** Valores de porcentaje de metales en concentrado de recuperación

PUNTO	CuT (%)	Mo (%)	Pb (%)	Zn (%)	FeT (%)	Ins (%)
1	4.34	0.181	0.41	1.36	30.1	23.9
2	4.20	0.152	0.25	0.62	26.7	34.5
3	7.02	0.184	0.31	0.63	32.5	22.0
4	3.83	0.133	0.26	0.81	28.8	32.7
5	3.72	0.135	0.31	1.20	23.0	42.4
6	2.24	0.102	0.26	0.79	14.8	55.0
7	3.71	0.187	0.59	1.43	20.5	48.6
8	6.86	0.186	0.26	0.44	29.2	47.6
9	5.34	0.157	0.19	0.35	23.4	42.6
10	4.05	0.188	0.24	0.36	19.9	49.5
11	2.04	0.063	0.16	0.46	11.7	60.1
12	5.07	0.248	0.50	0.99	28.6	33.6
13	4.11	0.217	0.18	0.44	22.8	45.1
14	4.77	0.185	0.12	0.17	14.8	59.2

**Fuente:** Elaboración propia

El muestreo del concentrado de alimentación a las celdas de flotación tiene el mismo procedimiento que el muestreo de concentrado recuperado. Las muestras son tomadas cerca a los dardos de control de nivel de la celda anterior que son a su vez el punto de ingreso de concentrado a las celdas rougher que forman parte de nuestro informe.

### 6.2.2 Resultados Metalúrgicos

Con los datos obtenidos en los puntos de muestreo definidos procedemos a evaluar la recuperación de concentrado de cobre en los diferentes escenarios. El valor obtenido de la recuperación de concentrado de cobre es un valor promedio encontrado en las muestras que se toman en las celdas FC006 y FC007 de concentrado de cobre.

En el capítulo 2 se detalló que el proceso de flotación depende de varias variables para encontrar ser un proceso eficiente, para nuestro análisis las variables que podemos controlar durante las diferentes condiciones de operación son el porcentaje de frecuencia de voltaje de alimentación del motor de accionamiento de giro y el flujo de ingreso de aire a las celdas de flotación.

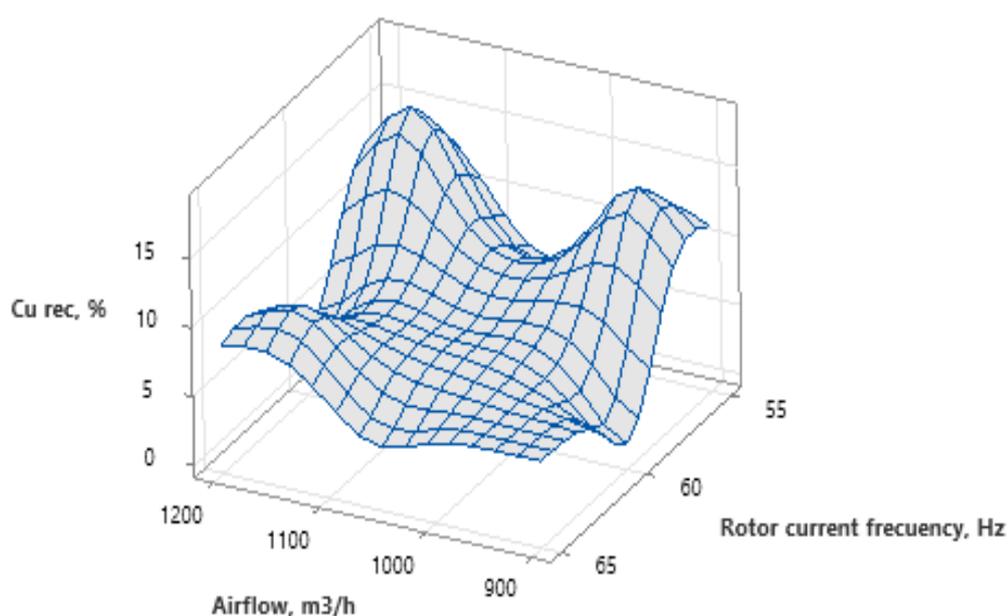
En la **Tabla 6.3** se muestran los resultados finales del muestreo realizado donde se detallan las condiciones operativas de la celda de flotación en cada muestreo. Se está incluyendo en la tabla la cantidad de adición de reactivos que se utilizan para mantener el proceso de flotación de manera estable, el tonelaje de alimentación y el tamaño de sólidos contenidos en el concentrado de alimentación.

**Tabla 6.3:** porcentaje concentrado de Cobre y condiciones operativas en los puntos de muestreo.

PUNTO	FLUJO (m <sup>3</sup> /H)	FRECUENCIA CORRIENTE ROTOR (Hz)	VELOCIDAD		P80 (um)	%CU INGRESO	PH	COLECTOR (gr/T)	ESPUMANTE (ml/min)	DIA	HORA	Concentrado	Concentrado
			ROTOR (RPM)	TONELAJE								Recuperado Cu (%)	Recuperado Mo (%)
1	944	63.5	74	2810	125	0.19	11.2	14	180	05-Sep	10:40 - 11:00	5.3	2.6
2	1156	56.5	65	2140	142	0.27	11.2	14	180	05-Sep	11:30 - 11:50	16.7	1.5
3	944	56.5	65	2200	159	0.36	11.2	14.0	180	05-Sep	12:15 - 12:40	14.7	6.3
4	1156	63.5	74	2155	147	0.31	11.2	14	180	05-Sep	13:50 - 14:15	10.1	7.5
5	1050	60.0	69	2200	138	0.29	11.3	14	180	05-Sep	14:55 - 15:20	10.2	6.5
6	1050	60.0	69	2220	139	0.28	11.5	14	250	05-Sep	15:30 - 15:55	0.2	3.5
7	1050	60.0	69	1870	141	0.25	11.5	14	250	05-Sep	16:05 - 16:30	1.1	3.4
8	900	60.0	69	2180	151	0.24	10.9	12	324	06-Sep	8:25 - 9:00	1.0	2.1
9	1050	60.0	69	2160	151	0.27	11.3	12	324	06-Sep	9:25 - 9:50	3.3	6.0
10	1050	60.0	69	2170	154	0.25	11.3	12	180	06-Sep	10:35 - 10:55	18.5	1.1
11	1050	55.0	64	1915	132	0.27	11.5	12	180	06-Sep	11:45 - 12:10	6.0	2.7
12	1050	65.0	75	2190	139	0.28	11.4	12	180	06-Sep	12:40 - 13:05	3.7	1.1
13	1050	60.0	69	2000	127	0.26	11.5	21	180	06-Sep	16:30 - 16:50	5.3	1.1
14	1200	60.0	69	1857	123	0.37	11.5	21	324	06-Sep	17:15 - 17:40	3.6	1.7

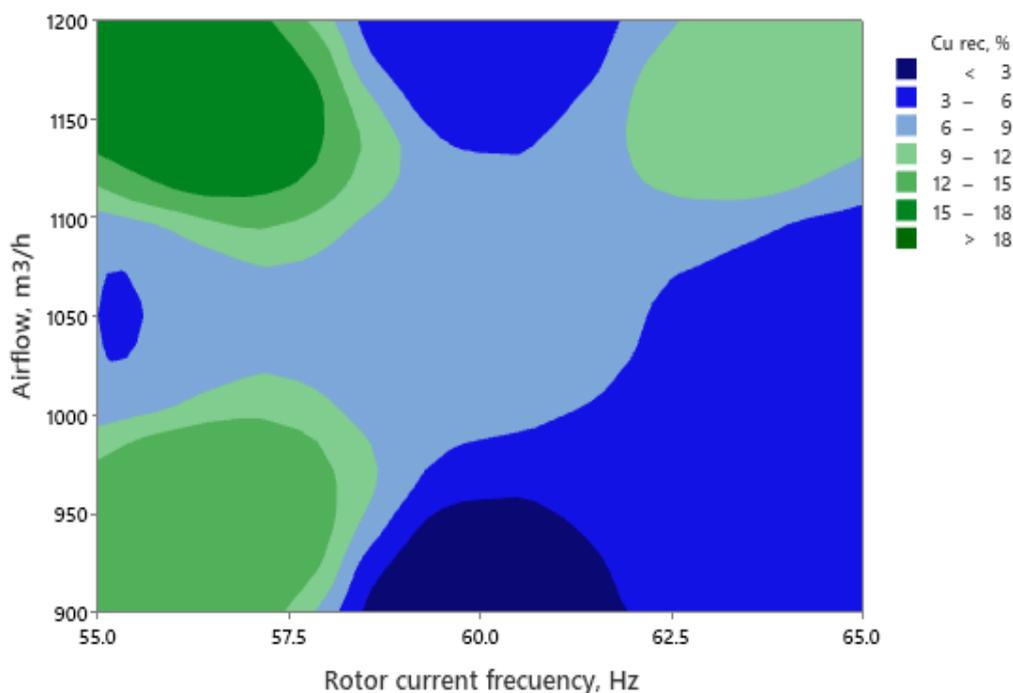
Fuente: Elaboración propia

Con los valores porcentaje de cobre recuperado encontrados procedemos a construir una gráfica de superficie considerando en el eje X el flujo de ingreso de aire ( $m^3/hr$ ) y en el eje Y el porcentaje de variación de frecuencia de voltaje de alimentación del motor de accionamiento del eje de la ceda (Hz). En la **Figura 6.4** se muestra los resultados obtenidos:



**Figura 6.4:** Grafica de superficie de porcentaje recuperación de cobre  
**Fuente:** Elaboración propia

En la **Figura 6.4** no se puede observar una relación directa entre ambas variables con el porcentaje de recuperación de cobre, como se explicó en el capítulo 2 el proceso de flotación depende de varias variables, por ello procederemos a utilizar una gráfica de contorno donde se observara las zonas donde se llega a encontrar los valores máximos de porcentaje de recuperación de cobre. En la **Figura 6.5** se muestran estos resultados.



**Figura 6.5:** Gráfica de contorno de porcentaje de recuperación de cobre.  
**Fuente:** Elaboración propia

Con la gráfica de contorno podemos observar que existe una zona donde el porcentaje de recuperación se incrementa y está definida con los valores de frecuencia menores a 57.5 Hz y considerando un ingreso de flujo de aire de 1200m<sup>3</sup>/hr. Con estas dos combinaciones de variables obtenemos los mayores porcentajes de recuperación de concentrado de cobre y en el área donde el porcentaje recuperación es menor se ubica en las zonas de mayor frecuencia y con un menor ingreso de aire.

### 6.2.3 Consumo de potencia.

Durante las pruebas de variación de velocidad del rotor de las celdas de flotación, se midió la potencia promedio de los motores en las celdas FC006 y FC007 utilizando el modulo registrador de energía (MPS3000). En

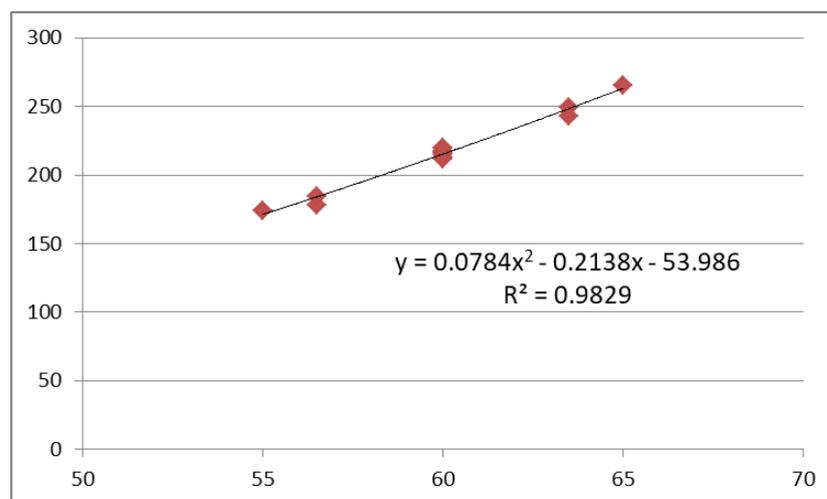
la **Tabla 6.4** se muestran los valores registrados de potencia por cada motor en los diferentes escenarios definidos en nuestro proceso de muestreo.

**Tabla 6.4:** Potencia de los motores de las celdas FC006 y FC007

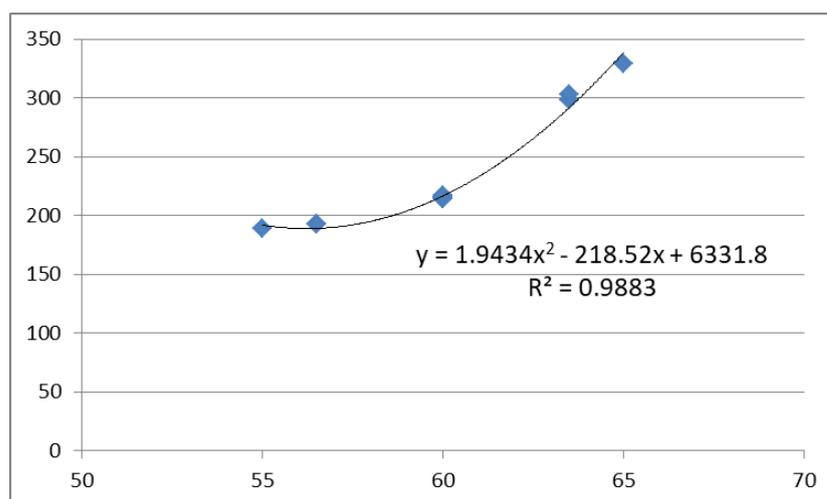
PUNTO	FRECUENCIA CORRIENTE ROTOR (Hz)	DIA	HORA	POTENCIA FC006 (kW)	POTENCIA FC007 (kW)
1	63.5	05-Sep	10:40 - 11:00	249.4	298.3
2	56.5	05-Sep	11:30 - 11:50	178.2	192.5
3	56.5	05-Sep	12:15 - 12:40	184.8	192.7
4	63.5	05-Sep	13:50 - 14:15	242.5	302.7
5	60.0	05-Sep	14:55 - 15:20	216.2	215.2
6	60.0	05-Sep	15:30 - 15:55	216.3	215.1
7	60.0	05-Sep	16:05 - 16:30	217.1	215.1
8	60.0	06-Sep	8:25 - 9:00	214.9	213.9
9	60.0	06-Sep	9:25 - 9:50	211.4	214.9
10	60.0	06-Sep	10:35 - 10:55	212.4	214.6
11	55.0	06-Sep	11:45 - 12:10	173.8	189.4
12	65.0	06-Sep	12:40 - 13:05	265.5	329.1
13	60.0	06-Sep	16:30 - 16:50	219.5	215.3
14	60.0	06-Sep	17:15 - 17:40	219.3	216.6

**Fuente:** Elaboración propia

Con los valores obtenidos procedemos a elaborar la curva de relación entre la potencia y la frecuencia de voltaje de alimentación del motor de cada una de las celdas de flotación que forman parte de nuestro informe. En la **Figura 6.6** y **Figura 6.7** se muestra la gráfica de relación y la función que relaciona estos dos parámetros por cada motor.



**Figura 6.6:** Frecuencia Alimentación vs Potencia del motor FC006  
**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 6.7:** Frecuencia Alimentación vs Potencia del motor FC007  
**Fuente:** Elaboración propia

Con los valores obtenidos podemos confirmar que el incremento de la frecuencia de voltaje de alimentación tiene una relación directa con el consumo de energía que el motor tendrá para poder brindar la velocidad que es seteada durante la pruebas. Estos valores nos dan un indicador de la eficiencia que se logra disminuyendo la velocidad del rotor, ya que trabajar los motores de accionamiento de las celdas de flotación a menores velocidades implica un menor consumo de energía eléctrica y como se

mostró en la **Figura 6.5** existe una zona con menor velocidad donde se tiene un mayor porcentaje de recuperación.

De lo mostrado anteriormente, validamos la hipótesis general respecto al control de accionamiento de giro incrementara el porcentaje de recuperación en una celda de flotación de concentrado de cobre de 300m<sup>3</sup>. El porcentaje de recuperación de concentrado de cobre con una velocidad de giro nominal (60Hz) se encuentra entre 3% al 6%, bajo las mismas condiciones de flujo de aire con velocidades de giro menores (55Hz) la recuperación de concentrado de cobre se encuentra entre el 15% al 18%, con lo cual la validación de la hipótesis es positiva.

## CONCLUSIONES

- Se logró diseñar e implementar un sistema de control de velocidad de giro del motor de accionamiento de rotor de una celda de flotación de concentrado de cobre de 300m<sup>3</sup> de capacidad que permitió realizar las pruebas de recuperación de concentrado de cobre en diferentes escenarios sin afectar la producción de la planta concentradora.
- Se demostró que el porcentaje de recuperación y el consumo de energía de los motores de accionamiento bajo condiciones de ingreso de flujo de aire constante tienen una variación con respecto a la velocidad de giro del rotor de una celda de flotación de concentrado de cobre de 300m<sup>3</sup> de capacidad. En condiciones de flujo de aire mayores a la de diseño, el porcentaje de recuperación de concentrado de cobre se incrementa al disminuir la velocidad y en condiciones de flujo de aire menores a la de diseño, el porcentaje de recuperación de concentrado se incrementa al disminuir la velocidad, sin embargo el incremento de recuperación de la segunda condición es menor al de la primera condición. En ambas condiciones de incremento de porcentaje de recuperación de concentrado de cobre el consumo de energía del motor de accionamiento de giro de las celdas de flotación es menor.
- La relación entre el flujo de ingreso del aire y la velocidad de giro del rotor (variables independientes) no son linealmente dependientes del porcentaje de recuperación de concentrado de cobre (variable

dependiente) por lo que se utilizó las gráficas de contorno para realizar el análisis de tendencia de dos variables independientes y encontrar zonas mínimas y máximas de la variable dependiente.

- El porcentaje de recuperación de concentrado de cobre en una celda de flotación no solo depende de la velocidad de giro del rotor y del flujo de aire de flotación, sin embargo para nuestro sistema de flotación son las dos variables más fáciles de poder controlar.
- Se concluye que la hipótesis “El control de accionamiento de giro incrementara el porcentaje de recuperación, en una celda de flotación de concentrado de cobre de 300m<sup>3</sup>” es verdadera.

## RECOMENDACIONES

- Incrementar el tiempo de duración de las pruebas de recuperación con velocidades variables con el objetivo de incrementar la cantidad de escenarios de muestreo para poder construir una curva más ajustada que relaciona las variables independientes con la variable dependiente.
- Instalar un motor eléctrico de alta eficiencia con aislamiento de clase F que permita trabajar el motor de accionamiento del rotor con un mayor rango de variación de velocidad sin poner en riesgo la operación de la celda de flotación.
- Programar dentro del sistema de control del proceso de la planta concentradora el mando remoto de control de velocidad de los variadores de los motores de las celdas de flotación FC006 y FC007 para que la variación de velocidad sea seteada desde la sala de control.
- Realizar las pruebas de porcentaje de recuperación con velocidad variable en celdas de flotación anteriores a las celdas que han sido parte del presente estudio. Las últimas celdas de un banco de celda tienen menor porcentaje de recuperación en comparación con las primeras celdas de un banco de celdas.

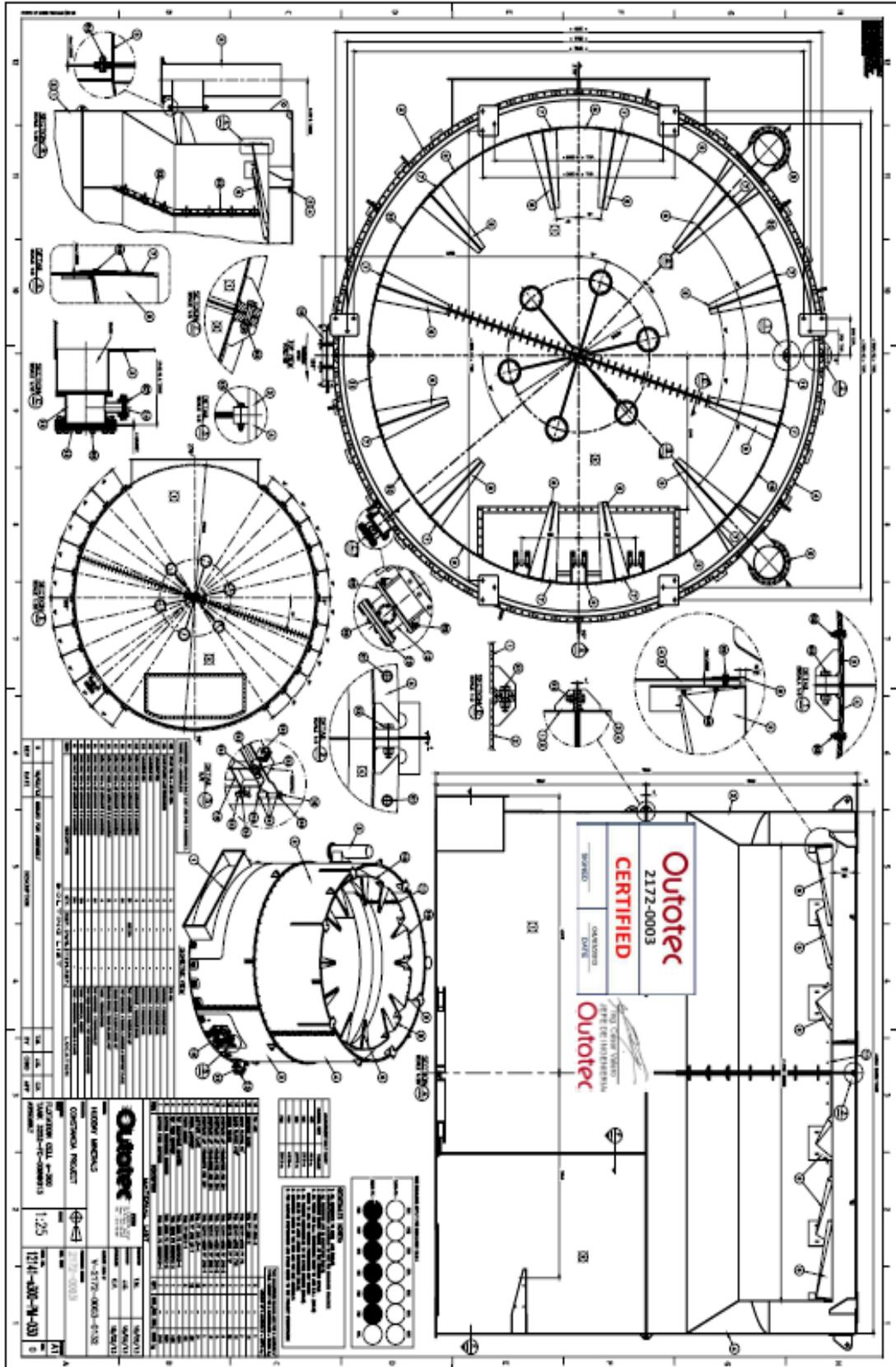
## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IPE, «CONTRIBUCION DE LA MINERIA A LA ECONOMIA NACIONAL,» PUBLICACION DIGITAL, LIMA, 2021.
- [2] N. LINARES, PROCESAMIENTO DE MINERALES, PUBLICACION DIGITAL, 2014.
- [3] TECSUP, FUNDAMENTOS DE OPERACION DE PLANTAS CONCENTRADORAS, AREQUIPA: PUBLICACION DIGITAL, 2014.
- [4] S. ELECTRIC, *MANUAL OPERACION VARIADOR VELOCIDAD ATV630*, USA: PUBLICACION DIGITAL, 2019.
- [5] B. NEWCOMBE, B. AKERSTROM y E. JACQUES, «THE EFFECT OF ROTOR SPEED ON THE FLASH FLOTACION PERFORMANCE OF AU AND CU IN AN INDUSTRIAL CONCENTRATOR,» *ELSEVIER*, 2018.
- [6] Y. EBISU, *COMPORTAMIENTO DE LAS PARTICULAS FINAS OCLUIDAS DE SULFUROS DE COBRE EN EL YACIMIENTO DE PROYECTO ARQUEROS*, SANTIAGO DE CHILE: UNIVERSIDAD DE CHILE, 2018.
- [7] A. NORORI-MCCORMAC, P. BRITO-PARADA, K. HADLER, K. COLE y J. CILIERIS, «THE EFFECT OF PARTICLE SIZE DISTRIBUTION ON FROTH STABILITY IN FLOTATION,» *ELSEVIER*, 2017.
- [8] N. CJANAHUIRI, *EVALUACION DE LA FLOTACION EN LA PLANTA CONCENTRADORA SAN RAFAEL*, AREQUIPA: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN, 2017.
- [9] M. HUALLPA, *CONCENTRACION POR FLOTACION DE MINERALES SULFURADOS: PLATA, PLOMO, COBRE, ZINC Y ORO EN MINERALES POLIMETALICOS*, LIMA: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA, 2018.
- [10] J. C. MARTIN CASTILLO y M. P. GARCIA GARCIA, *ARRANQUE Y VARIACION DE VELOCIDAD EN MOTORES*, MADRID : EDITORIAL EDITEX SA, 2016.

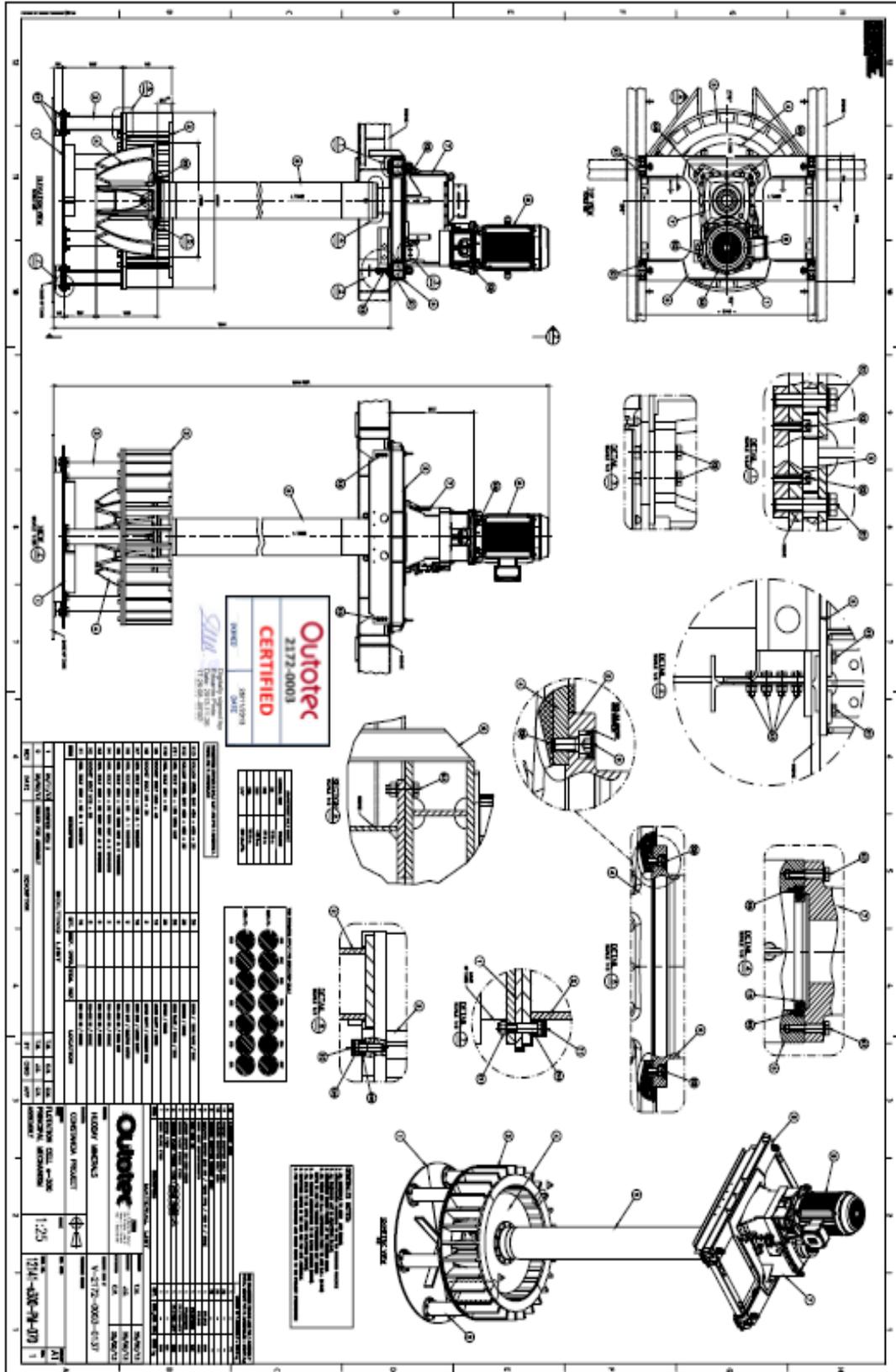
[11] OUTOTEC, *MANUAL DE OPERACION, INSTALACION Y MANTENIMIENTO CELDAS e300*, LIMA: PUBLICACION DIGITAL, 2014.

## **ANEXOS**

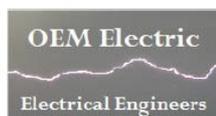
Anexo 1: Dimensiones generales de la celda de flotación e300



**Anexo 2** Dimensiones del mecanismo de accionamiento de la celda de flotación e300.



### Anexo 3: Propuesta técnica de variador de velocidad de los motores de las celdas e300



RUC: 20507430555

Av. Javier Prado Este 996 Of. 301 – Lima 27 - PERU

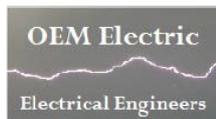
Phone: +51 1 715 3800 Fax: +51 1 718 8195

LV & MV Switchgear and MCC  
 Mining Substations – Switchrooms  
 Mobile and Transportable Substation  
 Power Rectifiers – LV & MV Drives  
 Soft Starters - Battery Systems - UPS  
 Dry & Oil Transformers  
 Automation & Control - SCADA - Turnkey Solutions  
 Motors LV and MV

Item	Qty.	Descripción	Precio Unitario US\$	Precio Venta US\$
2	2 Set	<p><b><u>DESIGNATION: VFD STARTER 350HP @ 4.500 MASL – 480 V</u></b></p> <p>LOW VOLTAGE Class 600V, 65KA, con Encerramiento NEMA 3R / 4, Gasketed doors and cover plates.            Plancha de 2.5mm de espesor.            Arenado en metal blanco, con anticorrosivo epóxico de 3 mils y pintura final Mastic Epoxy de 5 mils.            Espesor total: 8 mils en seco (&gt; 200 µm).            Puerta del Encerramiento con ventana protectora y Sistema de Lock-Out.            Techo Inclinado.            Cubiertas contra Agua. Aplicación: Ventiladores y Filtros de Salida.            Color RAL 2004</p> <p><b><u>Dimensiones:</u></b>            Height: 2,400 mm            Width: 1,200 mm            Depth: 1,100 mm</p> 		

-- 7 --

Project: VFD Starter 250HP & 350HP @ 4,500 m.a.s.l. – TORQUE VARIABLE  
 HUBBAY PERÚ S.A.C.  
 Ref. COTIZACION by Email 2/15/2019  
 Nuestra Ref.: OEMM-1588-HPS



RUC: 20507430555

Av. Javier Prado Este 996 Of. 301 – Lima 27 - PERU

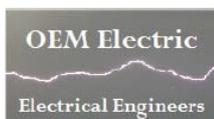
Phone: +51 1 715 3800 Fax: +51 1 718 8195

LV & MV Switchgear and MCC  
 Mining Substations – Switchrooms  
 Mobile and Transportable Substation  
 Power Rectifiers – LV & MV Drives  
 Soft Starters - Battery Systems - UPS  
 Dry & Oil Transformers  
 Automation & Control - SCADA - Turnkey Solutions  
 Motors LV and MV

		<div style="text-align: center;">  </div> <p><b><u>NOTA IMPORTANTE:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La parte de control y de potencia del Variador de Frecuencia (VFD) se encuentran en compartimientos diferentes:       <ul style="list-style-type: none"> <li>- Compartimiento Frontal (NEMA 4): Control del VFD</li> <li>- Compartimiento Posterior (NEMA 3R): Fuerza del VFD y Sistema de Ventilación Forzada El Sistema de Ventilación Forzada cuenta con cubiertas protectoras especialmente diseñadas.</li> </ul> </li> </ul> <p style="text-align: center;"><i>Mayores Detalles ver la sección de ACLARACIONES</i></p> <p><b><u>Detailed Bill of Material:</u></b></p> <p>1 Main Breaker 3x600AT @ 65KA 480V, sistema lockout, palanca lateral de accionamiento, lugs de entrada y salida, NEMA / UL &amp; CSA. SQUARE D. Cat # LJL36600U33X</p> <p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Powerpact L-Frame</li> <li>Corriente Nominal [In]: 600 A (40 °C Temperatura Ambiente)</li> <li>Tipo: Electrónico (Protección LSI)</li> <li>Regulación: 240 – 600 A</li> <li>Tensión asignada de empleo: 600V (UL / CSA / NEMA)</li> <li>Poder de Corte: 65kA @ 480V (UL / CSA / NEMA)</li> <li>Durabilidad:       <ul style="list-style-type: none"> <li>- Maniobras Eléctricas: Según Estándar</li> </ul> </li> </ul>		
--	--	--	--	--

-- 8 --

Project: VFD Starter 250HP & 350HP @ 4,500 m.a.s.l. – TORQUE VARIABLE  
 HUBBAY PERÚ S.A.C.  
 Ref. COTIZACION by Email 2/15/2019  
 Nuestra Ref.: OEMM-1588-HPS



RUC: 20507430555

Av. Javier Prado Este 996 Of. 301 – Lima 27 - PERU

Phone: +51 1 715 3800 Fax: +51 1 718 8195

LV & MV Switchgear and MCC  
 Mining Substations – Switchrooms  
 Mobile and Transportable Substation  
 Power Rectifiers – LV & MV Drives  
 Soft Starters - Battery Systems - UPS  
 Dry & Oil Transformers  
 Automation & Control - SCADA - Turnkey Solutions  
 Motors LV and MV

		<p>NEMA  - Maniobras Mecánicas: Según Estándar NEMA  Estándares:  - UL 489  - CSA C22.2 No. 5  - NEMA AB1  Mecanismo de Operación Powerpact para L-Frame: 9422RS1  Manija para desconectar el interruptor (Enclavamiento Lockout): 9422A1</p> <p><b>1 Adjustable Speed Drive ALTIVAR 630, 6-Pulse.  Cat. # ATV630C31N4  Brand SCHNEIDER ELECTRIC / UL Listed</b></p>  <p><b>Selected for 460 Vac 3 phase motor 350HP @ 4,500 m.a.s.l</b></p> <p>Output Frequency: 0.1-500Hz  Main Circuit:  Three-Phase, 460 V Input, 6-Pulse Design with Circuit Breaker, Transistor Inverter  Tolerance: Voltage: <math>\pm 10\%</math>; Frequency: <math>\pm 5\%</math>  Driver controller rated for:  <b>616.0 FLA @ 1,000 m.a.s.l</b>  <b>422.0 FLA @ 4,500 m.a.s.l</b>  Rated Output Voltage:  Three-phase 380~480V (Maximum Output Voltage is limited by maximum input Voltage)  Control Method:  Sine Wave PWM System  V/Hz Control:</p>		
--	--	--	--	--

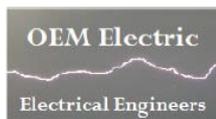
-- 9 --

Project: VFD Starter 250HP &amp; 350HP @ 4,500 m.a.s.l. – TORQUE VARIABLE

HUBBAY PERU S.A.C.

Ref. COTIZACION by Email 2/15/2019

Nuestra Ref.: OEMM-1588-HPS



RUC: 20507430555

Av. Javier Prado Este 996 Of. 301 – Lima 27 - PERU

Phone: +51 1 715 3800 Fax: +51 1 718 8195

LV & MV Switchgear and MCC  
 Mining Substations – Switchrooms  
 Mobile and Transportable Substation  
 Power Rectifiers – LV & MV Drives  
 Soft Starters - Battery Systems - UPS  
 Dry & Oil Transformers  
 Automation & Control - SCADA - Turnkey Solutions  
 Motors LV and MV

	<p>Constant Torque, Optimized Torque Mode,          Permanent Magnet, Square Reduction Torque          Overload Rating:  <b>110% for 60 Seconds</b>          100% Continuous          Keypad on Door</p>  <p>Inputs &amp; Outputs:          Input Terminal         <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Analog Inputs: Three (03) (4...20mA, 0-10VDC)              (Two Sensor Inputs: PTC or PT100)</li> <li>▪ Logic Inputs: Six (06)</li> </ul>         Output Terminal         <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Analog Outputs: Two (02)</li> <li>▪ Logic Outputs: None</li> <li>▪ Relay Outputs: Three (03)</li> </ul>         Communication:          Profibus DP</p> <p>1 Line Reactor, 3% Impedance / UL Listed –          Transcoil USA. Cat # KDRJ1L          1 dV/dT Output Filter / UL Listed – Transcoil USA.          Cat # V1K480A00          1 Thermal Magnetic Circuit Breaker 3 x 40A, 65kA @          480VAC for Transient Voltage Suppressor (TVSS)          – SQUARE D U.S.A. Cat # HJL36040          1 Transient Voltage Suppressor – SQUARE D USA.          Cat # SDSA3650D          1 Transformador para Servicios Auxiliares          (Ventilación, Calefacción, Iluminación) de 1000VA,          480/120V, 60Hz / UL Listed, MICRON U.S.A. Cat.          # B1K0BTZ13RBF, NEMA. Incluye fusibles de          control primario y secundario Gould Shawmut, Cat.          # B1K0BTZ13RBF, NEMA. Incluye fusibles de          control primario y secundario Gould Shawmut, Cat.          # ATMR de 200kA          2 Ventilador 700m3/h + Filtro – RITTAL</p>		
--	--	--	--

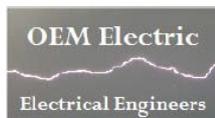
-- 10 --

Project: VFD Starter 250HP &amp; 350HP @ 4,500 m.a.s.l. – TORQUE VARIABLE

HUBBAY PERÚ S.A.C.

Ref. COTIZACION by Email 2/15/2019

Nuestra Ref.: OEMM-1588-HPS



RUC: 20507430555

Av. Javier Prado Este 996 Of. 301 – Lima 27 - PERU

Phone: +51 1 715 3800 Fax: +51 1 718 8195

LV & MV Switchgear and MCC  
 Mining Substations – Switchrooms  
 Mobile and Transportable Substation  
 Power Rectifiers – LV & MV Drives  
 Soft Starters - Battery Systems - UPS  
 Dry & Oil Transformers  
 Automation & Control - SCADA - Turnkey Solutions  
 Motors LV and MV

	<p>1 Transformador de control 300VA, 480/120V, 60Hz / UL Listed, MICRON U.S.A. Cat. # B300BTZ13RBF, NEMA. Incluye fusibles de control primario y secundario Gould Shawmut, Cat. # ATMR de 200kA</p> <p>1 Momentary Push Button, Black Max, Heavy Duty, Type 4X, Size 30mm "START" / UL Listed – C3 CONTROLS USA</p> <p>1 Momentary Push Button, Black Max, Heavy Duty, Type 4X, Size 30mm "STOP" / UL Listed – C3 CONTROLS USA</p> <p>1 Pilot Light Black Max, Heavy Duty, Type 4X with LED, 30mm, "OFF", Green / UL Listed – C3 CONTROLS USA</p> <p>1 Pilot Light Black Max, Heavy Duty, Type 4X with LED, 30mm, "RUN", Red / UL Listed – C3 CONTROLS USA</p> <p>1 Pilot Light Black Max, Heavy Duty, Type 4X with LED, 30mm, "FAULT", Amber / UL Listed – C3 CONTROLS USA</p> <p>1 Three-Position Selector Switch, Heavy Duty, Type 4X Size: 30mm, "LOCAL-OFF-REMOTE" / UL Listed – C3 CONTROLS USA</p> <p>1 Three-Position Selector Switch, Heavy Duty, Type 4X Size: 30mm, "HAND-OFF-AUTO" / UL Listed – C3 CONTROLS USA</p> <p>1 Potentiometer Operator, Extra severe duty, NEMA Type 4X Size: 30mm, "0-10K" / UL Listed – C3 CONTROLS U.S.A.</p> <p>1 SET Terminales de salida para el motor eléctrico</p> <p><b><u>Características adicionales:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Control Relays Included</li> <li>• Terminal Block Pull Apart / UL Listed – Cooper Bussmann U.S.A.</li> <li>• Voltaje de control 120V, 60Hz</li> <li>• Set Heat Shrink Marker / UL Listed – Raychem</li> <li>• Wiring Class IB</li> <li>• SIS Control Cable, 600V / UL Listed</li> <li>• Sistema de Calefacción (Calefactor con termostato)</li> </ul>		
--	---	--	--

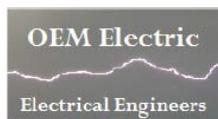
-- 11 --

Project: VFD Starter 250HP &amp; 350HP @ 4,500 m.a.s.l. – TORQUE VARIABLE

HUBBAY PERU S.A.C.

Ref. COTIZACION by Email 2/15/2019

Nuestra Ref.: OEMM-1588-HPS



RUC: 20507430555

Av. Javier Prado Este 996 Of. 301 – Lima 27 - PERU

Phone: +51 1 715 3800 Fax: +51 1 718 8195

LV & MV Switchgear and MCC

Mining Substations – Switchrooms

Mobile and Transportable Substation

Power Rectifiers – LV & MV Drives

Soft Starters - Battery Systems - UPS

Dry & Oil Transformers

Automation & Control - SCADA - Turnkey Solutions

Motors LV and MV

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema de Ventilación</li> <li>• Sistema de Iluminación Interna</li> <li>• Rótulos identificadores de equipamientos</li> <li>• Señalización de Riesgo de shock eléctrico y voltajes</li> </ul>		
--	--	--	--	--

-- 12 --

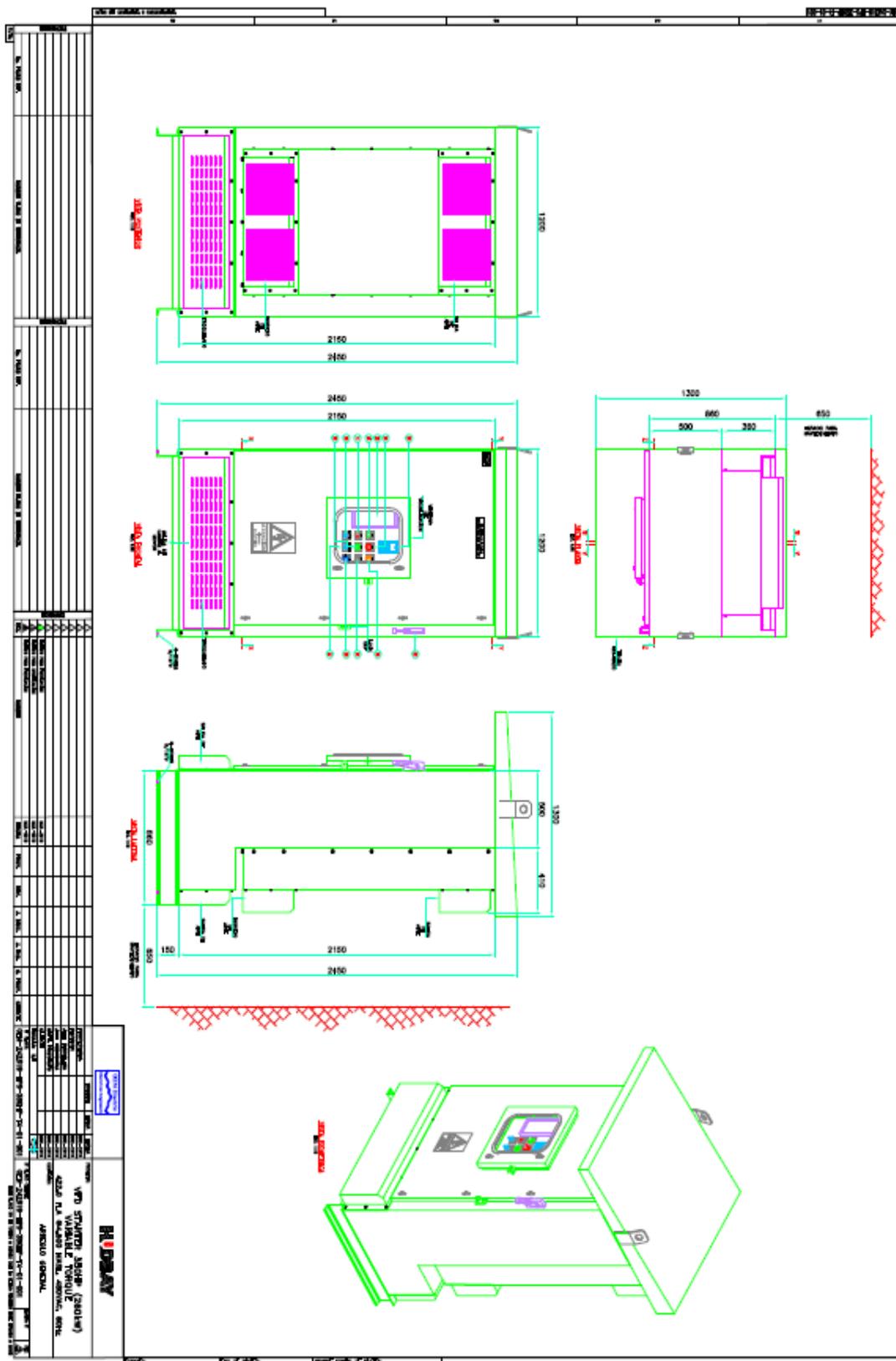
Project: VFD Starter 250HP & 350HP @ 4,500 m.a.s.l. – TORQUE VARIABLE

HUBBAY PERÚ S.A.C.

Ref. COTIZACION by Email 2/15/2019

Nuestra Ref.: OEMM-1588-HPS

### Anexo 4: Arreglo general del variador de 350HP



## Anexo 5: Prueba de continuidad de cables en variador celda FC006



PROYECTO: AUMENTAR VELOCIDAD EN CELDAS ROUGHER  
Y CLEANER – RECUPERAR ULTRAFINOS

**HUBBAY**

COD: QC-EE-004

REV: 00

AREA: PROYECTOS

HOJA: 01 DE: 02

### PROTOCOLO DE PRUEBA DE CONTINUIDAD DE CABLES

Contratista : CONTROLTEK SAC.	Grupo : VARIADORES
Localización/Área : 0301 -	TAG :VFD-FC-006
Descripción <b>PRUEBAS DE CONTINUIDAD DE CABLES</b>	Fecha :18/07/2019
Plano Referencia :	Registro :001

### 2.- CARACTERISTICAS GENERALES

Equipo de Medición:		Nro. de Serie		Marca:		Fecha de Calibración:		
MULTIMETRO		43090006		FLUKE		08-01-2019		
RESULTADOS								
Hilo	Diámetro (calibre) MM2	Voltaje	ALAMBRE O CABLE				Resistencia (ohmios)	Continuidad
			Tipo de Conductor	Desde	Hasta	Distancia (m)		
ROJO	185	BAJA	0.6/1.0kv	VARIADOR	EMPLAME	11	0.12	SI
NEGRO	185	BAJA	0.6/1.0kv	VARIADOR	EMPLAME	11	0.12	SI
BLACO	185	BAJA	0.6/1.0kv	VARIADOR	EMPLAME	11	0.12	SI
AMARILLO-VERDE	95	BAJA	0.6/1.0kv	VARIADOR	EMPLAME	11	0.12	SI
ROJO	185	BAJA	0.6/1.0kv	VARIADOR	EMPLAME	11	0.12	SI
NEGRO	185	BAJA	0.6/1.0kv	VARIADOR	EMPLAME	11	0.12	SI
BLACO	185	BAJA	0.6/1.0kv	VARIADOR	EMPLAME	11	0.12	SI
AMARILLO-VERDE	95	BAJA	0.6/1.0kv	VARIADOR	EMPLAME	11	0.12	SI
ROJO	185	BAJA	0.6/1.0kv	VARIADOR	MCC	18	0.12	SI
NEGRO	185	BAJA	0.6/1.0kv	VARIADOR	MCC	18	0.12	SI
BLACO	185	BAJA	0.6/1.0kv	VARIADOR	MCC	18	0.12	SI
AMARILLO-VERDE	95	BAJA	0.6/1.0kv	VARIADOR	MCC	18	0.12	SI
ROJO	185	BAJA	0.6/1.0kv	VARIADOR	MCC	18	0.12	SI
NEGRO	185	BAJA	0.6/1.0kv	VARIADOR	MCC	18	0.12	SI
BLACO	185	BAJA	0.6/1.0kv	VARIADOR	MCC	18	0.12	SI
AMARILLO-VERDE	95	BAJA	0.6/1.0kv	VARIADOR	MCC	18	0.12	SI

### 3.- OBSERVACIONES

.....  
.....

SUPERVISOR DE CONSTRUCCIÓN	SUPERVISION DE HUBBAY
Nombre: Jesús Avendaño	Nombre: Ricardo Cruz
Firma:	Firma:
Fecha: 22/10/19	Fecha: 15/12/19

**HUBBAY PERUSA**  
Ricardo Cruz Pacahuar  
Supervisor de Electricidad  
Superintendencia de Proyectos  
15/12/19

## Anexo 6 : Prueba de continuidad de cables en variador celda FC007



PROYECTO: AUMENTAR VELOCIDAD EN CELDAS ROUGHER  
Y CLEANER – RECUPERAR ULTRAFINOS

**HUBBAY**

COD: QC-EE-003

REV: 00

AREA: PROYECTOS

HOJA: 01 DE: 02

### PROTOCOLO DE PRUEBA DE CONTINUIDAD DE CABLES

Contratista : CONTROLTEK SAC.	Grupo : VARIADORES
Localización/Área : 0301 -	TAG :VFD-FC-007
Descripción <b>PRUEBAS DE CONTINUIDAD DE CABLES</b>	Fecha :18/07/2019
Plano Referencia :	Registro :001

#### 2.- CARACTERISTICAS GENERALES

	Equipo de Medición: MULTIMETRO	Nro. de Serie 43090006	Marca: FLUKE	Fecha de Calibración: 08-01-2019				
<b>RESULTADOS</b>								
Hilo	Diámetro (calibre) MM2	Voltaje	ALAMBRE O CABLE				Resistencia (ohmios)	Continuidad
			Tipo de Conductor	Desde	Hasta	Distancia (m)		
ROJO	185	BAJA	0.6/1.0kv	VARIADOR	EMPLAME	12	0.12	SI
NEGRO	185	BAJA	0.6/1.0kv	VARIADOR	EMPLAME	12	0.12	SI
BLACO	185	BAJA	0.6/1.0kv	VARIADOR	EMPLAME	12	0.12	SI
AMARILLO-VERDE	95	BAJA	0.6/1.0kv	VARIADOR	EMPLAME	12	0.12	SI
ROJO	185	BAJA	0.6/1.0kv	VARIADOR	EMPLAME	12	0.12	SI
NEGRO	185	BAJA	0.6/1.0kv	VARIADOR	EMPLAME	12	0.12	SI
BLACO	185	BAJA	0.6/1.0kv	VARIADOR	EMPLAME	12	0.12	SI
AMARILLO-VERDE	95	BAJA	0.6/1.0kv	VARIADOR	EMPLAME	12	0.12	SI
ROJO	185	BAJA	0.6/1.0kv	VARIADOR	MCC	19	0.12	SI
NFGRO	185	BAJA	0.6/1.0kv	VARIADOR	MCC	19	0.12	SI
BLACO	185	BAJA	0.6/1.0kv	VARIADOR	MCC	19	0.12	SI
AMARILLO-VERDE	95	BAJA	0.6/1.0kv	VARIADOR	MCC	19	0.12	SI
ROJO	185	BAJA	0.6/1.0kv	VARIADOR	MCC	19	0.12	SI
NEGRO	185	BAJA	0.6/1.0kv	VARIADOR	MCC	19	0.12	SI
BLACO	185	BAJA	0.6/1.0kv	VARIADOR	MCC	19	0.12	SI
AMARILLO-VERDE	95	BAJA	0.6/1.0kv	VARIADOR	MCC	19	0.12	SI

#### 3.- OBSERVACIONES

SUPERVISOR DE CONSTRUCCIÓN	SUPERVISION DE HUBBAY
Nombre: Jesús Avendaño	Nombre: Ricardo Cruz
Firma:	Firma:
Fecha: 22/10/19	Fecha:

**HUBBAY PERU S.A.**  
Ricardo Cruz Paschun  
Supervisor de Ejecución  
-Comercialización de Proyectos-

## Anexo 7: Pruebas de aislamiento de cables en variador celda FC006



PROYECTO: AUMENTAR VELOCIDAD EN CELDAS ROUGHER  
Y CLEANER – RECUPERAR ULTRAFINOS

**HUBBAY**

COD: **QC-EE-001**

REV: **00**

AREA: **PROYECTOS**

HOJA: **01**

DE: **02**

### PROTOCOLO DE PRUEBAS DE AISLAMIENTO

Contratista: CONTROLTEK SAC.	TAG: VFD-FC-006
Localización/Área: 0301	Fecha: 18/07/2019
Descripción: PRUEBAS DE AISLAMIENTO	Registro:

### DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE MEDICIÓN

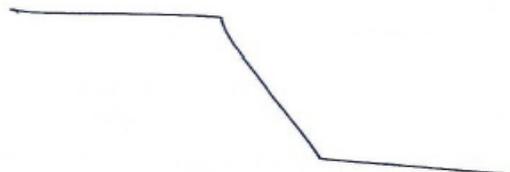
EQUIPO : MEGOHMETRO	MARCA : MEGABRAS
MODELO : MD10KVx	SERIE : 15G0103
CONSIDERACIONES: Realizar antes las pruebas de continuidad, QC-EE-001	

### RESULTADOS DE LA MEDICIÓN

#### TABLERO:

TENSIÓN APLICADA: 500.V					LECTURA:		
ITEM	TAG	CALIBRE	DESDE	HASTA			
1		185	VARIADORE	EMPLAME	RS:239G	Rt:261G	RN:223G
					ST: 316G	St: 354G	SN:214G
					RT: 270G	Tt: 254G	TN: 286G
2		185	VARIADORE	EMPLAME	RS: 238G	Rt: 288G	RN:290G
					ST:263G	St: 238G	SN: 452G
					RT:233G	Tt:266G	TN: 332G
3		185	VARIADORE	MCC	RS:332G	Rt: 369	RN: 269G
					ST: 382G	St: 247G	SN: 264G
					RT: 355G	Tt: 247G	TN: 302G
4		185	VARIADOR	MCC	RS: 642G	Rt: 449G	RN: 307G
					ST: 351G	St: 552G	SN: 391G
					RT: 431G	Tt: 601G	TN:580G

OBSERVACIONES:



SUPERVISOR DE CONSTRUCCIÓN	SUPERVISION DE HUBBAY
Nombre: Jesús Avendaño	Nombre: Ricardo Cruz
Firma:	Firma:
Fecha: 22/06/19	Fecha: 13/07/19

**HUBBAY PERU S.A.**  
Ricardo Cruz Pacheco  
Supervisor de Electricidad  
Superintendencia de Proyec.

## Anexo 8: Prueba de aislamiento de cables de variador de celda FC007



PROYECTO: AUMENTAR VELOCIDAD EN CELDAS ROUGHER  
Y CLEANER - RECUPERAR ULTRAFINOS



COD: QC-EE-002

REV: 00

AREA: PROYECTOS

HOJA: 01

DE: 02

### PROTOCOLO DE PRUEBAS DE AISLAMIENTO

Contratista: CONTROLTEK SAC.	TAG: VFD-FC-007
Localización/Área: 0301	Fecha: 18/07/2019
Descripción: PRUEBAS DE AISLAMIENTO	Registro:

### DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE MEDICIÓN

EQUIPO : MEGOHMETRO	MARCA : MEGABRAS
MODELO : MD10KVx	SERIE : 15G0103
CONSIDERACIONES: Realizar antes las pruebas de continuidad, QC-EE-001	

### RESULTADOS DE LA MEDICIÓN

#### TABLERO:

TENSIÓN APLICADA: ... 500.V					LECTURA:		
ITEM	TAG	CALIBRE	DESDE	HASTA			
1		185	VARIADORE	EMPLAME	RS:2.32T	Rt: 4.21 T	RN: 2.40T
					ST: 5.0T	St: 4.13G	SN: 787G
					RT: 2.46T	Tt: 2.62T	TN: 946G
2		185	VARIADORE	EMPLAME	RS:610G	Rt: 744G	RN: 280G
					ST: 556G	St: 1.98G	SN:325G
					RT: 790G	Tt: 822G	TN: 465G
3		185	VARIADORE	MCC	RS: 2.37T	Rt: 1.04T	RN: 1.18T
					ST:545G	St: 758G	SN: 631G
					RT:546G	Tt: 494G	TN: 944G
4		185	VARIADOR	MCC	RS: 921G	Rt: 865G	RN: 821G
					ST: 309T	St: 2.14T	SN: 802G
					RT: 1.32T	Tt: 2.04T	TN:985G

OBSERVACIONES:



SUPERVISOR DE CONSTRUCCIÓN	SUPERVISION DE HUBBAY
Nombre: Jesús Avendaño	Nombre: Ricardo Cruz
Firma:	Firma:
Fecha: 22/10/19	Fecha: 13/12/19

HUBBAY PERU S.A.  
Ricardo Cruz Pacahua  
Supervisor de Electricidad  
Superintendencia de Proyec.

## Anexo 9: Protocolo de sistema de puesta a tierra de variadores FC006 y FC007



PROYECTO: AUMENTAR VELOCIDAD EN CELDAS ROUGHER  
Y CLEANER – RECUPERAR ULTRAFINOS

**HUBBAY**

COD: QC-EE-P12-001

REV: 00

AREA: PROYECTOS

HOJA: 01 DE: 01

PROTICOLO DE SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

### ACTA DE PRUEBAS DE MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA ELÉCTRICA DE LA PUESTA A TIERRA

#### 1. DATOS

**EMPRESA** : CONTROLTEK SAC  
**UBICACIÓN** : UM. CONSTANCIA.  
**POZO A TIERRA** : Ubicado: Exterior Sala Eléctrica SS-301  
**PRUEBA REALIZADA:** MEDICIÓN DE SISTEMA DE PUESTA A TIERRA  
**EQUIPO** : TELURÓMETRO

Marca : Megabras  
 Modelo : MTD 20KWe  
 Tipo : Digital automático  
 Calibrado : 30/04./2019.  
 Rango : 0.01Ω -20KΩ  
 Frecuencia :  
 Certificado de calibración: Se adjunta

#### PERIODO DE VALIDEZ:

Este protocolo tiene ocho meses de validez a partir de la fecha de medición, después se recomienda volver a realizarla misma prueba para determinar la medición de la puesta a tierra y sugerir su mantenimiento respectivo sea correctivo o preventivo.

#### 2. NORMAS APLICABLES

El sustento técnico de la resistencia equivalente del sistema de puesta a tierra así como de su construcción se basa en:

**Código Nacional Eléctrico** – Utilización, sección 060 Título Puesta a Tierra y Enlace Equipotencial.

**NPT 370 052: 1999** Tema - Seguridad eléctrica. Materiales para puesta a tierra.

**NPT 370 053: 1999** Tema - Seguridad eléctrica. Elección de los materiales eléctricos en las instalaciones interiores para puesta a tierra, conductores de protección de cobre.

**NPT 370 054: 1999** Tema - Seguridad eléctrica. Enchufes y tomacorrientes con protección a tierra para uso general.

**NPT 370 056: 1999** Seguridad eléctrica. Electrodo de puesta tierra .Objeto.- Establecer las condiciones que deben tener los materiales a ser utilizados en los



PROYECTO: AUMENTAR VELOCIDAD EN CELDAS ROUGHER  
Y CLEANER – RECUPERAR ULTRAFINOS

**HUBBAY**

COD: QC-EE-P12-001

REV: 00

AREA: PROYECTOS

HOJA: 01 DE: 01

### PROTOCOLO DE SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

sistemas de puesta a tierra de protección que emplean los electrodos de cobre. Que las corrientes de defecto a tierra y fuga circulen sin peligro según solicitaciones térmicas y mecánicas. Finalmente la solidez y protección mecánica esté asegurada según condiciones estimadas de influencia externa.

### 3. DESCRIPCIÓN DE LA PUESTA A TIERRA EXISTENTE

La puesta a tierra es una malla equipotencial que está instalada en la sala eléctrica SS 301:

Pozos a tierra	Electrodo de puesta a tierra				Conductor puesta a tierra		Tablero asignado
	Identificado	material	Ø (plg)	L (m)	Tipo de instalacion	S (mm <sup>2</sup> )	Color Aislamiento
Nº 1	Cobre	3/4	-	Malla	10	(desnudo)	

### 4. PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN

1. Se desconecto el cable de cobre desnudo del electrodo de cobre; puesto que las mediciones debe realizarse sin carga eléctrica
2. No hubo la necesidad de hacer perforación en el concreto ya que en el local existen partes donde se pudieron hacer contacto directo de las varillas auxiliares del Telurómetro con la tierra.
3. Se utilizo el Telurómetro :

**Marca** : Megabras  
**Modelo** : MTD 20KWe  
**Tipo** : Digital automático

4. La medición se efectuó con las siguientes distancias entre electrodos:

Electrodo de tierra(E1) –Varilla auxiliar de potencial(E2) = 5 m  
 Electrodo de tierra(E1) – Varilla auxiliar de corriente (E3)=10 m



PROYECTO: AUMENTAR VELOCIDAD EN GELDAS ROUGHER  
Y CLEANER – RECUPERAR ULTRAFINOS

**HUBBAY**

COD: QC-EE-P12-001

REV: 00

AREA: PROYECTOS

HOJA: 01 DE: 01

**PROTOCOLO DE SISTEMA DE PUESTA A TIERRA**

5. Mediciones de la resistencia: El valor obtenido lo resumo en el siguiente cuadro:

Pozo N° 1		Valor ( $\Omega$ )
1 <sup>ra</sup>	medición	1.45
2 <sup>da</sup>	medición	1.34
3 <sup>ra</sup>	medición	1.23
Resistencia promedio		

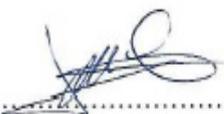
6. El valor **1.23  $\Omega$**  cumple con las disposiciones indicadas en la sección 060 del Código Nacional de Electricidad –Utilización

**5. REPORTE DE INSPECCIÓN Y RESULTADO**

Se obtuvieron los siguientes resultados:

pozo	Resistencia promedio( $\Omega$ )	Resistencia total promedio( $\Omega$ )
1	1.23	
2		
3		

Resistencia total de del sistema de puesta a tierra es de 1.23  $\Omega$

  
 .....  
 Ing. Jesús Avendaño  
 Supervisor de Campo

## Anexo 10: Protocolo de prueba de inicio variador de celda FC006



Av. Javier Prado Este 996 Of. 301 Lima 27 Perú  
Phone: 511-715 3800 Fax: 511-718 8195  
Planta: Av. Huascar 450 Callao 1 Perú

### Protocolo de Prueba Starters

#### I – Datos Generales

Nombre del Tablero (Descripción): <b>VFD STARTER 380HP 422.0 FLA @ 4,500 M.A.S.L.</b>			
Tensión de Fuerza:	<b>480VAC</b>	Tensión de Control:	<b>120VAC</b>
Tensión de Número – Clase:		<b>HUBBAY PERU S.A.C.</b>	Tag: <b>FC006</b>
C.C.:	<b>242319</b>	F.C.:	<b>450018860</b>
		Nº Serie: <b>000242319003</b>	

II – Inspección Visual		SI	NO	SI	NO
01 – Color de tablero		X		11 – Equipos de fuerza según especificaciones	X
02 – Aldados en buen estado		X		12 – Fusibles de control según especificaciones	X
03 – Ajuste de pernera en estructura		X		13 – Transformadores de control según especificaciones	X
04 – Indicación de letras según plano		X		14 – Transformadores de corriente según especificaciones	X
05 – Marcación de equipos según plano		X		15 – Color de cables según especificaciones	X
06 – Marcación de cables de control		X		16 – Mínimo 2 puntas por punto de conexión	X
07 – Equipos de medición según especificaciones		X		17 – Instalación de cable a tierra en puerta	X
08 – Equipos de protección según especificaciones		X		18 – Verificación de esquemas de los equipos instalados	X
09 – Equipos de control según especificaciones		X		19 – Limpieza y acabado general	X
10 – Equipos de señalización según especificaciones		X			

III – Inspección Mecánica		SI	NO	SI	NO
01 – Dimensiones del tablero según plano mecánico		X		12 – Anclaje del tablero	X
02 – Sección de conductores según plano		X		13 – Cincamos para el izamiento del tablero	X
03 – Ajuste de circuito de fuerza		X		14 – Protección contra contactos directos	X
04 – Ajuste de circuito de control y mando		X		15 – Hermeticidad del tablero	X
05 – Accionamiento de puerta		X			

#### IV – Pruebas Eléctricas

Pruebas de continuidad eléctrica		SI	NO	Pruebas de arranque		SI	NO
01 – Continuidad del circuito de fuerza		X		01 – Funcionamiento del circuito de fuerza		X	
02 – Continuidad del circuito de mando y control		X		02 – Funcionamiento del circuito y equipos de mando		X	
03 – Continuidad al circuito de medición		X		03 – Funcionamiento del circuito y equipos de medición		X	
04 – Continuidad al circuito de comunicación		X		04 – Funcionamiento del circuito y equipos de ventilación		X	
Pruebas de programación del relé electrónico		SI	NO	05 – Funcionamiento del entradas digitales asociadas del arrancador electrónico		X	
01 – Ajuste de protección de relé		X		06 – Funcionamiento del entrada(s) analógica(s) asociadas del arrancador electrónico		X	
02 – Ajuste de entradas digitales		X		07 – Funcionamiento de salida(s) analógica(s) asociadas del arrancador electrónico		NA	
03 – Ajuste de entradas analógicas		X		08 – Funcionamiento de salida(s) de relé(s) asociadas del arrancador electrónico		X	
04 – Ajuste de salidas de relés		X		09 – Funcionamiento de contactore(s) de fuerza asociado		NA	
05 – Ajuste de salidas de analógicas		NA		10 – Operación de circuito de arranque (Mín. 5 operaciones)		X	
06 – Ajuste de parámetros de comunicación		X		11 – Operación de circuito de parada		X	
				12 – Operación de circuito de disparo		X	

13 – Medida de Resistencia de Aislamiento:		14 – Rigidez dieléctrica:	
Con megger de	Volt. 500VDC Tiempo: 1 min	Tensión aplicada de	Volt. Durante 1 minuto
Entre R – Masa:	NA	Entre F1 – F2:	NA
Entre S – Masa:	NA	Entre F2 – F3:	NA
Entre T – Masa:	NA	Entre F3 – F1:	NA
Entre F1, F2, F3 – Tierra:	NA	Entre R1, F1, F3 – Tierra:	NA
Entre ddo. De control – Tierra:	NA		



## Anexo 11: Protocolo de prueba de inicio de celda FC007



Av. Javier Prado Este 896 Of. 301 Lima 27 Perú  
Phone: 511-715 3800 Fax: 511-718 8195  
Planta: Av. Huascar 450 Callao 1 Perú

### Protocolo de Prueba Starters

#### I – Datos Generales

Descripción del Tablero (Descripción): <b>VFD STARTER 350HP 422.0 FLA @ 4,500 M.A.S.L.</b>			
Tensión de Fuerza:	<b>480VAC</b>	Tensión de Control:	<b>120VAC</b>
Tipo:		<b>FC007</b>	
Fecha de Fabricación - Cliente:		<b>HUDSBAY PERU S.A.C.</b>	
Nº Serie:		<b>000242319004</b>	
C.C.:	<b>2423/19</b>	F.C.:	<b>4500018880</b>

#### II – Inspección Visual

	SI	NO		SI	NO
01 – Color de tablero	X		11 – Equipos de fuerza según especificaciones	X	
02 – Abitadores en buen estado	X		12 – Fusibles de control según especificaciones	X	
03 – Ajuste de pernera en estructura	X		13 – Transformadores de control según especificaciones	X	
04 – Indicación de letras según plano	X		14 – Transformadores de corriente según especificaciones	X	
05 – Marcadón de equipos según plano	X		15 – Color de cables según especificaciones	X	
06 – Marcadón de cables de control	X		16 – Máximo 2 puntas por punto de conexión	X	
07 – Equipos de medición según especificaciones	X		17 – Instalación de cable a tierra en puerta	X	
08 – Equipos de protección según especificaciones	X		18 – Verificación de esquemas de los equipos instalados	X	
09 – Equipos de control según especificaciones	X		19 – Limpieza y acabado general	X	
10 – Equipos de señalización según especificaciones	X				

#### III – Inspección Mecánica

	SI	NO		SI	NO
01 – Dimensiones del tablero según plano mecánico	X		12 – Anclaje del tablero	X	
02 – Sección de conductores según plano	X		13 – Cincamos para el barnizado del tablero	X	
03 – Ajuste de circuito de fuerza	X		14 – Protección contra contactos directos	X	
04 – Ajuste de circuito de control y mando	X		15 – Hermeticidad del tablero	X	
05 – Accionamiento de puerta	X				

#### IV – Pruebas Eléctricas

Pruebas de continuidad eléctrica		SI	NO	Pruebas de arranque		SI	NO
01 – Continuidad del circuito de fuerza	X			01 – Funcionamiento del circuito de fuerza	X		
02 – Continuidad del circuito de mando y control	X			02 – Funcionamiento del circuito y equipos de mando	X		
03 – Continuidad al circuito de medición	X			03 – Funcionamiento del circuito y equipos de medición	X		
04 – Continuidad al circuito de comunicación	X			04 – Funcionamiento del circuito y equipos de verificación	X		
Pruebas de programación del relé electrónico				05 – Funcionamiento de entradas digitales asociadas del arrancador electrónico	X		
01 – Ajuste de protección de relé	X			06 – Funcionamiento de entrada(s) analógica(s) asociadas del arrancador electrónico	X		
02 – Ajuste de entradas digitales	X			07 – Funcionamiento de salida(s) analógica(s) asociadas del arrancador electrónico	NA		
03 – Ajuste de entradas analógicas	X			08 – Funcionamiento de salida(s) de relé(s) asociadas del arrancador electrónico	X		
04 – Ajuste de salidas de relés	X			09 – Funcionamiento de contactore(s) de fuerza asociado	NA		
05 – Ajuste de salidas de analógicas	NA			10 – Operación de circuito de arranque (MOT. 5 operación)	X		
06 – Ajuste de parámetros de comunicación	X			11 – Operación de circuito de parada	X		
				12 – Operación de circuito de disparo	X		

#### 13 – Medida de Resistencia de Aislamiento:

Con megger de	Volt. 500VDC Tiempo: 1min	Tensión aplicada de	Volt. Durante 1 minuto
Entre R – Masa:	NA	Entre F1 – F2:	NA
Entre S – Masa:	NA	Entre F2 – F3:	NA
Entre T – Masa:	NA	Entre F3 – F1:	NA
Entre F1, F2, F3 – Tierra:	NA	Entre F1, F2, F3 – Tierra:	NA
Entre dpto. De control – Tierra:	NA		



## Anexo 12: Parámetros de programación del controlador del variador de la celda FC006

Characteristics :	
Reference	ATV630C31N4
Hardware Type	IP21/IP21Z
Supply Voltage	380...480V/ThreePhase
Nominal Power	315kW/420HP
Nominal Current	616A
Structure :	
Device	ATV630C31N4
Serial Number	400620088725172001
Version	V1.61EXX
Control Board	
Serial Number	400620088725172001
Version	V1.61E12
Power Board	
Serial Number	400620088725172001
Version	V1.41B01
SLOT A	Profibus DPV1
Reference	VW3A3607
Configurations :	
Software Release	2.5.1.0
Device Name	FC006



### SimplyStart

Code	Long Label	Current Value	Default Value	Min Value	Max Value	Logical address
BFR	Motor Standard	60Hz Motor frequency	50Hz Motor frequency			3015
NPR	Nominal motor power	350 HP	420 HP	215 HP	535 HP	9613
UNS	Nominal motor voltage	460 V	460 V	200 V	500 V	9601
NCR	Nominal motor current	403 A	590 A	154 A	924 A	9603
FRS	Nominal Motor Frequency	60 Hz	60 Hz	40 Hz	500 Hz	9602
NSP	Nominal motor speed	1790 rpm	1782 rpm	0 rpm	65535 rpm	9604
COS	Motor 1 Cosinus Phi	0.85	0.85	0.5	1	9606
TCC	2/3-wire control	2-wire control	2-wire control			11101
TFR	Max frequency	70 Hz	72 Hz	10 Hz	500 Hz	3103
STUN	Tune selection	Measure	Default			9617
ITH	Motor Thermal Current	677 A	590 A	123 A	677 A	9622
ACC	Acceleration ramp time	10 s	10 s	0 s	999.9 s	9001
DEC	Deceleration ramp time	10 s	10 s	0 s	999.9 s	9002
LSP	Low Speed	30 Hz	0 Hz	0 Hz	70 Hz	3105
HSP	High Speed	70 Hz	60 Hz	30 Hz	70 Hz	3104

### Anexo 13: Parámetros de programación del controlador del variador de la celda FC007.

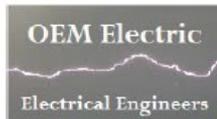
Characteristics :	
Reference	ATV630C31N4
Hardware Type	Standard Drive Wall Mounting
Supply Voltage	380...480V/ThreePhase
Nominal Power	315kW/420HP
Nominal Current	616A
Structure :	
Device	ATV630C31N4
Serial Number	40062172F191400004
Version	V2.3IEXX
Control Board	
Serial Number	40062172F191400004
Version	V2.5IEXX
Power Board	
Serial Number	40062172F191400004
Version	V1.5IH04
SLOT A	Profibus DPV1
Reference	VW3A3607
Configurations :	
Software Release	2.5.1.0
Device Name	FC007



#### SimplyStart

Code	Long Label	Current Value		Default Value	Min Value	Max Value	Logical address
BFR	Motor Standard	60Hz Motor frequency	↕	50Hz Motor frequency			3015
NPR	Nominal motor power	350 HP	↕	420 HP	175 HP	535 HP	9613
UNS	Nominal motor voltage	460 V		460 V	200 V	500 V	9601
NCR	Nominal motor current	402 A	↕	590 A	92 A	924 A	9603
FRS	Nominal Motor Frequency	60 Hz		60 Hz	40 Hz	500 Hz	9602
NSP	Nominal motor speed	1790 rpm	↕	1782 rpm	0 rpm	65535 rpm	9604
COS	Motor 1 Cosinus Phi	0.85		0.85	0.5	1	9606
TCC	2/3-wire control	2-wire control		2-wire control			11101
TFR	Max frequency	72 Hz		72 Hz	10 Hz	500 Hz	3103
STUN	Tune selection	Custom	↕	Default			9617
ITH	Motor Thermal Current	402 A		402 A	73 A	677 A	9622
ACC	Acceleration ramp time	10 s		10 s	0 s	999.9 s	9001
DEC	Deceleration ramp time	10 s		10 s	0 s	999.9 s	9002
LSP	Low Speed	30 Hz	↕	0 Hz	0 Hz	70 Hz	3105
HSP	High Speed	70 Hz	↕	60 Hz	30 Hz	72 Hz	3104

## Anexo 14: Parámetros de programación del registrador de energía del variador de la celda FC006.



RUC: 20507430555

Av. Javier Prado Este 996 Of. 301 – Lima 27 - PERU

Phone: +51 1 715 3800 Fax: +51 1 718 8195

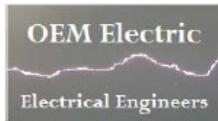
LV & MV Switchgear and MCC  
 Mining Substations – Switchrooms  
 Mobile and Transportable Substation  
 Power Rectifiers – LV & MV Drives  
 Soft Starters - Battery Systems - UPS  
 Dry & Oil Transformers  
 Automation & Control - SCADA - Turnkey Solutions  
 Motors LV and MV

### MPS 3000 SETTINGS

#### DATOS GENERALES:

CLIENTE: HUBBAY PERU S.A.C.	ÁREA: FLOTACION - FC006
PO: 4500018660	TABLERO: VFD STARTER 350HP
	SERIE:000242319003

Page Name	Parameter Name	Value	Check	Revised	Check
System	Line Volts (Vn)	460			
System	Line Frequency	60			
System	VT Primary	VT NOT CONNECTED			
System	VT Secondary	VT NOT CONNECTED			
System	Motor FLC	402			
System	CT Primary	500			
System	GND Fault LVL 1	----			
System	G/F LVL 1 Delay	5			
System	GND Fault Lvl 2	10			
System	G/F LVL 2 Delay	0.5			
System	G/F During Start	100%			
System	Current Inhibit	OFF			
System	Starting Method	DIRECT ON LINE			
System	Max Time In Star	----			
System	Transition Time	----			
System	Star To Delta At	----			
System	Config. Output A	TRIP			
System	Output Delay A	0			
System	Config. Output B	TRIP			
System	Output Delay B	0			
System	Config. Output C	COMM. FORCING			
System	Output Delay C	0			
System	Config. Output D	TRIP			
System	Config. Input A	EXTERNAL FAULT 2			
System	Config. Input B	COMM.READING			
System	Config. Input C	EXTERNAL FAULT 3			
System	Config. Input D	REMOTE RESET			
System	Protection Only	NO			
System	Param. Setting	LOCKED			
Voltage	U/V Level 1	50 % OF VN			
Voltage	U/L Delay	10			
Voltage	UV Active At Stop	DISABLE			
Voltage	U/V Restrtr Delay	----			
Voltage	O/V Level 1	----			



RUC: 20507430555

Av. Javier Prado Este 996 Of. 301 – Lima 27 - PERU

Phone: +51 1 715 3800 Fax: +51 1 718 8195

LV &amp; MV Switchgear and MCC

Mining Substations – Switchrooms

Mobile and Transportable Substation

Power Rectifiers – LV &amp; MV Drives

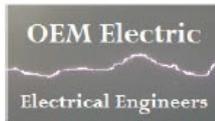
Soft Starters - Battery Systems - UPS

Dry &amp; Oil Transformers

Automation &amp; Control - SCADA - Turnkey Solutions

Motors LV and MV

Voltage	O/V Level 2	----			
Voltage	O/V Level Delay 2	----			
Current	Max. Start Time	5			
Current	Number Of Starts	4			
Current	Starts Period	30 MIN			
Current	Start Inhibit	10 MIN			
Current	U/C Level 1	----			
Current	U/C Lvl 1 Delay	----			
Current	U/C Lvl 2	----			
Current	U/C Lvl 2 Delay	----			
Current	Load Increase	150%			
Current	O/C Level 1 - JAM	200%			
Current	O/C Lvl 1 Delay	2			
Current	O/C Lvl 2 - Short	600%			
Current	O/C Lvl 2 Delay	0.1			
Current	Unbalance Lvl 2	10			
Current	Unbalance Min T	5			
Current	U/B Lvl 2 Max T	20			
Overload	Curve Multiplier	6			
Overload	Overload Pickup	1.05			
Overload	Hot/Cold Ratio	50			
Overload	Run Cool T Const	10			
Overload	Stp Cool T Const	30			
Overload	Unbalance K Factor	5			
Overload	RTD Bias	OFF			
Overload	RTD Bias Minimum	----			
Overload	RTD Bias Middle	----			
Overload	RTD Bias Maximum	----			
Overload	Thermal Level 1	----			
Overload	Stall Time Factor	----			
Power	Rated PF At FLC	----			
Power	Under PWR Level 1	----			
Power	U/P Level 2 Delay	----			
Power	Under PWR level 2	----			
Power	U/P Level 2 Delay	----			
Power	Low Power Factor	----			
Power	Low PF Delay	----			
Power	KWRH Per Pulse	----			
Temperature	RTD Type	PLATINUM 100 OHM			
Temperature	T7..10 Type	RTD			
Temperature	T1 Level 1	110			
Temperature	T1 Level 2	120			
Temperature	T2 Level 1	110			
Temperature	T2 Level 2	120			
Temperature	T3 Level 1	110			
Temperature	T3 Level 2	120			
Temperature	T4 Level 1	110			



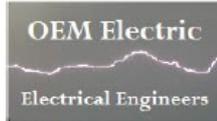
RUC: 20507430555

Av. Javier Prado Este 996 Of. 301 – Lima 27 - PERU

Phone: +51 1 715 3800 Fax: +51 1 718 8195

LV & MV Switchgear and MCC  
 Mining Substations – Switchrooms  
 Mobile and Transportable Substation  
 Power Rectifiers – LV & MV Drives  
 Soft Starters - Battery Systems - UPS  
 Dry & Oil Transformers  
 Automation & Control - SCADA - Turnkey Solutions  
 Motors LV and MV

Temperature	T4 Level 2	120			
Temperature	T5 Level 1	110			
Temperature	T5 Level 2	120			
Temperature	T6 Level 1	110			
Temperature	T6 Level 2	120			
Temperature	T7 Level 1	70			
Temperature	T7 Level 2	80			
Temperature	T8 Level 1	70			
Temperature	T8 Level 2	80			
Temperature	T9 Level 1	----			
Temperature	T9 Level 2	----			
Temperature	T10 Level 1	----			
Temperature	T10 Level 2	----			
Analog I/O	Analog Out Type	----			
Analog I/O	Analog Out 1 Par.	----			
Analog I/O	Analog Out 1 Min.	----			
Analog I/O	Analog Out 1 Max.	----			
Analog I/O	Analog Out 2 Par.	----			
Analog I/O	Analog Out 2 Min.	----			
Analog I/O	Analog Out 2 Max.	----			
Analog I/O	Analog Out 3 Par.	----			
Analog I/O	Analog Out 3 Min.	----			
Analog I/O	Analog Out 3 Max.	----			
Analog I/O	Analog Out 4 Par.	----			
Analog I/O	Analog Out 4 Min.	----			
Analog I/O	Analog Out 4 Max.	----			
Analog I/O	Analog In 1 Type	4...20 mA			
Analog I/O	Analog In 1 Level	----			
Analog I/O	Analog In 1 Delay	----			
Analog I/O	Analog In 2 Type	4...20 mA			
Analog I/O	Analog In 2 Level	----			
Analog I/O	Analog In 2 Delay	----			
Analog I/O	Analog In 3 Type	4...20 mA			
Analog I/O	Analog In 3 Level	----			
Analog I/O	Analog In 3 Delay	----			
Analog I/O	Analog In 4 Type	4...20 mA			
Analog I/O	Analog In 4 Level	----			
Analog I/O	Analog In 4 Delay	----			

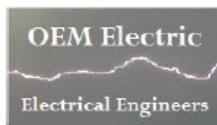


RUC: 20507430555  
 Av. Javier Prado Este 996 Of. 301 – Lima 27 - PERU  
 Phone: +51 1 715 3800 Fax: +51 1 718 8195

LV & MV Switchgear and MCC  
 Mining Substations – Switchrooms  
 Mobile and Transportable Substation  
 Power Rectifiers – LV & MV Drives  
 Soft Starters - Battery Systems - UPS  
 Dry & Oil Transformers  
 Automation & Control - SCADA - Turnkey Solutions  
 Motors LV and MV

Y = YES  
 N = NO

		TRIP	ALARM	AUTO RESET	PANEL RESET	PLC RESET	OUTPUT A	OUTPUT B
Tripping / Alarm	Max Start Time	Y	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	Too Many Starts	Y	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	U/C Level 1	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	U/C Level 2	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	Load Increased	Y	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	O/C Level 1 - JAM	Y	Y	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	O/C Lvl 2 - Short	Y	Y	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	Thermal Level 1	N	Y	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	Thermal Level 2	Y	Y	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	Unbalance Lvl 2	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	UnderVoltage	N	Y	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	O/V Level 1	N	Y	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	O/V Level 2	Y	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	Phase Loss	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	Phase Sequence	Y	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	GND Fault Level 1	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	GND Fault Level 2	Y	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	Comm Port Failed	N	Y	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	Internal Failure	Y	N	N	N	N	N	N
Tripping / Alarm	Control Cir. Open	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	Welded Contactor	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	External Fault 1	Y	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	External Fault 2	Y	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	External Fault 3	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	RTD 1 Level 1	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	RTD 1 Level 2	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	RTD 2 Level 1	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	RTD 2 Level 2	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	RTD 3 Level 1	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	RTD 3 Level 2	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	RTD 4 Level 1	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	RTD 4 Level 2	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	RTD 5 Level 1	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	RTD 5 Level 2	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	RTD 6 Level 1	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	RTD 6 Level 2	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	RTD 7 Level 1	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	RTD 7 Level 2	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	RTD 8 Level 1	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	RTD 8 Level 2	N	N	N	Y	Y	N	N



RUC: 20507430555

Av. Javier Prado Este 996 Of. 301 – Lima 27 - PERU

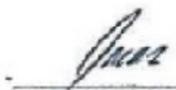
Phone: +51 1 715 3800 Fax: +51 1 718 8195

LV & MV Switchgear and MCC  
 Mining Substations – Switchrooms  
 Mobile and Transportable Substation  
 Power Rectifiers – LV & MV Drives  
 Soft Starters - Battery Systems - UPS  
 Dry & Oil Transformers  
 Automation & Control - SCADA - Turnkey Solutions  
 Motors LV and MV

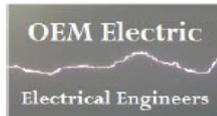
Tripping / Alarm	RTD 9 Level 1	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	RTD 9 Level 2	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	RTD 10 Level 1	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	RTD 10 Level 2	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	Under PWR Lvl 1	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	Under PWR Lvl 2	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	LOW POWER FACTOR	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	Analog In 1	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	Analog In 2	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	Analog In 3	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	Analog In 4	N	N	N	Y	Y	N	N

Communication	Baud Rate	19200			
Communication	Profi. Network ID	(4)			
Communication	S. Link Save Lock	ENABLE			
Communication	Front Com Address	OFF			

(\*) Las direcciones Profibus las define el cliente

<b>ELABORADO: JORGE OSORIO</b>	<b>REVISADO:</b>
	 <b>RICARDO CRUZ PINEDA</b> Supervisor de Electricidad Superintendencia de Proyectos

## Anexo 15: Parámetros de programación del registrador de energía del variador de la celda FC007.



RUC: 20507430555

Av. Javier Prado Este 996 Of. 301 – Lima 27 - PERU

Phone: +51 1 715 3800 Fax: +51 1 718 8195

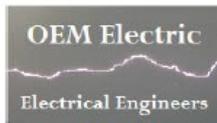
LV & MV Switchgear and MCC  
 Mining Substations – Switchrooms  
 Mobile and Transportable Substation  
 Power Rectifiers – LV & MV Drives  
 Soft Starters - Battery Systems - UPS  
 Dry & Oil Transformers  
 Automation & Control - SCADA - Turnkey Solutions  
 Motors LV and MV

### MPS 3000 SETTINGS

#### DATOS GENERALES:

CLIENTE: <b>HUDBAY PERU S.A.C.</b>	ÁREA: <b>FLOTACION - FC007</b>
PO: <b>4500018660</b>	TABLERO: <b>VFD STARTER 350HP</b>
	SERIE: <b>000242319004</b>

Page Name	Parameter Name	Value	Check	Revised	Check
System	Line Volts (Vn)	460			
System	Line Frequency	60			
System	VT Primary	VT NOT CONNECTED			
System	VT Secondary	VT NOT CONNECTED			
System	Motor FLC	402			
System	CT Primary	500			
System	GND CT Primary	500			
System	GND Fault LVL 1	----			
System	G/F LVL 1 Delay	5			
System	GND Fault Lvl 2	10			
System	G/F LVL 2 Delay	0.5			
System	G/F During Start	100%			
System	Current Inhibit	OFF			
System	Starting Method	DIRECT ON LINE			
System	Max Time In Star	----			
System	Transition Time	----			
System	Star To Delta At	----			
System	Config. Output A	TRIP			
System	Output Delay A	0			
System	Config. Output B	TRIP			
System	Output Delay B	0			
System	Config. Output C	COMM. FORCING			
System	Output Delay C	0			
System	Config. Output D	TRIP			
System	Config. Input A	EXTERNAL FAULT 2			
System	Config. Input B	COMM.READING			
System	Config. Input C	EXTERNAL FAULT 3			
System	Config. Input D	REMOTE RESET			
System	Protection Only	NO			
System	Param. Setting	LOCKED			
Voltage	U/V Level 1	50 % OF VN			
Voltage	U/L Delay	10			
Voltage	UV Active At Stop	DISABLE			
Voltage	U/V Strt Prevent	OFF			
Voltage	U/V Auto Restart	DISABLE			
Voltage	U/V Restrt Delay	----			
Voltage	O/V Level 1	----			



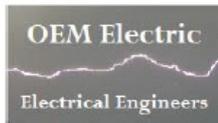
RUC: 20507430555

Av. Javier Prado Este 996 Of. 301 – Lima 27 - PERU

Phone: +51 1 715 3800 Fax: +51 1 718 8195

LV & MV Switchgear and MCC  
 Mining Substations – Switchrooms  
 Mobile and Transportable Substation  
 Power Rectifiers – LV & MV Drives  
 Soft Starters - Battery Systems - UPS  
 Dry & Oil Transformers  
 Automation & Control - SCADA - Turnkey Solutions  
 Motors LV and MV

Voltage	O/V Level 2	----		
Voltage	O/V Level Delay 2	----		
Current	Max. Start Time	5		
Current	Number Of Starts	4		
Current	Starts Period	30 MIN		
Current	Start Inhibit	10 MIN		
Current	U/C Level 1	----		
Current	U/C Lvl 1 Delay	----		
Current	U/C Lvl 2	----		
Current	U/C Lvl 2 Delay	----		
Current	Load Increase	150%		
Current	O/C Level 1 - JAM	200%		
Current	O/C Lvl 1 Delay	2		
Current	O/C Lvl 2 - Short	600%		
Current	O/C Lvl 2 Delay	0.1		
Current	Unbalance Lvl 2	10		
Current	Unbalance Min T	5		
Current	U/B Lvl 2 Max T	20		
Overload	Curve Multiplier	6		
Overload	Overload Pickup	1.05		
Overload	Hot/Cold Ratio	50		
Overload	Run Cool T Const	10		
Overload	Stp Cool T Const	30		
Overload	Unbalance K Factor	5		
Overload	RTD Bias	OFF		
Overload	RTD Bias Minimum	----		
Overload	RTD Bias Middle	----		
Overload	RTD Bias Maximum	----		
Overload	Thermal Level 1	----		
Overload	Stall Time Factor	----		
Power	Rated PF At FLC	----		
Power	Under PWR Level 1	----		
Power	U/P Level 2 Delay	----		
Power	Under PWR level 2	----		
Power	U/P Level 2 Delay	----		
Power	Low Power Factor	----		
Power	Low PF Delay	----		
Power	KWRH Per Pulse	----		
Temperature	RTD Type	PLATINUM 100 OHM		
Temperature	T7..10 Type	RTD		
Temperature	T1 Level 1	110		
Temperature	T1 Level 2	120		
Temperature	T2 Level 1	110		
Temperature	T2 Level 2	120		
Temperature	T3 Level 1	110		
Temperature	T3 Level 2	120		
Temperature	T4 Level 1	110		



RUC: 20507430555

Av. Javier Prado Este 996 Of. 301 – Lima 27 - PERU

Phone: +51 1 715 3800 Fax: +51 1 718 8195

LV &amp; MV Switchgear and MCC

Mining Substations – Switchrooms

Mobile and Transportable Substation

Power Rectifiers – LV &amp; MV Drives

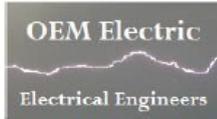
Soft Starters - Battery Systems - UPS

Dry &amp; Oil Transformers

Automation &amp; Control - SCADA - Turnkey Solutions

Motors LV and MV

Temperature	T4 Level 2	120			
Temperature	T5 Level 1	110			
Temperature	T5 Level 2	120			
Temperature	T6 Level 1	110			
Temperature	T6 Level 2	120			
Temperature	T7 Level 1	70			
Temperature	T7 Level 2	80			
Temperature	T8 Level 1	70			
Temperature	T8 Level 2	80			
Temperature	T9 Level 1	----			
Temperature	T9 Level 2	----			
Temperature	T10 Level 1	----			
Temperature	T10 Level 2	----			
Analog I/O	Analog Out Type	----			
Analog I/O	Analog Out 1 Par.	----			
Analog I/O	Analog Out 1 Min.	----			
Analog I/O	Analog Out 1 Max.	----			
Analog I/O	Analog Out 2 Par.	----			
Analog I/O	Analog Out 2 Min.	----			
Analog I/O	Analog Out 2 Max.	----			
Analog I/O	Analog Out 3 Par.	----			
Analog I/O	Analog Out 3 Min.	----			
Analog I/O	Analog Out 3 Max.	----			
Analog I/O	Analog Out 4 Par.	----			
Analog I/O	Analog Out 4 Min.	----			
Analog I/O	Analog Out 4 Max.	----			
Analog I/O	Analog In 1 Type	4...20 mA			
Analog I/O	Analog In 1 Level	----			
Analog I/O	Analog In 1 Delay	----			
Analog I/O	Analog In 2 Type	4...20 mA			
Analog I/O	Analog In 2 Level	----			
Analog I/O	Analog In 2 Delay	----			
Analog I/O	Analog In 3 Type	4...20 mA			
Analog I/O	Analog In 3 Level	----			
Analog I/O	Analog In 3 Delay	----			
Analog I/O	Analog In 4 Type	4...20 mA			
Analog I/O	Analog In 4 Level	----			
Analog I/O	Analog In 4 Delay	----			

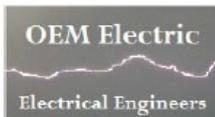


RUC: 20507430555  
 Av. Javier Prado Este 996 Of. 301 – Lima 27 - PERU  
 Phone: +51 1 715 3800 Fax: +51 1 718 8195

LV & MV Switchgear and MCC  
 Mining Substations – Switchrooms  
 Mobile and Transportable Substation  
 Power Rectifiers – LV & MV Drives  
 Soft Starters - Battery Systems - UPS  
 Dry & Oil Transformers  
 Automation & Control - SCADA - Turnkey Solutions  
 Motors LV and MV

Y = YES  
 N = NO

		TRIP	ALARM	AUTO RESET	PANEL RESET	PLC RESET	OUTPUT A	OUTPUT B
Tripping / Alarm	Max Start Time	Y	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	Too Many Starts	Y	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	U/C Level 1	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	U/C Level 2	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	Load Increased	Y	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	O/C Level 1 - JAM	Y	Y	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	O/C Lvl 2 - Short	Y	Y	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	Thermal Level 1	N	Y	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	Thermal Level 2	Y	Y	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	Unbalance Lvl 2	Y	Y	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	UnderVoltage	N	Y	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	O/V Level 1	N	Y	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	O/V Level 2	Y	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	Phase Loss	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	Phase Sequence	Y	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	GND Fault Level 1	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	GND Fault Level 2	Y	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	Comm Port Failed	N	Y	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	Internal Failure	Y	N	N	N	N	N	N
Tripping / Alarm	Control Cir. Open	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	Welded Contactor	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	External Fault 1	Y	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	External Fault 2	Y	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	External Fault 3	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	RTD 1 Level 1	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	RTD 1 Level 2	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	RTD 2 Level 1	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	RTD 2 Level 2	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	RTD 3 Level 1	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	RTD 3 Level 2	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	RTD 4 Level 1	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	RTD 4 Level 2	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	RTD 5 Level 1	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	RTD 5 Level 2	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	RTD 6 Level 1	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	RTD 6 Level 2	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	RTD 7 Level 1	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	RTD 7 Level 2	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	RTD 8 Level 1	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	RTD 8 Level 2	N	N	N	Y	Y	N	N



RUC: 20507430555  
 Av. Javier Prado Este 996 Of. 301 – Lima 27 - PERU  
 Phone: +51 1 715 3800 Fax: +51 1 718 8195

LV & MV Switchgear and MCC  
 Mining Substations – Switchrooms  
 Mobile and Transportable Substation  
 Power Rectifiers – LV & MV Drives  
 Soft Starters - Battery Systems - UPS  
 Dry & Oil Transformers  
 Automation & Control - SCADA - Turnkey Solutions  
 Motors LV and MV

Tripping / Alarm	RTD 9 Level 1	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	RTD 9 Level 2	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	RTD 10 Level 1	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	RTD 10 Level 2	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	Under PWR Lvl 1	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	Under PWR Lvl 2	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	LOW POWER FACTOR	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	Analog In 1	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	Analog In 2	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	Analog In 3	N	N	N	Y	Y	N	N
Tripping / Alarm	Analog In 4	N	N	N	Y	Y	N	N

Communication	Baud Rate	19200			
Communication	Profi. Network ID	(5)			
Communication	S. Link Save Lock	ENABLE			
Communication	Front Com Address	OFF			

(\*) Las direcciones Profibus las define el cliente

<b>ELABORADO: JORGE OSORIO</b>	<b>ACEPTADO:</b>
	 <b>RICARDO CRUZ PACHECO</b> Ricardo Cruz Pacheco Supervisor de Control Especialista de Proyectos