

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y
METALÚRGICA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



**EVALUACION DE LA CALIBRACIÓN DEL PATRÓN P₈₀ EN EL PSM
400MPX DE OVERFLOW EN NIDOS DE HIDROCICLONES EN PLANTA
CONCENTRADORA LAS BAMBAS APURÍMAC**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. WUILLAM SUCA CJUNO

Bach. HEBERT OCAMPO HUAMÁN

Para optar al Título Profesional de INGENIERO
METALÚRGICO

ASESOR: Ing. Porfirio Carrasco Tapia

CUSCO - PERU

PRESENTACIÓN

Señor Decano de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica.

Señores Docentes miembros del jurado, dando cumplimiento a las disposiciones vigentes del **Reglamento para Optar al Grado Académico de Bachiller en Ingeniería Metalúrgica y Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico Adaptado para Atención por Medio Virtual**, de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minas e Metalurgia, ponemos a vuestra disposición la presente tesis intitulada:

EVALUACIÓN DE LA CALIBRACIÓN DEL PATRÓN P_{80} EN EL PSM 400MPX DE OVERFLOW EN NIDOS DE HIDROCICLONES EN PLANTA CONCENTRADORA LAS BAMBAS APURÍMAC

El presente trabajo se realizó para evaluar el patrón de calibración de P_{80} en el equipo PSM 400MPX de overflow en nidos de clasificadores (CSC-001 y CSC-002), la calibración fue de gran utilidad para el control y monitoreo de la granulometría en el circuito de molienda, la medición de la granulometría y su estabilidad de funcionamiento del equipo PSM, ayuda en el control de uno de los parámetros de la operación de molienda para la recuperación del elemento valioso en el circuito de flotación de la planta concentradora.

SUCA CJUNO, Wuillam

OCAMPO HUAMÁN, Hebert

DEDICATORIAS

A Dios le doy las gracias por ser mi primer guía por darme vida, salud y sabiduría a lo largo del estudio de mi formación profesional.

Para mí una gran satisfacción poder dedicarles a ellos, que con mucho esfuerzo, esmero y trabajo me lo he ganado. A mis padres, Sr. Marcelino Suca Vargas y Sra. Honorata Cjuno Ccama, porque ellos son la motivación de mi vida mi orgullo de ser lo que seré.

A mis hermanos, Alberta, Raúl, Edgardo, Honorata y Reina, porque son la razón de sentirme tan orgulloso de culminar mi meta, gracias a ellos por confiar siempre en mí, y sin dejar atrás, a toda mis familiares, amigos y compañeros de trabajo por su apoyo incondicional, gracias por formar parte de mi vida y por permitirme ser parte de su orgullo.

A Diana, por su cariño, comprensión y permanente apoyo en el logro de este propósito.

A mi asesor Ing. Porfirio Carrasco Tapia y a todos los docentes del Departamento Académico de Ingeniería Metalúrgica, por el tiempo y esfuerzo que dedicaron a compartir sus conocimientos, en general a la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco por haberme acogido y darme tantas alegrías.

Atte.: Wuillam Suca Cjuno

A Dios, le doy las gracias por ser mi primer guía. Por estar siempre conmigo en mis momentos difíciles, gracias a él, que siempre me apoyó, escuchó mi oración y hoy hace realidad mi sueño de ser profesional.

A mi madre: Hermenegilda; gracias por estar siempre a mi lado apoyándome, y cuidándome. Espero ser un orgullo para ti y nunca defraudarte. Gracias por ser la mejor madre del mundo y gracias por impulsar a que se hagan realidad mis sueños.

A mi padre Emiliano y mis hermanos, quienes, con su exigencia, dedicación y responsabilidad, hicieron posible que alcanzara mi realización. Jamás olvidaré sus sabios consejos para ser un mejor hombre cada día.

A mi pareja Nélide, por su cariño, comprensión y permanente apoyo en el logro de este propósito y a mi hijo Arthur Nayib que son el impulso para seguir adelante.

A mi asesor Ing. Porfirio Carrasco Tapia y a todos los docentes del Departamento Académico de Ingeniería Metalúrgica de nuestra primera casa de estudios por sus enseñanzas, paciencia, esmero y dedicación en mi aprendizaje.

Atte.: Hebert Ocampo Huaman

ÍNDICE GENERAL

PRESENTACIÓN	I
DEDICATORIAS	II
ÍNDICE GENERAL	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE GRÁFICOS	IX
LISTA DE SIMBOLOGÍA	XII
RESUMEN	XIV
ABSTRACT	XV

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

1.1. Situación problemática	1
1.1.1. Planteamiento de problema	1
1.2. Formulación de problemas	3
1.2.1. Problema general	3
1.2.2. Problema específico	3
1.3. Justificación	4
1.3.1. Justificación técnica	4
1.3.2. Justificación económica	4
1.3.3. Justificación tecnológica	4
1.3.4. Utilidad metodológica	5
1.4. Objetivos de Investigación	5
1.4.1. Objetivo general	5
1.4.2. Objetivo específico	5

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes internacionales	7
2.2. Antecedente Nacional	9
2.3. Bases teóricas	11
2.3.1. Analizador de partículas PSM 400 multipoint	11
2.3.1.1. Ventajas en la medición en línea	12
2.3.1.2. Características del equipo	12
2.3.1.3. Principio de funcionamiento del equipo	13
2.3.1.4. Principio de análisis de la distribución granulométrica	14
2.3.1.5. TAG de identificación para análisis de mallas y P₈₀	17
2.3.2. Análisis de regresión	18
2.3.2.1. Regresión lineal simple	19

2.3.2.2.	Regresión lineal múltiple.....	20
2.3.2.3.	Coeficiente de correlación.....	20
2.3.2.4.	Coeficiente de determinación	22
2.3.2.5.	F de Fisher.....	23
2.3.2.6.	Error cuadrático medio.....	23
2.3.2.7.	Error estándar de la muestra.....	24
2.3.2.8.	Análisis estadístico univariado	24
2.3.2.9.	Representación de histogramas	25
2.3.2.10.	Hipótesis estadística	25
2.3.2.11.	Distribución normal	26
2.3.3.	Calibración.....	27
2.3.4.	Fundamentos de la conminución	29
2.3.4.1.	Postulado de RITTINGER (1867) (Primera Ley de la Conminución).....	30
2.3.4.2.	Postulado de KICK (1885) (Segunda Ley de la Conminución)	31
2.3.4.3.	Postulado de BOND (1952) (Tercera Ley de la Conminución)	32
2.3.5.	Mecanismo de la molienda de minerales.....	33
2.3.6.	Tamaño del material apropiado de alimentación al molino	38
2.3.7.	Mecanismos de fractura	39
2.3.8.	Caracterización granulométrica	42
2.3.9.	Clasificación del mineral en hidrociclón	45
2.3.10.	Eficiencia del hidrociclón.....	47
2.3.11.	Funciones del hidrociclón.....	49
2.3.12.	Disponibilidad operacional del equipo	50
2.3.13.	Tipos de mantenimiento para la disponibilidad	52
2.3.14.	Sistemas de automatización industrial.....	53
2.3.14.1.	Características de la automatización industrial.....	53
2.3.14.2.	Componentes de la estructura básica del PLC.....	54
2.3.14.3.	Arquitectura funcionamiento de PLC	56
2.4.	Definición de términos.....	58

CAPITULO III

HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1.	Hipótesis	62
3.1.1.	Hipótesis general	62
3.1.2.	Hipótesis específica.....	62
3.2.	Variables	62
3.2.1.	Identificación de variables	62

3.3. Operacionalización de variables.....	63
---	----

CAPITULO IV

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Ámbito de estudio	65
4.1.1. Estructura de la operación de la planta concentradora	66
4.1.1.1. Recepción del mineral de la mina	66
4.1.1.2. Chancado primario y transporte de mineral	67
4.1.1.3. Circuito de molienda de minerales	69
4.1.1.4. Flotación colectiva	73
4.1.1.5. Espesamiento de concentrado bulk	76
4.1.1.6. Espesamiento de relaves	77
4.1.1.7. Filtrado de concentrado Bulk	78
4.1.1.8. Transporte de concentrado	79
4.2. Diseño de investigación	79
4.2.1. Tipo de investigación	80
4.2.2. Nivel de investigación	80
4.3. Población de estudio	80
4.3.1. Población	80
4.3.2. Muestra	81
4.3.3. Técnicas de recolección de información	83
4.3.4. Instrumentos, equipos y materiales	83
4.4. Validez y confiabilidad de instrumentos	84
4.5. Plan de análisis de datos	85
4.5.1. Procesamiento de resultados	85
4.5.2. Análisis de resultados	85

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1. Modelamiento de ecuaciones de OF1 del PSM 400MPX	86
5.1.1. Modelamiento de ecuaciones para porcentaje de solidos	86
5.1.2. Modelamiento de ecuaciones para malla 40	91
5.1.3. Modelamiento de ecuaciones para malla 50	95
5.1.4. Modelamiento de ecuaciones para malla 70	100
5.1.5. Resultados de P_{80} de los modelos	104
5.2. Modelamiento de ecuaciones en OF2 del PSM 400MPX	107
5.2.1. Modelamiento de ecuaciones para porcentaje de solidos	107
5.2.2. Modelamiento de ecuaciones para malla 40	112
5.2.3. Modelamiento de ecuaciones para malla 50	117

5.2.4.	Modelamiento de ecuaciones para malla 70	121
5.2.5.	Resultados de P_{80} de los modelos	125
5.3.	Disponibilidad del equipo PSM 400MPX	129
5.3.1.	Sistema de dardos manuales en los OF1 y OF2 del PSM	129
5.3.2.	Sistema de dardos neumáticos para la instalación	131
5.3.3.	Instalación de gabinete de control para los dardos neumáticos	132
5.3.4.	Filosofía de control de los dardos neumáticos de OF1 y OF2 PSM 400MPX	135
5.3.5.	Disponibilidad operacional del equipo PSM 400MPX	138
5.4.	Discusión de resultados	144
5.4.1.	Inferencia de resultados para porcentaje de solidos OF1	144
5.4.2.	Inferencia de resultados para malla 40 OF1	146
5.4.3.	Inferencia de resultados para malla 50 OF1	148
5.4.4.	Inferencia de resultados para malla 70 OF1	150
5.4.5.	Inferencia de resultados para P_{80} OF1	151
5.4.6.	Inferencia de resultados para porcentaje de solidos OF2	153
5.4.7.	Inferencia de resultados para malla 40 OF2	155
5.4.8.	Inferencia de resultados para malla 50 OF2	157
5.4.9.	Inferencia de resultados para malla 70 OF2	158
5.4.10.	Inferencia de resultados para P_{80} OF2	160
5.4.11.	Inferencia de resultados para la disponibilidad del PSM	162
5.5.	Prueba de hipótesis	163
CONCLUSIONES		173
RECOMENDACIONES		174
BIBLIOGRAFÍA		175
PÁGINAS WEB.....		176
ANEXOS		178

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1. TAG de las mallas y calculados de la distribución granulométrica	17
Tabla 2. 2. Cálculos realizados de la distribuir granulométrica y P_{80}	18
Tabla 2. 3. Interpretación de coeficientes de correlación	22
Tabla 2. 4. Valores tipos de W_i	33
Tabla 3. 1. Variables independiente y dependiente	63
Tabla 3. 2. Operacionalizacion de variables.....	63
Tabla 4. 1. Volumen de muestreo de pulpa de mineral	79
Tabla 5. 1. Descripción de materiales para el gabinete de control de dardos	131
Tabla 5. 2. Tiempos de los actuadores y análisis del PSM.....	137
Tabla 5. 3. % Disponibilidad mensual PSM 400MPX con respecto a disponibilidad del Molino SAG1	139
Tabla 5. 4. % Disponibilidad mensual del PSM y molino SAG N°1	142
Tabla 5. 5. Valores estadísticos de los modelos de % solidos	145
Tabla 5. 6. Valores estadísticos de las muestras de calibración en cada modelo	145
Tabla 5. 7. Valores estadísticos de los modelos de malla 40	146
Tabla 5. 8. Valores estadísticos de las muestras de calibración en cada modelo	147
Tabla 5. 9. Valores estadísticos de los modelos de malla 50	148
Tabla 5. 10. Valores estadísticos de las muestras de calibración en cada modelo	149
Tabla 5. 11. Valores estadísticos de los modelos de malla 70	150
Tabla 5. 12. Valores estadísticos de las muestras de calibración en cada modelo	151
Tabla 5. 13. Valores estadísticos de P_{80} de cada modelo	152
Tabla 5. 14. Resumen de coeficientes de correlación en cada modelo	153
Tabla 5. 15. Resultado de P_{80} de las calibraciones de OF1.....	153
Tabla 5. 16. Valores estadísticos de los modelos de % solidos	153
Tabla 5. 17. Valores estadísticos de las muestras de calibración en cada modelo	154
Tabla 5. 18. Valores estadísticos de los modelos de malla 40	155
Tabla 5. 19. Valores estadísticos de las muestras de calibración en cada modelo	156
Tabla 5. 20. Valores estadísticos de los modelos de malla 50	157
Tabla 5. 21. Valores estadísticos de las muestras de calibración en cada modelo	157
Tabla 5. 22. Valores estadísticos de los modelos de malla 70	158
Tabla 5. 23. Valores estadísticos de las muestras de calibración en cada modelo	159
Tabla 5. 24. Valores estadísticos de P_{80} de cada modelo	160
Tabla 5. 25. Resumen de coeficientes de correlación en cada modelo	161
Tabla 5. 26. Resultado de P_{80} de las calibraciones de OF2.....	162
Tabla 5. 27. Disponibilidad del PSM1 en general	162
Tabla 5. 28. Resumen de la tabla de las hipótesis	170
Tabla 5. 29. Resumen estadístico de las disponibilidades SAG1 y PSM1	171
Tabla 5. 30. Resumen de la prueba de hipótesis de la disponibilidad	172

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 2. 1. Circuito típico de la molienda	13
Figura 2. 2. Diagrama esquemático del sistema de análisis	14
Figura 2. 3. Sistema de transmisión de energía en pulpa.....	14
Figura 2. 4. Sistema de transmisión de energía - atenuación en agua	15
Figura 2. 5. Sistema de transmisión de energía – efecto de aire	15
Figura 2. 6. Módulo de análisis de muestras	17
Figura 2. 7. Tipos de coeficientes de regresión.....	21
Figura 2. 8. diagrama de cajas y bigotes.....	25
Figura 2. 9. representación de histograma.....	26
Figura 2. 10. Curva de densidad de la distribución normal.....	27
Figura 2. 11. Distintas zonas de molienda SAG	35
Figura 2. 12. Mecanismos de fractura.....	41
Figura 2. 13. Representación de la aplicación de esfuerzos en la etapa de chancado	42
Figura 2. 14. Tamiz y proceso de tamiza.....	44
Figura 2. 15. Grafica de una Distribución Granulométrica.....	44
Figura 2. 16. % Pasante acumulado y Rechazo acumulado versus tamaño de partículas.....	46
Figura 2. 17. Componentes principales de una hidrociclón.....	47
Figura 2. 18. Curva de eficiencia de un hidrociclón	48
Figura 2. 19. Efecto del patrón de descarga del hidrociclón.....	49
Figura 2. 20. Representación de porcentaje de P_{80}	50
Figura 2. 21. Representación gráfica de porcentaje de P_{80}	50
Figura 2. 22. Diagrama de tiempo de operación y fuera de servicio.....	51
Figura 2. 23. Curva de confiabilidad y disponibilidad.....	53
Figura 2. 24. Estructura básica de un PLC.....	55
Figura 2. 25. Arquitectura funcionamiento de PLC	56
Figura 2. 26. Estructural general del funcionamiento de un PLC	58
Figura 4. 1. Localización de la unidad minera las Bambas.....	66
Figura 4. 2. Entradas y salidas del proceso de chancado primario.....	68
Figura 4. 3. Diagrama de flujo de transporte de mineral grueso.....	68
Figura 4. 4. Diagrama de Circuito Cerrado Directo (CCD)	70
Figura 4. 5. Diagrama Circuito cerrado inverso (CCI)	72
Figura 4. 6. Diagrama esquemático circuito de flotación y limpieza.....	75
Figura 4. 7. Diagrama de flujo de circuitos de remolienda Ro y Ro- SCV.....	76
Figura 4. 8. Diagrama esquemático circuito de espesamiento concentrado Cu	77
Figura 4. 9. . Diagrama esquemático espesamiento de relaves	78
Figura 4. 10. Funcionamiento del edificio de despacho	79
Figura 4. 11. Sistema de muestreo de pulpa	82
Figura 5. 1. Modelo en línea en equipo de % solidos OF1	86
Figura 5. 2. Tendencia comparativa de % solidos entre laboratorio y PSM	87
Figura 5. 3. Grafica cajas e histograma de entrada	88
Figura 5. 4. Ultimo modelo para % solidos OF1	89

Figura 5. 5.	Tendencia comparativa de modelo final de % solidos OF1	90
Figura 5. 6.	Grafica cajas e histograma de salida	90
Figura 5. 7.	Modelo en línea en equipo de malla 40 OF1	91
Figura 5. 8.	Tendencia comparativa de % malla 40 entre laboratorio y PSM.....	92
Figura 5. 9.	Grafica cajas e histograma de entrada	93
Figura 5. 10.	Modelo final de % Malla 40 OF1.....	94
Figura 5. 11.	Tendencia comparativa del modelo final de % Malla 40 OF1.....	94
Figura 5. 12.	Grafica cajas e histograma de salida.....	95
Figura 5. 13.	Modelo en línea en equipo de malla 50 OF1.....	96
Figura 5. 14.	Tendencia comparativa de % malla 50 entre laboratorio y PSM.....	
Figura 5. 15.	Grafica cajas e histograma de entrada.....	97
Figura 5. 16.	Modelo final de % malla 50 OF1.....	98
Figura 5. 17.	Tendencia comparativa final del modelo de % malla 50 OF1	99
Figura 5. 18.	Grafica cajas e histograma de salida.....	99
Figura 5. 19.	Modelo en línea en equipo de Malla 70 OF1.....	100
Figura 5. 20.	Tendencia comparativa de % malla 70 entre Laboratorio y PSM	101
Figura 5. 21.	Grafica cajas e histograma de entrada.....	101
Figura 5. 22.	Modelo final de % malla 70 OF1.....	102
Figura 5. 23.	Tendencia comparativa final del modelo de % Malla 70 OF1.....	103
Figura 5. 24.	Grafica cajas e histograma de salida.....	103
Figura 5. 25.	Tendencia comparativa de P_{80} laboratorio y PSM	104
Figura 5. 26.	Grafica cajas e histograma de entrada.....	105
Figura 5. 27.	Resultados finales de los cálculos de P_{80} del Modelos.....	106
Figura 5. 28.	Grafica cajas e histograma de salida.....	107
Figura 5. 29.	Modelo en línea en equipo de % Solidos OF2	108
Figura 5. 30.	Tendencia comparativa de % solidos entre laboratorio y PSM	109
Figura 5. 31.	Grafica cajas e histograma de entrada.....	109
Figura 5. 32.	Ultimo modelo para % solidos OF1.....	111
Figura 5. 33.	Tendencia comparativa de modelo final de % solidos OF2	111
Figura 5. 34.	Grafica cajas e histograma de salida.....	112
Figura 5. 35.	Modelo en línea en equipo de Malla 40 OF2.....	113
Figura 5. 36.	Tendencia comparativa de % malla 40 entre laboratorio y PSM.....	113
Figura 5. 37.	Grafica cajas e histograma de entrada.....	114
Figura 5. 38.	Modelo final de % Malla 40 OF1.....	115
Figura 5. 39.	Tendencia comparativa del modelo final de % Malla 40 OF1.....	116
Figura 5. 40.	Grafica cajas e histograma de salida.....	116
Figura 5. 41.	Modelo en línea en equipo de malla 50 OF1.....	117
Figura 5. 42.	Tendencia comparativa de % malla 50 entre laboratorio y PSM.....	118
Figura 5. 43.	Grafica cajas e histograma de entrada.....	118
Figura 5. 44.	Modelo final de % malla 50 OF1.....	119
Figura 5. 45.	Tendencia comparativa final del modelo de % malla 50 OF1	120
Figura 5. 46.	Grafica cajas e histograma de salida.....	121
Figura 5. 47.	Modelo en línea en equipo de malla 70 OF2.....	122
Figura 5. 48.	Tendencia comparativa de % malla 70 entre Laboratorio y PSM	122
Figura 5. 49.	Grafica cajas e histograma de entrada.....	123

Figura 5. 50.	Modelo final de % malla 70 OF2.....	124
Figura 5. 51.	Tendencia comparativa final del modelo de % Malla 70 OF2.....	125
Figura 5. 52.	Grafica cajas e histograma de salida.....	125
Figura 5. 53.	Tendencia comparativa de P80 laboratorio y PSM	126
Figura 5. 54.	Grafica cajas e histograma de entrada.....	127
Figura 5. 55.	Resultados finales de los cálculos de P ₈₀ del Modelos.....	128
Figura 5. 56.	Grafica cajas e histograma de salida.....	128
Figura 5. 57.	Esquema del sistema de muestreo del PSM de OF1 y OF2	130
Figura 5. 58.	Dardos neumáticos para OF1 y OF2	131
Figura 5. 59.	Diseño de gabinete de control de dardos.....	132
Figura 5. 60.	Gabinete instalado de los dardos neumáticos OF1 y OF2.....	133
Figura 5. 61.	Gabinete del sistema operativo del PSM 400MPX.....	133
Figura 5. 62.	Plano de Sistema Eléctrico del PSM 400MPX	134
Figura 5. 63.	Diagrama de flujo del PSM 400MPX	137
Figura 5. 64.	Representación del PSM 400MPX en campo	138
Figura 5. 65.	% Disponibilidad mensual del PSM.....	140
Figura 5. 66.	Disponibilidad mensual del PSM y molino SAG N°1	141
Figura 5. 67.	Disponibilidad semanal del PSM1 con respecto al SAG1	140
Figura 5. 68.	Grafica cajas e histograma de entrada.....	143
Figura 5. 69.	Grafica cajas e histograma de salida.....	144
Figura 5. 70.	Coeficiente de correlación y error relativo.....	146
Figura 5. 71.	Coeficiente de correlación y error relativo.....	148
Figura 5. 72.	Coeficiente de correlación y error relativo.....	149
Figura 5. 73.	Coeficiente de correlación y error relativo.....	151
Figura 5. 74.	Error relativo inicial y final de P ₈₀	152
Figura 5. 75.	Coeficiente de correlación y error relativo.....	155
Figura 5. 76.	Coeficiente de correlación y error relativo.....	156
Figura 5. 77.	Coeficiente de correlación y error relativo.....	158
Figura 5. 78.	Coeficiente de correlación y error relativo.....	160
Figura 5. 79.	Error relativo inicial y final de P ₈₀	159
Figura 5. 80	Disponibilidad del PSM1 en general	163

LISTA DE SIMBOLOGÍA

- ASTM : Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.
- CCD : Circuito Cerrado Directo.
- CCI : Circuito Cerrado Inverso.
- CPU : Unidad de Central de Procesamiento.
- CVB : Faja transportadora (Conveyer Belt).
- dB : Decibeles.
- DCS : Sistema de Control Distribuido.
- DIS : Cajón Disipador.
- E : Energía.
- F : F – Estadística.
- FEA : Alimentador de Placas (Apron Feeder).
- g/L : Gramos por litro.
- HCL : Ácido Clorhídrico.
- HMI : Hombre Maquina Interfase.
- Hz : Hertz.
- kN/m : Kilo newton por metro.
- KPI : Indicador clave de rendimiento.
- kW : Kilo Watts.
- m³/h : Metros cúbicos por hora.
- MEP 220 : Medición de Elementos de Partículas de Minerales.
- MLB : Molino de Bolas.
- MMG : Minerals and Metals Group
- MP 1000 : Tipo de chancadora cónica.
- MSA : Analizador Multiflujo de Leyes.
- msnm : Metros sobre nivel del mar.
- MW : Mega Watts.
- OF : Over Flow.
- PH 20 : Tipo de Floculante.
- PHD : Marcas de comunicación.
- PI System : Plataforma inteligencia del Sistema.
- PLC : Controlador Lógico Programable.

- PPS : Sistema de Bomba de Partícula.
- PSI 200 : Modelo de un Equipo Analizador de Partículas.
- PSI : Pound-force per Square Inch, (libras por pulgada cuadrada).
- PSM : Monitor de Tamaño de Partícula.
- PST : Analizador de Tamaño de Partículas.
- PV : Variable operacional.
- R² : Coeficiente de Correlación.
- RAM : Memoria de solo Lectura.
- RMS : Raíz Media Cuadrática (Root Mean Square).
- rpm : Revoluciones por minuto.
- SAG : Semi Autogeno.
- SAL : Sistema de muestreo.
- SCADA : Supervisión Control y Adquisición de Datos.
- SCS : Sistema de Ciclones para Separación.
- SSE : Error Relativo Estándar.
- STP : Sistema de Tanques Primarios.
- SUL : Sumidero Línea.
- t/h : Toneladas por hora.
- TPM : Material protector de temperatura.
- TAG : nombre o código que le pone a un determinado objeto para su reconocimiento en el sistema.
- UF : Under Flow.
- μm : Micrones.

RESUMEN

La presente investigación se hizo con la finalidad de calibrar el equipo PSM 400MPX para la evaluación y su estabilización del patrón P_{80} en el overflow de los nidos de hidrociclones para el control y monitoreo de la granulometría en el circuito de molienda en planta concentradora de Las Bambas – Apurímac.

La investigación aplicada tiene enfoque cuantitativo con diseño experimental y de nivel correlacional. Se utilizaron en promedio 101 muestras para la calibración del equipo PSM 400MPX, todas estas muestras fueron procesadas mecánicamente para la distribución granulométrica en el laboratorio Metalúrgico, con estos resultados se realizaron los modelos de regresión lineal en el software del equipo THE MODELER para porcentaje de sólidos, mallas 40, 50, 70 y calculado de P_{80} en ambos overflow.

Durante el proceso se realizaron 5 modelamientos de ecuaciones en el PSM 400MPX, donde se obtiene los siguientes resultados de coeficientes de correlación en promedio en los OF1 y OF2: porcentaje de sólidos, 95%, para malla 40 el 97%, malla 50 el 92% y malla 70 el 86%, según el nivel de significancia a 5% los valores de las medias son iguales al 90% entre PSM y laboratorio.

Con las calibraciones realizadas en el equipo PSM 400 MPX en las dos líneas, se evaluó el P_{80} , cuyos resultados en las 5 muestras de validación tienen un error relativo promedio de 2.80%, y los valores de las medias son iguales entre laboratorio y PSM según el nivel de confianza al 95%, estos resultados son validadas en el laboratorio Metalúrgico de MMG Las Bambas.

Además, para mantener los datos de las mallas y P_{80} en tiempo real, ante cualquier circunstancia que ocurra en el circuito, con los sistemas auxiliares implementadas en el equipo PSM 400MPX, permite tener una disponibilidad operacional de 94% en promedio cada mes.

Palabras clave: Distribución granulométrica, calibración, recalibración, P_{80} , modelamiento, disponibilidad operacional, optimización y evaluación.

ABSTRACT

The present investigation was carried out with the purpose of calibrating the machine PSM 400MPX for the evaluation and its stabilization of the P_{80} pattern in the PSM 400MPX of overflow of the nests of classifiers for the control and monitoring of the granulometry in the grinding circuit in the concentrator plant. The Bambas – Apurimac.

Applied research has a quantitative approach with an experimental and correlational level design. An average of 101 samples were used for the recalibration of the meshes, all these samples were processed mechanically for the granulometric distribution in the Metallurgical laboratory, with these results the linear regression models were made in the software of THE MODELER team to percentage of solids, meshes 40, 50, 70 and calculated from P_{80} in both overflows.

During the process, 5 modeling of equations were carried out in the PSM 400MPX, where the following results of average correlation coefficients are obtained: percentage of solids the 95%, for mesh 40 the 97%, mesh 50 the 92% and mesh 70 the 86%, according to the level of significance at 5% the mean values are same to 90% between PSM and laboratory.

With the calibrations carried the machine for the evaluation PSM, the P_{80} was optimized, whose results in the 5 validation samples have an average relative error of 2.80%, and the mean values are the same between laboratory and PSM according to the 95% confidence level, these results are validated by the MMG Las Bambas Metallurgical Laboratory.

In addition, to maintain the data of the meshes and P_{80} in real time, in the face of any circumstance that occurs in the circuit, with the auxiliary systems implemented in the PSM 400MPX equipment, it allows an operational availability of 94% on average each month.

Keywords: Particle size distribution, calibration, recalibration, P_{80} , modeling, operational availability and evaluation.

INTRODUCCIÓN

La importancia de la determinación de la granulometría en forma automática en los procesos de conminución en la industria minero Metalúrgico, es uno de los problemas fundamentales en los procesos de control de molienda, debido a que trabajan a gran escala y de forma continua que requieren mayor control del tamaño de partículas.

Actualmente existen diversos métodos e instrumentos para medir el tamaño de partículas en la molienda. Los dispositivos más usados para la medición de partículas de interés, están basados en difracción laser, medición con calibradores y ultrasónica. Se puede mencionar las mineras a gran escala de capacidad de procesamiento en nuestro país utilizan equipos como: PSM 400MPX en Antapaccay, las Bambas y Shouthern Copper, PSI 300 en Antamina y Cerro Verde, y Quellaveco utilizará PST de Cidra en los ciclones, todas estas para el control de granulometría para la producción de concentrados de cobre y molibdeno.

En la planta concentradora de Las Bambas se utiliza el analizador de partículas PSM 400MPX de overflow para el control y monitoreo de la granulometría en el circuito de molienda, según el diagnóstico del año 2019 en las mallas de análisis y datos calculados de P_{80} del OF1 y OF2, mostraron errores relativos significantes según las comparaciones realizadas entre laboratorio Metalúrgico y PSM 400MPX, además este equipo analizador presentó bastantes paradas por la circunstancia de la variabilidad de la granulometría en el circuito de molienda, también se observó que la calibración del equipo se realizaron con las pruebas de distribución granulométrica durante la puesta en marcha de la planta concentradora el año 2017 y se inició la estabilización de la planta durante mediados del 2018 y finales del 2019, lo cual el equipo continuó con los mismos patrones de calibraciones.

A inicios del año 2020 se intensificaron las pruebas de calibración del equipo PSM con mayor interés, y a finales del año 2021 se logra la calibración final optima del equipo en OF1 y OF2, cuyos resultados en promedio de los coeficientes de correlación son: Para porcentaje de solidos 95%, malla 40 el 97%, malla 50 el 92%, malla 70 el 86% y P_{80} presenta un promedio de error relativo en las muestras de validación de 2.80% en ambos overflow.

Además, con la instalación de sistemas auxiliares, automatización e implementación de lógicas de control, se redujo las paradas en su funcionamiento del PSM, es decir la disponibilidad operacional del PSM 400MPX es de 94% mensual con respecto al molino SAG1, esta permitió que las mediciones de la granulometría en las mallas y P_{80} en tiempo real sea continua para el monitoreo en el circuito de molienda para la toma de acción inmediata frente a cualquier evento que pueda suscitarse.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

1.1. Situación problemática

1.1.1. Planteamiento de problema

La empresa MMG Las Bambas inicia sus operaciones en Perú, en la provincia de Cotabambas, distrito de Challhuahuacho a mediados del año 2017, los minerales que se extraen del yacimiento a cielo abierto son de tipo SKARN y PÓRFIDO con mayor contenido metálico de cobre

En planta concentradora para el control de la granulometría en el circuito de molienda, utilizan analizadores de partículas en línea. Según los estudios y pruebas de distribución granulométricas realizadas en la calibración del equipo PSM fue en la etapa de comisionamiento de la planta concentradora, con el apoyo técnico de la empresa Thermo Fisher que también es el proveedor del equipo PSM.

A mediados del año 2018 y finales del 2019 la operación en la planta llega a estabilizarse según el diseño de capacidad de procesamiento de mineral de 140,000 toneladas por día, entonces el equipo PSM 400MPX ha estado trabajando con los patrones de calibración realizadas de ese entonces con las muestras de puesta en marcha de la planta. De tal forma que las mediciones de la granulometría en tiempo real para porcentaje de sólidos, mallas 40, 50, 70 y cálculo de P_{80} de la molienda en la línea 1 y 2 no reflejaban una data confiable en la medición, como el PSM tiene un sistema de comunicación Motbus que está integrada el DCS y PI System, los operadores de sala de control de molienda y flotación pueden visualizar la data de análisis de las mallas y P_{80} en tiempo real, pero sin embargo al no estar calibrado el equipo, los operadores no lo daban la importancia al equipo para el control de la granulometría.

El monitoreo de la granulometría en el circuito de molienda es por malla de corte rápida manualmente en cada nido de hidrociclones, realizado por el operador cada cierto tiempo con la malla 70, con este resultado se evaluaba el comportamiento de la molienda y clasificación de cada ciclón de la línea 1 y 2 de molienda.

La toma de acción que se tuvo en el año 2019 es realizar muestreos manuales aleatoriamente del overflow en los nidos de hidrociclones CSC-001 y CSC-002, estas muestras van hacia el muestreador general y una parte cuarteada va hacia el analizador PSM, las muestras realizadas fueron previamente registradas y codificadas, con los resultados obtenidos se realizaron las comparaciones entre laboratorio y analizador, donde en las mallas de análisis 40, 50, 70, porcentaje de sólidos y P_{80} , presentaban errores absolutos significantes en OF1 y OF2, entonces el analizador no estaba en la capacidad de mostrarles datos confiables para el control y monitoreo de la granulometría en el circuito de molienda.

Por otro lado, todas las circunstancias que se presentaba en el circuito de molienda, como el factor de la variabilidad de mineral en la granulometría, alto tonelaje, parada de bombas warman, mala clasificación en los hidrociclones, parada de molinos, u otras circunstancias hace que pase una granulometría gruesa hacia aguas abajo, como el equipo analizador PSM 400MPX está ubicado entre los nidos de hidrociclones y alimentación hacia flotación, toda la carga gruesa que llega a los muestreadores y luego a los cajones de succiones del PSM hace que se arene y deje de funcionar el analizador por tanta acumulación de carga en todo el circuito de acondicionamiento y análisis de muestra , generando daño de TPM en funcionamiento en vacío u otro componente crítico. Como el analizador no está bien calibrado los datos son inexactos y no ayuda en la toma de acción inmediata en la flotación, ocasionando sobrecarga en las celdas de flotación (arenamientos), lo cual impacta gradualmente en la recuperación del elemento valioso.

1.2. Formulación de problemas

1.2.1. Problema general

Se reitera que, la calibración del analizador PSM 400MPX (Thermo Fisher), fue cuando estaba en etapa de puesta en marcha de la planta concentradora. Entonces el PSM ha estado trabajando con los patrones de calibración realizadas con las muestras de la etapa de puesta en marcha en el circuito de molienda en OF1 y OF2, de tal forma las mediciones en tiempo real, para porcentajes de sólidos y las granulometrías de las mallas 40, 50 y 70 y cálculo de P_{80} producto de las mallas en el equipo analizador, no reflejaban la data real en el circuito de molienda para el control y monitoreo de la granulometría según los resultados de las muestras validadas en laboratorio metalúrgico de MMG Las Bambas. Por estas consideraciones formulamos el siguiente problema general:

¿Es posible calibrar el analizador PSM 400MPX para la evaluación y su estabilización del patrón P_{80} de overflow de los nidos de hidrociclones para el control y monitoreo de la granulometría en el circuito de molienda en la planta concentradora de Las Bambas?

1.2.2. Problema específico

¿Será posible demostrar que las correlaciones y regresiones de las distribuciones granulométricas expresadas mediante una función lineal en el software the modeler para porcentaje de sólidos, mallas 40, 50 y 70 del overflow en el PSM 400MPX sean altas en la evaluación del patrón de P_{80} para el control y monitoreo de la granulometría en el circuito de molienda en la planta concentradora Las Bambas?

¿Se podrá optimizar la disponibilidad operacional para un periodo de tiempo del PSM 400MPX de overflow de los hidrociclones para el control y monitoreo del P_{80} en el circuito de molienda de la planta concentradora de Las Bambas?

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación técnica

Los muestreos de estandarización realizados para la recalibración de las mallas de análisis en tiempo real, se hicieron bajo protocolos en laboratorio Metalúrgico, para el procesamiento de muestras y los modelamientos de igual manera, cuyos resultados reflejan estabilidad para mostrar los datos en línea del P_{80} , además con la instalación de dardos neumáticos como sistema auxiliar en los cajones de succión en ambos overflow, permite el funcionamiento casi sin interrupción para el control permanente de P_{80} de los overflow de los nidos de clasificadores en el circuito de molienda.

1.3.2. Justificación económica

Se sabe que los representantes de procesos de la planta concentradora planifican cumplir con los KPI a diario en molienda el tonelaje pasante y en flotación la recuperación del elemento, para justificar los costos de operación, por ende, el equipo analizador de particulares PSM 400MPX del overflow es confiable y disponible en la medición de datos en tiempo real para el control y monitoreo de la granulometría en el circuito de molienda. Además, el mantenimiento del equipo es costoso y ocasiona pérdidas de horas de trabajo, es decir, se debe recuperar la inversión haciendo funcionar en condiciones óptimas para justificar la inversión. Con los sistemas auxiliares implementadas en la instalación del equipo también evitan daños de componentes críticos en el equipo y así tiene más tiempo a su disponibilidad de mostrar los datos.

1.3.3. Justificación tecnológica

Es un equipo analizador de alta tecnología que se usa en las Bambas para determinar el porcentaje de sólidos y fracciones de tamaño de partículas, se basa

mediante la emisión de energía ultrasónica en frecuencias, esta permite tener una información a tiempo real la distribución de las granulometrías en la operación en el circuito de molienda, además con las filosofías de control implementadas en los dardos neumáticos, permiten al analizador tener más tiempo de disponibilidad en el análisis de las mallas ante cualquier circunstancia y requiere menos tiempo de atención para la habilitación. Con las recalibraciones realizadas y automatización del sistema auxiliar en el equipo PSM se mejora la eficiencia y adaptabilidad del equipo al tipo granulometría de mineral que se procesa en las Bambas.

1.3.4. Utilidad metodológica

La metodología aplicada es de carácter cuantitativo con diseño experimental y tecnológico, el cual nos permitió obtener buenos resultados y análisis en la evaluación de la calibración del patrón de P_{80} del overflow en el analizador PSM 400MPX para el control de la granulometría en el circuito de molienda.

1.4. Objetivos de Investigación

1.4.1. Objetivo general

Calibrar el equipo PSM 400MPX para la evaluación y estabilización del patrón P_{80} de overflow de los nidos de hidrociclones para el control y monitoreo de la granulometría en el circuito de molienda de la planta concentradora de Las Bambas – Apurímac.

1.4.2. Objetivo específico

1. Demostrar que las correlaciones y regresiones de las distribuciones granulométricas expresadas mediante una función lineal en el software the modeler para porcentaje de sólidos, mallas 40, 50 y 70 del overflow en el PSM 400MPX son altas en la evaluación de la calibración del patrón de P_{80} para el control y monitoreo de la granulometría en el circuito de molienda en la planta concentradora Las Bambas.

2. Optimizar la disponibilidad operacional para un periodo de tiempo del PSM 400MPX del overflow de los nidos de hidrociclones para el control y monitoreo del P₈₀ en el circuito de molienda de la planta concentradora de Las Bambas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes internacionales

Arellano Hechtle (2017), realizó la tesis con título: Evaluación técnica del desempeño de pst en planta laguna seca, su trabajo consistió en la evaluación de un sensor de granulometría llamado Particle Size Tracking (PST). Para esto estableció 4 criterios de evaluación que incluyeron muestreos en nidos de hidrociclones, comparó con el sensor previamente instalado en planta (PSI), análisis del sistema experto y evaluación de la lógica de control operando con el dato granulométrico otorgado por PST. Además, estudió el impacto que tiene en la producción un embancamiento masivo de hidrociclones. Para su análisis utilizó datos obtenidos de planta mediante plataforma PHD, datos de muestreos en nidos de hidrociclones y lo complementó con análisis estadístico de Minitab.

La evaluación que realizó, arrojó que, al contrastar los muestreos con los datos de granulometría de los sensores, el dato PST presenta una mayor confiabilidad con un 22% menos de error relativo que el PSI. Además de tener una señal disponible un 100% en la lógica en todo el período evaluado. Del estudio de la lógica con PST logró encontrar un error en el tiempo de respuesta de los ciclones, y optimizó la lógica. Esto repercutió en la potencialidad de evitar un evento de acordonamiento masivo producto de la acción del sistema experto sobre los ciclones acordonados, reduciendo de 12 a 2 minutos promedio el tiempo de hidrociclones en sobre tamaño (Arellano Hechtle, 2017).

Hekmat & Muñoz Gomez (2020), realizó la tesis: Evaluación y calibración de software para la obtención de granulometría mediante análisis digital de imágenes.

Los autores indican, que el potencial que existe de mejorar la productividad global al considerar las etapas de minado y molienda, de una forma interrelacionada, lleva al día de hoy una serie de implementaciones tecnológicas como es el estudio granulométrico mediante el análisis digital de imágenes. Esta lleva a numerosas ventajas en su aplicación, sin embargo, su desempeño lo conocen solo quienes lo han instaurado en sus operaciones, de forma que en el presente compilado se estudia a escala la precisión del software Split-Desktop frente a distintos escenarios y se determina qué variables impactan mayormente en los resultados, generando una guía de aplicación para quien desee incorporarlo.

El proceso llevó a analizar 5 distribuciones de granulometría conocida, dispuestas en plano y simulando una pila, bajo dos niveles de iluminación, diversas distancias focales y número de imágenes; modificando los parámetros de funcionamiento del software en niveles determinados. Los resultados que dio a conocer fueron cuantificados en función de la raíz del error cuadrático medio (RMSE) de la curva estimada, así como la diferencia de x_{20} , x_{50} , x_{80} con respecto a su valor de referencia. Los resultados que encontraron estaban dentro de lo esperado y se establecieron posibilidades de mejora, el análisis estadístico y la interpretación de los mismos indican que efectivamente el software es una buena herramienta, cuya estimación se ve principalmente afectada por la disposición del material fotografiado, no así la iluminación ni la distribución estudiada.

De los casos analizados, indicaron que existen aquellos en que la estimación de los parámetros característicos x_{20} , x_{50} , x_{80} es muy buena, con errores de entre 0% y 5% respecto al valor de referencia, principalmente para curvas suaves y heterogéneas con baja presencia de finos. Y tuvieron errores de hasta un 80% en partículas inferiores a 1 centímetro, lo que refleja los problemas encontrados en la literatura con respecto al tratamiento de finos, la fusión y la división de fragmentos.

También evidenciaron que, al cambiar el material de entrada al software, existen variaciones en la estimación granulométrica que permitieron identificar dicho cambio y tomar las acciones correspondientes (Hekmat & Muñoz Gomez, 2020).

2.2. Antecedente Nacional

Yllanes Meza (2009), realizó la tesis con título: Implementación de un sistema automático de control de tamaño de partículas para aumentar los niveles de recuperación de oro de la pulpa cianurada de la planta gold mill de minera Yanacocha S.R.L, en esta investigación enfatizó en la importancia de optar tecnologías de control moderno que permita operar en forma óptima la molienda Gold Mill de la compañía minera Yanacocha S.R.L. Para la correcta recuperación del mineral valioso (oro en solución). Esta planta surge como necesidad de la compañía de tratar minerales con características particulares (minerales con presencia de cobre sulfurado), muy distintas a las ya conocidas por Minera Yanacocha en sus otras plantas de recuperación de oro.

La operación continua de la planta de molienda les ha permitido determinar que independientemente de esta mineralogía específica, inclusive para un mismo tipo de mineral, la respuesta en la operación de la molienda SAG tiene un grado moderado de complejidad. Por ello determinaron adoptar estrategia de control para maximizar el tonelaje procesado manteniendo un producto acorde a los requerimientos, para los procesos posteriores de recuperación de oro.

El principal problema que tuvieron en la operación de esa planta es la variabilidad de la recuperación del mineral valioso y el incremento en el consumo del reactivo lixivante (independientemente de la cantidad de cobre que se alimenta a planta), producto de tener un mineral molido con una granulometría gruesa.

El análisis de la granulometría es realizado por los operadores cada 2 horas y es importante mencionar el riesgo a los cuales están expuestos, por consiguiente, es

de esperarse que la intervención del hombre sea casi nula en los análisis futuros de granulometría realizados en planta, gracias a la introducción de la nueva tecnología propuesta.

Uno de sus objetivos adicionales del trabajo realizado es proporcionar la aplicación a los Ingenieros de Procesos la información para entender los beneficios de la optimización, por medio de un sólido enfoque en la comprensión y análisis de su circuito de molienda (Yllanes Mesa, 2009).

Prado Cachay (2014), realizó la tesis de maestría doctorado con título: Aplicación de los analizadores en línea en el proceso de flotación, en dicha tesis, se mostraron los beneficios globales de la aplicación de los analizadores en líneas en los procesos metalúrgicos en la planta concentradora, que constituyen actualmente herramientas importantes en toda operación de la planta. Se detalla en forma concisa los mecanismos de medición de los analizadores en línea de partículas y de leyes, específicamente para los analizadores PSI 200 y Courier 6SL, para un entendimiento básico de su funcionamiento.

Se incide en la metodología de calibración de estos equipos para tener una mayor confiabilidad de los resultados, haciendo uso del software Outocal y corroborando las calibraciones mediante gráficas de contraste. Realizaron un comparativo entre la calibración convencional y la calibración empírica en base a data de compósitos de guardia y concluyeron con algunos ejemplos de aplicaciones prácticas y operacionales de estos equipos analizadores en línea (Prado Cachay, 2014).

Los analizadores de leyes y partículas hoy en día permitieron optimizar y dinamizar los procesos de molienda y flotación mediante variables de control.

2.3. Bases teóricas

2.3.1. Analizador de partículas PSM 400 multipoint

Analizador de Tamaño de Partículas (Particle Size Monitor, PSM) es un analizador en línea que sirve para determinar el tamaño de partículas dentro de un lodo acuoso (ThermoFisher Scientific, 2017, pág. 3).

El analizador de partículas en línea que sirve para determinar el tamaño de partícula y el porcentaje de los sólidos dentro de un lodo acuoso durante las 24 horas de operaciones diarias. Proporciona resultados de fracción de tamaños múltiples para mejorar la información que se presenta en la distribución del tamaño de molienda.

Es un equipo cuya medición se basa en emisión de impulsos de energía ultrasónica en seis frecuencias hacia la muestra. Los parámetros de atenuación múltiple que se derivan de estos impulsos son llamados factores de pulpa y están directamente relacionados a lo fino, grueso y a la concentración de las partículas del lodo acuoso. La medición de la atenuación de los pulsos ultrasónicos en frecuencias múltiples se utiliza para determinar el tamaño de partículas y el porcentaje de los sólidos. Las frecuencias de operación se eligen basadas en el intervalo del tamaño de partículas, la gravedad específica y la densidad del lodo acuoso.

Los factores de pulpa se usan como variables en los modelos de calibración para cada fracción de tamaño. También se utiliza un sensor de temperatura del lodo acuoso para compensar los efectos de la temperatura del fenómeno de absorción de ultrasonido. Este sensor aumenta la precisión de la medición del tamaño de partícula.

Una buena comprensión de los principios estadísticos del proceso de control y la aplicación de estos principios hacia el control del circuito de molienda permite mejorar en la eficiencia general de la planta. La medición precisa y confiable en línea

del tamaño de partícula, permite que los circuitos de molienda sean operados con mayor proximidad a las condiciones de operación deseadas (Jarama Chavez, 2005).

2.3.1.1. Ventajas en la medición en línea

- ✓ La medición en línea proporciona una buena visión del estado del proceso.
- ✓ Permite controlar el tonelaje que ingresa a un molino en base al tamaño seleccionado en un clasificador de tamaño (ciclón, zaranda, etc.).
- ✓ Detecta rápidamente los problemas del proceso.
- ✓ Permite reducir el consumo de reactivos.
- ✓ Mejora la recuperación.
- ✓ Optimiza el consumo de agentes moledores (bolas, cilindros, etc.)
(ThermoFisher Scientific, 2017, pág. 5).

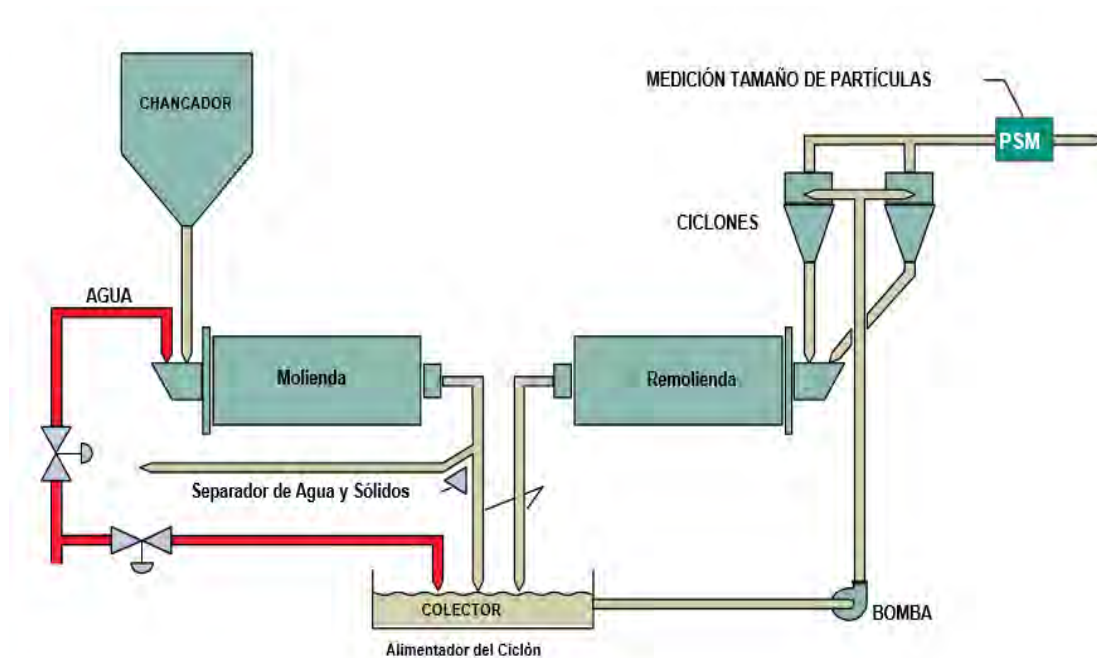
2.3.1.2. Características del equipo

Las características del equipo analizador son las siguientes:

- ✓ Entrega hasta 5 tamaños de partículas, proporcionando la distribución granulométrica.
- ✓ Entrega el porcentaje de sólidos.
- ✓ Muestreador para muestra de turno y calibración.
- ✓ Estandarización con agua, automática y programada.
- ✓ Software para control y calibración.
- ✓ Actualización de mediciones cada 5 segundos.
- ✓ Extenso rango de medición para determinar partículas gruesas y finas.
- ✓ Pantalla o display de multilíneas alfanuméricas.
- ✓ Interfase para el usuario con diagnóstico de alarmas (ThermoFisher Scientific, 2017, pág. 7).

Figura 2. 1.

El Circuito Típico de la Molienda y Ubicación del PSM



Nota: Curso de capacitación Particle Size Monitor PSM 400MPX, pág. 6, 2017.

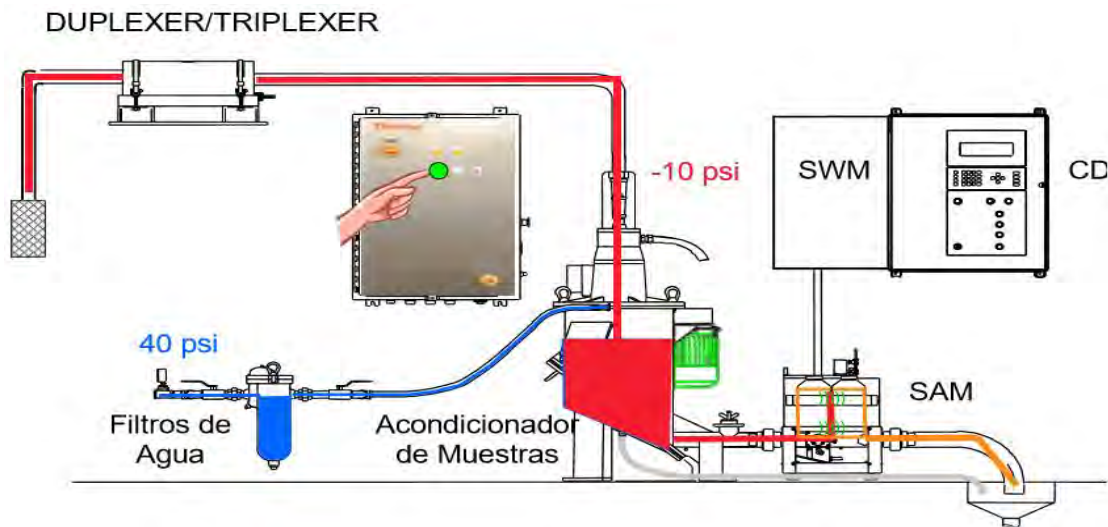
2.3.1.3. Principio de funcionamiento del equipo

El principio de funcionamiento del equipo analizador se basa en los siguientes pasos:

1. Succión de la pulpa en flujo inverso.
2. Multiplexación de flujos (máximo 03), si es el caso.
3. Acondicionamiento de la pulpa: generación de vacío, extracción de aire.
4. Paso de la pulpa por la celda de flujo, donde es sometida a ultrasonido.
5. Transmisores envían 06 frecuencias de ultrasonido diferentes hacia los receptores.
6. El nivel de atenuación de una frecuencia (dB transmitidos vs. dB recibidos) determina la concentración de un tamaño de partícula determinado.
7. De multiplexación de flujos, si es el caso.
8. Retorno de la pulpa al proceso, (ThermoFisher Scientific, pág.9, 2017.)

Figura 2. 2.

Diagrama Esquemático del Sistema de Análisis



Nota: Curso de capacitación Particle Size Monitor PSM 400MPX, pág.10, 2017.

2.3.1.4. Principio de análisis de la distribución granulométrica

El PSM utiliza las propiedades de atenuación del ultrasonido para la medición de las fracciones de partículas por tamaño.

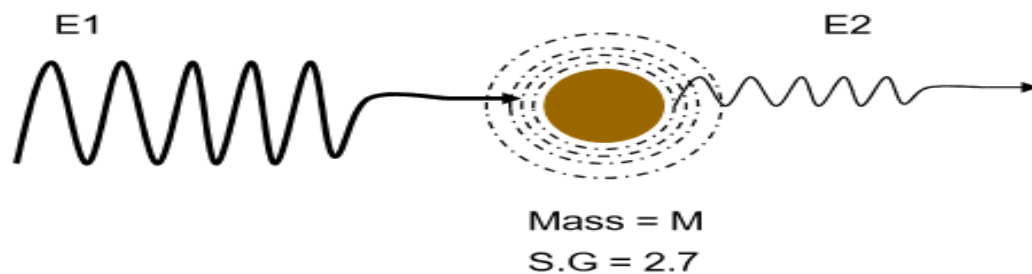
El sonido audible está entre 20 Hz y 20 kHz.

Las ondas de ultrasonido están en frecuencias de 20 kHz a 20 MHz.

Las frecuencias de operación del PSM están entre 50 kHz a 10 MHz.

Figura 2. 3.

El Sistema de Transmisión de Energía en Pulpa



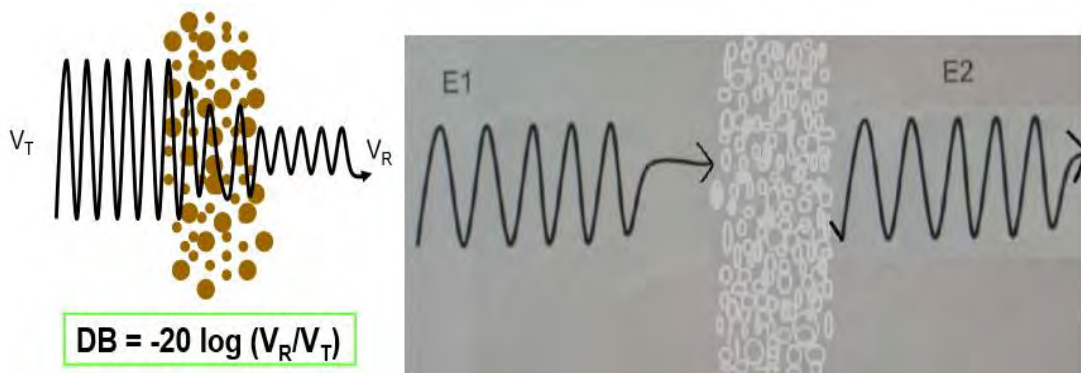
Nota: Curso de capacitación Particle Size Monitor PSM 400MPX, pág. 12, 2017.

La figura 2.3, denota que la onda de ultrasonido E1 choca con una partícula y la hace vibrar y la onda resultante E2 tiene menos energía que E1.

La pérdida de energía del ultrasonido depende de M (masa de la partícula) y de su gravedad específica (S.G.).

Figura 2. 4.

El Sistema de Transmisión de Energía - Atenuación en Agua



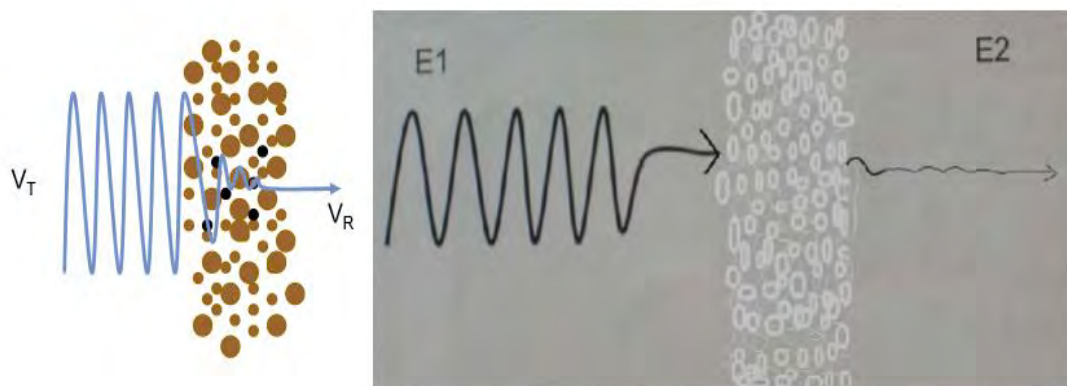
Nota: Curso de capacitación Particle Size Monitor PSM 400MPX, pág. 13, 2017.

En la figura 2.4, se denota que el agua es un excelente transmisor de las señales de ultrasonido, entonces la atenuación de la señal de ultrasonido a través del agua es básicamente CERO.

La energía E2 resultante es similar a la energía E1 inicial.

Figura 2. 5.

El Sistema de Transmisión de Energía – Efecto de Aire



Nota: Curso de capacitación Particle Size Monitor PSM 400MPX, pág. 14, 2017.

La figura 2.5, se denota que el aire no es un buen transmisor del ultrasonido.

Una pequeña burbuja de aire produce la atenuación equivalente a una gran partícula.

Si hay gran cantidad de burbujas, producirán la atenuación total de E1, es decir, la energía E2 resultante será CERO. (ThermoFisher Scientific, pág.11-14, 2017.)

Definición de sistemas:

SC : Acondicionador de muestras (simple conditioner)

SAM : Módulo de análisis de muestra (simple analysis module).

SWM : Módulo de estandarización de agua (standardization wáter module)

CDM : Módulo de control y pantalla (control and display module) (ThermoFisher Scientific, 2017, pág. 15).

Los modelos matemáticos de calibración para porcentaje de sólidos y mallas de análisis son las siguientes ecuaciones, 1, 2 y 3, como estándar para el PSM 400MPX (Thermo Electron Corporation, 2006, pág. 11).

$$\% \text{ Tamaño} = K0 + K1 \frac{PF_J}{W} + K2 \frac{PF_K}{W} \quad (1)$$

$$\% \text{ Tamaño} = K0 + K1 \frac{PF_J}{PF_K} \quad (2)$$

Para porcentaje de solidos

$$W = K0 + K1 * (PF_J) + K2 * (PF_K) \quad (3)$$

Donde:

J : 1, 3, 5, Canal A (frecuencia baja)

K : 2, 4, 6, Canal B (frecuencia alta)

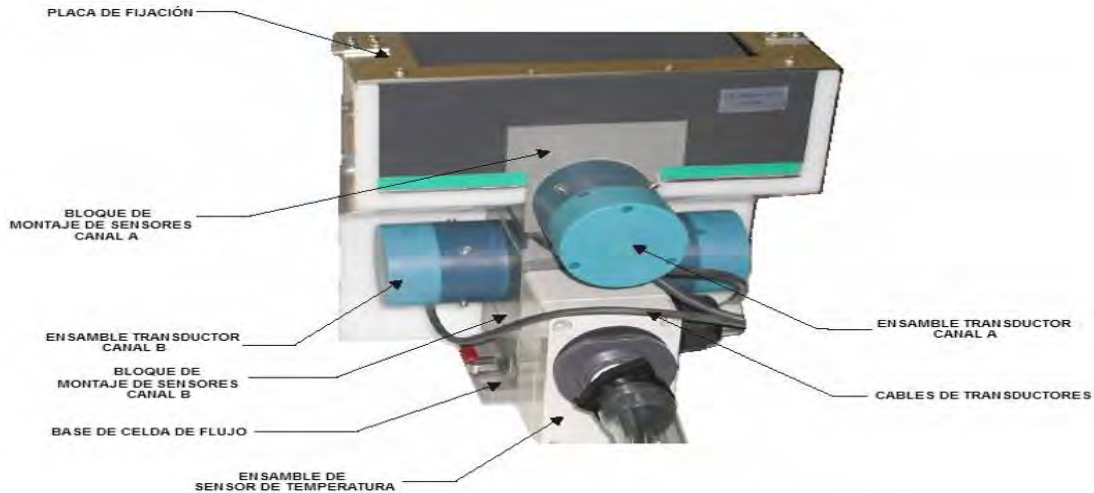
PF : Factor de pulpa

K0 : Coeficientes

La figura 2.6, muestra el módulo de análisis del PSM 400MPX.

Figura 2. 6.

El Módulo de Análisis de Muestras



Nota: Curso de capacitación Particle Size Monitor PSM 400MPX, pág. 22, 2017.

2.3.1.5. TAG de identificación para análisis de mallas y P₈₀

Las mallas de análisis en el analizador PSM1 y P₈₀ están codificadas mediante TAG en ambos flujos, el cual se ve en la tabla 2.1, además los cálculos realizados de mallas y P₈₀ en el DCS de la distribución granulométrica en tiempo real véase en la tabla 2.1 y 2.2.

Tabla 2. 1.

TAG de las Mallas y Calculados de la Distribución Granulométrica

	Malla	(μm)	% Acumulado	%Ret. Acumulado	% Acum. Pasante	P ₈₀ (μm)
	M40	425	0330IMAL035L1.PSM1.PV	0330IMAL035L1.PSM1.PV	100-0330IMAL035L1.PSM1.PV	
OF1	M50	300	0330IMAL048L1.PSM1.PV	0330IMALRET48L1.PV	100-0330IMALRET48L1.PV	0330P80L1234L1.PV
	M70	212	0330IMAL065L1.PSM1.PV	0330IMALRET65L1.PV	100-0330IMALRET65L1.PV	
	Solidos		0330AISOLIDOL1.PSM1.PV			
	M40	425	0330IMAL035L2.PSM1.PV	0330IMAL035L2.PSM1.PV	100-0330IMAL035L2.PSM1.PV	
OF2	M50	300	0330IMAL048L2.PSM1.PV	0330IMALRET48L2.PV	100-0330IMALRET48L2.PV	0330P80L1234L2.PV
	M70	212	0330IMAL065L2.PSM1.PV	0330IMALRET65L2.PV	100-0330IMALRET65L2.PV	
	Solidos		0330AISOLIDOL2.PSM1.PV			

Nota: PI System Control de Procesos - Las Bombas

Tabla 2. 2.

Los Cálculos de la Distribución Granulométrica y P_{80}

OF1 y OF2				
Malla	(μm)	% Acumulado	%Retenido Acumulado	% Acumulado Pasante
M40	425=H	A	A	(100-A)=F
M50	300=I	B	A+B	(100-B)=E
M70	212=J	C	A+B+C	(100-C)=G
Solidos		D		
$P_{80}(\mu\text{m})$	$SI(F>80SI(E<80.I*EXP(LN(80/E)*LN(H/I)/LN(F/E)),O),O)$			

Nota: PI System de Control de Procesos - Las Bombas

2.3.2. Análisis de regresión

El análisis de regresión es quizá la técnica estadística más utilizada para investigar o estimar la relación entre las variables dependientes y un conjunto de variables explicativas independientes.

Un análisis de regresión genera una ecuación para describir la relación estadística entre uno o más predictores y la variable de respuesta para predecir nuevas observaciones. La regresión lineal generalmente utiliza el método de estimación de mínimos cuadrados ordinarios, del cual se obtiene la ecuación al minimizar la suma de los residuos al cuadrado.

Cuando se estudia la relación entre una variable de interés, variable respuesta o variable dependiente Y y un conjunto de variables regresoras (explicativas, independientes) X_1, X_2, \dots, X_k puede darse las siguientes situaciones:

Existe una relación funcional entre ellas, en el sentido de que el conocimiento de las variables regresoras determina completamente el valor que toma la variable respuesta, esto es:

$$Y = m(X_1, X_2, \dots, X_k) \quad (4)$$

En caso intermedio, existe una relación estocástica entre la variable respuesta y las variables regresoras, en el sentido de que los conocimientos de estas permiten

predecir con mayor o menor exactitud el valor de la variable respuesta. Por tanto, siguen un modelo de la forma.

$$Y = m (X_1, X_2, \dots, X_k) + \varepsilon \quad (5)$$

Donde:

M : Función de la regresión desconocida.

ε : Más variables de regresión

El proceso de realizar una regresión permite determinar con confianza cuáles son los factores más importantes, cuáles se pueden ignorar y cómo influyen entre sí. Dichos factores se denominan variables las cuales se clasifican en:

Variable dependiente: Es el factor más importante, el cual se está tratando de entender o predecir.

Variable independiente: Es el factor que tú crees que puede impactar en tu variable dependiente, (Sánchez Quispe & Fernandes Ccorihuaman, 2012).

2.3.2.1. Regresión lineal simple

La regresión lineal simple examina la relación lineal entre dos variables continuas: una respuesta (Y) y un predictor (X). Cuando las dos variables están relacionadas, es posible predecir un valor de respuesta a partir de un valor predictor con una exactitud mayor que la asociada únicamente a las probabilidades.

La regresión proporciona la línea que mejor se ajusta a los datos. Esta línea se puede utilizar después para:

- ✓ Examinar cómo cambia la variable de respuesta a medida que cambia la variable predictora.
- ✓ Predecir el valor de una variable de respuesta (Y) para cualquier variable predictora (X), ejemplo $Y=f(X)$.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \varepsilon \quad (6)$$

Donde:

Y : Variable respuesta.

β_0 : Intercepto

β_1 : Pendiente

X_1 : Variable predictora.

ε : Componente aleatorio que representa la parte atribuible a elementos distintos al valor observados de X.

2.3.2.2. Regresión lineal múltiple

La regresión lineal múltiple examina las relaciones lineales entre una respuesta continua y dos o más predictores. Si el número de predictores es grande, antes de ajustar un modelo de regresión con todos los predictores, se deberían utilizar las técnicas de selección de modelo paso a paso o de los mejores subconjuntos para excluir los predictores que no estén asociados con las respuestas, Ejemplo, $Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$, (Sánchez Quispe & Fernandes Ccorihuaman, 2012) .

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_i X_j + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon \quad (7)$$

2.3.2.3. Coeficiente de correlación

El Coeficiente de correlación es una medida que permite conocer el grado de asociación lineal entre dos variables cuantitativas (X, Y).

Un diagrama dispersión, véase en la figura 2.7, no nos da certeza de que tan débil o fuerte es la relación lineal, necesitamos una medida que nos de la fuerza de la asociación y la dirección que toma esta relación. Para esto sirve el coeficiente de correlación que está dado por la siguiente formula:

$$R = \frac{S_{XY}}{S_X S_Y} \quad (8)$$

Donde:

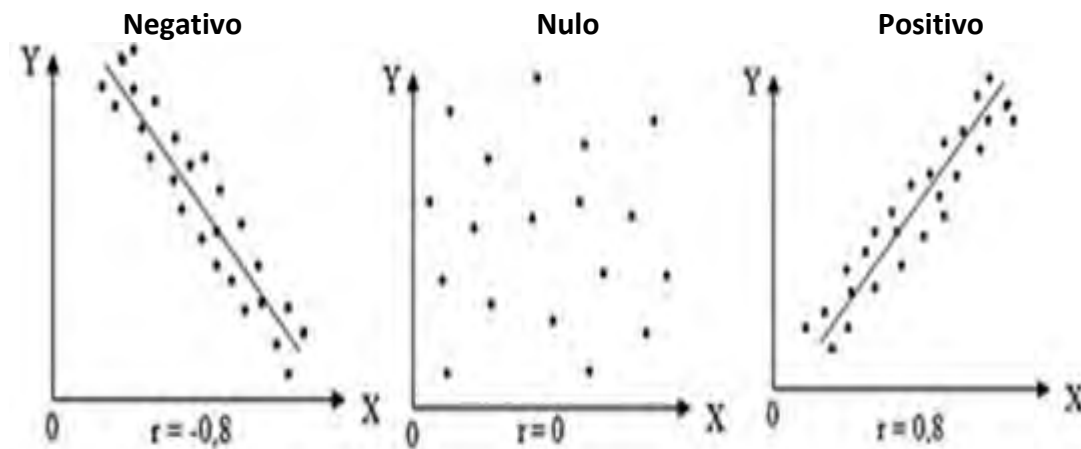
S_{XY} : Covarianza

S_X : Desviación estándar de X

S_Y : multiplicada por la desviación estándar de Y.

Figura 2. 7.

Tipos de Coeficientes de Regresión



Nota: Fundamentos de estadística y diseño experimental para ingenieros, pág. 472

El coeficiente de regresión puede ser: positivo, negativo y nulo. Es positivo cuando las variaciones de la variable independiente X son directamente proporcionales a las variaciones de la variable dependiente Y.

Es positivo, cuando las variaciones de la variable dependiente Y son directamente proporcionales a las variaciones de la variable independiente X. Es negativo, cuando las variaciones de la variable dependiente Y son inversamente proporcionales a las variaciones de la variable independiente X. Es nulo o cero, cuando entre las variables dependiente Y e independiente X no existe una relación alguna. Entonces para identificar cuan dispersos son los puntos de la línea recta se muestra en la siguiente tabla 2.3, (Sánchez Quispe & Fernandes Ccorihuaman, 2012).

Tabla 2. 3.*La Interpretación de Coeficientes de Correlación*

De:	Interpretación	Signos
± 1.00	Correlación perfecta	Positiva o negativa
± 0.90 a ± 0.99	Correlación muy alta	Positiva o negativa
± 0.70 a ± 0.89	Correlación alta	Positiva o negativa
± 0.40 a ± 0.69	Correlación moderada	Positiva o negativa
± 0.20 a ± 0.39	Correlación baja	Positiva o negativa
± 0.01 a ± 0.19	Correlación muy baja	Positiva o negativa
± 0.00 a ± 0.01	Correlación nula	

Nota: Fundamentos de estadística y diseño experimental para ingenieros, pág. 481.

2.3.2.4. Coeficiente de determinación

Es la proporción de la varianza total de la variable explicada por la regresión. También llamado R cuadrado, refleja la bondad del ajuste de un modelo a la variable que pretender explicar.

Es importante saber que el resultado del coeficiente de determinación oscila entre 0 y 1. Cuanto más cerca de 1 se sitúe su valor, mayor será el ajuste del modelo a la variable que estamos intentando explicar. De forma inversa, cuanto más cerca de cero, menos ajustado estará el modelo y, por tanto, menos fiable será, (Sánchez Quispe & Fernandes Ccorihuaman, 2012).

$$R^2 = \frac{\sum_{t=1}^T (\hat{Y}_t - \bar{y})^2}{\sum_{t=1}^T (Y_t - \bar{y})^2} \quad (9)$$

Donde:

$$\text{Varianza} \quad : \sum_{t=1}^T (\hat{Y}_t - \bar{y})^2$$

2.3.2.5. F de Fisher

Se denomina prueba F (de Fisher) a cualquier prueba en la que el estadístico utilizado sigue una distribución F si la hipótesis nula no puede ser rechazada. En estadística aplicada se prueban muchas hipótesis mediante el test F, entre ellas:

La hipótesis de que las medias de múltiples poblaciones normalmente distribuidas y con la misma desviación estándar son iguales. Esta es, quizás, la más conocida de las hipótesis verificadas mediante el test F y el problema más simple del análisis de varianza.

La hipótesis de que las desviaciones estándar de dos poblaciones normalmente distribuidas son iguales. La necesidad de disponer de métodos estadísticos para comparar las varianzas de dos poblaciones es evidente a partir del análisis de una sola población, (Sánchez Quispe & Fernandes Ccorihuaman, 2012).

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (10)$$

Donde:

S_1^2 y S_2^2 : Desviación estándar

2.3.2.6. Error cuadrático medio

El error cuadrático medio (RMSD) mide la cantidad de error que hay entre dos grupos de datos. Es decir, compara un valor predicho y un valor observado o conocido. También se lo conoce como Raíz de la Desviación Cuadrática Media y es una de las estadísticas más utilizadas, el cual se tiene en la ecuación 11.

$$\text{RMSD} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (11)$$

Donde:

RMSD : Error estándar cuadrático medio

X, Y : Variables

2.3.2.7. Error estándar de la muestra

El error estándar es la desviación estándar de la distribución muestral, véase en la ecuación 12. También se refiere a una estimación de la desviación estándar, derivada de una muestra particular usada para computar la estimación.

Para un valor dado en una muestra aleatoria con un error distribuido normal, la imagen de arriba representa la proporción de muestras que pueden caer entre 0, 1, 2, y 3 desviaciones estándar por encima y por debajo del valor real.

$$SE = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (12)$$

Donde:

SE : Error estándar de la muestra

Σ : Desviación estándar de la muestra

n : Número de muestras

2.3.2.8. Análisis estadístico univariado

Los métodos de análisis univariable se utilizan para estudiar el comportamiento de las variables de forma individual. La ventaja principal de las distribuciones de frecuencias es que pueden llevarse a cabo sea cual sea la escala en que están las medidas variables que se deben analizar, (Consultores, 2021).

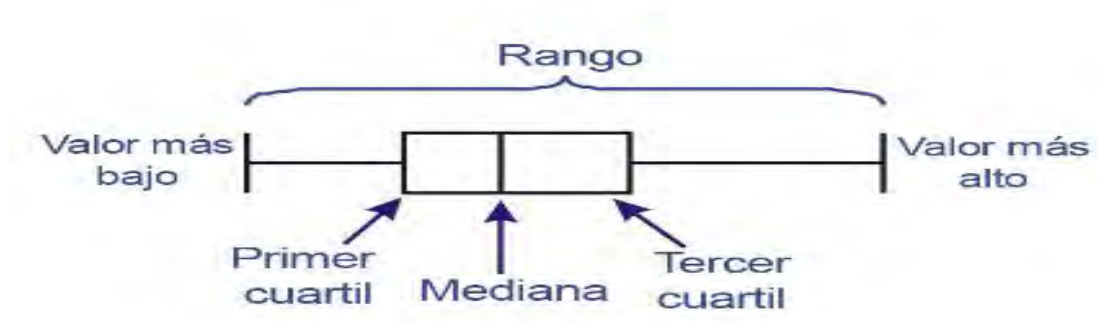
Diagramas de cajas y bigotes

El diagrama de caja y bigotes se muestra en la figura 2.8, también conocidos como boxplot, se utiliza para representar gráficamente los números a través de sus cuartiles. De esta forma, se pueden mostrar visualmente los diferentes grupos de números para entenderlo de un vistazo. Este es un método estándar que puede ser utilizado para obtener las medias y medianas de las diferentes agrupaciones de

número que tenemos. Para poder interpretar este diagrama, primero debemos de calcular la media de cada uno de los intervalos y, después, obtener la mediana de cada de todos los números de los que disponemos, (datavizcatalogue, 2020).

Figura 2. 8.

La Diagrama de Cajas y Bigotes



Nota: <https://%C3%B1ol/section/11.8/primary/section/diagramas-de-caja-y-bigotes/>

2.3.2.9. Representación de histogramas

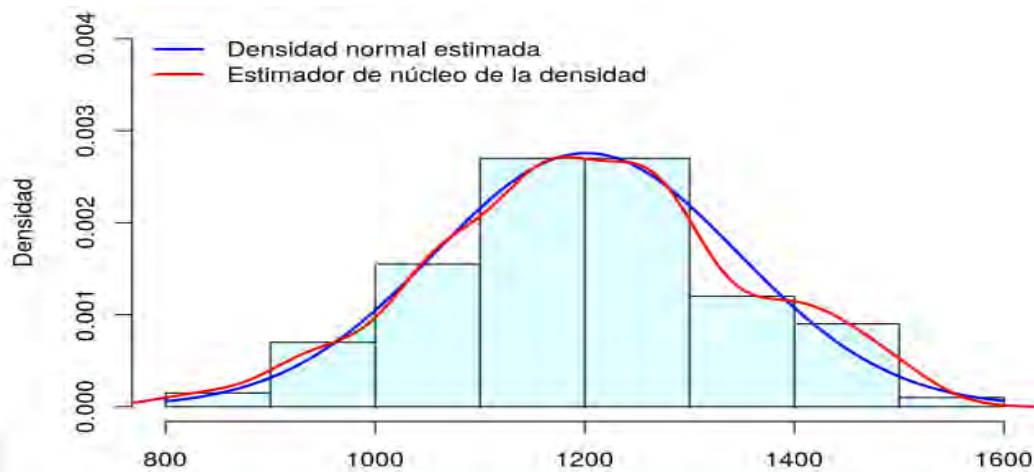
Un histograma es la representación gráfica en forma de barras, que simboliza la distribución de un conjunto de datos. Sirven para obtener una primera vista general, o panorámica, de la distribución de la población, o de la muestra, respecto a una característica, cuantitativa y continua, véase en la figura 2.9.

En el eje vertical esta las frecuencias, es decir las veces que se repiten los valores

El eje horizontal encontramos los valores concretos de la variable de estudio

2.3.2.10. Hipótesis estadística

Las pruebas de validación se examina dos hipótesis opuestas sobre una población: la hipótesis nula y alternativa. La hipótesis nula H_0 es el enunciado que se probará por lo general, donde el enunciado de que no hay efecto o no hay diferencia. La hipótesis alternativa H_1 es el enunciado que se desea poder concluir que es verdadero de acuerdo con la evidencia proporcionada por los datos de la muestra.

Figura 2. 9.*Representación de una Histograma*

Nota: <https://estadistica-dma.ulpgc.es/cursoR4ULPGC/9c-grafHistograma.html>

Con base en los datos de muestra, la prueba determina si se puede rechazar la hipótesis nula. Usted utiliza el valor p para tomar esa decisión. Si el valor p es menor que el nivel de significancia denotado como α , (alfa), entonces puede rechazar la hipótesis nula, se denota de la siguiente manera:

H_0 = Hipótesis nula

H_1 = Hipótesis alternativa

2.3.2.11. Distribución normal

Se utiliza para representar cómo se distribuyen los datos y se define principalmente por:

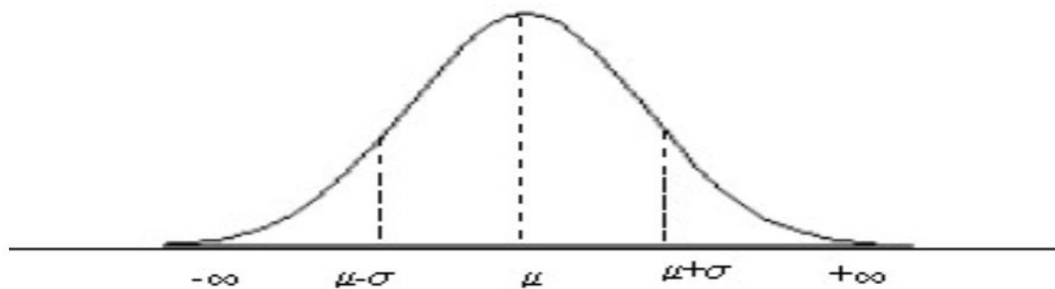
La media (μ): la media representa la ubicación del centro de sus datos (o el promedio).

La desviación estándar (σ): la desviación estándar es una medida de la cantidad de variación o dispersión de un conjunto de valores y representa la extensión de sus datos.

La distribución normal se representa gráficamente en la figura 2.10, mediante lo que se llama una curva de campana (por su forma). Se utiliza una curva de distribución normal para evaluar la ubicación de un punto de datos en términos de la desviación estándar y la media. Esto te permite determinar qué tan anómalo es un punto de datos en función de cuántas desviaciones estándar tiene de la media estadística, (Sánchez Quispe & Fernandes Ccorihuaman, 2012).

Figura 2. 10.

Curva de Densidad de la Distribución Normal



Nota: <https://wpd.ugr.es/~bioestad/bioestadistica/tema-7/>

$$\sigma_{X_{LAB}-Y_{PSM}} = \sqrt{\frac{\sigma_{LAB}^2}{n} + \frac{\sigma_{PSM}^2}{n}} \quad (13)$$

$$Z = \frac{X_{LAB} - Y_{PSM}}{\sigma_{X_{LAB}-Y_{PSM}}} \quad (14)$$

Donde:

- $\sigma_{X_{LAB}-Y_{PSM}}$: Diferencia de medias
- $X_{LAB} - Y_{PSM}$: Medias de las muestras
- σ_{LAB}^2 y σ_{PSM}^2 : Desviación estándar
- Z : Distribución de normalidad

2.3.3. Calibración

En la industria, es fundamental calibrar de forma periódica los instrumentos de medición que intervienen en todos los procesos. De ello depende tanto la calidad del

producto final como la optimización de los materiales empleados y de la energía consumida en el proceso, así como la seguridad del control de procesos. Es importante entender qué significa exactamente la calibración y cómo se efectúa. (<https://www.gometrics.net/que-es-la-calibracion/>)

La palabra calibración tiene diferentes acepciones según el contexto en que se use. En este caso la calibración es como aquella actividad de control metrológico que debe realizarse de forma periódica en instrumentos de medición de magnitudes físicas o químicas que intervienen en un proceso industrial. (<https://www.gometrics.net/que-es-la-calibracion/>)

Como la actividad de calibración está íntimamente ligada a un proceso industrial, empecemos por entender qué es un proceso industrial. Un proceso industrial podría definirse como un conjunto de operaciones que se realizan para lograr una transformación controlada de materias, objetos o componentes con el fin de obtener un producto deseado. <https://www.gometrics.net/que-es-la-calibracion/>

La calibración es por tanto el conjunto de operaciones aplicadas a un instrumento o equipo de medición, siguiendo un procedimiento sistemático, cuyos resultados debidamente documentados permiten determinar los errores (desviaciones) de este instrumento con respecto a los valores indicados por un instrumento de referencia (patrón) de incertidumbre conocida. (<https://www.gometrics.net/que-es-la-calibracion/>)

a. Importancia de la calibración

Incertidumbre de buenos resultados: si no calibras tus equipos, no podrás tener seguridad de que el servicio que prestas es confiable, ya que las condiciones adecuadas de operación no son óptimas, y por ende tus instrumentos no estarán listos para dar resultados exactos. ([https://blog.cidet.org.co › cuál-es-la-importancia-de-la-cal...](https://blog.cidet.org.co/cuál-es-la-importancia-de-la-cal...))

Es importante la calibración porque garantiza que la desviación de los instrumentos es mínima. Incluso los instrumentos de mayor calidad se desvían a lo largo del tiempo y pierden su capacidad de proporcionar mediciones precisas.

(<http://www.controlware.com.pe> › beamex › Publicaciones)

b. Objetivo de calibrar un equipo

La calibración de equipos de medición tiene como objetivo principal monitorear el buen funcionamiento de los equipos y responder a las normas de calidad preestablecidas. Estas normas buscan garantizar la fiabilidad de los equipos para reducir cada vez más el margen de error. (<https://www.aeisa.com.mx> › calibración-de-equipos-de-m...)

c. Ventajas de la Calibración

La calibración ayuda a superar sin problemas auditorías internas y externas. Detección de equipos envejecidos. Con el paso del tiempo, todos los equipos envejecen y algunos de sus componentes más importantes pueden estar sometidos a estrés mecánico o al desgaste. (<https://www.mt.com> › Balance-Scale-Service-Calibration)

2.3.4. Fundamentos de la conminución

Desde los primeros años de la aplicación industrial de los procesos de conminución al campo de beneficio de minerales, se pudo constatar la relevancia del consumo de energía específica como parámetro controlante en la reducción de tamaño y granulometría final del producto, para cada etapa de conminución.

En términos generales, la energía consumida en los procesos de chancado, molienda/clasificación y remolienda, se encuentra estrechamente relacionada con el grado de reducción de tamaño alcanzado por las partículas en la correspondiente etapa de conminución. Sin embargo, estudios han demostrado que gran parte de la

energía mecánica suministrada a un proceso de conminución, se consume en vencer resistencias nocivas tales como:

- ✓ Deformaciones elásticas de las partículas antes de romperse.
- ✓ Deformaciones plásticas de las partículas, que originan la fragmentación de las mismas.
- ✓ Fricción entre las partículas.
- ✓ Vencer inercia de las piezas de la máquina.
- ✓ Deformaciones elásticas de la máquina.
- ✓ Producción de ruido, calor y vibración de la instalación.
- ✓ Generación de electricidad.
- ✓ Roce entre partículas y piezas de la máquina.
- ✓ Pérdidas de eficiencia en la transmisión de energía eléctrica y mecánica

Los objetivos de la conminución pueden ser:

- ✓ Producir partículas de tamaño y forma adecuadas para su utilización directa.
- ✓ Liberar los materiales valiosos de la ganga de modo que ellos puedan ser concentrados.
- ✓ Aumentar el área superficial disponible para reacción química.

De lo anterior, se pone en relieve la necesidad de establecer correlaciones confiables entre la energía específica [kWh/ton] consumida en un proceso de conminución y la correspondiente reducción de tamaño alcanzada en dicho proceso. En este sentido se han propuesto 3 grandes teorías, las que a continuación se describen (Tapia Quezada, 2015, pág. 2).

2.3.4.1. Postulado de RITTINGER (1867) (Primera Ley de la Conminución)

Este postulado considera solamente la energía necesaria para producir la ruptura de cuerpos sólidos ideales (homogéneos, isotrópicos y sin fallas), una vez que el material ha alcanzado su deformación crítica o límite de ruptura.

$$E_R = K_R \left[\left(\frac{1}{P_{80}} \right) - \left(\frac{1}{F_{80}} \right) \right] \quad (15)$$

Donde:

E_R = Energía específica de conminución en kWh/ton.

K_R = Constante de Rittinger.

P_{80} = Tamaño del 80% acumulado pasante en el producto.

F_{80} = Tamaño del 80% acumulado pasante en la alimentación.

Aun cuando el postulado de Rittinger carece de suficiente respaldo experimental, se ha demostrado en la práctica que dicha teoría funciona mejor para la fracturación de partículas gruesas, es decir, en la etapa de chancado del material (Tapia Quezada, 2015, pág. 3).

2.3.4.2. Postulado de KICK (1885) (Segunda Ley de la Conminución)

Esto significa que iguales cantidades de energía producirán iguales cambios geométricos en el tamaño de un sólido. Kick consideró que la energía utilizada en la fractura de un cuerpo sólido ideal (homogéneo, isotrópico y sin fallas), era sólo aquella necesaria para deformar el sólido hasta su límite de ruptura; despreciando la energía adicional para producir la ruptura del mismo.

$$E_K = K_K \text{Log} \left(\frac{F_{80}}{P_{80}} \right) \quad (16)$$

Donde:

E_K = Energía específica de conminución en kWh/ton.

K_K = Constante de Kick.

P_{80} = Tamaño del 80% acumulado pasante en el producto.

F_{80} = Tamaño del 80% acumulado pasante en la alimentación.

Aun cuando el postulado de Kick carece de suficiente respaldo experimental; se ha demostrado en la práctica, que su aplicación funciona mejor para el caso de la molienda de partículas finas, (Tapia Quezada, 2015, pág. 4).

2.3.4.3. Postulado de BOND (1952) (Tercera Ley de la Conminución)

Bond definió el parámetro K_B en función del Work Index W_I (índice de trabajo del material), que corresponde al trabajo total (expresado en kWh/ton. corta), necesario para reducir una tonelada corta de material desde un tamaño teóricamente infinito hasta partículas que en un 80% sean inferiores a 100 μm .

$$E_B = 10W_I \left(\frac{1}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{F_{80}}} \right) \quad (17)$$

Donde:

E_B = Energía específica de conminución en kWh/ton.

W_I = Índice de trabajo en kWh/ton. Corta.

P_{80} = Tamaño del 80% acumulado pasante en el producto.

F_{80} = Tamaño del 80% acumulado pasante en la alimentación.

El parámetro W_I depende tanto del material (resistencia a la conminución) como del equipo de conminución utilizado, debiendo ser determinado experimentalmente para cada aplicación requerida. También representa la dureza del material y la eficiencia mecánica del equipo.

Durante el desarrollo de su tercera teoría de la conminución, Fred Bond consideró que no existían rocas ideales ni iguales en forma y que la energía consumida era proporcional a la longitud de las nuevas grietas creadas, en la tabla 2.4 presenta los valores tipos de work index, (Tapia Quezada, Fundamentos de la conminución, 2015, pág. 5).

2.3.5. Mecanismo de la molienda de minerales

a. Molienda semiautogena SAG

El objetivo del molino SAG es continuar con la reducción de tamaño de partícula procedente del área de chancado primario con un tamaño aproximado F_{80} de 6" a 8" (125 a 203 mm) y reducirlo hasta tamaños máximos aproximado P_{80} de 1.6" a 2.4" (40 a 60 mm). Luego en la descarga es clasificado con zarandas, de las cuales el producto fino será enviado al área de molienda de bolas y clasificación y el producto grueso al área de chancado pebbles, para luego retornar a la alimentación del molino SAG. Además, cabe mencionar que los molinos SAG usan bolas de acero de 5" a 6" como función moledora del mineral (Tecsup, 2016, pág. 126).

Tabla 2. 4.

Valores Tipos de W_i

Material	KWh/ton. Corta	Material	KWh/ton. Corta
Todos los materiales	15.19	Vidrio	3.39
Barita	6.86	Mineral de oro	16.31
Basalto	22.45	Granito	15.83
Clinker de cemento	14.84	Mineral de hierro	16.98
Arcilla	7.81	Mineral de plomo	12.54
Carbón mineral	12.51	Caliza	12.77
Mineral de cobre	14.44	Mica	148.00
Dolomita	12.44	Lutita petrolífera	19.91
Esmeril	64.00	Roca fosfatada	11.14
Feldespato	12.84	Cuarzo	14.05
Galena	10.68	Taconita	16.36

Nota: Preparación mecánica de minerales-Jaime Tapia Quezada.

Son molinos en que la carga de alimentación proviene directamente de la mina o desde una chancadora primaria, en este caso, se agregan bolas de acero para mejorar la acción moledora de las colpas gruesas de la carga. Generalmente las bolas representan entre un 4 y 12 % del volumen total del molino, la figura 2.11, muestra las distintas zonas de molienda SAG, (Molina Zuñiga, 2016, pág. 133).

Una de las características principales de los molinos semiautógenos es el uso de parrillas en la descarga. Esta parrilla permite que el material grueso no escape del

molino, hasta que ha sido molido a un tamaño igual o menor que las aberturas de las parrillas. Por lo tanto, el flujo de alimentación al molino dependerá de la cantidad de mineral retenido en el interior debido a una mayor o menor tasa de molienda. Debe existir un equilibrio entre el flujo de alimentación y la tasa de molienda: Si la tasa de molienda se hace menor el molino comienza a llenarse rápidamente, situación no deseada. El aumento de mineral retenido en el interior del molino hace aumentar la potencia consumida por el motor.

Este aumento de potencia debe ser cuidadosamente controlado, ya que existe un nivel de potencia máximo, punto que separa la zona de operación estable del molino, con la zona de operación inestable. A partir de este punto, cualquier aumento en el flujo de alimentación, hace que la potencia disminuya, y el molino se llene.

Esto en la práctica es difícil, ya que el máximo varía con el resto de las condiciones de operación y características del mineral. Según esta la carga del molino no puede ser especificada por el operador, sino que está determinada por numerosos factores. Por ejemplo:

- ✓ La distribución de tamaños en la alimentación al molino.
- ✓ Agua en la alimentación al molino.
- ✓ Velocidad de giro.
- ✓ Dureza del mineral, etc.

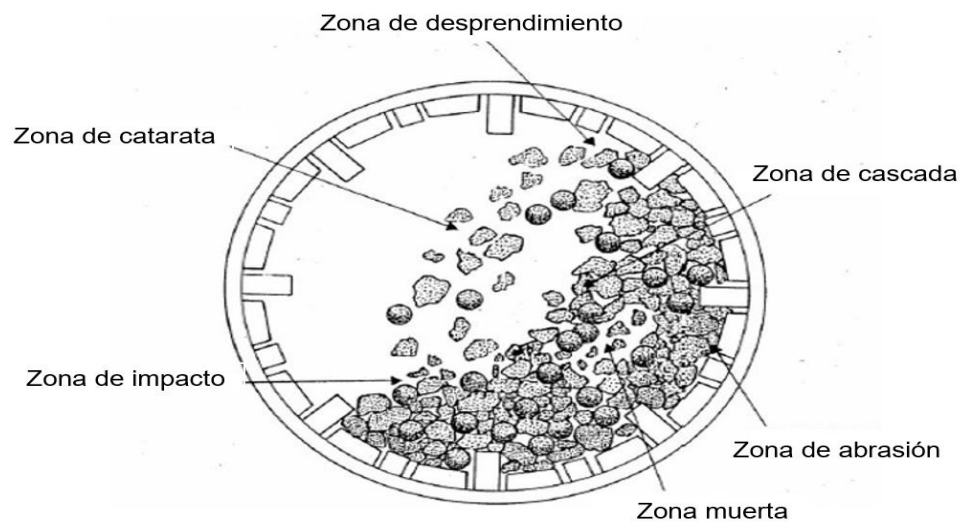
Si la velocidad del molino se sigue aumentando, llegará a un punto tal que la carga se tenderá a pegar a las paredes del molino, se dice entonces que la carga se ha centrifugado. Estos mecanismos fueron analizados con respecto a la velocidad de giro del molino, y el valor se sitúa entre el 70 y 80 % de la velocidad crítica, que es la velocidad mínima del molino a la cual la carga se centrifuga, es decir se mantiene sostenida contra las paredes del molino (Molina Zuñiga, 2016, pág. 134).

b. Pebbles (guijarros)

Se refiere a un producto intermedio del molino SAG y corresponde a un tamaño crítico difícil de moler, que se evacua del molino. Normalmente este material se chanca en un chancador de cono. Esta recirculación corresponde a un porcentaje de la carga fresca alimentada al molino SAG (Molina Zuñiga, 2016, pág. 133).

Figura 2. 11.

Distintas Zonas de Molienda SAG



Nota: Operaciones mecánicas-apunte para alumnos de ingeniería metalúrgica, pág. 136.

c. Velocidad de rotación del molino

Es una variable de suma importancia en la operación de molienda, debido a los siguientes aspectos:

- ✓ Determina la potencia consumida por el molino (recordamos que potencia = torque de la carga por la velocidad de operación del molino).
- ✓ Determina la trayectoria de la carga de bolas y del mineral, con ello la condición de impacto y abrasión del molino
- ✓ Determina las condiciones de desgaste de bolas y de revestimientos.
- ✓ Determina la condición de transporte de la pulpa (Molina Zuñiga, 2016, pág. 136).

d. Velocidad de crítica

La velocidad de rotación se define en función de la Velocidad crítica de rotación del molino, que es la velocidad mínima a la cual la carga se pega a las paredes del molino. La velocidad de rotación se debe establecer de modo de tener una fracción de la carga en catarata para promover el fracturamiento del mineral fino e intermedio causado por la fracción gruesa, y a su vez el mineral grueso con los impactos que aplica, se va desgastando hasta que alcanza un tamaño en el cual puede ser fracturado por las bolas o la fracción gruesa de la carga, entonces molinos operan a velocidades que van entre 60% y 80% de su velocidad crítica, (Molina Zuñiga, 2016, pág. 136). Para determinar la velocidad crítica se tiene la siguiente ecuación:

$$V_c = 76.6 \sqrt{\frac{1}{D}} \quad (18)$$

Donde:

V_c : Velocidad critica expresada en RPM.

D : Diámetro de molino expresado en pies.

e. Molino de bolas

Molinos de bolas es un equipo de rotación que reduce el tamaño de las partículas de mineral; utilizando medios de molienda (bolas de acero de 1.5" a 3"), generando una combinación de impacto y abrasión de pulpa, para obtener un tamaño de partícula requerido para su posterior recuperación en el circuito de flotación.

El molino de bolas funciona entre 35% a 45% de nivel de llenado, su medio de molienda está constituido por bolas de acero forjado, que generalmente trabaja en un circuito cerrado con un clasificador (Tecsop, 2016, pág. 152).

El tipo de molino para una molienda particular y el circuito en el cual se usará se deben considerar simultáneamente. Los circuitos se dividen en dos amplias clasificaciones: Abierto y cerrado.

Circuito abierto: Consisten en instalaciones en las cuales se tiene uno o dos molinos con o sin clasificación por tamaño en ninguna de sus secciones, pero sin recirculación (carga circulante) del material molido.

Circuito cerrado: La molienda en la industria minera casi siempre se presenta en circuito cerrado que consiste en uno o más molinos y clasificadores mediante los cuales se entrega en forma eficiente el producto que se desea, En este caso se puede controlar el tamaño máximo del producto y minimizar la sobre molienda (Molina Zuñiga, 2016, pág. 127).

f. Tamaño apropiado de medios de molienda

El tamaño del medio de molienda es una variable importante para asegurar la reducción de las partículas más grandes. En general, el tamaño de los medios de molienda debe ser estrictamente necesario para realizar la fractura, es decir, mientras mayor sea la partícula, mayor será el tamaño del medio de molienda.

Para el caso en que el medio de molienda sea bolas, el tamaño se determina a través de la siguiente ecuación:

$$B = \left(\frac{F_{80}}{k_b} \right)^{1/2} \left(\frac{\rho_s^* W_I}{100 \varphi_C \sqrt{D}} \right)^{1/3} \quad (19)$$

Donde:

- B = Diámetro de medios de molienda (bolas) en pulg.
- ρ_s^* = Gravedad específica del mineral.
- W_I = Índice de trabajo de mineral (KWh/ton.corta).
- φ_C = Fracción de la velocidad crítica.
- D = Diámetro del molino (Pie).
- F_{80} = Tamaño en micrones de 80% acumulado pasante en la alimentación.
- k_b = Constante empírica: 350 para molino con descarga por rebalse.
330 para molino con descarga por rejilla.
335 para molino seca y con descarga por rejilla.

A nivel industrial, los molinos operan a una fracción de la velocidad crítica. Esta fracción se denota por φ_C y se escribe como:

$$\varphi_C = \frac{\text{Velocidad de molino}}{V_C} \quad (20)$$

El rango común de φ_C a nivel operacional varía entre un 60% y 80%. Normalmente el efecto de los tamaños de los medios de molienda se puede despreciar para efectos de cálculo de la velocidad crítica (Taipe Quezada, 2015, pág. 6.7).

Mecanismo de la molienda

El uso de diferentes tipos de materiales con diferentes índices de Moliendabilidad (medio duro, duro, muy duro) le ayudará a encontrar el efecto de la Moliendabilidad del material en el P_{80} del producto de molienda. Sin embargo, con el fin de mantener el volumen total y peso del molino a la misma capacidad, los materiales deben tener la misma gravedad específica (por ejemplo, cuarzo y calcita) (Zumaran Ferrofin, 2017, pág. 22).

2.3.6. Tamaño del material apropiado de alimentación al molino

El tamaño óptimo de la alimentación para un molino de bolas, está determinado por el peso de la carga que más eficientemente distribuida pueda moler y está en función del índice de trabajo de Bond. Lo ideal es un material que pase la malla 6. A mayor tamaño de alimentación mayor será el tamaño de bolas requerido, lo cual disminuye la eficiencia de energía entregada al molino.

El tamaño óptimo de la alimentación a la molienda por bolas, el cual es la abertura de la malla por la que pasa el 80 % de la alimentación según Allis Chalmers lo podemos obtener mediante la siguiente expresión de la ecuación 10 (Zumaran Ferrofin, 2017, pág. 23):

$$F_0 = 4000 * \sqrt{\frac{13}{W_i}} \quad (21)$$

Donde:

F_0 : Tamaño óptimo de alimentación (μm)

W_i : Índice de trabajo de Bond (Kwh/Tc)

2.3.7. Mecanismos de fractura

Para intentar entender los mecanismos fundamentales por lo que se fracturan las partículas de mineral, en el transcurso de muchos años diversos investigadores han intentado aplicar los conceptos de la física y mecánica de la fractura como se emplean en la ciencia de los materiales y en la mecánica de las rocas. Las partículas de mineral son heterogéneas, tienen normalmente fallas tanto a macro como a microescala, y no siempre se comportan como materiales frágiles.

Excepto en tamaños muy pequeños, una partícula de mineral puede considerarse como un material frágil; es decir, la tensión es proporcional a la fuerza aplicada en aquel punto donde ocurre la fractura. Griffith observó que, bajo tensión, la presencia de fallas o grietas en un material conduciría a una concentración de fuerzas en un sólido. El trabajo de Griffith ha formado la base para la mayoría de los trabajos subsecuentes. Todo material cuenta con un esfuerzo máximo de tensión que puede soportar sin romperse y está dado por la siguiente ecuación 22:

$$P_M = \sqrt{\frac{Y\gamma}{a}} \quad (22)$$

Donde:

P_M = Esfuerzo de tensión máxima.

Y = Modulo de Young.

γ = Energía superficial del área.

a = Distancia interatómica.

Se ha encontrado que las partículas se fracturan frente a esfuerzos entre 1% - 10% del esfuerzo máximo P_M .

Lo anterior se debe a que las partículas son heterogéneas y tienen fallas a nivel macro y microscópico. Estas fallas producen una concentración de esfuerzos en los puntos de las fallas produciendo la propagación de la fractura y fracturando el material a una pequeña fracción del esfuerzo necesario para romper el material ideal (Tapia Quezada, Fundamentos de la conminucion, 2015, pág. 9).

El mecanismo de la fractura es el siguiente:

Cuando la energía de deformación en la punta de la grieta es lo suficientemente alta, implica que los enlaces químicos en la punta se rompan y la grieta se propaga produciendo la fractura del material. Se distinguen tres tipos de mecanismos de fractura, véase en la figura 2.12 y se describen en las siguientes:

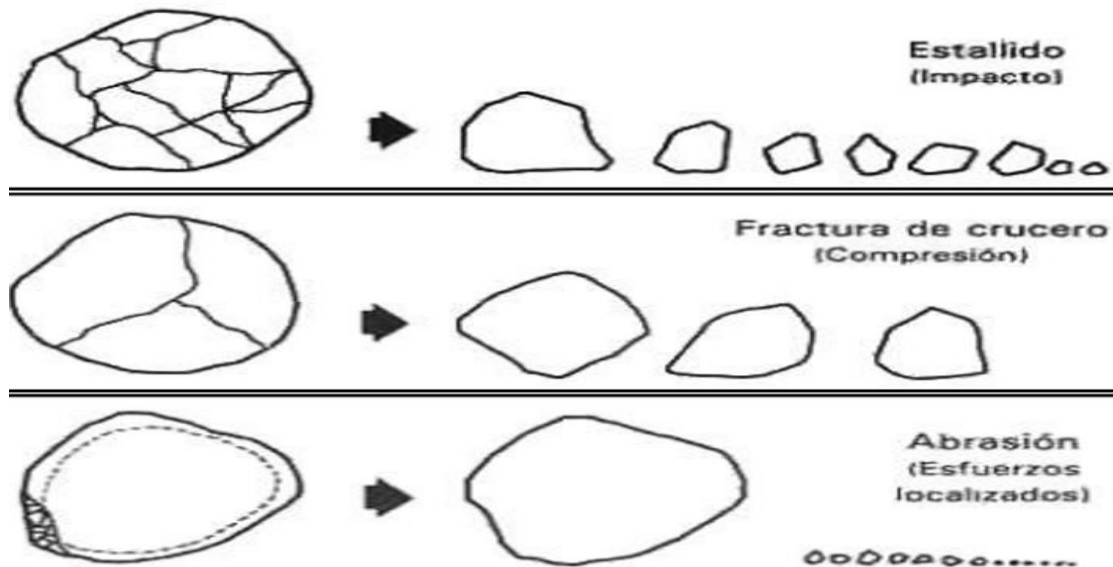
- ✓ **Por impacto:** Ocurre cuando la energía es aplicada rápidamente y es mayor que la que se necesita para romper la partícula, entonces la partícula se rompe en muchos pedazos con un amplio rango de tamaños.
- ✓ **Por compresión:** Ocurre cuando la energía es aplicada lentamente y es la necesaria para llevar a la partícula justo a su punto de fractura, rompiéndola en unos pocos pedazos.
- ✓ **Por abrasión:** Ocurre cuando la energía es insuficiente para producir un quiebre de la partícula, obteniendo una fractura localizada.

La fractura por abrasión se produce normalmente por roce de las partículas entre sí, o contra el medio de molienda, o contra el revestimiento generando 2 fracciones de tamaño. Una gruesa de tamaño similar al original y otra de tamaño muy fino con respecto al original. Este mecanismo se realiza a una velocidad más o menos constante dependiendo de la dureza de la mena y de las condiciones de la molienda,

caracterizándose los minerales más blandos de ser más susceptibles a este mecanismo.

Figura 2. 12.

Mecanismos de Fractura



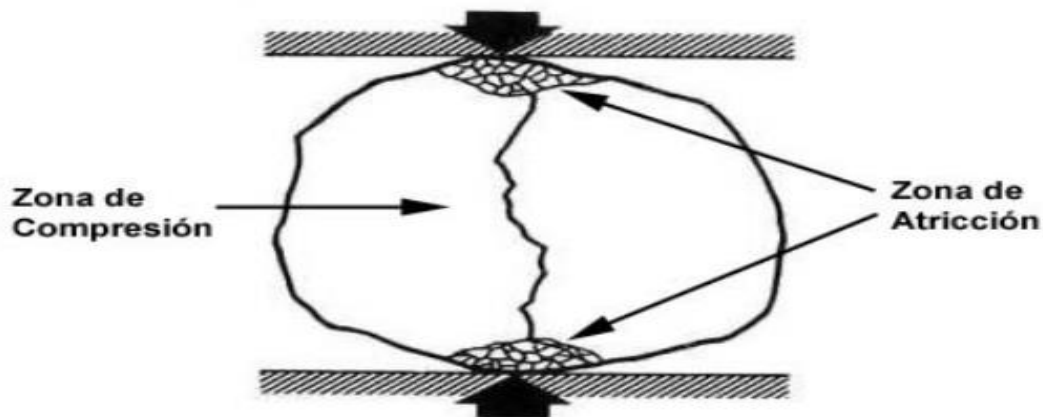
Nota: Levi Guzmán, 2007 – Moly- Cop.

Un resultado análogo al anterior es el decantillado, el que consiste en el desprendimiento de todas las esquinas y cantos de las partículas. Esto se debe a la aplicación de esfuerzos tangenciales, que no son suficientes para fracturar la partícula completa. Abrasión y decantillado suelen agruparse como un solo mecanismo llamado atricción. En el chancador ocurre una combinación de compresión y atricción generándose por lo tanto mucho material fino (Tapia Quezada, Fundamentos de la conminucion, 2015, pág. 12).

La figura 2.13, muestra forma en que se realiza una combinación de compresión y atricción de una partícula, durante las etapas de chancado.

Figura 2. 13.

La Representación de la Aplicación de Esfuerzos en la Etapa de Chancado



Nota: Preparación Mecánica de Minerales Jaime Tapia Quezada

2.3.8. Caracterización granulométrica

Una adecuada caracterización de las partículas es un requisito para cuantificar el comportamiento de un sistema particulado, como lo es una mena proveniente de la mina, en que los tamaños pueden variar desde un metro hasta un micrón de diámetro.

En un circuito de molienda esta caracterización permite determinar la calidad de la molienda, y establecer el grado de liberación de las partículas valiosas desde la ganga. En una etapa de separación, el análisis del tamaño de los productos se usa para determinar el tamaño óptimo de alimentación al proceso para alcanzar la máxima eficiencia, y así, minimizar cualquier posible pérdida que ocurra en la Planta.

A través del tiempo se han planteado diversas formas de caracterizar el tamaño de una partícula basadas principalmente en la aplicación que se hará de él o en el método utilizado para determinarlo (Tamaño de Feret, diámetro equivalente, diámetro superficial, diámetro de Stokes, etc.). Además, siempre es importante indicar con la distribución de tamaño de una población de granos en método de medición:

- ✓ Tamizado
- ✓ Sedimentometría.
- ✓ Centrifuga analítica.

- ✓ Difracción laser.
- ✓ Análisis de imágenes.

a. Representación de distribución de tamaños

Una vez que el tamaño de partícula ha quedado definido, se debe ser capaz de describir, en términos cuantitativos, la cantidad de partículas con un tamaño dado en el conjunto total. Esto se puede hacer a través de funciones de densidad y funciones de distribución.

b. Funciones empíricas de distribución de tamaños

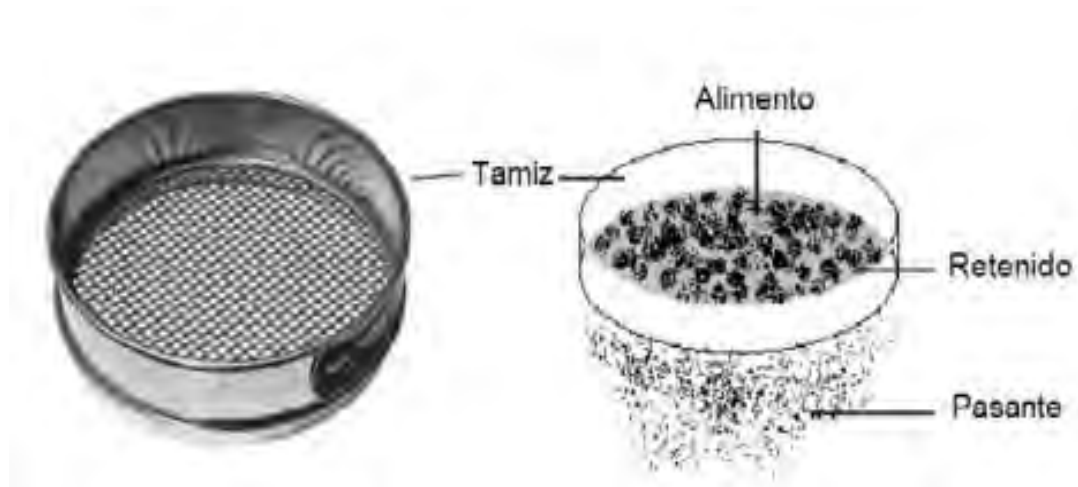
Con frecuencia es conveniente representar las distribuciones de tamaño haciendo uso de relaciones empíricas. Tales relaciones proveen una representación matemática de los datos de distribución de tamaños que permiten un fácil manejo y análisis estadístico de ellos. Entre las relaciones más utilizadas están las de Gaudin - Schumann, Rosin-Rammler, de tres parámetros, el logaritmo Normal y la Gamma.

Estas relaciones han mostrado un buen ajuste a los datos experimentales en la mayoría de los casos, no existiendo una razón a priori para elegir una u otra para un conjunto dado de datos. El criterio normalmente utilizado para su selección es la calidad del ajuste a los datos, su simplicidad matemática y rango de aplicación (Molina Zuñiga, 2016, págs. 46-48).

c. Malla de tamices

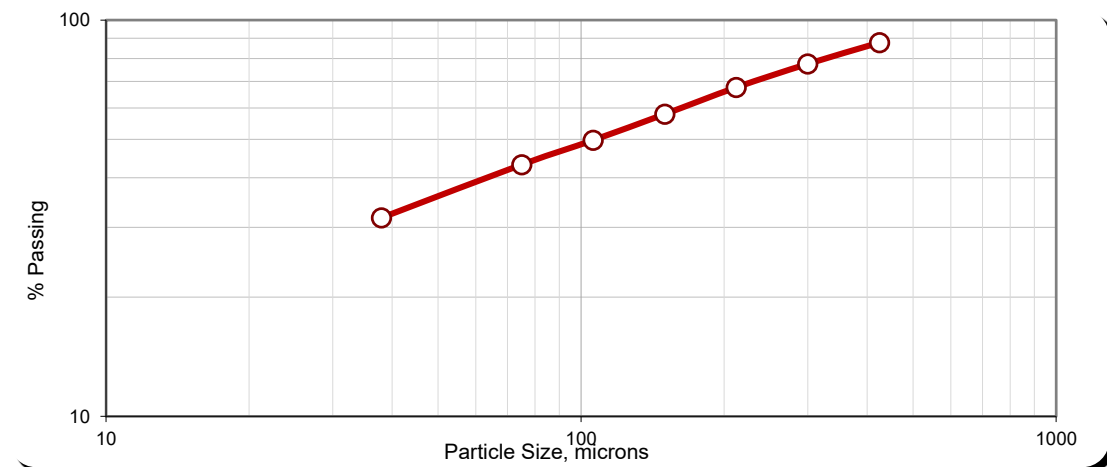
Los tamices son mallas calibradas de aberturas de igual tamaño. Se designa a cada tamiz un número que corresponde al número de aberturas cuadradas en la malla por pulgada lineal.

El tamaño de las aberturas dependerá de la norma dada. Las principales normas de las mallas de tamices son las DIN (alemanas); TYLER (USA); ASTM (USA); USBS (inglesas) (Cármano, 2015, págs. 46-48).

Figura 2. 14.*El Tamiz y Proceso de Tamizado*

Nota: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/isAllowed=y> (página 24).

El tamizado como se puede ver en la figura 2.14, se puede realizar tanto en seco como en húmedo. Para facilitar el paso del material a través de la malla del tamiz, se utilizan tamizadoras, las cuales hacen que la serie de tamices vibren de manera continua durante un intervalo de tiempo. La usual escala de tamices estándar consiste en una serie de tamices con aberturas cuadradas, ejemplo, el tamiz de 200 de abertura 75 μm .

Figura 2. 15.*La Grafica de una Distribución Granulométrica*

Nota: Resultado de una Muestra de Calibración Control Procesos Las Bambas.

Hay muchas formas de registrar los resultados. El más común es representar gráficamente el % pasante acumulado (o retenido) versus el tamaño de partícula, véase la figura 2.15. Éste puede hacerse en escala cartesiana pero tiene la desventaja de que los puntos en la región de los finos (tamaños menores) tienden a congestionarse. Para evitar eso, se realiza un cambio de escala a logaritmo-cartesiana.

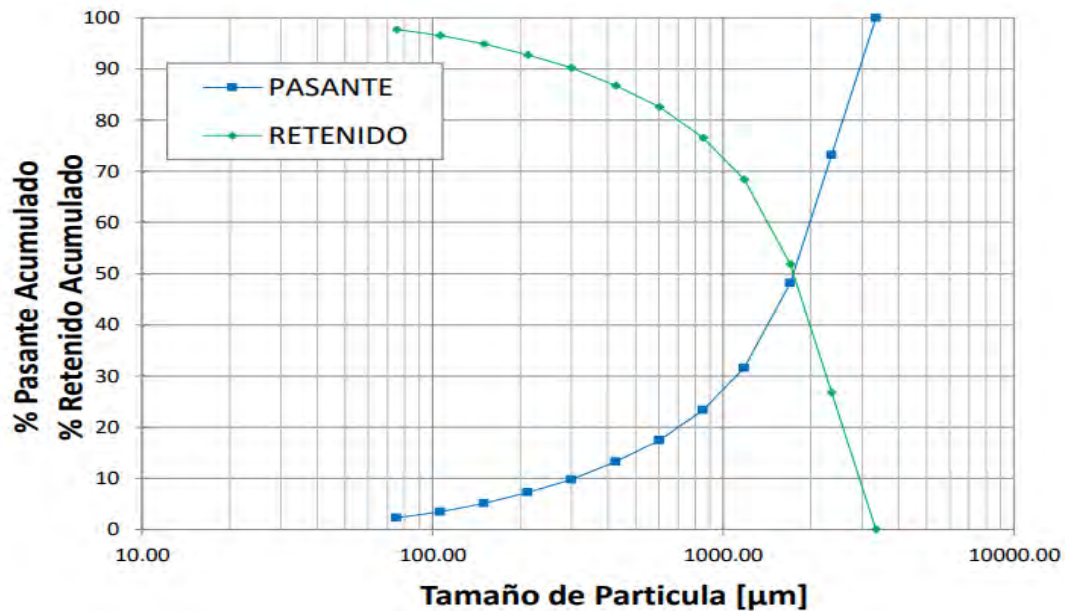
Si se comparan muchas curvas de % pasante acumulado versus tamaño de partícula, estas tienen forma sinusoidal, lo que origina diagramas congestionados en los extremos de la gráfica. Se conoce más de una docena de métodos de graficar para obtener la ordenada. Los métodos se diferencian en un cambio de escala que hace que se expandan unas zonas y se contraigan otras. La figura 2.21 muestra la representación gráfica del análisis granulométrico (Zumaran Ferrofin, 2017, págs. 24-25).

2.3.9. Clasificación del mineral en hidrociclón

La clasificación de un mineral se realiza en un hidrociclón en forma tangencial a la altura de la parte cilíndrica originando un torbellino a lo largo de la superficie interior de las partes cilíndrica y cónica, que arrastrara partículas gruesas a la descarga situada en la parte inferior del vértice cónico (ápex), el líquido conteniendo partículas finas es forzado en un alto porcentaje a evacuar del ciclón por el vortex, originando un torbellino primario, esta se puede ver en la figura 2.17 las partes de un hidrociclón. Además, se puede decir la clasificación se realiza por diferencia de tamaño de partícula y gravedad específica, véase en la figura 2.16.

Figura 2. 16.

% Pasante acumulado y Rechazo Acumulado Versus Tamaño de Partículas

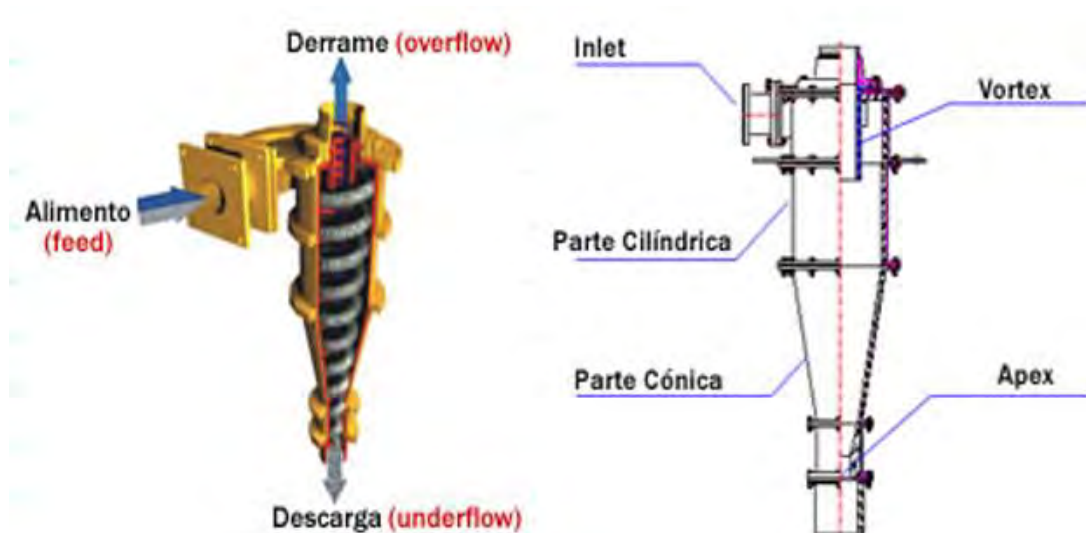


Nota: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/IMzufed=1&isAllowed=y>

En el interior del núcleo central se capta el aire que ingresa por el orificio del ápex o disuelto en el agua de la pulpa alimentada. Se puede asumir en forma simplificada que son dos las tendencias que producen la clasificación en el hidrociclón; la primera de arrastre hidrodinámico que originará que las partículas finas o con poca masa sean conducidas al vortex por el agua de la pulpa alimentada y la segunda, de carácter centrífugo que impulsará las partículas de mayor masa a las paredes del ciclón y luego de una trayectoria helicoidal al ápex. En muchos hidrociclones algo del líquido es descargado con el producto grueso, llenando los intersticios entre las partículas. Este líquido lleva su distribución proporcionada de partícula de todos los tamaños. De esta manera una porción de toda la fracción de tamaños pasa al producto grueso sin sufrir alguna acción de clasificación.

Figura 2. 17.

Componentes Principales de una Hidrociclón



Nota: <https://taninos.tripod.com/hidrociclón.htm>

2.3.10. Eficiencia del hidrociclón

La eficiencia de un hidrociclón se puede medir mediante la relación entre tamaño promedio de la descarga de overflow (partículas finas) y tamaño promedio de alimentación, mediante la siguiente relación:

$$E_{\text{clasif}} = \frac{\text{Ton/h partículas de tamaño en la descarga}}{\text{Ton/h partículas de tamaño en la alimentación}} \times 100 \quad (23)$$

Además, los hidrociclones se debe mencionar que requieren de altas velocidades de pulpa para generar fuerzas internas necesarias para su funcionamiento del equipo, véase la figura 2.18, las curvas de partición.

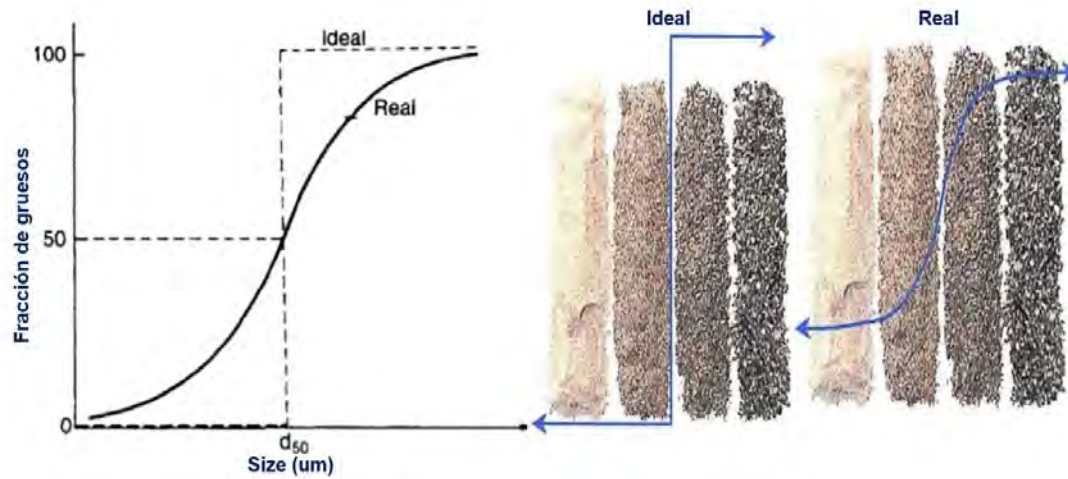
Se deduce que la eficiencia:

La eficiencia de clasificación es obtenida de la curva de partición.

La curva de partición identifica la fracción en peso de las partículas presentes en la alimentación que son descargadas en el Underflow bajo condiciones de operación estacionarias (Moly- Cop Adesur S.A., 2012, pág. 34).

Figura 2. 18.

Curva de Eficiencia de un Hidrociclón



Nota: <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/3051/TESIS%20ESCRITA-%20JUAN%20ESTEBAN%20ARISMENDY%20BARRERA.pdf?sequence=1>

$$E_{\text{obs}} = \frac{U}{F} \quad (24)$$

Donde:

- E_{obs} : Eficiencia observada.
- U : Producto underflow.
- F : Alimentación hacia el hidrociclón.

$$E_c = \frac{E_{\text{Obs}} - R_f}{1 - R_f} \quad (25)$$

Donde:

- E_c : Eficiencia corregida.
- R_f : Fracción de partículas finas

Efecto del patrón de descarga del hidrociclón en la eficiencia de clasificación, véase en la figura 2.19 y donde los efectos son:

A: Descarga de Semi- Roping o tendiente al Acordonamiento.

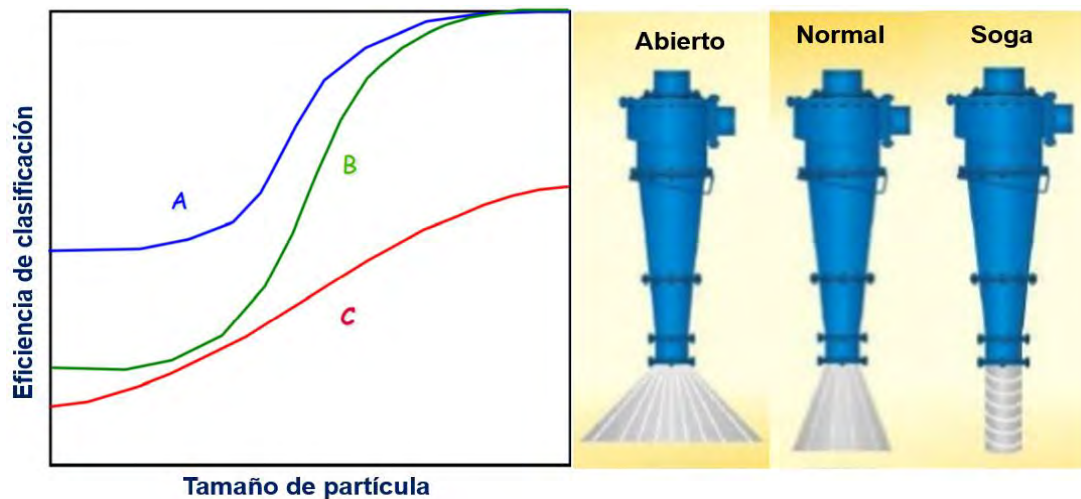
B: Descarga de Spray o Paraguas.

C: Descarga en Roping o Acordonamiento.

Además, se debe tener en cuenta en la descarga del hidrociclón. Cuando el underflow es diluido, la descarga tiene la forma de un amplio paraguas o spray. Mientras que el roping o acordonamiento es cuando tiene un alto contenido de sólido en el underflow (Moly- Cop Adesur S.A., 2012, pág. 33)

Figura 2. 19.

Efecto del Patrón de Descarga del Hidrociclón



Nota: Moly-Cop Adesur S.A, Pag.33

2.3.11. Funciones del hidrociclón

La función principal de los clasificadores en una planta concentradora es útil para:

Evitar una remolienda ya que tiene una granulometría deseada.

La eficiencia de los molinos y rendimiento se ven incrementa gradualmente.

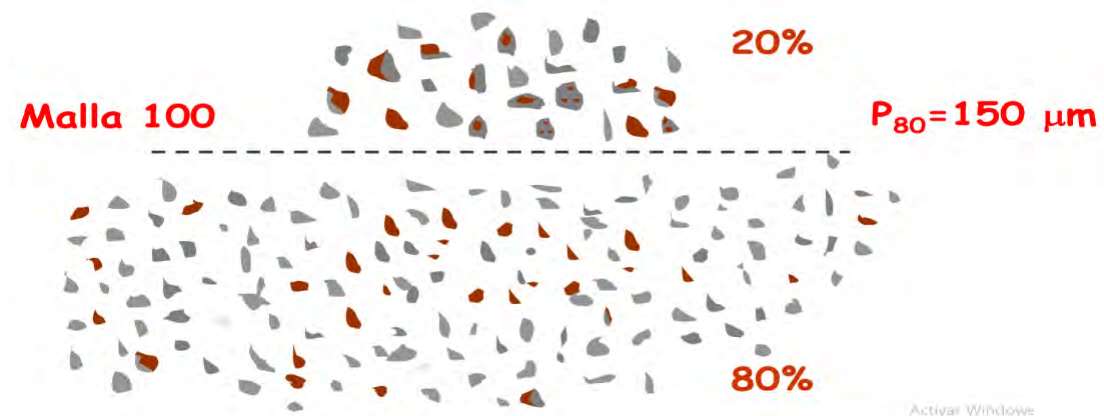
Es para obtener un producto deseado.

La clasificación de pulpa en el hidrociclón se puede definir como el tamaño de partículas en la alimentación de pulpa, cuyo 50% del peso va hacia el overflow y 50% hacia el underflow, ósea nos referimos al D_{50} del hidrociclón.

El P_{80} se define como la abertura de la malla a través de la cual pasa el 80% en peso del material y 20% retenido, ver la figura 2.20 y 2.21 la representación de la distribución granulométrica.

Figura 2. 20.

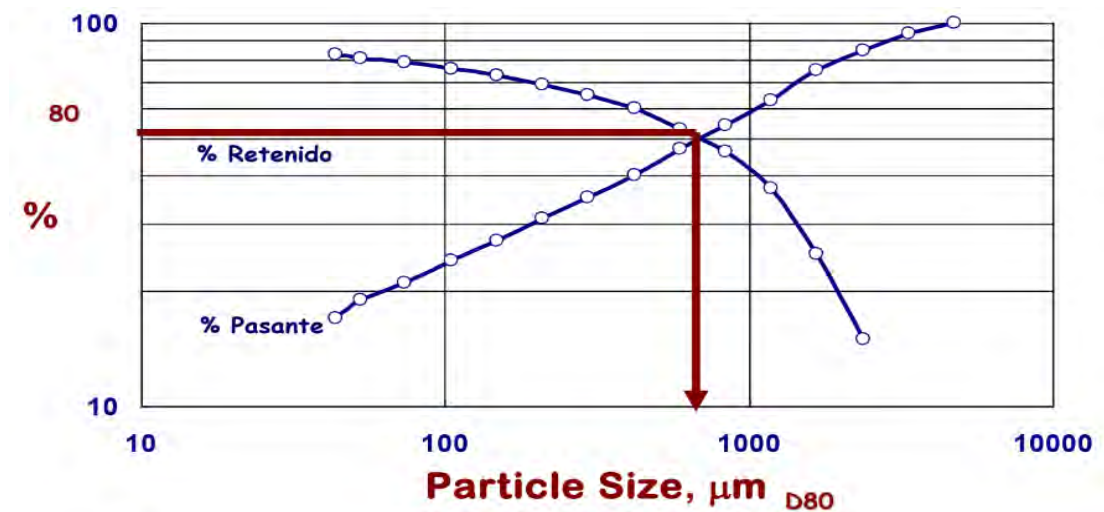
La Representación de Porcentaje de P_{80}



Nota: https://es.slideshare.net/jaramjc/moly-cop-curso-molienda-minerales?from_action=save

Figura 2. 21.

La Representación Gráfica de Porcentaje de P_{80}



Nota: https://es.slideshare.net/jaramjc/moly-cop-curso-molienda-minerales?from_action=save

2.3.12. Disponibilidad operacional del equipo

La disponibilidad operacional representa el porcentaje de tiempo que el equipo queda a disponibilidad del área de operación para desempeñar su función en un periodo de análisis, teniendo en cuenta el tiempo que el equipo está fuera de

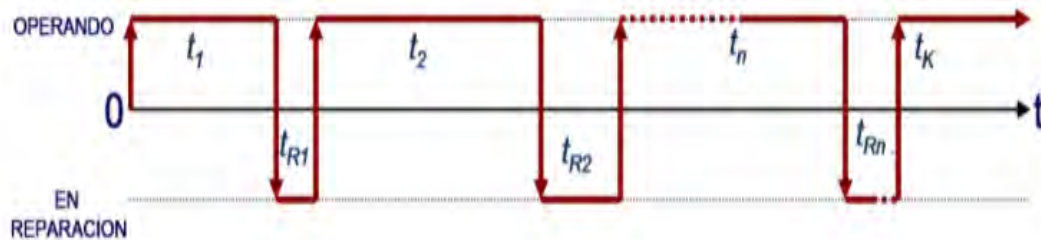
operación por paros programados y no programados, véase en la figura 2.22. El objetivo de este indicador es medir el desempeño de los equipos y la eficiencia en la gestión de mantenimiento, de manera conjunta, comparándolos contra los objetivos y metas del negocio, con la finalidad de que los operadores tengan más tiempo el equipo disponible y que este pueda realizar la función para la que fue diseñado (Fuenmayor, 2020).

Esta aptitud depende de la combinación de aspectos de fiabilidad, mantenibilidad y recuperabilidad de un elemento y de la capacidad logística del mantenimiento.

$$\% \text{ DISPONIBILIDAD} = \frac{\text{Horas Periodo} - \Sigma \text{ Horas Mantenimiento}}{\text{Horas Periodo}} \times 100 \quad (26)$$

Figura 2. 22.

Diagrama de Tiempo de Operación y Fuera de Servicio



Nota: <https://es.linkedin.com/pulse/analisis-de-confiabilidad-disponibilidad>.

Para que la disponibilidad de un equipo prime se basa en el mantenimiento del equipo, cuyos objetivos son:

Reducir al mínimo los costes debidos a las paradas por averías accidentales de la maquinaria que comporten pérdidas de producción o deservicios.

Disminuir los costes directos del propio mantenimiento.

Maximizar el ciclo de vida útil de los productos e instalaciones permitiendo que los activos sigan siendo totalmente funcionales incluso después de haber sido amortizados.

Mantener los equipos e instalaciones en estado óptimo.

Sugerir y proyectar mejoras en la maquinaria y equipos para disminuir los riesgos de daño y rotura.

2.3.13. Tipos de mantenimiento para la disponibilidad

a. Mantenimiento correctivo

Se actúa una vez ocurrido la falla, se convive con la falla es decir es un mantenimiento reactivo. El mantenimiento correctivo tiene 3 etapas: de emergencia, debido que ocurre sobre equipos críticos donde la intervención no puede diferirse en el tiempo, de urgencia, ocurre sobre los equipos críticos o semicríticos pueden diferirse con el tiempo y de aceptado, ocurre sobre los equipos no críticos o redundantes la intervención puede diferirse en el tiempo.

b. Mantenimiento preventivo

Trata de prevenir la ocurrencia de la falla, es decir predice el momento de la ocurrencia de la falla. El mantenimiento preventivo tiene 3 etapas: Rutinario, donde se realiza al equipo un control periódico como ajustes limpieza y lubricación, etc. Sistemático, donde la función de un contador sea en horas, kilómetros, calendarios de intervención, etc. Predictivo, es la función de un contador sea en horas, kilómetros, etc. Mide desarrollo de variables, es decir predice futura intervención.

c. Mantenimiento proactivo

En esta etapa se procura eliminar la falla del equipo definitivamente en el mejor de los casos. El mantenimiento modificativo tiene también 3 etapas: Proyecto, donde la adaptación del equipo original a necesidades de la empresa, prevención, donde se

rediseña el equipo original o de sus partes móviles para minimizar las fallas y Reacondicionamiento, para incrementar la vida útil del equipo aplicando las nuevas tecnologías (Christensen, 2018, págs. 1-2).

La confiabilidad puede definirse como la probabilidad de que un artículo realice una función requerida en determinadas condiciones durante un período determinado, la figura 2.23, muestra la gráfica disponibilidad y confiabilidad.

Figura 2. 23.

La Curva de Disponibilidad y Confiabilidad



Nota: Christensen, C. 2018. Confiabilidad y disponibilidad pág. 20.

2.3.14. Sistemas de automatización industrial

Los sistemas de automatización industrial son utilizados para controlar y monitorear un proceso, máquina o dispositivo de manera informatizada que por lo regular cumple funciones o tareas repetitivas. Tienen el objetivo de operar de forma automática para así reducir y mejorar el trabajo humano en la industria.(Nexus Integra, 2022).

2.3.14.1. Características de la automatización industrial

Características principales de la automatización industrial.

Optimiza la calidad de los productos a través de un proceso constante y repetitivo.

Reduce los esfuerzos y tiempos de producción.

Mejora la productividad, reduciendo los costes industriales.

Minimiza los daños en las piezas e incrementa la seguridad del personal.

La reparación de máquinas supone un menor coste.

Permite ahorrar, lo que se traduce en mayor eficiencia en la producción de la organización (Vitc, 2019).

2.3.14.2. Componentes de la estructura básica del PLC

La estructura básica de un PLC está compuesta por:

- ✓ La CPU.
- ✓ La interfaz de entrada.
- ✓ La interfaz de salida.

a. CPU

La CPU recibe la información desde los módulos de entrada y la procesa de acuerdo con el programa base y la configuración específica de las instrucciones de un circuito de control. Este procesamiento produce acciones en respuesta a la información recibida.

b. La interfaz de entrada

Los módulos de entrada recogen información por medio de interruptores, pulsadores, sensores, transductores, y cualquier dispositivo que genere una señal eléctrica en respuesta a un cambio del proceso o la máquina, y la acondicionan para que la CPU la pueda recibir.

c. La interfaz de salida

Los módulos de salida reciben la información de la CPU que contiene las acciones a ejecutar y las convierten en señales apropiadas para activar los

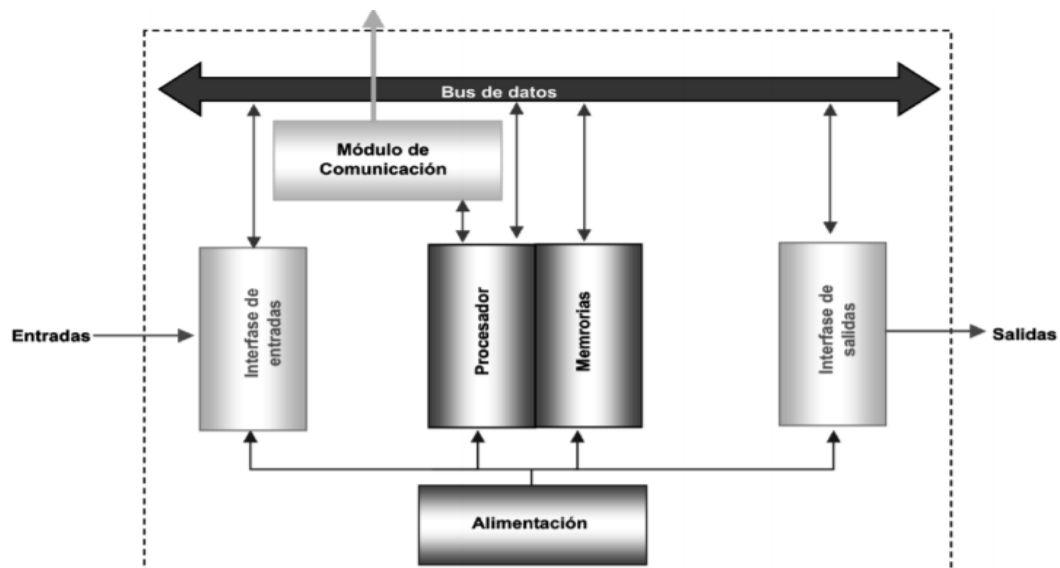
dispositivos actuadores como relés, transmisores, bombillos, contactores, sirenas, equipo electrónico y otros.

Un controlador lógico programable está constituido por un conjunto de módulos o tarjetas (circuitos impresos), en los cuales están ubicados los componentes electrónicos que permiten su funcionamiento. Cada una de las tarjetas cumple una función específica. Algunos PLC tienen una cubierta o carcasa, llamada comúnmente «rack», que viene a ser un bastidor donde se alojan las tarjetas en forma ordenada, que por lo general están comunicadas.

El controlador programable tiene una estructura muy semejante a los sistemas de programación, como el computador, cuya estructura física (hardware) está constituido por: fuente de alimentación, unidad de procesamiento central (CPU), Módulos o interfaz de entrada/salida (E/S), módulos de memoria y unidad de programación (Electrin, 2016). La estructura básica del PLC se tiene en la figura 2.24 y el sistema o arquitectura de funcionamiento del PLC véase en la figura 2.25.

Figura 2. 24.

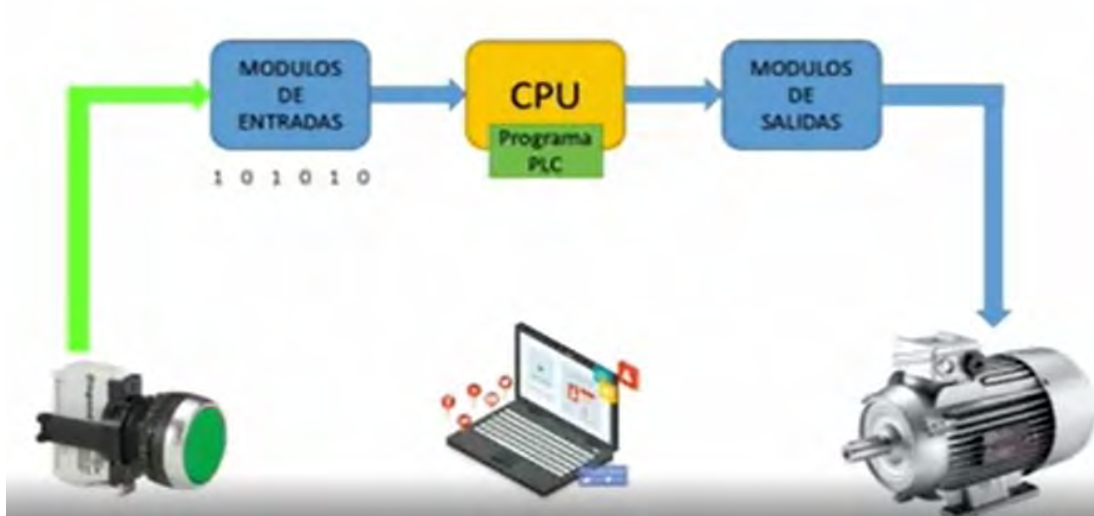
Estructura Básica de un PLC



Nota: <https://controlyautomatizaciointextil2014.wordpress.com/category/sin-categoria/>

Figura 2. 25.

Arquitectura de Funcionamiento de un PLC



Nota: https://m.facebook.com/watch/?v=782114282638362&_rdr

2.3.14.3. Arquitectura funcionamiento de PLC

En la figura 2.26. Se representa la pirámide donde se establece diferentes niveles de la factoría ideal completamente automatizada.

1. Nivel de proceso

Los sensores, actuadores, temporizadores, contadores y toda la maquinaria y equipo que se disponga para la producción, son parte de este nivel fundamental para la realización de cualquier proceso que posteriormente se automatizará. Por su naturaleza, este nivel se encuentra en la parte operativa, piso o campo y su control se limita a esta zona.

2. Nivel de campo

Es el turno de los controladores autómatas, este nivel tiene por objeto controlar procesos secuenciales por medio de ordenadores especializados como el caso de los Controladores Lógicos Programables (PLC) que reciben señales de entrada y salida, cuentan con un CPU y memoria que procesa la información cargada o software

3. Nivel de célula

También llamado nivel supervisión o SCADA, su función es la representación gráfica de los anteriores niveles por medio de paneles o pantallas conocidas como HMI. Este nivel se encarga de crear una interfaz intuitiva entre la máquina, el proceso y el operario facilitando la interacción y supervisión del proceso en tiempo real o histórico. En esta fase se utiliza comúnmente un servidor de comunicaciones OPC (Ole for Process Control) para comunicar los distintos softwares de aplicación (KEIKA, 2020).

4. Nivel de planta

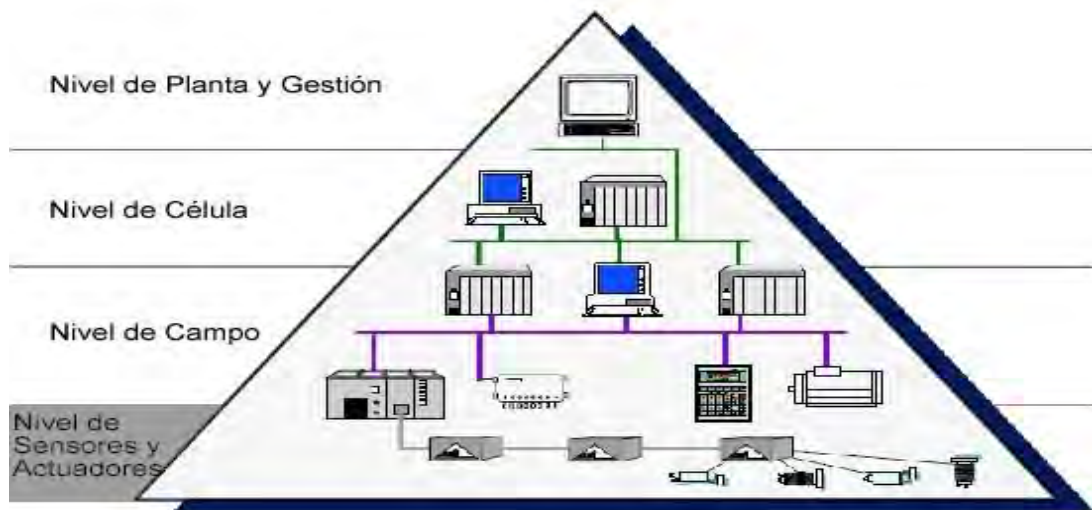
En este nivel se encuentran dispositivos de nivel existentes en la planta que son posibles monitorearlos con un sistema capaz de comunicar los elementos, como un entorno SCADA.

5. Nivel de fábrica (gestión)

En este nivel se gestiona la producción completa de la empresa. Se encarga de comunicar distintas plantas, mantener relaciones con los proveedores y clientes, se emplean PC, estaciones de trabajo y servidores (Carmona Arturo, 2017, pág. 21)

Figura 2. 26.

La Estructura General del Funcionamiento de un PLC



Nota: Controladores Lógicos Programables (PLCs), pág. 18.

2.4. Definición de términos

Automatización: Consiste en usar la tecnología para realizar tareas casi sin necesidad de las personas, se puede implementar en cualquier sector en el que se lleven a cabo tareas repetitivas, (Red Hat, 2022).

Analizador de partículas: Instrumento analítico que mide, muestra e informa de la distribución del tamaño de una partícula en una población determinada de partículas o gotas, (ThermoFisher Scientific, 2017, pág. 3).

Calibración: Comprende la medición de un patrón de referencia y el instrumento que deseamos comprobar. Mediante dicha comparación, obtendremos el error del instrumento (diferencia entre las medidas del equipo y las obtenidas por el patrón de referencia), (Laboratorio Caltex Sistemas, 2022).

Concentrado bulk: Que contiene más de un metal con valor comercial.

Confiabilidad: Capacidad de un ítem de desempeñar una función requerida, en condiciones establecidas durante un período de tiempo determinado, (Colaboradores de Wikipedia, 2022).

D₅₀: Es el tamaño de partícula correspondiente al 50% que pasa y representa el tamaño medio de grano, (Diccionario, 2020).

D₈₀: Expresa el tamaño de la malla cuadrada teórica que produce un corte de tal forma que el 80% del producto es pasante, menor que el tamaño de malla, y el otro 20% es el rechazo o tamaño de los productos mayor que la malla, estas son referentes a la alimentación hacia flotación, (Blanco).

Disponibilidad operacional: Representa el porcentaje de tiempo que el equipo quedo a disponibilidad del área de operación para desempeñar su función en un periodo de análisis. Teniendo en cuenta el tiempo que el equipo está fuera de operación por paros programados y no programados, (Fuenmayor, 2020).

Desviación estándar: Es la medida de dispersión más común, que indica qué tan dispersos están los datos con respecto a la media. Mientras mayor sea la desviación estándar, mayor será la dispersión de los datos, (Minitab 18, 2022).

Evaluación: Acción y efecto de evaluar significa 'determinar el valor de algo, la evaluación es un juicio cuya finalidad es establecer, tomando en consideración un conjunto de criterios o normas, el valor, la importancia o el significado de algo.
<https://www.significados.com/evaluacion/>

Error absoluto: Es la diferencia entre el valor real y el valor aproximado, es decir, el resultado obtenido al medir. Se expresa en positivo, aunque el valor aproximado sea superior al valor real, y como consecuencia diera un resultado negativo, (Rodríguez, 2020).

Error relativo: Es el resultado de multiplicar el error absoluto por el valor real, es decir, la media). Como el error absoluto puede ser positivo o negativo, pero la

diferencia es que, en lugar de unidades de medida, le acompaña un tanto por ciento (%), (Rodríguez, 2020).

Granulometría: Es el estudio de la distribución estadística de los tamaños de una colección de elementos de un material sólido fraccionado, (Colaboradores de Wikipedia, 2021).

Hidrociclón: Es un equipo de clasificación de forma cilindro – cónica, con una entrada tangencial y dos salidas en los extremos de su eje. Usa la velocidad centrífuga con la que ingresa el fluido de alimentación para acelerar la tasa de sedimentación. La función principal del Hidrociclón es separar los sólidos suspendidos en un determinado flujo de alimentación, en dos fracciones, una gruesa y fina.

Nivel de significancia: son el complemento al intervalo de confianza de una distribución y se utilizan para contrastar la hipótesis nula (H_0) en una prueba de inferencia estadística $\alpha=5\%$, (Rodó, 2021).

Nivel de confianza: Es la probabilidad máxima con la que podríamos asegurar que el parámetro a estimar se encuentra dentro de nuestro intervalo estimado, (Rodó, 2021).

Media: También conocida como promedio, es el valor que se obtiene al dividir la suma de un conglomerado de números entre la cantidad de ellos, (Ortega, 2022).

Mineral: Es una sustancia natural, de composición química definida, normalmente sólido e inorgánico, y que tiene una cierta estructura cristalina, (Desconocido).

Mallas: Procedimiento manual o mecánico por medio del cual se pueda separar las partículas constitutivas del agregado según tamaños, (C.V., 2018),

Molienda: Es una operación unitaria que reduce el volumen promedio de las partículas de una muestra sólida. Es decir, la reducción se lleva a cabo dividiendo o fraccionando la muestra por medios mecánicos hasta el tamaño deseado, (Ramírez, 2011).

Optimización: En general, implica lograr el mejor funcionamiento de algo, usando de la mejor forma los recursos. Además, optimizar significa elegir el mejor de los elementos que pertenecen a un conjunto. Es decir, se trata de hallar la solución más conveniente, (Westreicher, 2020).

Overflow: salida de pulpa por el Vortex Finder, que rebalsa por la parte superior del ciclón.

P₈₀: Tamaño correspondiente al 80% del pasante acumulado en los finos del último ciclo en (μm).

Pebbles: Fragmentos de mineral de un determinado tamaño previamente clasificados mediante la intercalación de cribas en el circuito, u obtenidos del molino autógeno primario, (Reduccion de Tamaño. Molienda II, pág. 2).

Proceso: Un proceso es una secuencia de acciones que se llevan a cabo para lograr un fin determinado, (Westreicher, 2020).

Calibración: Ajustar con la mayor exactitud posible, las indicaciones de un instrumento de medida con respecto a un patrón de referencia.

Underflow: La pulpa desciende por gravedad hasta descargar por el Apex del hidrociclón.

CAPITULO III

HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

Con modelamientos de evaluación en las mallas de análisis se calibra el patrón P_{80} y se estabiliza las medias, donde los errores relativos son menores a 5% en el overflow de los nidos de hidrociclones para el control y monitoreo de la granulometría en el circuito de molienda en la planta concentradora de las Bambas.

3.1.2. Hipótesis específica

1. Con las pruebas de calibraciones y correcciones, las correlaciones y regresiones de las distribuciones granulométricas expresadas mediante una función lineal en el software the modeler en el PSM 400MPX son elevadas a más del 90% en porcentaje de sólidos, mallas 40, 50 y 70 del overflow de los nidos de hidrociclones para la evaluación del patrón P_{80} para el control y monitoreo de la granulometría en el circuito molienda de la planta concentradora de las Bambas.

2. Se optimiza la disponibilidad operacional del PSM 400MPX del overflow de los nidos de hidrociclones a más del 90% mensual para el control y monitoreo del P_{80} en el circuito de molienda de la planta concentradora de las Bambas.

3.2. Variables

3.2.1. Identificación de variables

Se tienen las siguientes variables de estudio en la investigación, las variables independientes y variables dependientes.

Tabla 3. 1.

Variables Independiente y Dependiente

Tipos de variables	Indicadores	Unidades
<u>Variable independiente</u>		
<ul style="list-style-type: none"> Numero de mallas 40, 50, 70 y porcentaje de sólidos. 	Tamaño	% en peso
<ul style="list-style-type: none"> Tiempo de funcionamiento del PSM 	Tiempo	Minutos-horas
<u>Variable dependiente</u>		
<ul style="list-style-type: none"> Optimización del patrón de P₈₀ en el PSM 400 MPX 	Granulometría de las partículas	µm

3.3. Operacionalizacion de variables

Tabla 3. 2.

Operacionalizacion de Variables

Variables	Definición de Variable	Rangos	Unidad	Instrumento de medición
<u>Variable independiente</u>		Malla 40: 8-20	% en peso	Balanza analítica y Analizador PSM
Tamaño de partículas.	Granulometría . Es la proporción de tiempo que un sistema está en condiciones de funcionamiento	Malla 50: 8-12		
		Malla 70: 8- 13		
Tiempo de funcionamiento del PSM		Solidos: 43-56 00 – 24	H	Cronometro

<u>Variable dependiente</u>				
Optimización del patrón de P ₈₀ en el PSM 400 MPX	del	Obtención de los mejores resultados de las calibraciones realizadas en las mallas	260- 426	µm PSM

CAPITULO IV

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. **Ámbito de estudio**

La investigación se realizó en la empresa minera Las Bambas operada por MMG Ltda. Que se encuentra en proceso de producción de concentrado bulk de cobre y concentrado de molibdeno en la región de Apurímac. La capacidad de tratamiento de la planta concentradora según diseño del proyecto es de 140.000 toneladas por día, dentro de ellos obtienen relaves y concentrados antes mencionados. El proceso de concentración de minerales es por flotación colectiva, obteniendo como producto concentrado bulk y por flotación selectiva el molibdeno en celdas columnas. Los concentrados obtenidos son filtrados con una humedad de 9% aproximadamente y son transportador por camiones encapsulados hacia puerto Matarani.

La Minera MMG Las Bambas se ubica en:

Anexo	: Fuerabamba.
Distrito	: Challhuahuacho y Ccoyllurqui.
Provincia	: Cotabambas.
Región	: Apurímac
Altitud	: 3970 msnm aproximadamente.
Opera	: MMG Ltda.

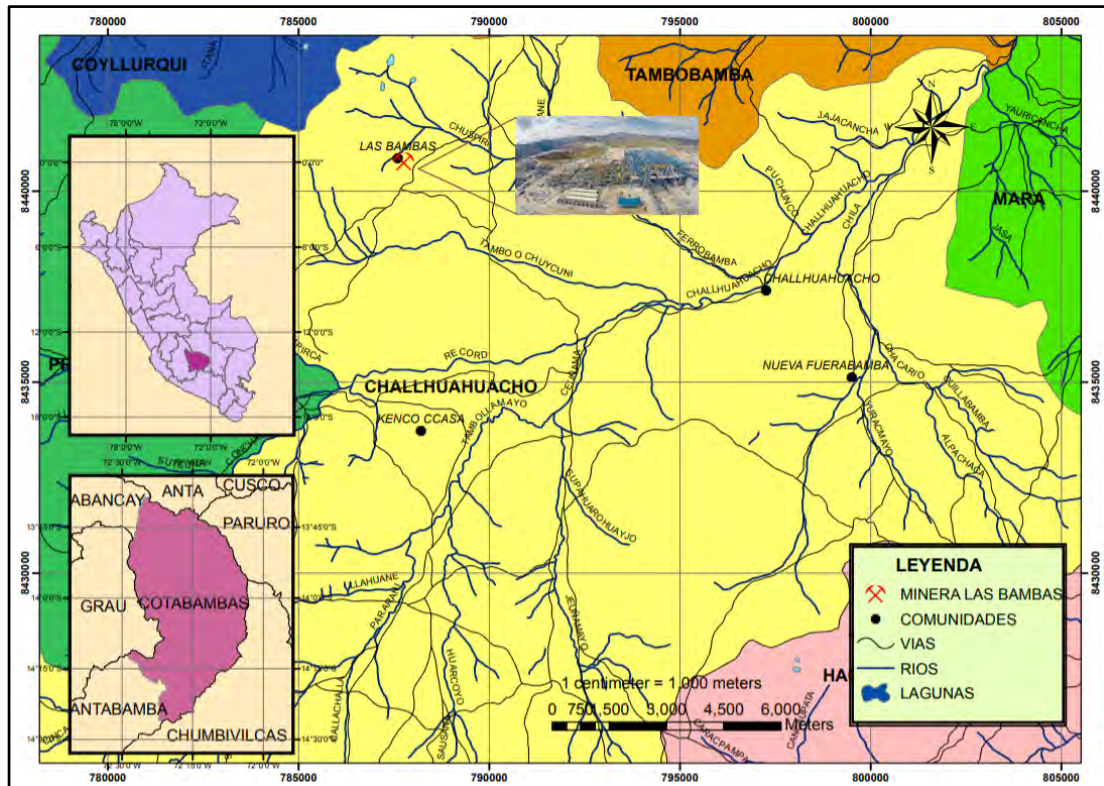
A las operaciones mina Las Bambas se accede a través de las rutas:

Cusco - Ccapacmarca – Challhuahuacho – Las Bambas, cuenta con una vía con doble sentido hasta in situ aproximadamente con un total de 330 km de distancia de recorrido.

Arequipa – Espinar - Ccapacmarca – Challhuahuacho – Las Bambas, Cuenta con vías asfaltadas hasta in situ aproximadamente con un total de 480 km de distancia de recorrido.

Figura 4. 1.

Localización de la unidad minera Las Bambas



4.1.1. Estructura de la operación de la planta concentradora

La estructura de la operación de la minera las MMG las Bambas, se describe de la siguiente manera:

4.1.1.1. Recepción del mineral de la mina

El mineral de mina, proveniente del yacimiento Ferrobamba es transportado en camiones de 300 toneladas de capacidad, los cuales descargan directamente

sobre dos tolvas de alimentación que cuenta cada chancadora giratoria con dos bahías de descarga cada una de ellas.

Los principales tipos de mineral presentes en el yacimiento son chalcopirita, chalcocita, covelita, bornita, pirita y molibdenita. Las leyes de cabeza del cobre y molibdeno son 0.90% y 177 ppm respectivamente (Tecsup, 2015, pág. 3)

4.1.1.2. Chancado primario y transporte de mineral

a. Chancado primario

La función principal del proceso de Chancado Primario es reducir mecánicamente el mineral proveniente de mina desde un tamaño de partícula máximo de 1.5 m hasta 150 mm para ser transportado hasta la pila de almacenamiento de mineral grueso (stock pile), la cual tiene una capacidad viva de 105.000 toneladas.

El mineral es alimentado a las dos chancadoras giratorias de 1,524 mm x 2,870 mm (60 x 113") con 750 kW, operadas en paralelo, las cuales reducen el mineral hasta un tamaño de partícula P_{80} de 150 mm (6"). Cada chancadora tiene una capacidad de tratamiento desde 4,167 a 7,500 t/h, dependiendo de las características del mineral y la abertura de la chancadora (abertura nominal es de 178 mm).

La descarga de cada alimentador de placas cuenta con un electroimán que permite el retiro oportuno de metales que puedan producir algún daño, tanto en la faja de sacrificio como en la etapa de transporte de mineral grueso, en la figura 4.2, se tiene el proceso de chancado primario de mineral (Tecsup, 2015, pág. 4).

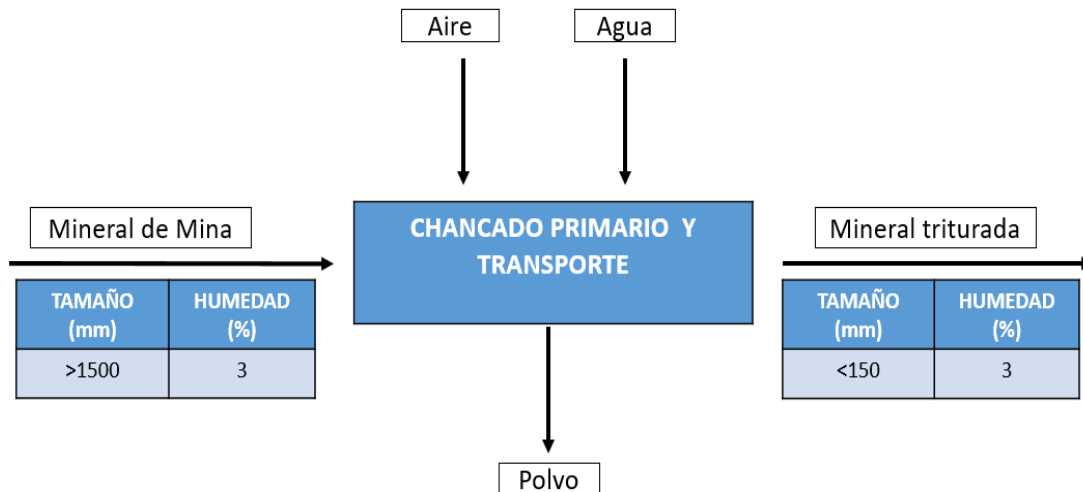
b. Transporte de mineral

El mineral chancado proveniente de los alimentadores de placas (0210-FEA-001/002), es descargado sobre la faja de sacrificio (0220-CVB-001) de 84" de ancho x 207 m de longitud con velocidad ajustable y 600 kW de potencia, transportándolo hasta la faja overland N°1 (0220-CVB-003) de 72" de ancho x 2,613 m de longitud, la

cual descarga el mineral sobre la faja overland N°2 (0220-CVB-004) de 72" de ancho x 2,729 m de longitud, para finalmente enviarlo a la pila de almacenamiento de mineral grueso con capacidad de 9,400 t/h (Tecsup, 2015, pág. 6). Véase en la figura 4.3.

Figura 4. 2.

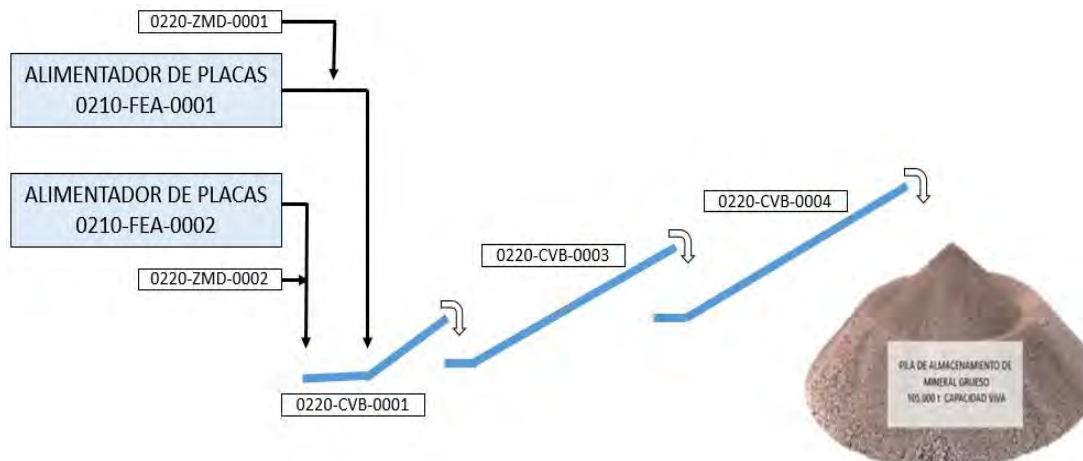
Las Entradas y Salidas del Proceso de Chancado Primario



Nota: Manual de operación área chancado. Pág. 03, 2015.

Figura 4. 3.

La Diagrama de Flujo de Transporte de Mineral Grueso



Nota: Manual de operación transporte de mineral. pág.07, 2015.

4.1.1.3. Circuito de molienda de minerales

El mineral proveniente de la pila de almacenamiento de 105,000 toneladas de capacidad viva, es extraído mediante dos líneas de alimentadores de placas (0240-FEA-004/011) y enviado hacia la molienda primaria mediante 2 fajas transportadoras a razón de 7,926 t/h, cada una con 4 alimentadores de placas.

La función principal del proceso de Molienda y Chancado Pebbles es la de reducir mecánicamente el mineral de 105 mm (6") hasta un tamaño de liberación óptimo de 240 micras con un porcentaje de sólidos del 38% para enviarlo al proceso de flotación y remolienda.

El diseño de la planta ha considerado un tratamiento nominal de 7,926 t/h por cada línea haciendo un total de 140,000 toneladas por día de mineral fresco con un producto final de 240 micras tal como se describe líneas arriba. Así mismo, se ha considerado una generación nominal de Pebbles de 1,586 t/h, equivalente al 25% de la alimentación fresca de la planta con P_{80} de 13 mm, bajo un esquema operacional de 365 días por año, 24 horas por día y 92 % de utilización efectiva (Tecsups, 2015, pág. 4).

a. Molienda primaria

La molienda primaria está compuesta por dos líneas de molienda SAG operadas en paralelo, cada una provista de un molino SAG de 12.2 m x 6.7 m (40 pies x 22 pies) con 24 MW de potencia instalada, ambas líneas trabajando bajo el esquema de circuito cerrado directo con clasificación en zaranda y chancado de Pebbles (Tecsups, 2015, pág. 9).

Dentro del molino, el mineral es reducido por la acción del propio mineral, las bolas y los movimientos de cascada y catarata; asimismo, la pulpa se mantiene con un porcentaje de sólidos del 70%. En la descarga de los molinos SAG se tiene provisto un Trommel corto de 5.65 m de diámetro x 4 m de largo con mallas de abertura de 16

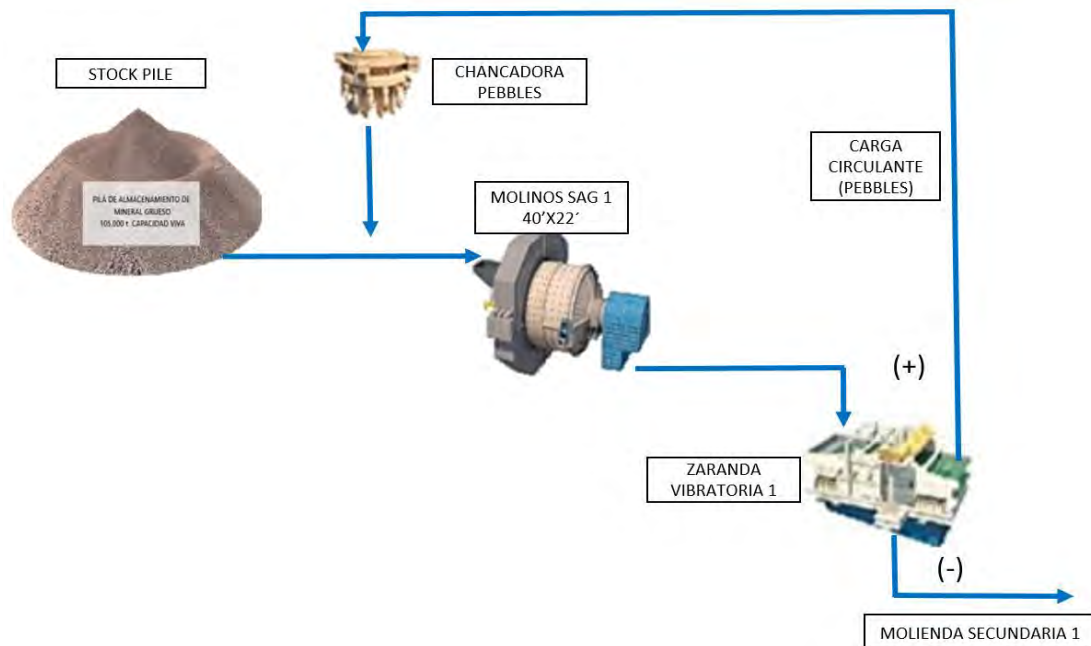
mm x 48 mm, en donde se adiciona agua de proceso (300 m³/h) para mejorar la clasificación de la pulpa.

El sobre tamaño del Trommel es enviado a la clasificación por zaranda vibratoria y el bajo tamaño es alimentado a la clasificación por nido de ciclones. Cada molino SAG, dispone de un sistema de velocidad variable de 9.04 rpm y está diseñado para operar con un volumen de llenado de mineral y medios de molienda de 25 a 30%.

El sobre tamaño de las zarandas (Oversize) es enviado a la etapa de chancado Pebbles y el bajo tamaño (Undersize) es alimentado al circuito de clasificación por nido de ciclones, véase en la figura 4.4, se presenta el diagrama CCD del SAG (Tecsup, 2015, pág. 10).

Figura 4. 4.

La Diagrama de Circuito Cerrado Directo (CCD)



Nota: Descripción del proceso de operación de molienda pág. 09, 2015.

Los flujos de entrada son:

- Mineral triturado.

- Agua de proceso.
- Bolas de acero de 5" para SAG.
- Reactivos.
- Pebbles triturados.

Los flujos de salida son:

- Pulpa de mineral.
- Restos de bolas de acero (chips).

Los Pebbles con F_{80} de 35 mm son extraídos de la pila de almacenamiento por medio de tres fajas de alimentación en paralelo de 36" de ancho x 144 m de longitud, que alimentan a tres chancadoras de Pebbles tipo cónicas MP 1000 de cabeza corta con 746 kW de potencia y 625 t/h de capacidad de diseño; éstas reducen el mineral hasta obtener un producto con tamaño de partícula P_{80} de 13 mm y luego alimentarlas nuevamente al molino SAG (Tecsups, 2015, pág. 16).

b. Molienda secundaria

La molienda secundaria está compuesta por dos líneas de molino de bolas operadas también en paralelo, pero bajo el esquema de circuito cerrado inverso con clasificación en nido de ciclones, cada una provista de un MLB de 7.9 m x 12.2 m (26 pies x 40 pies) con 16.4 MW de potencia instalada (Tecsups, 2015, pág. 9).

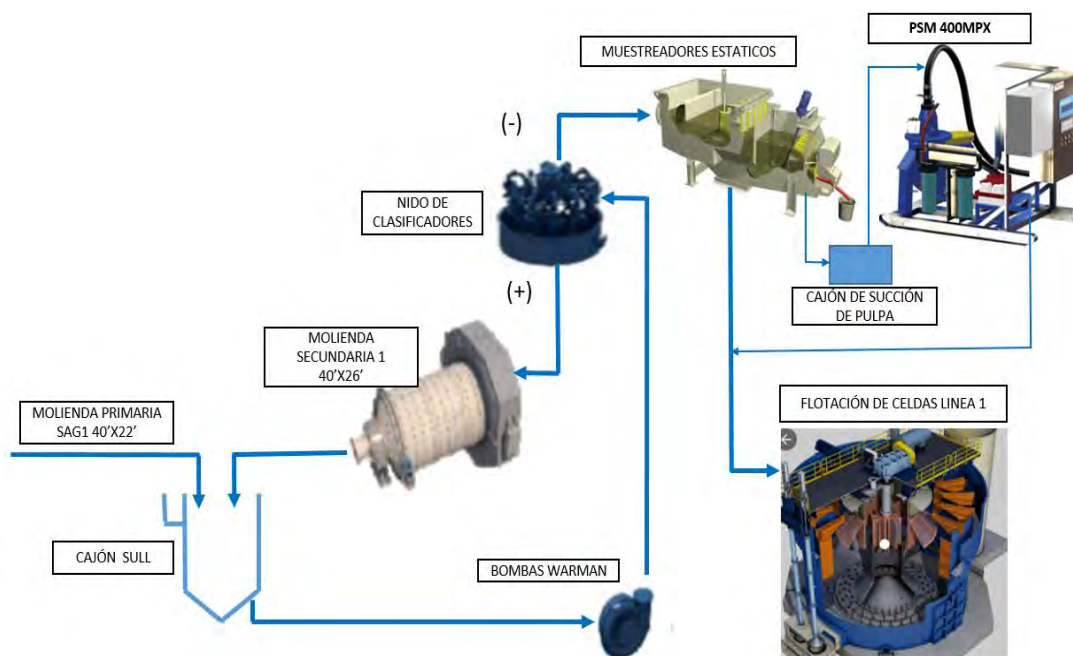
El bajo tamaño (undersize) de la zaranda vibratoria junto con el bajo tamaño del trommel del molino SAG de cada línea y la descarga de los molinos de bolas son enviados por gravedad hacia los cajones sumidero (0310-SUL-001/002) respectivamente, con un volumen neto de 474 m³. Adicionalmente se agrega agua de proceso (2,899 m³/h) para mantener el porcentaje de sólidos de la pulpa en 60% (Tecsups, 2015, pág. 1).

Cada cajón (0310-SUL-001/002) alimenta a dos líneas de nidos de ciclones (de 12 ciclones de 33" de diámetro cada uno) mediante dos bombas centrífugas

horizontales (0310-PPS-001 a 004) de velocidad variable a una presión de bombeo de 16 a 17 PSI, véase en la figura 4.5, el diagrama de flujo de molienda secundaria.

Figura 4. 5.

La Diagrama Circuito Cerrado Inverso (CCI)



Nota: Descripción del proceso de operación de molienda pág. 20, 2015.

El underflow (UF) de los nidos de ciclones 1-2 (0310-CSC-001 a 002) y 3-4 (0310-CSC-003 a 004) es alimentado a los molinos de bolas N° 1 y N° 2 respectivamente de forma gravitacional y el overflow (OF) de cada nido de ciclones es enviado independientemente a los cajones de separación (0310-STP-247 a 250), los cuales contienen una malla para retener las partículas grandes o chatarra de bolas también se adiciona lechada de cal y agua de proceso. Para finalmente ser enviada hacia el Proceso de Flotación y Remolienda, con una granulometría de 240 micras y un porcentaje de sólidos de 38% (Tecsop, 2015, pág. 15).

Los sistemas de muestreo de overflow son de mucha importancia para el control operacional de cada línea de alimentación están situadas en las cabeceras de alimentación hacia la flotación de cobre, consta con 4 muestreadores estáticos

instalados y realizan la compartición de muestras representativas para analizador de leyes y partículas PSM 400MPX del circuito. Los muestreadores estáticos contemplan la línea 1 de SAL-023/024 y línea 2 de 025/026.

4.1.1.4. Flotación colectiva

El circuito de flotación colectiva está comprendido desde la descarga de los disipadores de energía (0330-STP-024/025) hacia flotación, hasta la descarga gravitacional del concentrado final de flotación colectiva en el cajón de alimentación del espesador de concentrado colectivo (0340-DIS-008) y la descarga gravitacional de los relaves de flotación en el cajón de alimentación de los espesadores de relaves (0510-SUU-007).

El circuito de flotación colectiva del concentrador incluye las siguientes operaciones unitarias: Flotación rougher, Flotación rougher-scavenger, remolienda de concentrado rougher, remolienda de concentrado rougher-scavenger y flotación de limpieza en tres etapas (Cuyo Ccolque, 2018, pág. 28).

El diseño de la planta ha considerado un ritmo de operación de 365 días por año, 24 horas por día y 92 % de utilización efectiva, procesando mineral a una tasa nominal de 6 341 t/h, con una recuperación de 90.0 % y una ley de concentrado final de aproximadamente 40.00 % de Cobre y 0.72% de Molibdeno. Las etapas de flotación rougher y rougher-scavenger están provistas de un total de 28 celdas autoaspiradas, instaladas en cuatro (4) filas de siete (7) celdas de 257 m³ cada una, con un tiempo de residencia nominal de 31 min. Durante una operación normal, las dos primeras celdas de cada fila corresponden a la flotación rougher, mientras que las cinco (5) celdas restantes de cada fila operan como flotación rougher-scavenger.

En cada fila de celdas se ha considerado como desvío, el poder conducir el concentrado de la 3ra y 4ta celda a la canaleta de concentrado rougher, en esta configuración las cuatro primeras celdas operan como flotación rougher, mientras que

los 3 restantes operan como flotación rougher-scavenger. Adicionalmente, el diseño ha considerado instalar desvíos mecánicos que permiten aislar una celda para su mantenimiento mientras que las restantes 6 celdas pueden seguir operando.

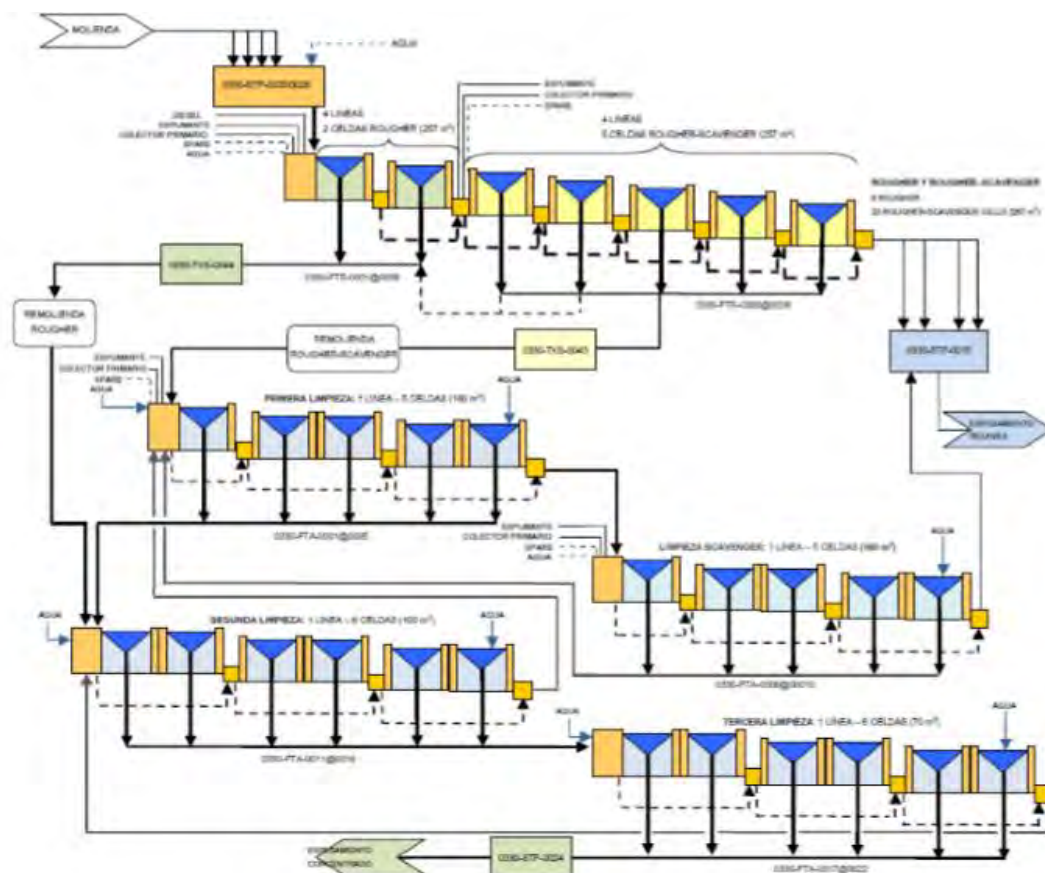
Los concentrados de flotación rougher y rougher-scavenger son colectados de forma independiente con el objetivo de aprovechar la diferencia de ley entre ellos (el concentrado rougher con una alta ley de cobre y el concentrado rougher-scavenger con una ley inferior) y procesarlos de manera separada para lograr los máximos beneficios metalúrgicos en las etapas posteriores de la flotación de limpieza.

El circuito de remolienda para el concentrado rougher y rougher-scavenger, véase en la figura 4.7, se realiza en dos circuitos abiertos independientes en paralelo, utilizando molinos tipo ISAMill. La configuración para el uso de los molinos ISAMill, considera la utilización de un (1) molino para la remolienda de los concentrados producidos en la flotación rougher, y dos molinos (2) para los concentrados producidos en la flotación rougher-scavenger (Cuyo Ccolque, 2018, pág. 29), véase en la figura 4.6.

La flotación de limpieza se realiza en 3 etapas, en un total de 17 celdas distribuidas en flotación de primera, segunda y tercera limpieza, donde el concentrado de cada etapa avanza a limpieza siguiente y las colas retornan la etapa anterior, adicionalmente el concentrado rougher remolido es alimentado a segunda limpieza y el concentrado rougher-scavenger remolido es alimentado a la primera etapa de limpieza. Para las colas de la primera limpieza existe una etapa de limpieza scavenger, donde a través de 5 celdas su concentrado es recirculado a la alimentación de la primera limpieza y las colas respectivas son conducidas a espesamiento de relaves donde se mezclan con los relaves Rougher - scavenger para producir el relave final. El concentrado de la tercera limpieza, se envía a espesamiento colectiva (Cuyo Ccolque, 2018, pág. 30).

Figura 4. 6.

Diagrama Esquemático del Circuito de Flotación y Limpieza



Nota: Filosofía de operaciones- Las Bombas, pág.32, 2018.

Los puntos de muestreo para las líneas 1 y 2 son en los SAL-023 a 026 donde se toman las muestras (muestras metalúrgicas y muestras de operación) de la pulpa que es alimentado a las celdas de flotación rougher y rougher – scavenger, también se tienen instalados 3 tipos de equipos, lo cuales son:

AnStat-230T+MEP-220: Estación de análisis y muestreo (0330-SAL-027 a 028): El cual es un analizador de rayos X en línea que sirve para determinar la concentración del Cu, Mo, Fe y otros metales en la pulpa.

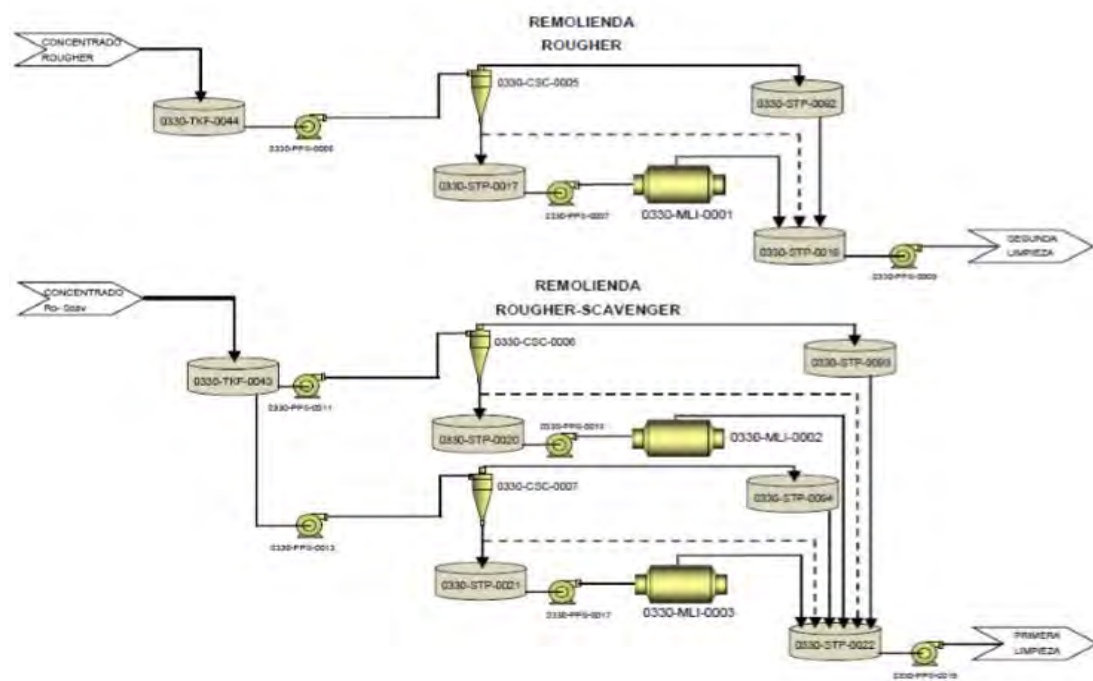
SamStat-30: Estación de Muestreo Representativo de Flujo Completo (0330-SAL-023 a 026). El cual incorpora etapas múltiples para submuestrear progresivamente la

pulpa antes de entregar muestras compuestas de período a través de un cortador transversal de etapa final.

PSM 400MPX: Analizador de tamaño de partículas (0330-ZPS- 001 a 002): El cual es un analizador ultrasónico en línea que sirve para determinar el tamaño de partículas en la pulpa, así como el % sólidos en la pulpa (Tecsup, 2015, pág. 6).

Figura 4. 7.

Diagrama de Flujo del Circuitos de Remolienda Ro y Ro- SCV



Nota: Filosofía de operaciones - Las Bombas, pag. 8, 2018.

4.1.1.5. Espesamiento de concentrado bulk

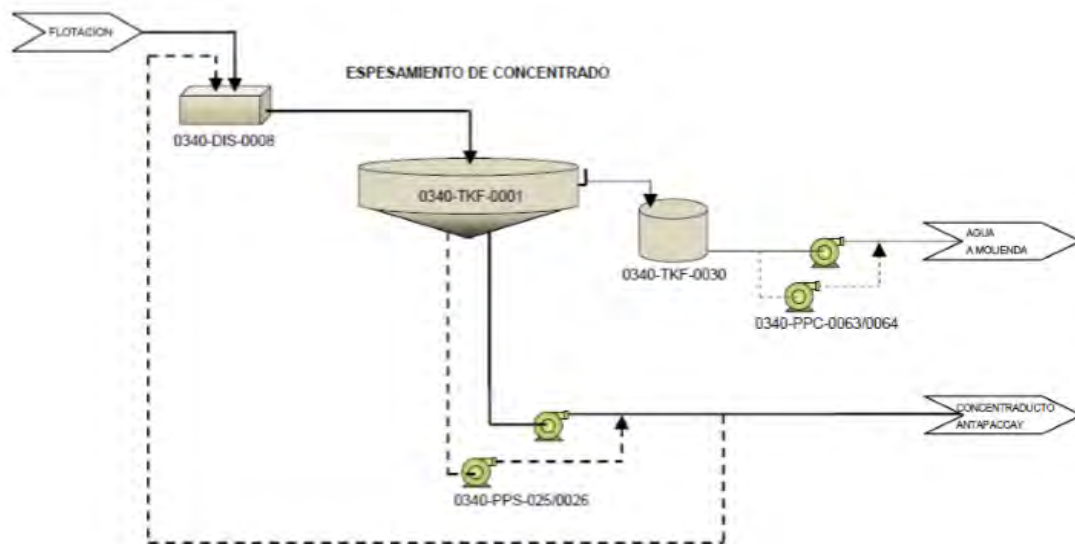
El circuito de espesamiento de concentrado considera desde el cajón de alimentación al espesador (0340-DIS-008) hasta la descarga del concentrado espesado en el cajón distribuidor de los estanques de almacenamiento de concentrado de la primera estación (0361-STP- 274) y la descarga de las aguas recuperadas en los cajones de alimentación de los nidos de hidrociclones del área de molienda (0310-SUL-001/002), véase en la figura 4.8.

El diseño del circuito ha considerado una producción nominal de 2,835 t/d de concentrado colectivo con una ley media de 40 % Cu; el ritmo de operación es de 365 días por año, 24 horas por día y una utilización de 92 %.

La operación de espesamiento de concentrado se realiza en un espesador de alta capacidad de 60 m de diámetro y 6,500 kN/m de torque, hasta una concentración en sólidos de 62 %; el producto de espesamiento será alimentado al circuito de Molibdeno (Cuyo Ccolque, 2018, pág. 32).

Figura 4. 8.

Diagrama Esquemático del Circuito de Espesamiento Concentrado Cobre



Nota: Filosofía de operaciones - Las Bombas, pag. 34, 2018.

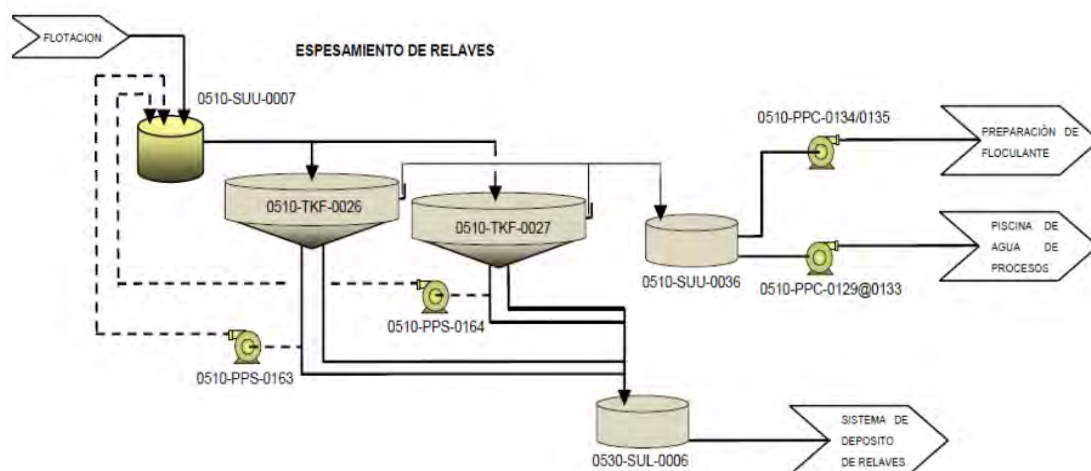
4.1.1.6. Espesamiento de relaves

El circuito de espesamiento de relaves, comprende desde la alimentación del relave de flotación en el cajón de alimentación a los espesadores (0510-SUU-007) y desde la alimentación de las aguas de procesos recuperadas desde la presa de aguas contactadas en el estanque de agua recuperada (0510-SUU-0036), hasta la descarga gravitacional de los relaves finales desde el cajón de relaves (0530-SUL-006) en el tanque y la descarga de las agua recuperadas de espesamiento en la piscina de agua

de procesos. La operación de espesamiento de relaves se realizará en dos (2) espesadores tipo alta capacidad de 80 m de diámetro y 10,000 kN/m de torque, hasta una concentración en sólidos de 62 %, el producto de espesamiento será conducido gravitacionalmente hasta el cajón de relaves finales, mientras que una parte del agua recuperada será utilizada en la dilución de floculantes y el resto recirculada mediante bombeo hasta las piscinas de agua de procesos, véase en la figura 4.9.

Figura 4. 9.

Diagrama Esquemático del Espesamiento de Relaves



Nota: Filosofía de operaciones - Las Bombas, pag. 37, 2018.

4.1.1.7. Filtrado de concentrado Bulk

La pulpa espesada proveniente del espesador de concentrado de cobre es enviada al tanque agitado de alimentación a filtros, para luego ser impulsado hacia los tres filtros prensa mediante bombas centrífugas. El filtro prensa cuentan con 54 placas verticales, modelo VPA-2040-54, utilizan aire comprimido y tienen una capacidad de 2,798 t/d al 92% de disponibilidad.

El tiempo total aproximado del ciclo de filtrado (en condiciones normales) es de 16.5 minutos por cada filtro, para obtener una humedad menor al 9%. El concentrado filtrado (queque) es descargado sobre las fajas de descarga de los filtros,

para luego ser enviado mediante la faja de alimentación a razón de 126.7 t/h, hacia el Almacén de Concentrado (Tecsup, 2015, pág. 5).

El filtro de concentrado de cobre funciona siguiendo una secuencia de cinco etapas, las cuales se repiten consecutivamente repitiendo los ciclos en cada ingreso y descarga de mineral concentrado:

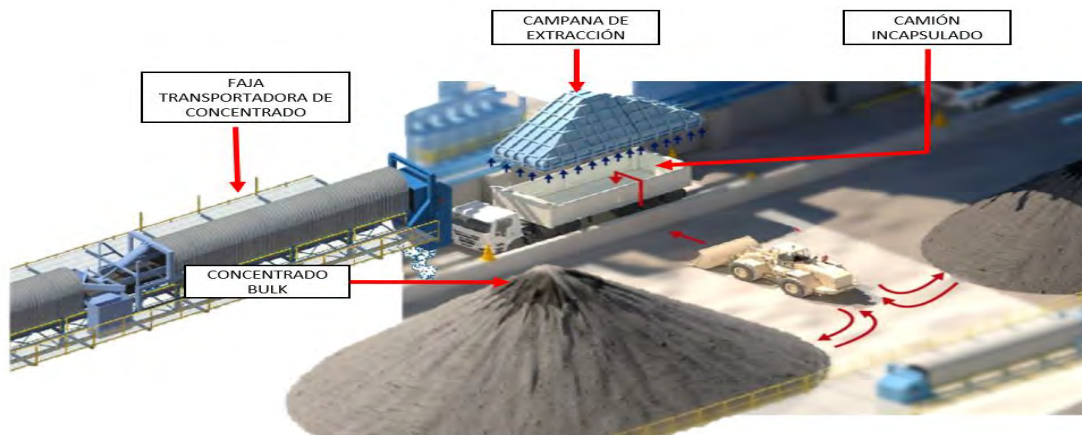
- ✓ Filtración.
- ✓ Compresión.
- ✓ Deshidratación de aire.
- ✓ Descarga del queque.
- ✓ Lavado de tela(Tecsup, 2015, pág. 6).

4.1.1.8. Transporte de concentrado

Los concentrados de cobre de almacén son cargados mediante cargador frontal hacia la tolva del camión hasta llegar a las 35 toneladas de capacidad con una humedad de 9%. Las tolvas son herméticamente selladas para no ocasionar polución o fugas en el trayecto, véase en la figura 4.10.

Figura 4. 10.

Funcionamiento del Edificio de Despacho de Concentrado Bulk



Nota: Área de despacho de concentrado de cobre – Las Bambas, pág. 8, 2015.

4.2. Diseño de investigación

El diseño de la investigación de la evaluación del patrón de calibración del P₈₀ en el PSM, se divide en tipo y nivel de investigación.

4.2.1. Tipo de investigación

La investigación según su naturaleza de la información que se recoge para responder al problema de investigación es CUANTITATIVA, que permite la manipulación de más de un variable independiente que son granulometría, densidad de sólidos y tiempo de funcionamiento del equipo analizador, además mide el efecto de la variable independiente que es el P_{80} del mineral, también es EXPERIMENTAL por la validación en el laboratorio Metalúrgico de los datos de calibración del equipo analizador PSM.

4.2.2. Nivel de investigación

La investigación se somete a nivel CORRELACIONAL debido a que permite evaluar la relación estadística entre laboratorio y analizador PSM en los modelos representativos lineales realizadas de las mallas establecidas en el equipo, es decir, la correlación entre dos variables se muestra mediante el coeficiente de correlación dando un valor medido entre 1 y -1.

De igual manera para la operación (disponibilidad) del PSM 400MPX se busca encontrar la relación del tiempo de funcionamiento del equipo analizador con respecto al funcionamiento del molino SAG1 mediante una series de tiempo que puede ser horas, días, meses y años.

4.3. Población de estudio

4.3.1. Población

La alimentación de mineral fresca y PEBBLES hacia los molinos SAG1 y la descarga de pulpa se realiza a cajón SUL-001, y estas es alimentado hacia los nidos de clasificadores CSC-001 y CSC-002 (opera normalmente 4 ciclones por nido), mediante bombas centrifugas y codificadas PPS-001 y PPS-002. El underflow ingresa por gravedad hacia los MLB 1 para remolienda (circuito ABC), producto overflow de

los hidrociclones es retenido en tina de finos y por gravedad pasa por cajón disipador y descarga la pulpa a los muestreadores estáticos SAL-0023, SAL-0024.

En la figura 4.11. El diagrama de flujo de los sistemas de muestreadores estáticos, donde al cajón primario llega el 100% de flujo de pulpa y pasa por los rifles el 75%, cajón secundario el 25% y cajón terciario el 5% de pulpa son pasantes y sirven como una muestra representativa que son descargados por gravedad hacia los cajones de succiones de pulpa del equipo analizador de partícula y el rechazo sirve para análisis de ley de cabeza de la línea 1 de ambas alimentadoras.

4.3.2. Muestra

Se obtuvieron aleatoriamente 105 muestras en promedio de cada flujo del equipo analizador PSM 400MPX para análisis de la distribución granulométrica en laboratorio metalúrgico para las recalibraciones de las mallas de análisis en el equipo y porcentaje de sólidos. Los frascos de muestreos fueron debidamente rotulados para la identificación y registro de data de los resultados. Los muestreos se realizaron de la siguiente manera de los equipos diariamente, véase en la tabla 4.1.

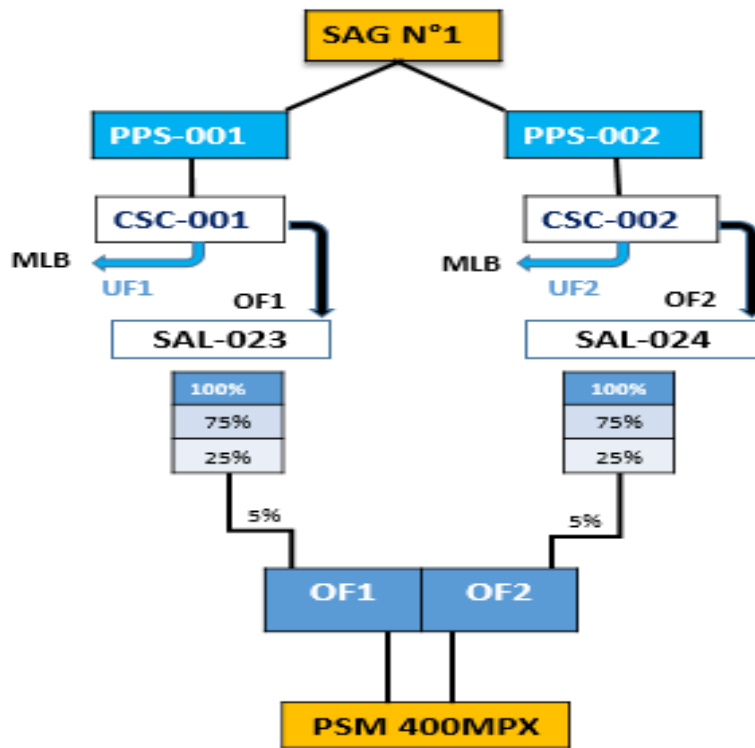
Tabla 4. 1.

Volumen de Muestreo de Pulpa de Mineral para Calibración

Equipo	Elemento	Volumen muestra diario
PSM 400MPX	OF1	2.5 litros
	OF2	2.5 litros

Figura 4. 11.

El Sistema de Muestreo de Pulpa de Mineral en el Circuito de Molienda



Para la determinación del tamaño de muestras para las calibraciones realizadas en las mallas y porcentaje de sólidos en OF1 y OF2 del PSM 400MPX, se utilizó la siguiente ecuación 27:

$$n = \frac{Z_a^2 * p * q}{d^2} \quad (27)$$

Donde:

- Z_a : Distribución normal al 95%, donde $Z=1.96$.
- p : Proporción esperada (este caso es 5% =0.05).
- q : $p-1$, Porcentaje de posibilidad (este caso $1-0.05=0.95$).
- d : Precisión (en planta los datos de presión que se usa es 4.27%).

$$n = \frac{(1.96)^2 * 0.05 * 0.95}{(0.0427)^2} = 100$$

Aplicando la ecuación 27, se obtiene 100 muestras para la recalibración de las mallas en los 5 modelamientos realizados en OF1 y OF2, dentro de las cuales 5 se utilizaron como muestras de validación del modelo final, en total haciendo una en promedio 106 muestras.

4.3.3. Técnicas de recolección de información

a. Para la elaboración de la base teórica de la investigación se utilizó:

- ✓ Análisis documental : Informes, tesis y manuales.
- ✓ Uso de internet : Informaciones escritas y audiovisuales.

b. La técnica de recolección de información se tiene los siguientes para calibración:

- ✓ Extracción de muestras de calibración del equipo PSM
- ✓ Procesamiento de muestras de calibración en laboratorio metalúrgico.
- ✓ Consolidado de datos microsoft excel de la distribución granulométrica.
- ✓ Modelamiento de ecuaciones en el THE MODELER, para porcentaje de sólidos y mallas 40, 50 y 70.

c. La técnica de recolección de información para la estabilización del PSM:

- ✓ Filtración de datos del sistema PI System del funcionamiento del PSM mediante DATA LINK.

4.3.4. Instrumentos, equipos y materiales

Para el desarrollo del procedimiento experimental de análisis granulométrico, se tuvo en cuenta los siguientes materiales:

a. Equipos:

Deslamador: Equipo que permite realizar la separación de granulometrías finas y gruesos en la malla 400 y 635.

Rot up: banco de tamices que permite la clasificación por tamaño de partículas de los minerales.

Mufla: el equipo permite secado de la pulpa deslamada con granulometrías finas y gruesas.

Balanza de precisión: Da el peso exacto de mineral retenido en cada malla.

b. Materiales para la recalibración:

Frasco para muestras de pulpa de calibración rotuladas.

Mallas ASTM: 40, 50 y 70, estas mallas se emplearon para la clasificación del mineral, una vez realizado el secado de mineral.

Baldes

Espátulas

Bandejas

Brochas

Papel Graf

Cuaderno de registro.

c. Reactivos:

- ✓ Floculante: PH 20
- ✓ HCL al 10%

d. Materiales para la disponibilidad del PSM:

- ✓ Dardos neumáticos
- ✓ Sistema de componentes para la automatización en el gabinete.

4.4. Validez y confiabilidad de instrumentos

Para la validación y confiabilidad es importante garantizar que los instrumentos de recolección de datos y la información recopilada sean consistentes y precisos.

En general la validación y confiabilidad nos certifica en caso de la calibración del equipo, porcentaje de sólidos y resultados de cálculo de P_{80} en el analizador PSM 400MPX es el laboratorio metalúrgico de la minera Las Bambas, caso disponibilidad operacional del PSM el tiempo de funcionamiento con respecto al molino SAG1.

4.5. Plan de análisis de datos

4.5.1. Procesamiento de resultados

Se realizó en el Software The Modeler para la recalibración de P_{80} y porcentaje de sólidos en el PSM, las comparaciones y tendencias entre laboratorio y PSM se realizaron en el Microsoft Excel con aplicación data link (PI System) incluyendo la disponibilidad operacional del PSM e interpretación de datos en Minitab, todas estas aplicaciones nos permitieron analizar los variables de estudio y validación de hipótesis de la investigación. Además, todos los resultados se presentan en tablas y figuras en la tesis.

4.5.2. Análisis de resultados

Se realizaron los análisis de los resultados en cada modelo realizado en el OF1, OF2 y P_{80} calculada en las muestras de calibración (validación) mediante comparaciones y tendencias entre analizador PSM 400MPX y laboratorio Metalúrgico para luego realizar algunos ajustes en los modelos. Además, la disponibilidad operacional de PSM también se evaluó mediante comparaciones y tendencias con el funcionamiento de molino SAG1 mediante un periodo de tiempo.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1. Modelamiento de ecuaciones de OF1 del PSM 400MPX

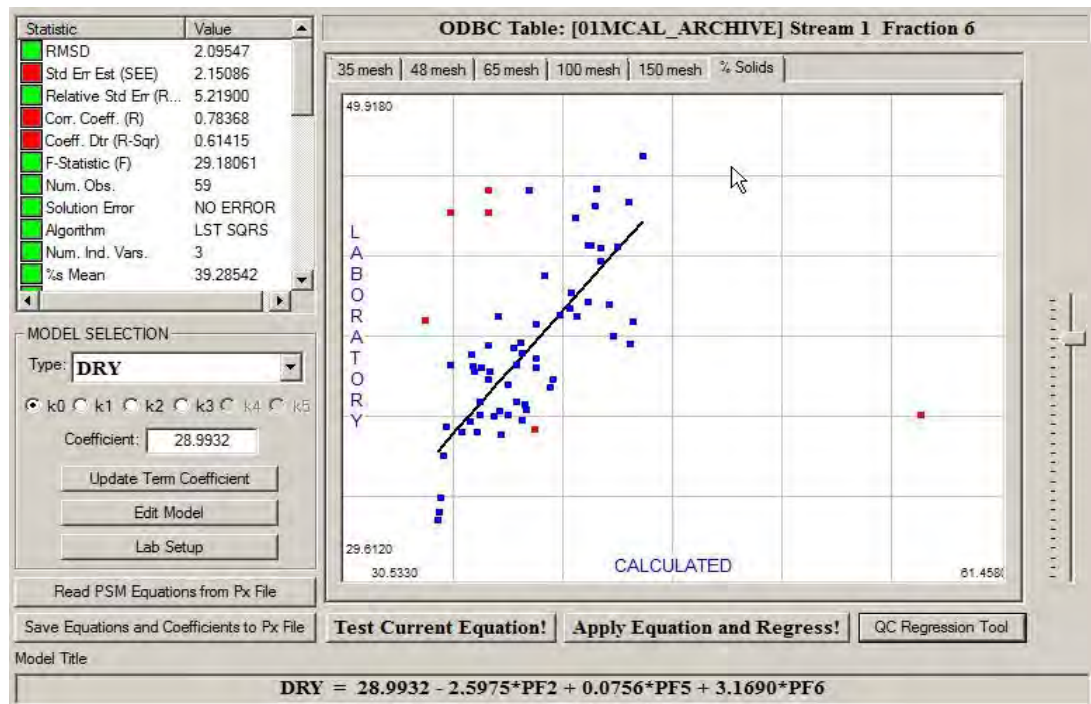
El proceso de recalibración inicia con el modelo actual que está en servidor del equipo en el flujo OF1 para porcentaje de sólidos y mallas, para iniciar y obtener un modelo preliminar se inicia con la extracción de muestras de recalibración y se envía a laboratorio Metalúrgico para la distribución granulométrica con el perfil de las mallas que se requiere para la calibración del PSM.

5.1.1. Modelamiento de ecuaciones para porcentaje de solidos

Los modelamientos de las ecuaciones de recalibración se realizan, primeramente, para porcentaje sólidos para tener como base para el resto de las mallas de análisis en el equipo.

Figura 5. 1.

Modelo en Línea del PSM para Porcentaje Solidos en OF1



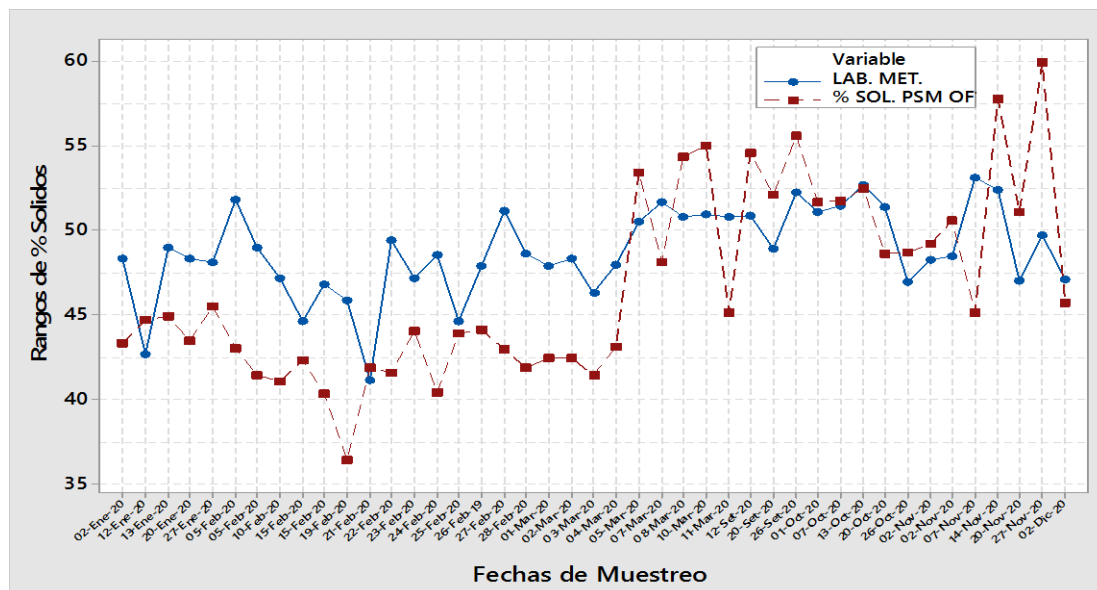
Nota: Servidor del PSM-THE MODELER-Control de Procesos – Las Bambas.

El modelo en línea como modelo de entrada en el equipo para porcentaje de sólidos se muestra en la figura 5.1, y los resultados de los muestreos de calibración realizadas se tiene en la comparativa en el anexo 2, en total son 43 muestras realizado para la primera etapa de calibración para un primer modelo preliminar.

La figura 5.2 presenta la tendencia de la comparativa del anexo 2 de los muestreos de calibración de las primeras 43 muestras como resultado del modelo en línea en OF1, donde la tendencia presenta bastante dispersión y oscilación.

Figura 5. 2.

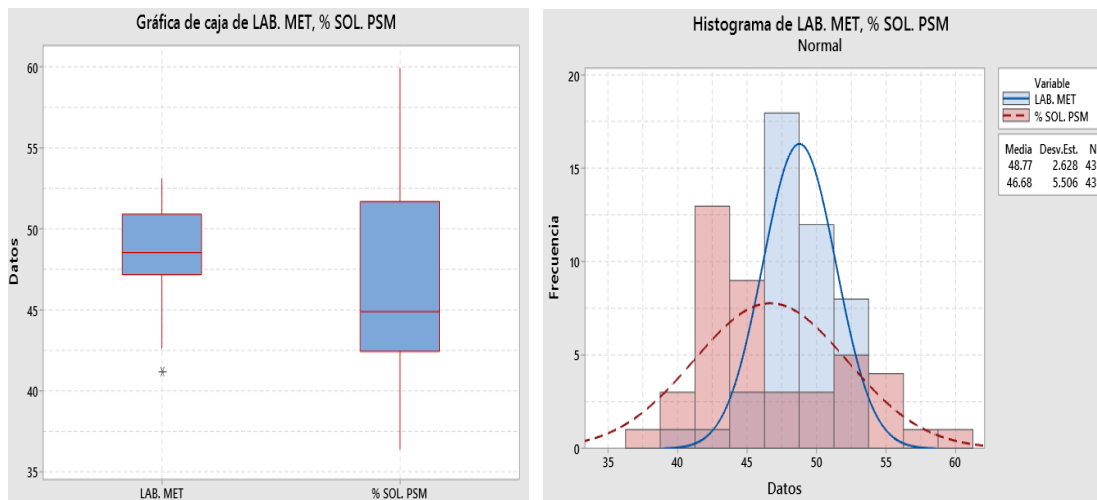
Tendencias Comparativas Iniciales para Porcentaje Sólidos entre Laboratorio y PSM



La figura 5.3, se describe de los diagramas de cajas y bigotes, las cajas, bigotes y medianas son asimétricos entre laboratorio y PSM, quiere decir que existe en la distribución bastante dispersión de datos del PSM con respecto a laboratorio, existe un valor atípico en laboratorio debido operación inestable de proceso en la planta. En los histogramas de igual manera el comportamiento del proceso de cada una de ellas son diferentes, las medias y desviación estándar tienen valores distintas significantes hace que la campana de gauss no se ajusta por la dispersión de datos.

Figura 5. 3.

Las Diagramas de Cajas y bigotes e Histogramas de Variables de Entrada para % Solidos



El primer modelo preliminar se realizó con las 43 muestras del anexo 2, cuyo resultado de dicho modelo para porcentaje de solidos se presenta en las 24 muestras de calibración en la comparativa entre laboratorio y analizador que está en el anexo 3.

El segundo modelo preliminar, se realizó eliminando las primeras 23 muestras en orden del anexo 2 y se agregan las muestras del anexo 3, esta con la finalidad de actualizar muestras nuevas para mejorar los resultados en el proceso de recalibración, dicho resultado del segundo modelo se tiene en la comparativa entre laboratorio y analizador en las 11 muestras de recalibración del anexo 4.

El tercer modelo preliminar para porcentaje de solidos de OF1 se realizó eliminando las 20 muestras restantes del anexo 2 y agregando las 11 muestras del modelo anterior del anexo 4, con la finalidad de tener muestras frescas y actualizadas en el proceso de recalibración, El resultado del tercer modelo preliminar se tiene en la comparativa entre laboratorio y PSM en las 12 muestras del anexo 5.

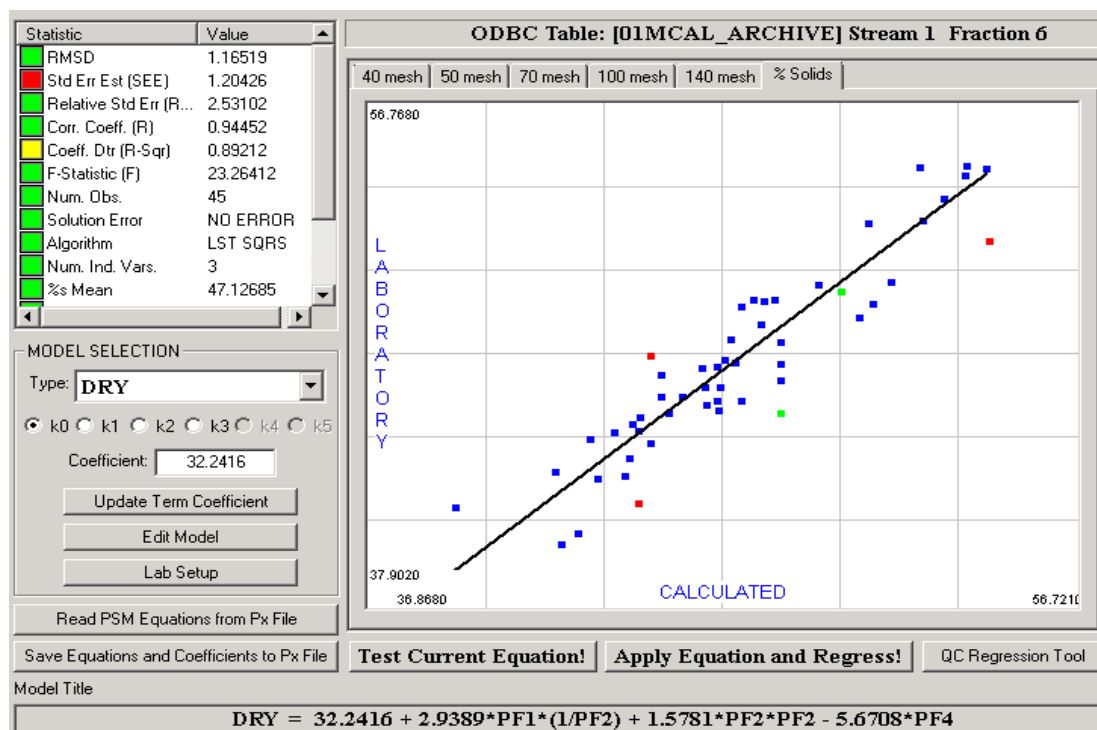
Para cuarto modelo preliminar del overflow para porcentaje de sólidos, se eliminan 6 muestras del segundo modelo preliminar para tener más muestras

frescas y actualizadas acorde a la operación de la planta y la comparativa entre laboratorio y analizador se tiene en el anexo 6 en las 10 muestras de calibración.

El modelo final realizado para porcentajes de sólidos del OF1 de PSM 400MPX, se muestra en la figura 5.4, las muestras utilizadas en este modelo final son muestras del proceso de recalibración para mejorar los valores estadísticos y agregamos las últimas 10 muestras del anexo 6, en total próximamente tenemos más de 45 muestras para este último modelo. Todas aplican el mismo procedimiento para las mallas 40, 50, 70 y P₈₀ del OF1 que están en los mismos anexos.

Figura 5. 4.

Modelo Final en el PSM para Porcentaje Solidos en OF1

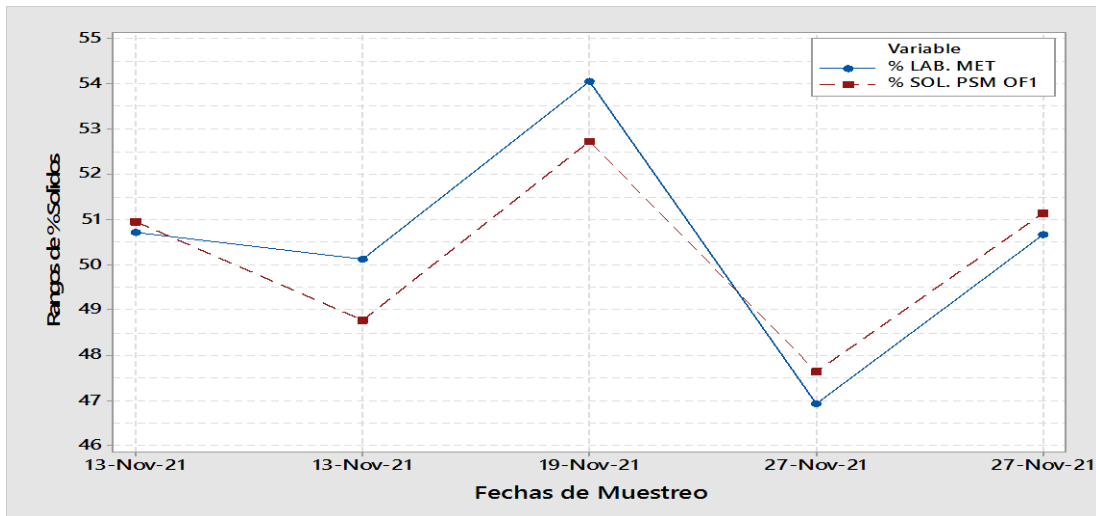


Nota: Servidor del PSM-THE MODELER-Control de Procesos – Las Bambas.

Los resultados del modelo final se validan con 5 muestras de calibración que se tiene en el anexo 7 y la tendencia comparativa entre laboratorio y equipó para porcentaje de sólidos véase en la figura 5.5. Esta figura denota que existe según la tendencia dispersión mínima en cada punto del PSM con respecto a laboratorio.

Figura 5. 5.

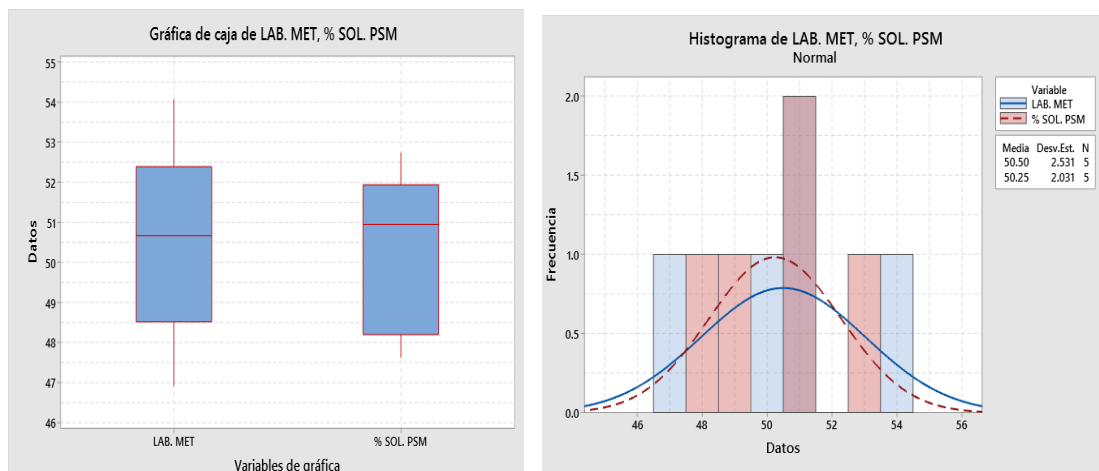
Las Tendencias Comparativas Finales para Porcentaje Solidos entre Laboratorio y PSM



La figura 5.6, se describe de los diagramas de cajas y bigotes, las cajas, bigotes y medianas son simétricos entre laboratorio y PSM, quiere decir que existe en la distribución ligera dispersión de datos del PSM con respecto a laboratorio, En el histograma de igual manera los comportamientos del proceso de cada una de ellas son simétricos con ligera dispersión, los valores de las medias y desviaciones estándar son iguales, hace que la campana de gauss se ajusta del PSM a laboratorio.

Figura 5. 6.

Diagramas de Cajas y bigotes e Histogramas de Variables de Salida para % Solidos

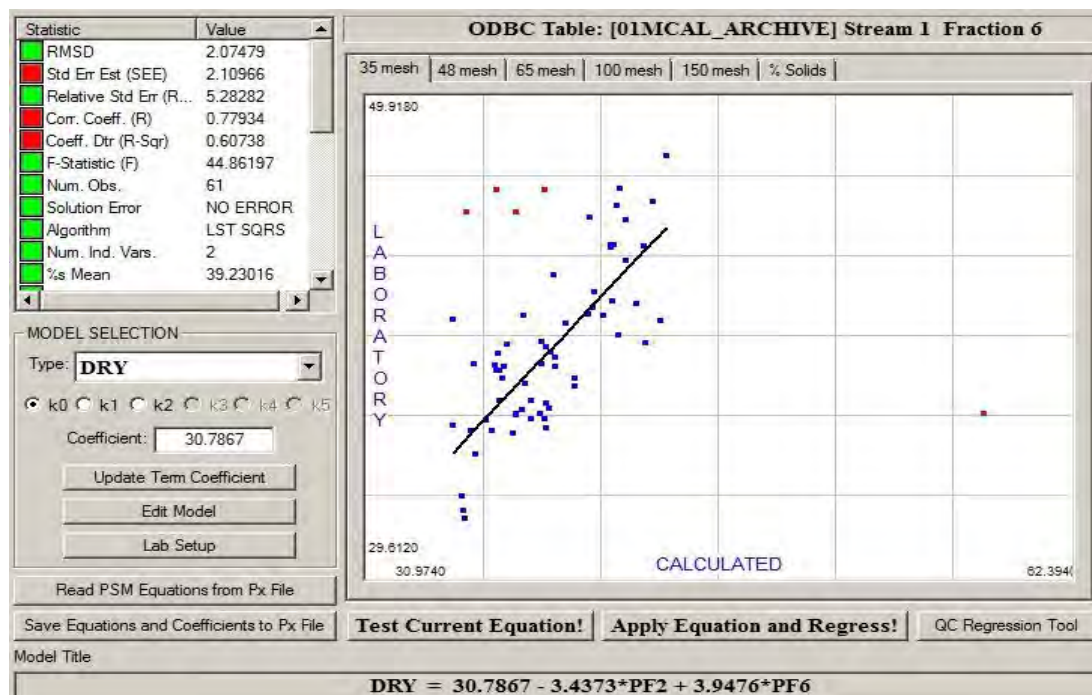


5.1.2. Modelamiento de ecuaciones para malla 40

Se inicia el proceso de recalibración de la malla 40 en el OF1 de los nidos de clasificadores en el analizador PSM 400MPX, para esta malla se tiene de igual manera un modelo de la figura 5.7, que está en línea en el equipo PSM, entonces al igual que para porcentaje de solidos se aplica el mismo procedimiento en la cual se tiene resultado de las 43 muestras de dicho modelo.

Figura 5. 7.

Modelo en Línea del PSM para Malla 40 en OF1



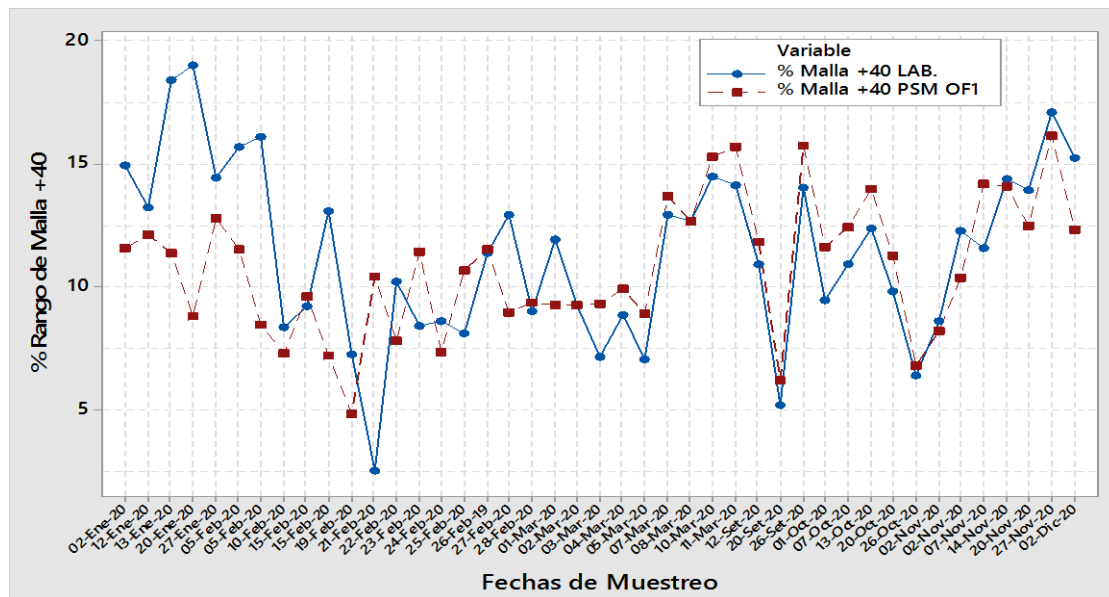
Nota: Servidor del PSM-THE MODELER-Control de Procesos – Las Bambas.

El modelo en línea como modelo de entrada en el equipo para malla 40 de la figura 5.7, y los resultados de los muestreos de calibración realizada se tiene en la comparativa en el anexo 2, las 43 muestras realizadas para la primera etapa de recalibración para un primer modelo preliminar.

La figura 5.8 presenta la tendencia de la comparativa del anexo 2 de los muestreos de calibración de las primeras 43 muestras como resultado del modelo en línea en el equipo, donde la tendencia presenta dispersión y oscilación de datos.

Figura 5. 8.

Tendencias Comparativas Iniciales para Porcentaje de Malla 40 entre Laboratorio y PSM



La figura 5.9, se describe de los diagramas de cajas y bigotes, las cajas, bigotes y medianas son asimétricos entre laboratorio y PSM, esta manifiesta que las distribuciones en los datos están dispersas con respecto a laboratorio del PSM hace que las mediciones no sean iguales. En los histogramas de igual manera se visualiza los comportamientos distintos de cada proceso donde los valores de las medias y desviaciones estándar son significantes, hace que también la campana de gauss no se ajusta por la presencia de dispersión de datos.

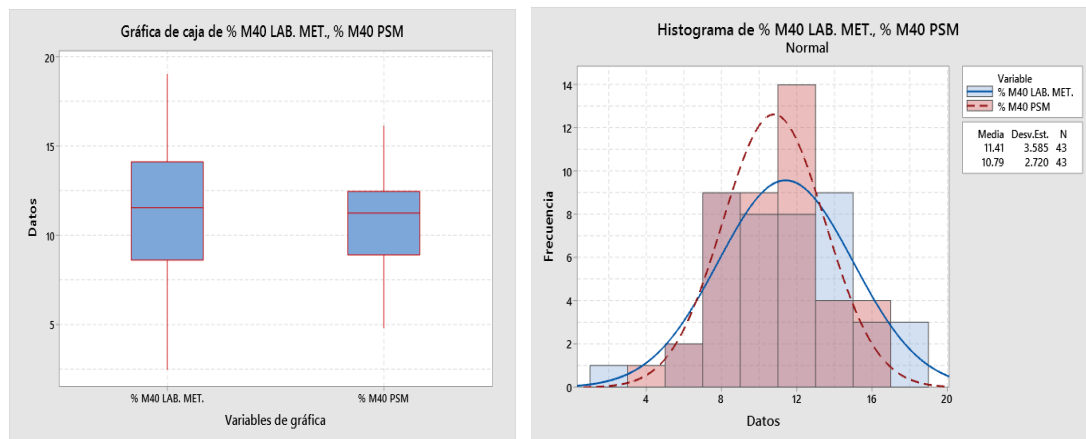
Los siguientes modelos para malla 40, están realizados con el mismo sistema para porcentaje de sólidos, ya que los modelos se realizan para todos los elementos establecidos (para porcentaje de sólidos, mallas 40, 50 y 70) en el software The

Modeler, en una sola oportunidad para luego estos modelos sean puesta en línea en el equipo analizador en cada overflow.

En tal sentido, los resultados de los siguientes modelos preliminares se encuentran en los anexos: 3 para segundo modelo, 4 para tercer modelo, 5 para cuarto modelo y 7 para la validación del resultado del modelo final.

Figura 5. 9.

Diagramas de Cajas y bigotes e Histogramas de Variables de Entrada para % Malla 40

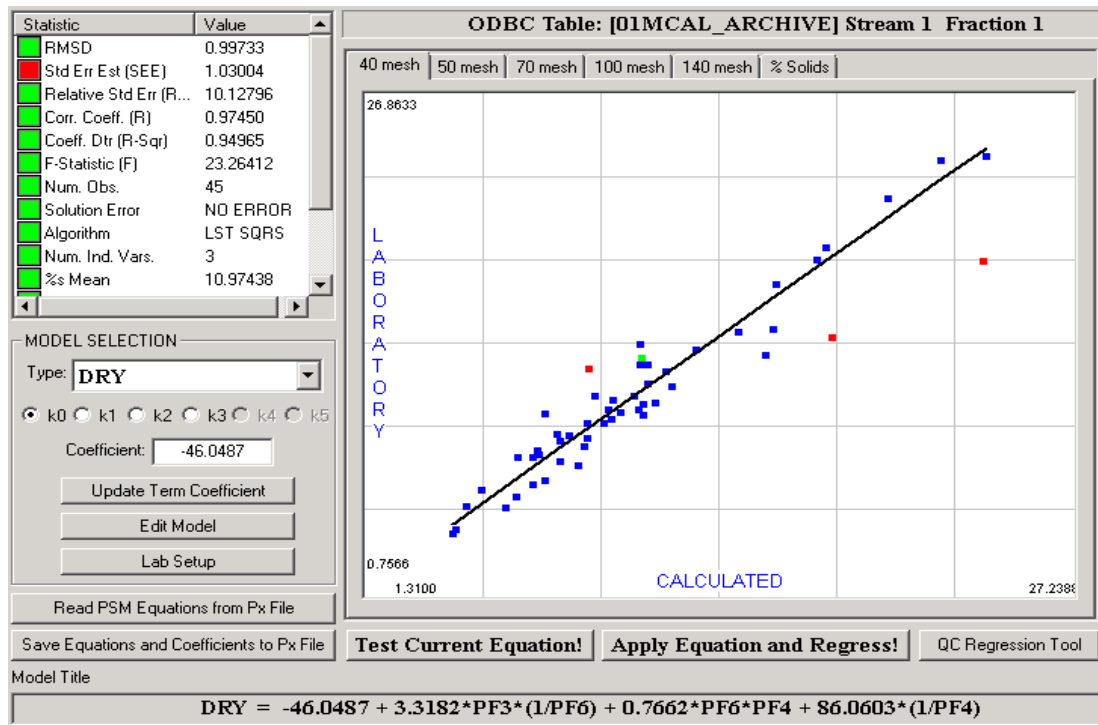


El último modelo realizado para malla 40 en OF1 de PSM 400MPX se muestra en la figura 5.10, las muestras utilizadas en este modelo final son muestras del proceso de recalibración para mejorar los valores estadísticos y agregamos las últimas 10 muestras ,anexo 6, para mejorar los resultados, en total próximamente tenemos más de 45 muestras para dicho modelo.

Los resultados del modelo final se validan con 5 muestras de calibración que se tiene en el anexo 7 y la tendencia comparativa entre laboratorio y equipó para malla 40 véase en la figura 5.11. Esta figura den ota que existe según la tendencia variaciones mínimas en cada punto de medición del PSM con respecto a laboratorio.

Figura 5. 10.

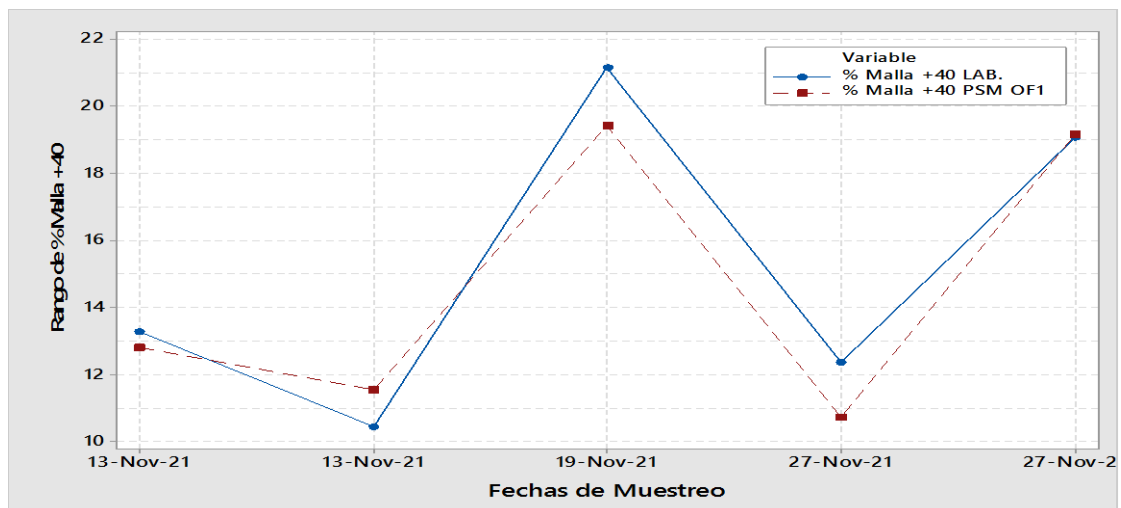
Modelo Final en el PSM para Malla 40 en OF1



Nota: Servidor del PSM-THE MODELER-Control de Procesos – Las Bambas.

Figura 5. 11.

Las Tendencias Comparativas Finales para Porcentaje de Malla 40 entre Laboratorio y PSM

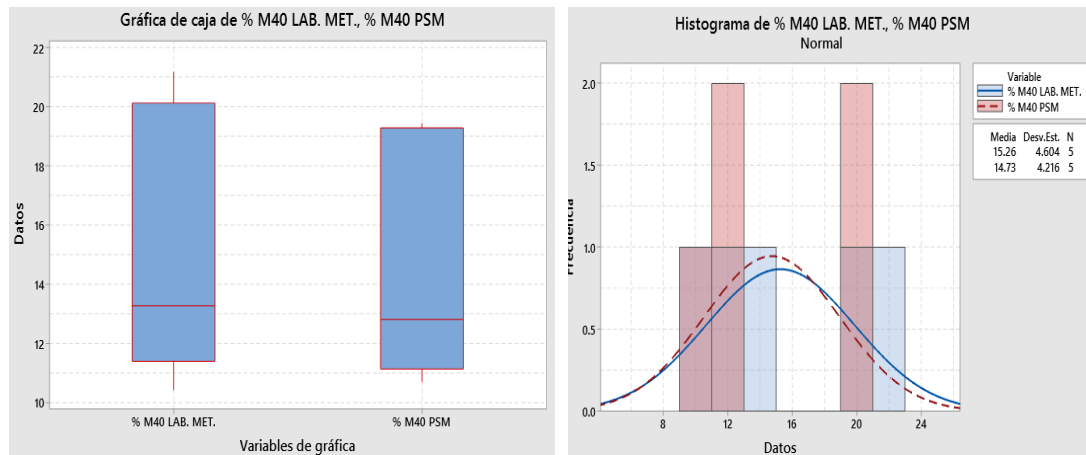


La figura 5.12, se describe de los diagramas de cajas y bigotes, donde las cajas, bigotes y medias son simétricos entre laboratorio y PSM, esta manifiesta que la distribución de datos presenta ligera dispersión del PSM con respecto a laboratorio.

En los histogramas de igual manera se aprecia los comportamientos de cada proceso son simétricos con ligera dispersión donde se ve 2 picos de barras, los valores de medias y desviaciones estándar son iguales y hace que la campana de gauss se ajusta del PSM a los resultados de laboratorio, esta permite que la medición en tiempo real en dicha malla sea más precisa.

Figura 5. 12.

Diagramas de Cajas y bigotes e Histogramas de Variables de Salida para % Malla 40



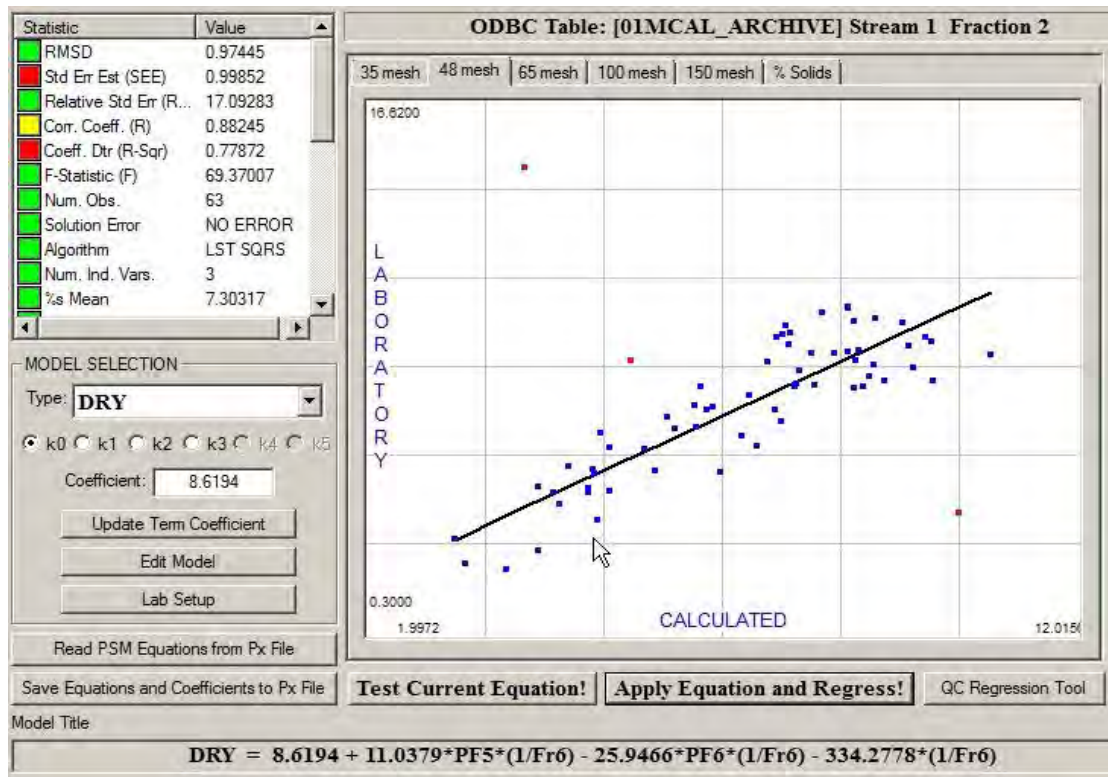
5.1.3. Modelamiento de ecuaciones para malla 50

Se inicia el proceso de recalibración de la malla 50 en el OF1 de PSM 400MPX, para esta malla se tiene de igual manera un modelo de la figura 5.13 que está en línea en el equipo PSM, entonces al igual que para la malla 40 se tiene resultado de las 43 muestras de dicho modelo.

La figura 5.14 presenta la tendencia de la comparativa del anexo 2 de los muestreos de calibración de las primeras 43 muestras como resultado del modelo en línea en el equipo, donde la tendencia presenta comportamiento de oscilación y dispersión de datos entre analizador y laboratorio según la comparativa realizada.

Figura 5. 13.

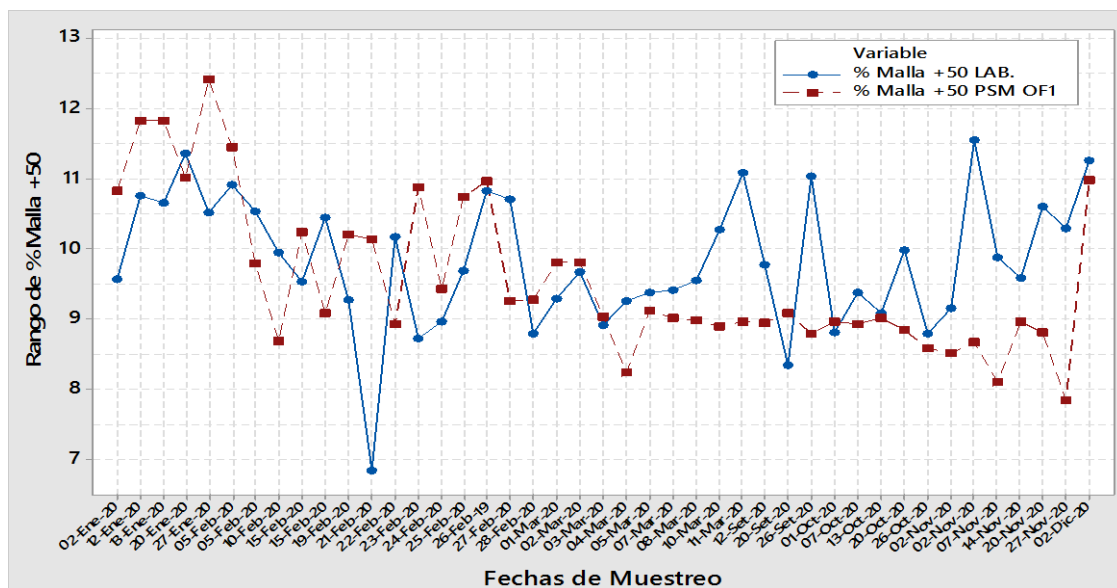
Modelo en Línea del PSM para Malla 50 en OF1



Nota: Servidor del PSM-THE MODELER-Control de Procesos – Las Bambas.

Figura 5. 14.

Tendencias Comparativas Iniciales para Porcentaje de Malla 50 entre Laboratorio y PSM

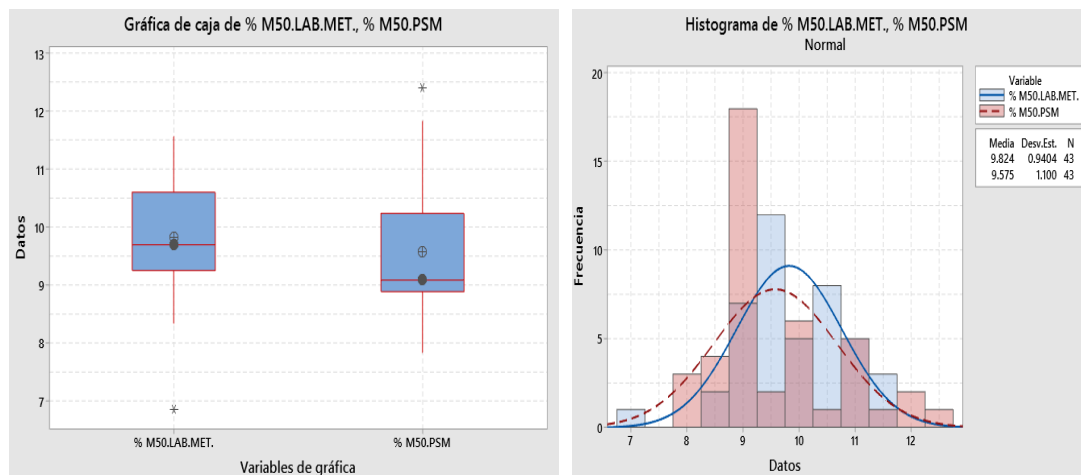


En tal sentido, los resultados de los siguientes modelos preliminares se encuentran en los anexos: 3 para segundo modelo, 4 para tercer modelo, 5 para cuarto modelo y 7 para la validación del resultado del modelo final.

La figura 5.15, se describe de los diagramas de cajas y bigotes, las cajas, bigotes y medias presentan ligera simetría entre laboratorio y PSM, sin embargo, existe dispersión de datos del PSM con valor atípico con mayor rango con respecto a laboratorio hace que la medición sea fallida del equipo. En los histogramas de igual manera se aprecia el comportamiento de cada proceso están dispersas los datos con mayor variación del PSM con respecto a laboratorio. Además, los valores de medias son iguales pero las desviaciones estándar tienen valores distintos significantes hace que exista la oscilación y dispersión de datos en la medición, por ende, la campana de gauss tampoco se ajusta del PSM a resultados de laboratorio.

Figura 5. 15.

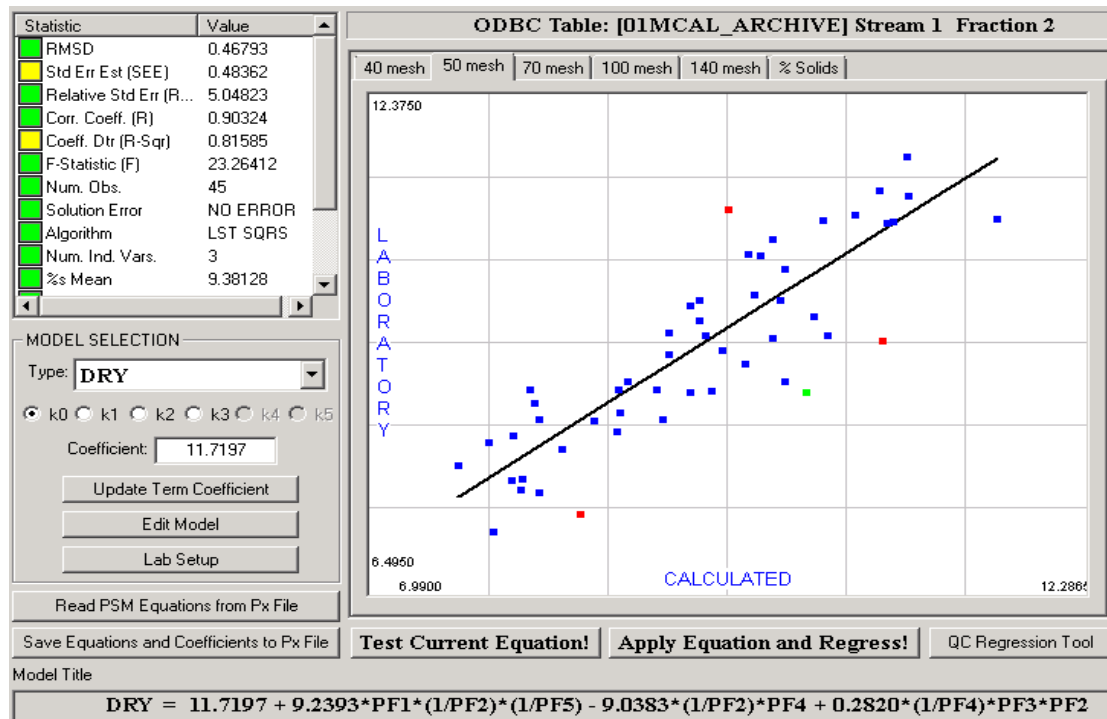
Diagramas de Cajas y bigotes e Histogramas de Variables de Entrada para % Malla 50



El modelo final realizado para la malla 50 en OF1 de PSM 400MPX, se muestra en la figura 5.16, las muestras utilizadas en este modelo final son muestras del proceso de recalibración para mejorar los valores estadísticos y agregamos las últimas 10 muestras del anexo 6, en total próximamente tenemos más de 45 muestras para dicho modelo.

Figura 5. 16.

Modelo Final en el PSM para Malla 50 en OF1

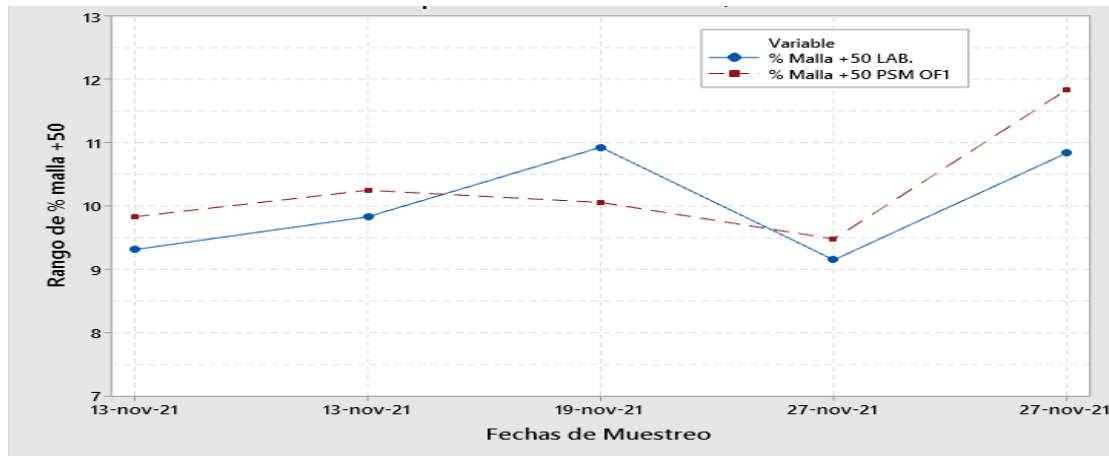


Nota: Servidor del PSM-THE MODELER-Control de Procesos – Las Bambas.

Los resultados del modelo final se validan en las 5 muestras de calibración que se tiene en el anexo 7 y la tendencia comparativa entre laboratorio y equipó para malla 50 véase en la figura 5.17. Esta figura denota que existe según la tendencia oscilaciones y dispersiones mínimas en cada punto de medición del PSM con respecto a los resultados de laboratorio.

Figura 5. 17.

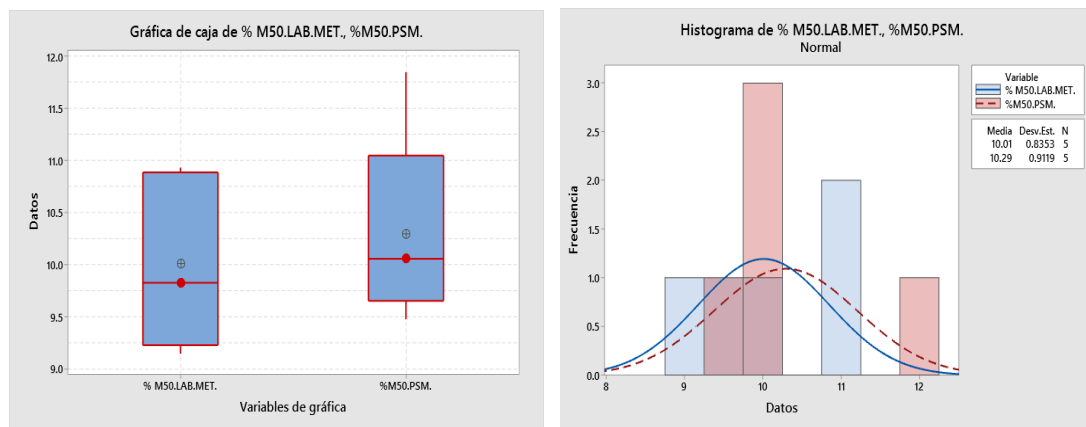
Tendencias Comparativas Finales para Porcentaje de Malla 50 entre Laboratorio y PSM



La figura 4.18, se describe de los diagramas de cajas y bigotes, las cajas, bigotes y medias se aprecia ligera simetría entre laboratorio y PSM, esta denota que aún existe dispersión y oscilación de datos en la medición de datos del PSM con respecto a laboratorio, el PSM tiene un valor de pico alto en el bigote hace que tenga mayor rango. En los histogramas de igual manera se aprecia aun ligera variación de datos del PSM con respecto a los resultados de laboratorio, las medias y desviación estándar tienen valores con ligeras significancias, por ende, la campana de gauss presenta ligera ajuste del PSM con respecto a resultados de laboratorio.

Figura 5. 18.

Diagramas de Cajas y bigotes e Histogramas de Variables de Salida para % Malla 50

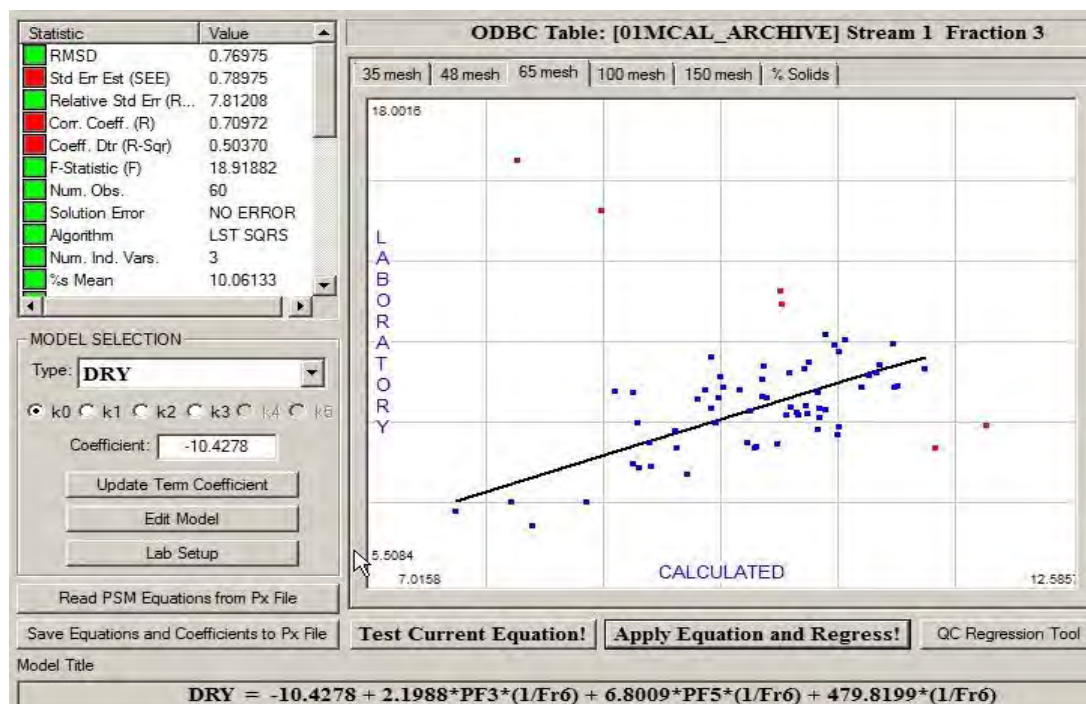


5.1.4. Modelamiento de ecuaciones para malla 70

Se inicia el proceso de recalibración de la malla 70 en OF1 del PSM 400MPX, para esta malla se tiene de igual manera un modelo de la figura 5.19, que está en línea en el equipo PSM, entonces al igual que para malla 50 se tiene resultado de las 43 muestras de dicho modelo.

Figura 5. 19.

Modelo en Línea del PSM para Malla 70 en OF1

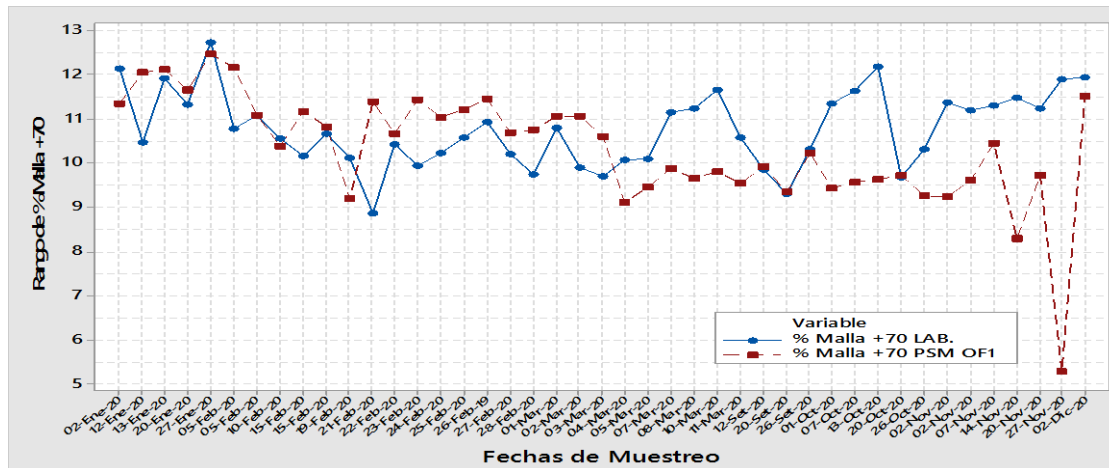


Nota: Servidor del PSM-THE MODELER-Control de Procesos – Las Bambas.

La figura 5.20 presenta la tendencia de la comparativa del anexo 2 de los muestreos de calibración de las primeras 43 muestras como resultado del modelo en línea en el equipo, donde la tendencia presenta comportamiento de oscilación, dispersión e inestabilidad de datos entre analizador y laboratorio según la comparativa realizada.

Figura 5. 20.

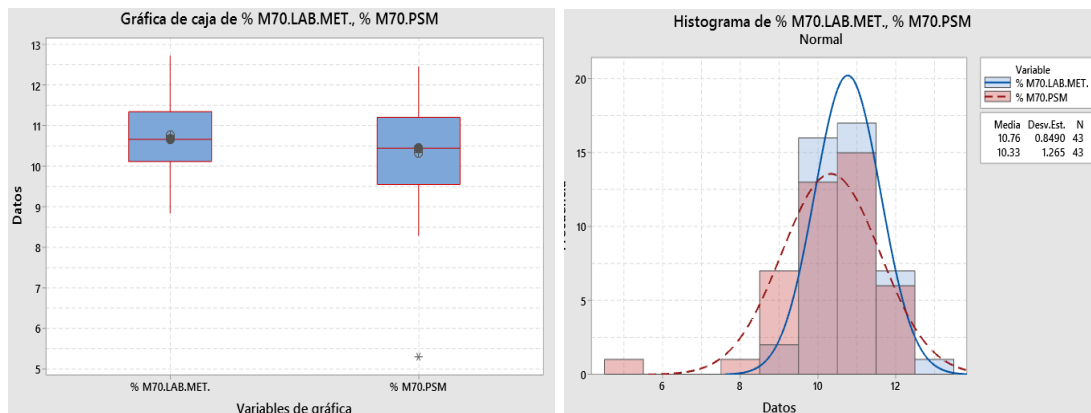
Tendencias Comparativas Iniciales para Porcentaje de Malla 40 entre Laboratorio y PSM



La figura 5.21, se describe de los diagramas de cajas y bigotes, las cajas, bigotes y medias son asimétricos entre laboratorio y PSM, esta denota que existe en la distribución de datos bastante dispersión y oscilación con respecto laboratorio, hace que las mediciones en tiempo real no son valores confiables del equipo. En los histogramas de igual manera los comportamientos de cada proceso son distintas por la dispersión de datos, los valores de medias son iguales, pero sin embargo las desviaciones estándar presentan valores significantes del PSM con respecto a laboratorio, además las campanas de gauss no se ajustan entre ambas.

Figura 5. 21.

Diagramas de Cajas y bigotes e Histogramas de Variables de Entrada para % Malla 70

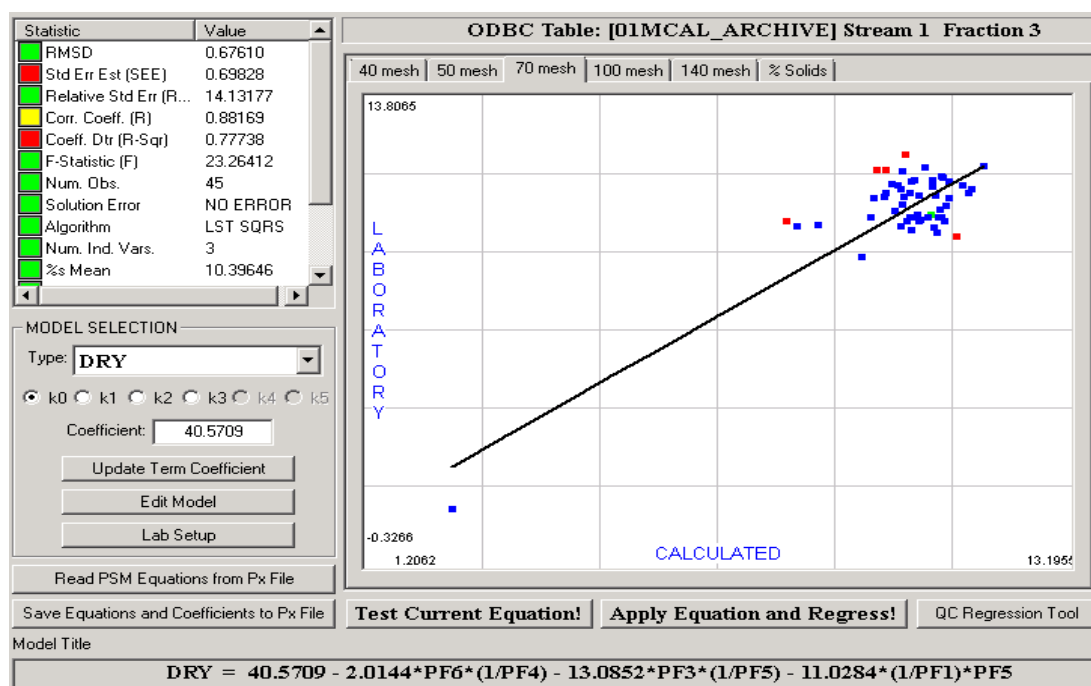


En tal sentido, los resultados de los siguientes modelos preliminares se encuentran en los anexos: 3 para segundo modelo, 4 para tercer modelo, 5 para cuarto modelo y 7 para la validación del resultado del modelo final.

El modelo final realizado para malla 70 del PSM 400MPX en OF1, se muestra en la figura 5.22, las muestras utilizadas en este modelo final son muestras del proceso de recalibración para mejorar los valores estadísticos y agregamos las últimas 10 muestras del anexo 6, en total tenemos más de 45 muestras para dicho modelo.

Figura 5. 22.

Modelo Final en el PSM para Malla 70 en OF1



Nota: Servidor del PSM-THE MODELER-Control de Procesos – Las Bambas.

Los resultados del modelo final se validan en 5 muestras de calibración que se tiene en el anexo 7 y la tendencia comparativa entre laboratorio y equipó para malla 70 se ve en la figura 5.23. Esta figura denota que existe según la tendencia oscilaciones mínimas y puntos de coincidencia en la medición de datos del PSM con

respecto a laboratorio, las diferencias son grandes en comparación con las tendencias del modelo inicial.

Figura 5. 23.

Tendencias Comparativas Finales para Porcentaje de Malla 70 entre Laboratorio y PSM

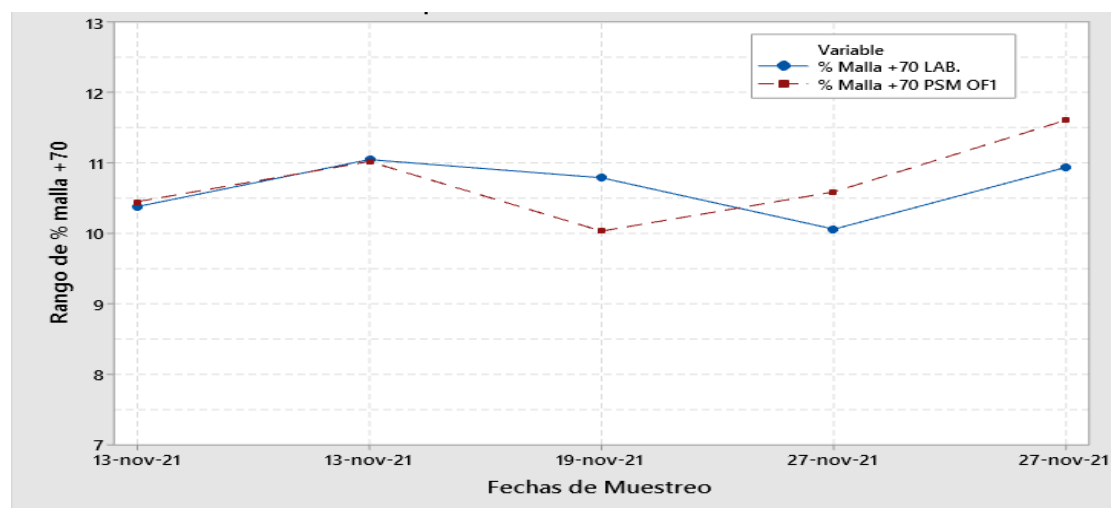
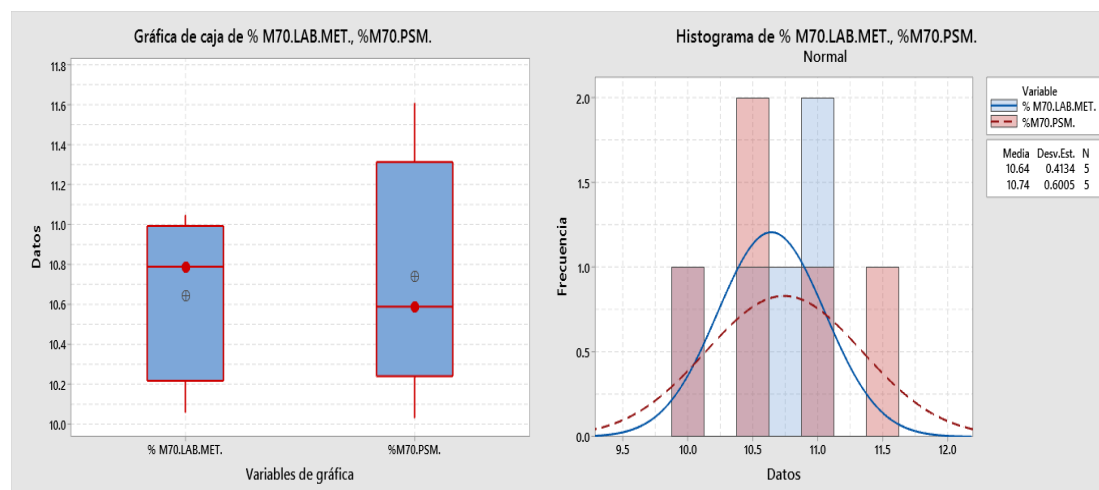


Figura 5. 24.

Diagramas de Cajas y bigotes e Histogramas de Variables de Salida para % Malla 70



La figura 5.24, se describe de los diagramas de cajas y bigotes, las cajas, bigotes y medias presentan ligera simetría entre laboratorio y PSM, se denota que aún existe dispersión de datos en el proceso de medición de datos del PSM con respecto a laboratorio, se describe también que el rango de medición del PSM es muy amplio. En los histogramas de igual manera los comportamientos de la distribución

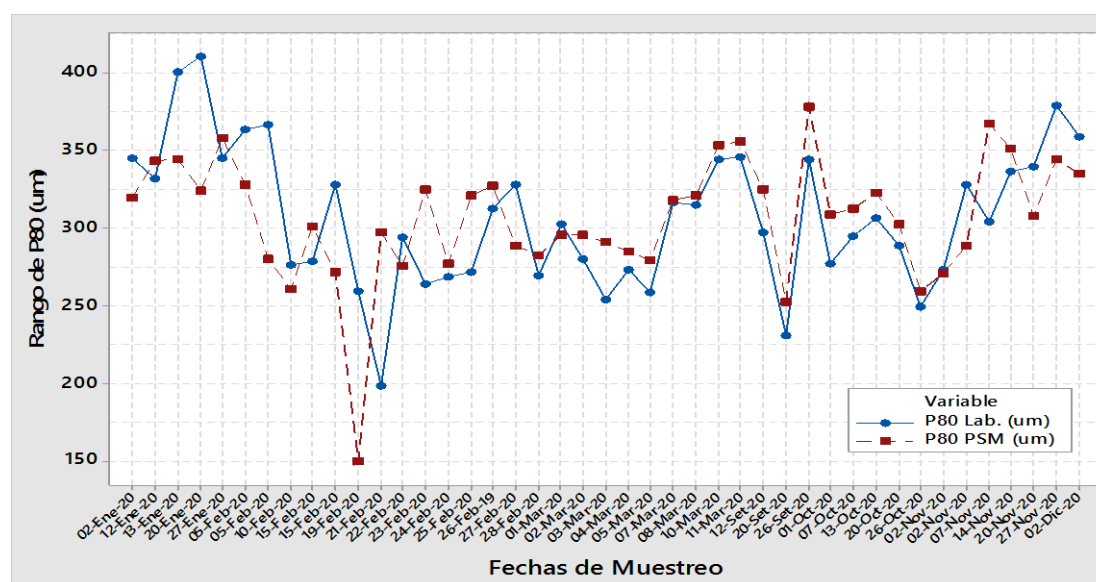
de datos en cada proceso presentan ligera simetría, donde los valores de medias son iguales, pero sin embargo las desviaciones estándar presentan valores con ligera significancia quiere decir que aún existe oscilación de datos en el proceso, además las campanas de gauss no se ajustan entre ambas.

5.1.5. Resultados de P_{80} de los modelos

En cada muestra de recalibración con el perfil de las mallas, porcentaje de sólidos, mallas 40, 50 y 70, tienen el resultado de cálculo realizado de P_{80} en el DCS y registrados en el PI System del PSM 400MPX en OF1, de igual manera el laboratorio Metalúrgico reporta los resultados calculados de P_{80} de las muestras enviadas para la recalibración. Entonces estos valores de P_{80} tanto de laboratorio y equipo analizador se realizan comparaciones que está en el anexo 2 para evaluar los resultados del comportamiento de los modelos de las mallas en recalibración, en la figura 5.25 se tiene la tendencia comparativa de las 43 muestras.

Figura 5. 25.

Tendencias Comparativas Iniciales para P_{80} entre Laboratorio y PSM en OF1

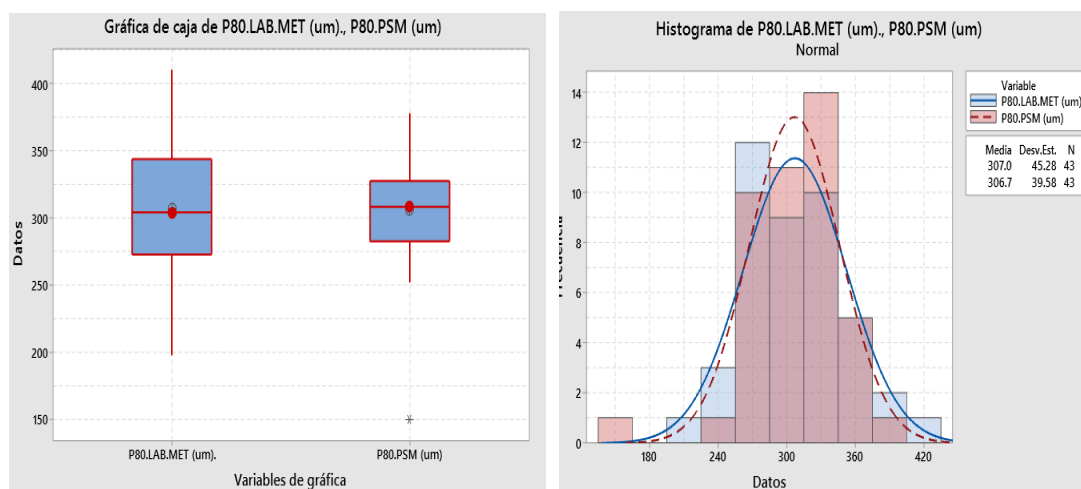


En la figura 5.25, se observa que muestran puntos de dispersión y oscilación de datos de medición del PSM con respecto a laboratorio en las 43 muestras como resultado del primer bloque de modelos de las mallas en recalibración en OF1.

La figura 5.26, se describe de los diagramas de cajas y bigotes, las cajas, bigotes y medias son asimétricos entre laboratorio y PSM en las variables de entrada, esta denota que existe en la distribución de los datos bastante dispersión y oscilación en la medición en tiempo real del PSM con respecto a los resultados de laboratorio, el rango de medición del PSM es inferior al laboratorio y requiere la calibración. En los histogramas de igual manera los comportamientos de cada proceso son distintas por la existencia de dispersión de datos, las medias y desviaciones estándar presentan valores significantes del PSM con respecto a laboratorio, además las campanas de gauss no se ajustan entre ambas por dispersión de datos.

Figura 5. 26.

Diagramas de Cajas y bigotes e Histogramas de Variables de Entrada para P₈₀

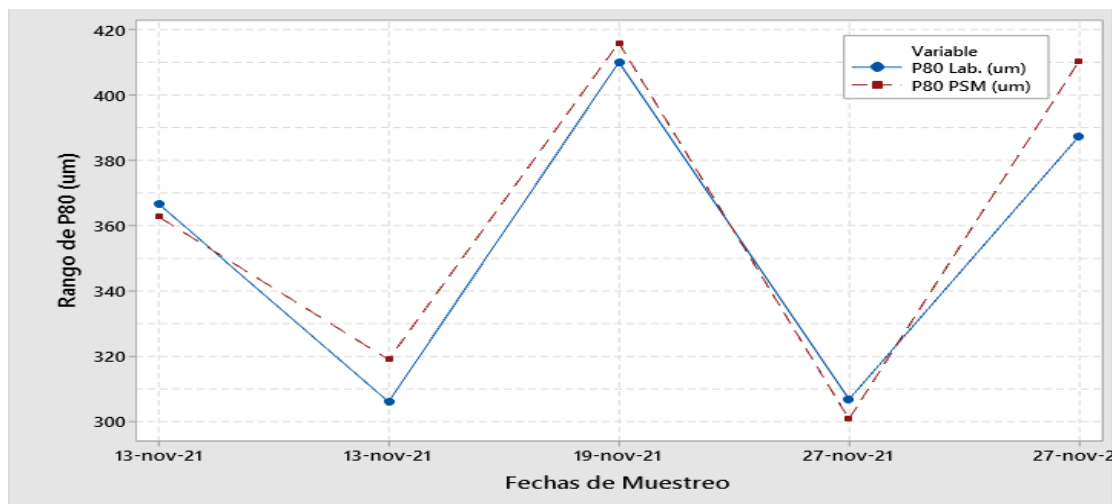


Los siguientes resultados de P₈₀ en cada proceso de recalibración de las mallas de análisis del PSM en OF1 se encuentran en los mismos anexos: 3 para el segundo modelo, 4 para el tercer modelo, 5 para el cuarto modelo y 7 para la validación del resultado del modelo final.

La figura 5.27, se describe donde la tendencia comparativa de los resultados finales calculados de P_{80} del equipo PSM con respecto a los resultados de laboratorio, estos resultados están a base de los modelos finales realizados en bloque para porcentaje de sólidos y mallas, para la validación se tienen 5 muestras de calibración cuyos resultados se tiene en el anexo 7, como se aprecia en la tendencia comparativa existe dispersión y oscilación mínima de datos del PSM con respecto a resultados de laboratorio, esta quiere decir que el bloque de los modelos finales realizados tuvieron buenos resultados en comparación con el bloque de los modelos iniciales, esta asegura que el equipo tiene buen performance en el análisis en tiempo real para el control de la granulometría en el circuito de molienda en la línea 1 de la planta concentradora y favorece para la toma de acción inmediata frente cualquier evento que se presente en el circuito.

Figura 5. 27.

Tendencias Comparativas Finales para P_{80} entre Laboratorio y PSM

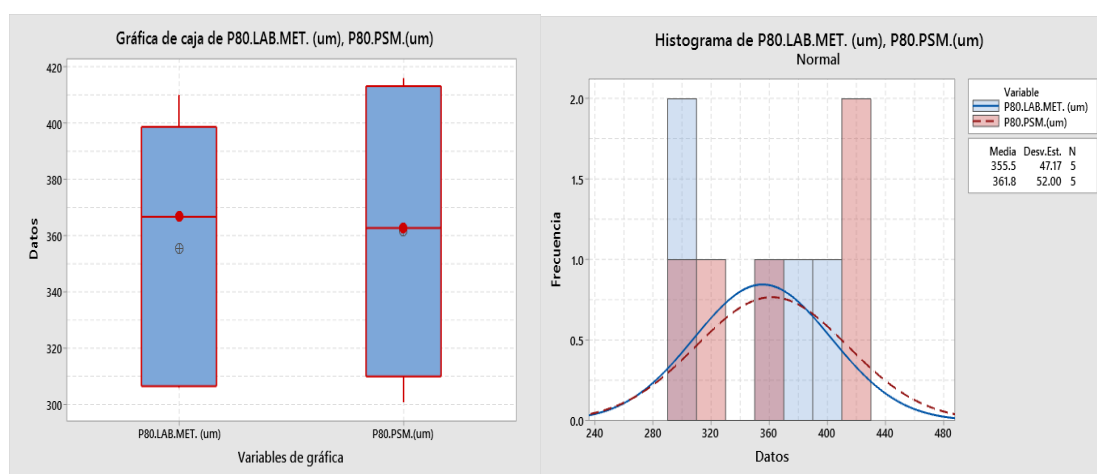


La figura 5.28, se describe de los diagramas de cajas y bigotes, las cajas, bigotes y medias presentan ligera simetría entre laboratorio y PSM, esta denota que existe ligera dispersión de datos en el proceso de medición de datos del PSM en tiempo real con respecto a resultados de laboratorio, sin embargo, la amplitud rango

del PSM es superior a laboratorio debido a que la caja es más grande e indica que aun existirá mediciones con errores con ligera significancia. En los histogramas de igual manera los comportamientos de cada proceso con ligera simetría por la variación de datos, los valores de las medias y desviaciones estándar presentan valores con ligera significancia, además las campanas de gauss tienen ligero ajuste entre el PSM y laboratorio

Figura 5. 28.

Diagramas de Cajas y bigotes e Histogramas de Variables de Salida para P₈₀



5.2. Modelamiento de ecuaciones en OF2 del PSM 400MPX

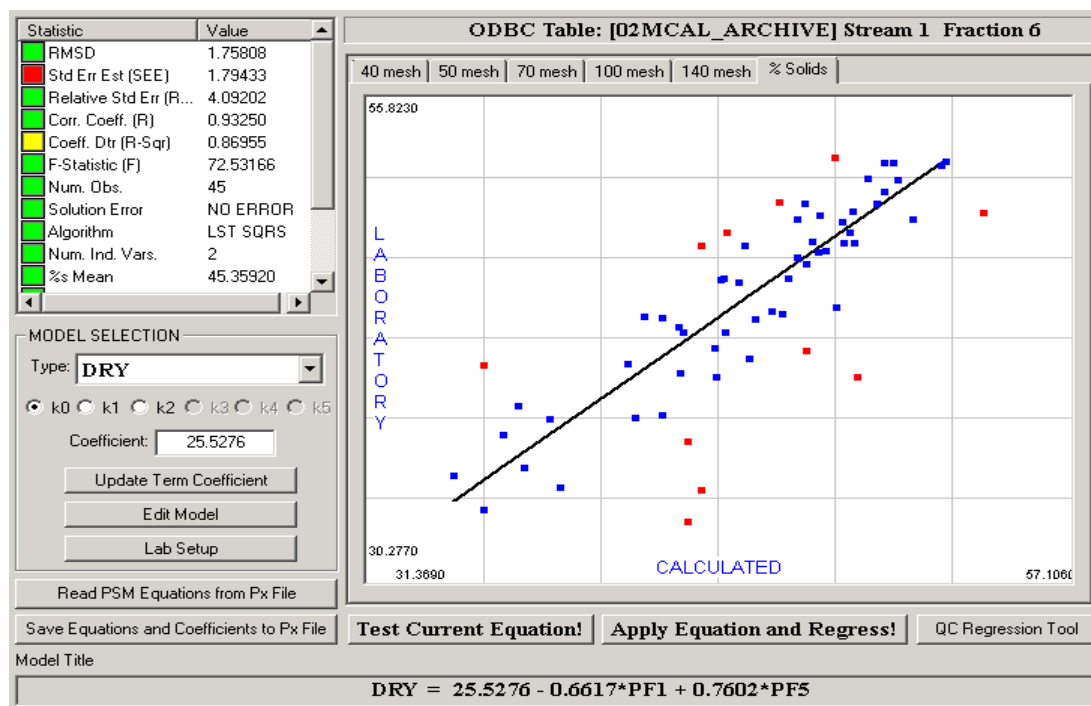
El proceso de recalibración inicia con el modelo actual que está en servidor del equipo en el flujo OF2 para porcentaje de sólidos, para iniciar y obtener un modelo preliminar se inicia con la extracción de muestras de calibración y se envía a laboratorio Metalúrgico para la distribución granulométrica con el perfil de las mallas que se requiere para la calibración del PSM.

5.2.1. Modelamiento de ecuaciones para porcentaje de solidos

Los modelamientos de las ecuaciones de recalibración se realizan, primeramente, para porcentaje de sólidos para tener como base para resto de las mallas de análisis en el equipo.

Figura 5. 29.

Modelo en Línea del PSM para Porcentaje Sólidos en OF2



Nota: Fuente: Servidor del PSM-THE MODELER-Control de Procesos – Las Bambas.

El modelo en línea como modelo de entrada en el equipo para porcentaje de sólidos se muestra en la figura 5.29, y los resultados de los muestreos de calibración realizadas se tiene en la comparativa en el anexo 8, en total son 43 muestras realizados para la primera etapa de recalibración para un primer modelo preliminar.

La figura 5.30 presentan las tendencias comparativas del anexo 8 de los muestreos de calibración de las primeras 43 muestras como resultado del modelo en línea en el equipo, donde las tendencias presentan bastante dispersión y oscilación del PSM con respecto a laboratorio.

La figura 5.31, se describe de los diagramas de cajas y bigotes, las cajas, bigotes y medias son asimétricos entre laboratorio y PSM, esta denota que existe en la distribución de datos bastante dispersión y oscilación del PSM con respecto a laboratorio, dentro de ello en los datos del PSM existen valores atípicos por falta de calibración. En los histogramas de igual manera los comportamientos de cada

proceso son distintas por la dispersión de datos, las medias y desviaciones estándar tiene valores significantes y hasta la campana de gauss no se ajusta del PSM con respecto a laboratorio por bastante variación en los datos de medición en línea.

Figura 5. 30.

Tendencias Comparativas Iniciales para Porcentaje Solidos entre Laboratorio y PSM

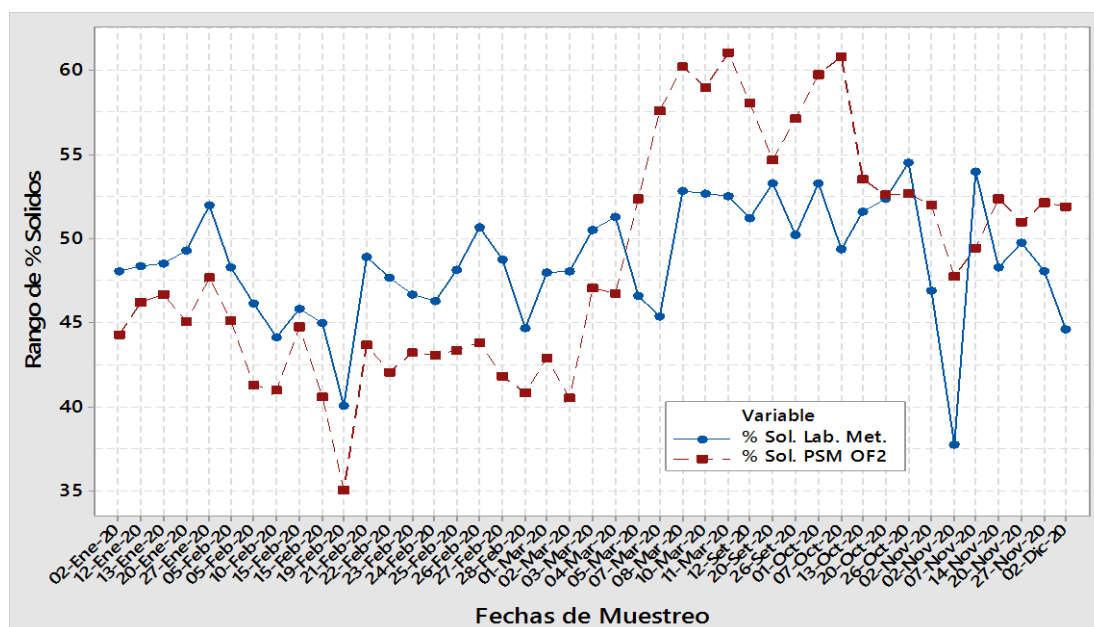
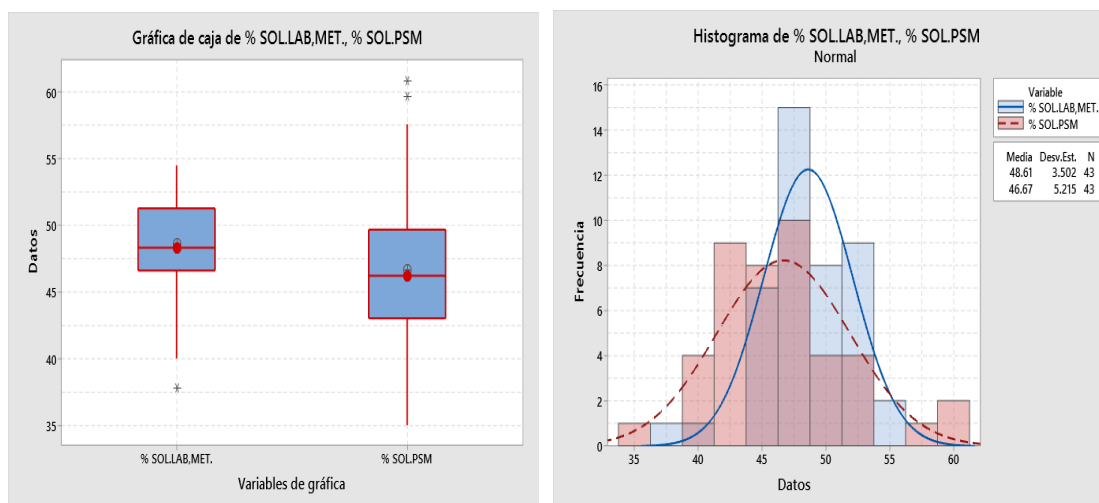


Figura 5. 31.

Diagrama de Cajas y bigotes e Histogramas de Variables de Entrada para % Solidos



El primer modelo preliminar se realizó con las 43 muestras del anexo 8, cuyo resultado de dicho modelo para porcentaje de solidos se presenta en las 24

muestras de calibración en la comparativa entre laboratorio y analizador que está en el anexo 9.

El segundo modelo preliminar, se realizó eliminando las primeras 23 muestras en orden del anexo 8 y se agregan las muestras del anexo 9, esta con la finalidad de actualizar muestras nuevas para mejorar los resultados en el proceso de recalibración, dicho resultado del segundo modelo se tiene en la comparativa entre laboratorio y analizador en las 11 muestras de recalibración del anexo 10.

El tercer modelo preliminar para porcentaje de sólidos de OF1 se realizó eliminando las 20 muestras restantes del anexo 8 y agregando las 11 muestras del modelo anterior del anexo 10, con la finalidad de tener muestras frescas y actualizadas en el proceso de recalibración, El resultado del tercer modelo preliminar se tiene en la comparativa entre laboratorio y PSM en las 12 muestras del anexo 11.

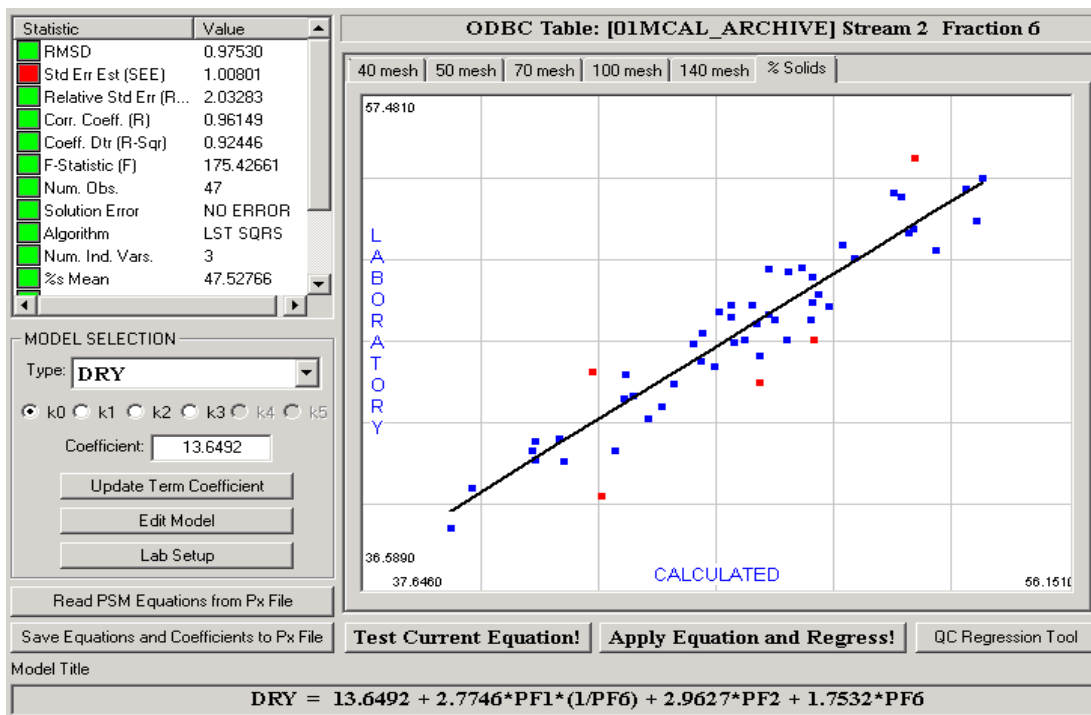
Para cuarto modelo preliminar del overflow para porcentaje de sólidos, se eliminan 6 muestras del segundo modelo preliminar para tener más muestras frescas y actualizadas acorde a la operación de la planta y la comparativa entre laboratorio y analizador se tiene en el anexo 12 en las 10 muestras de calibración.

El modelo final realizado para porcentajes de sólidos en OF1 de PSM 400MPX, se muestra en la figura 5.32, las muestras utilizadas en este modelo final son muestras del proceso de recalibración para mejorar los valores estadísticos y agregamos las últimas 10 muestras del anexo 12, en total próximamente tenemos más de 45 muestras para este último modelo.

Los resultados del modelo final se validan con 5 muestras de calibración que se tiene en el anexo 13 y las tendencias comparativas entre laboratorio y equipó para porcentaje de sólidos véase en la figura 5.33. Esta figura denota que existe según las tendencias variaciones mínimas en cada punto de medición del PSM con respecto a laboratorio, a diferencia en las comparativas del modelo inicial es abismal.

Figura 5. 32.

El Modelo Final en el PSM para Porcentaje Solidos en OF2



Nota: Servidor del PSM-THE MODELER-Control de Procesos – Las Bambas.

Figura 5. 33.

Tendencias Comparativas Finales para Porcentaje Solidos entre Laboratorio y PSM

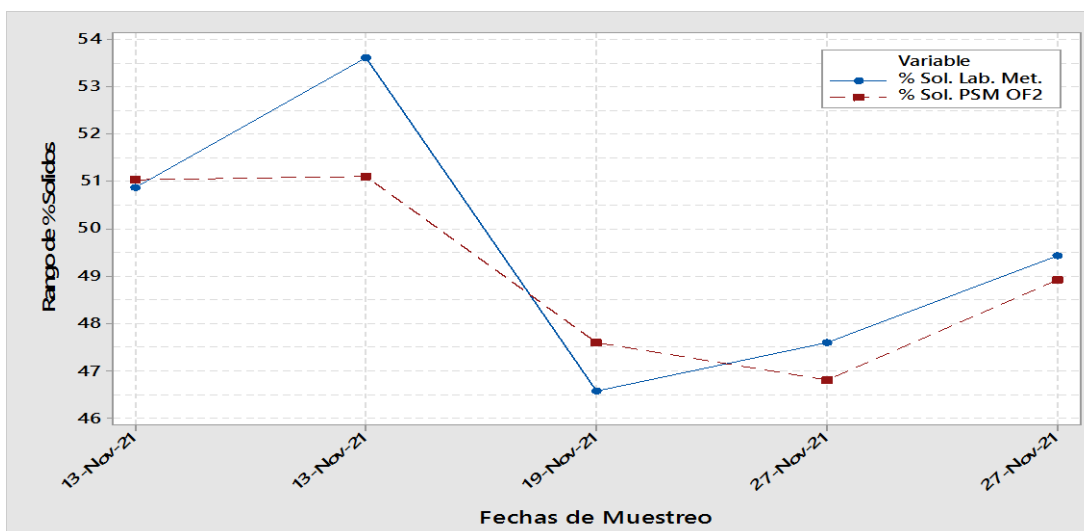
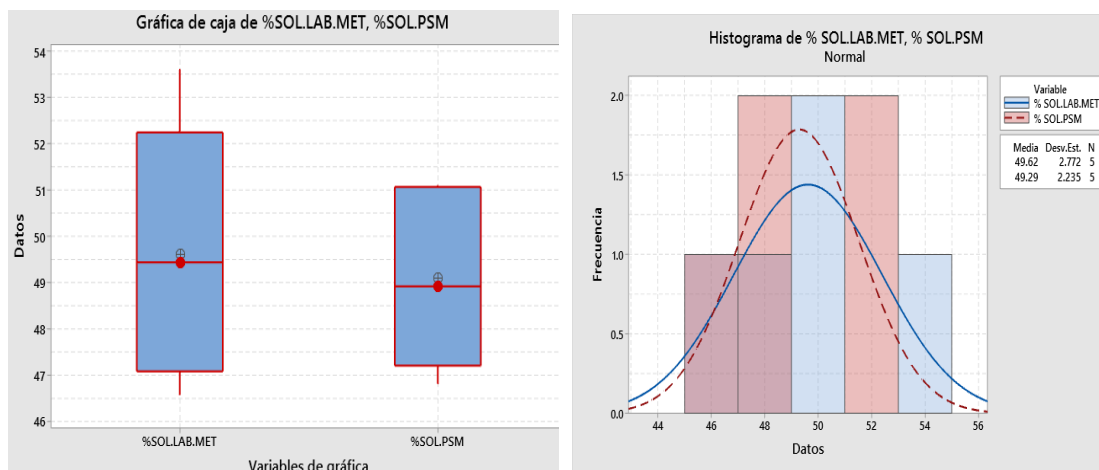


Figura 5. 34.

Diagramas de Cajas y bigotes e Histogramas de Variables de Salida para % Solidos



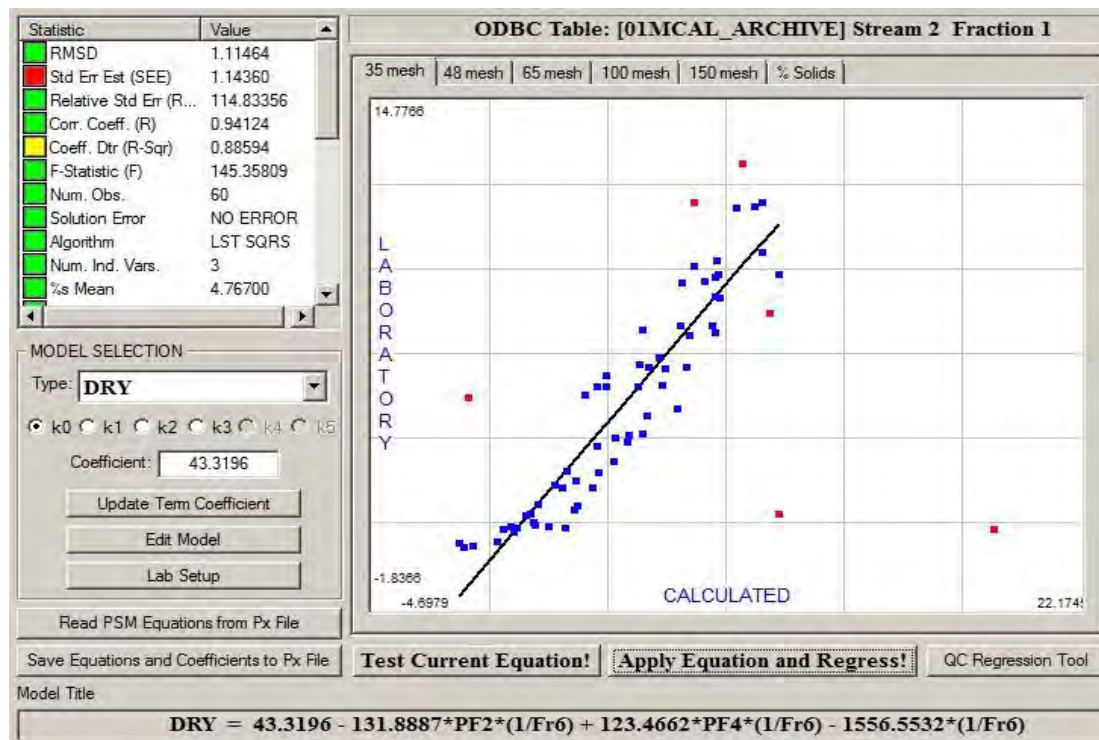
La figura 5.34, se describe de los diagramas de cajas y bigotes, las cajas, bigotes y medias presentan ligera simetría entre laboratorio y PSM, debido a que aún existe ligera dispersión y oscilación de datos en el proceso de medición en tiempo real del PSM con respecto a laboratorio. En los histogramas de igual manera los comportamientos de cada proceso aún se observan que existen ligeras variaciones de datos, las medias y desviaciones estándar presentan valores iguales, quiere decir que la dispersión de datos es mínima y hasta las campanas de gauss presentan ligeros ajustes del PSM con respecto a laboratorio.

5.2.2. Modelamiento de ecuaciones para malla 40

Se inicia el proceso de recalibración de la malla 40 en OF2 de los nidos de clasificadores en el analizador PSM 400MPX, para esta malla se tiene de igual manera un modelo de la figura 5.35, que está en línea en el equipo PSM, entonces al igual que para porcentaje de solidos se tiene resultado de las 43 muestras de dicho modelo. El modelo en línea como modelo de entrada en el equipo para malla 40 en la figura 5.35, y los resultados de los muestreos realizados se tiene en la comparativa en el anexo 8, en total son 43 muestras realizadas para la primera etapa de recalibración para un primer modelo preliminar.

Figura 5. 35.

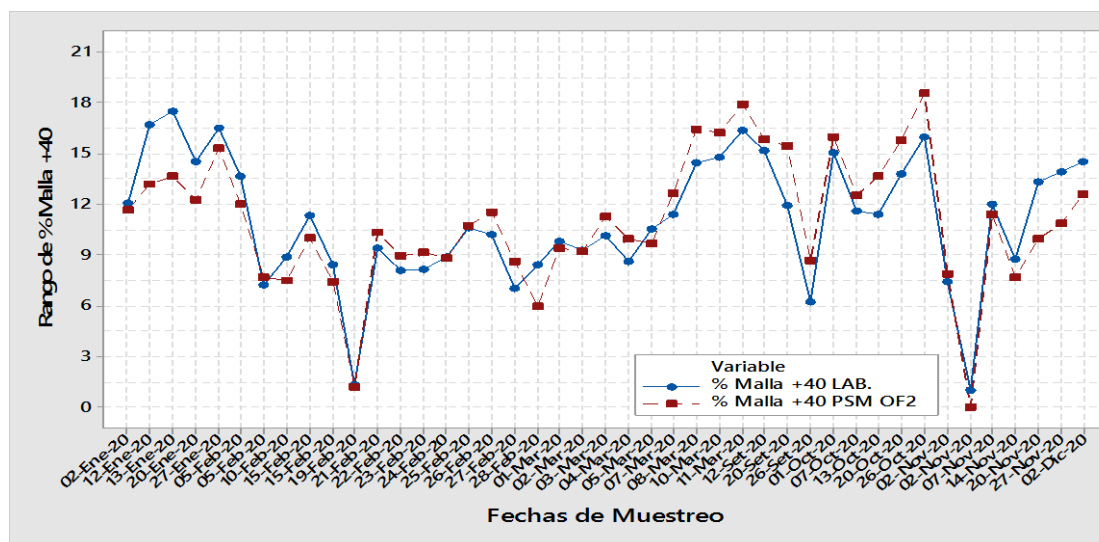
El Modelo en Línea del PSM para Malla 40 en OF2



Nota: Servidor del PSM-THE MODELER-Control de Procesos – Las Bambas.

Figura 5. 36.

Las Tendencias Comparativas Iniciales para Porcentaje de Malla 40 entre Laboratorio y PSM



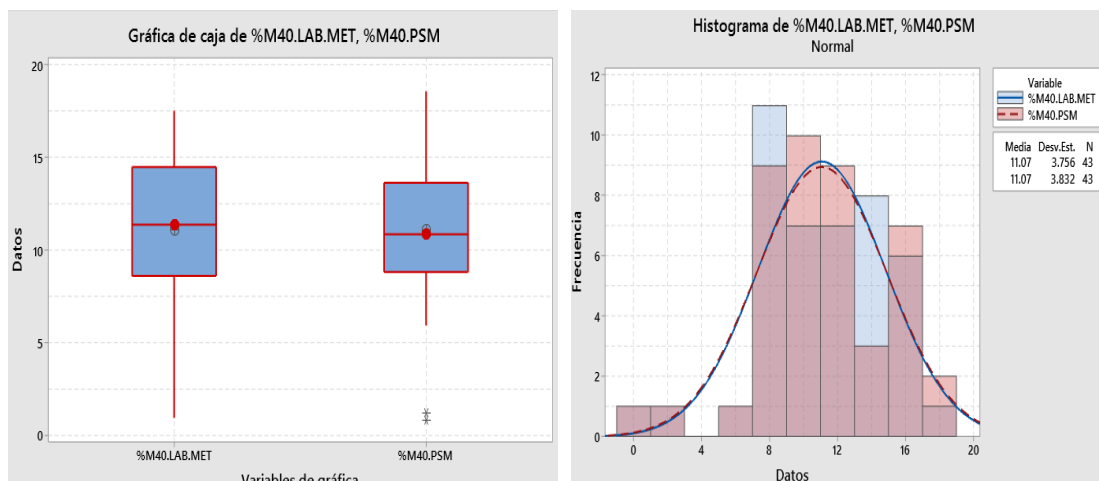
La figura 5.36, presenta las tendencias de las comparativas del anexo 8 de los muestreos de calibración de las primeras 43 muestras como resultado del modelo en

línea en el equipo, donde las tendencias presentan dispersión y oscilación del PSM con respecto a los resultados de laboratorio.

La figura 5.37, se describe de los diagramas de cajas y bigotes, las cajas, bigotes y medias son asimétricos entre laboratorio y PSM, esta denota que existe en la distribución la dispersión y oscilación de datos son menores del PSM con respecto a laboratorio, también existe valores atípicos por falta de calibración de la malla. En los histogramas de igual manera los comportamientos de cada proceso son distintas por la dispersión mínima de datos, los valores de las medias y desviación estándar son iguales y esta indica que la variación en los datos entre PSM y laboratorio son menores, por ende, las campanas se gauss se visualiza ajustada.

Figura 5. 37.

Diagramas de Cajas y bigotes e Histogramas de Variables de Entrada para % Malla 40



Nota: Elaboración propia en programa Minitab.

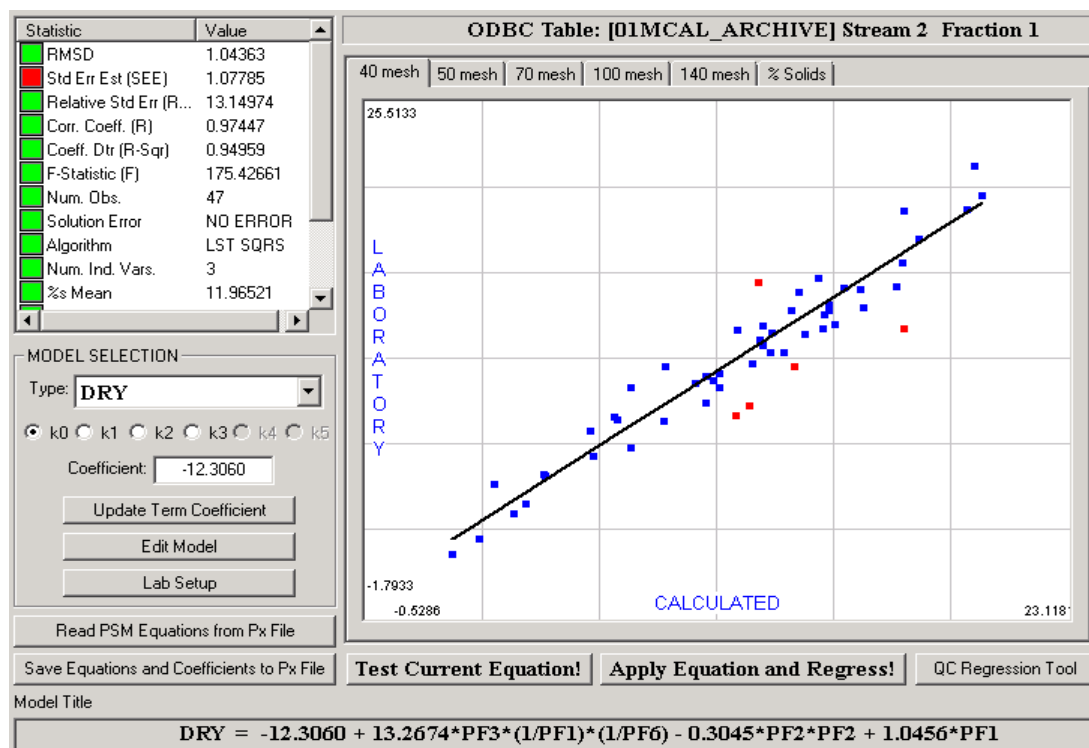
Los siguientes modelos para malla 40, están realizados con el mismo sistema para porcentaje de sólidos, ya que los modelos se realizan en bloque para todos los elementos establecidos (para porcentaje de sólidos, mallas 40, 50 y 70) en el software The Modeler, en una sola oportunidad para luego estos modelos sean puesta en línea en el equipo analizador en cada overflow.

En tal sentido para los siguientes modelos preliminares se tiene en los anexos: 9 para segundo modelo, 10 para tercer modelo, 11 para cuarto modelo y 13 para la validación del resultado del modelo final.

El modelo final realizado para malla 40 en OF2 de PSM 400MPX, se muestra en la figura 5.38, las muestras utilizadas en este modelo final son muestras del proceso de recalibración para mejorar los valores estadísticos y agregamos las últimas 10 muestras del anexo 12, en total aproximadamente tenemos más de 45 muestras para dicho modelo.

Figura 5. 38.

Modelo Final en el PSM para Malla 40 en OF2



Nota: Servidor del PSM-THE MODELER-Control de Procesos – Las Bambas.

Los resultados del modelo final se validan con 5 muestras de calibración que se tiene en el anexo 13 y las tendencias comparativas entre laboratorio y equipó para malla 40 véase en la figura 5.39. Esta figura denota que existe según las tendencias

dispersión y oscilaciones mínimas en cada punto de medición de datos del PSM con respecto a laboratorio.

Figura 5. 39.

Tendencias Comparativas Finales para Porcentaje de Malla 40 entre Laboratorio y PSM

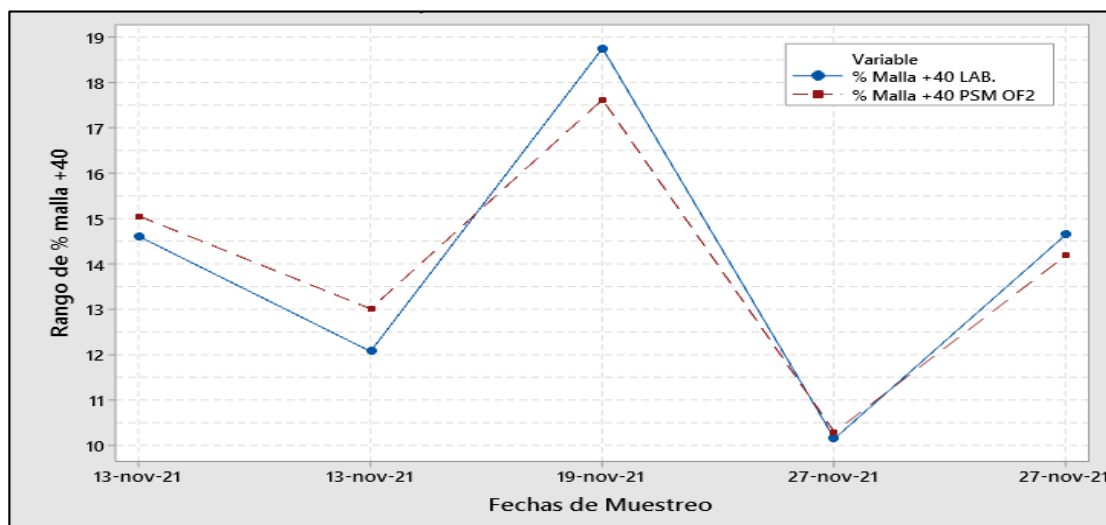
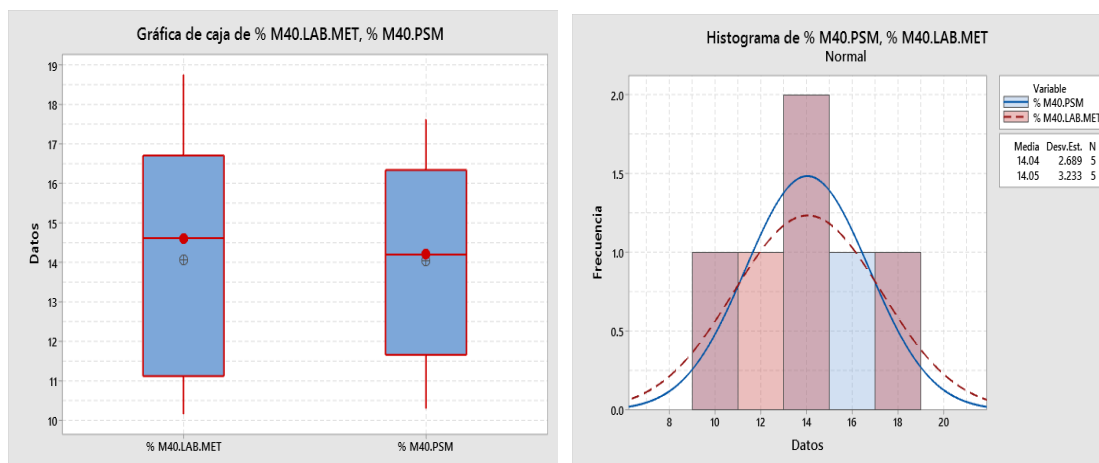


Figura 5. 40.

Diagramas de Cajas y bigotes e Histogramas de Variables de Salida para % Malla 40



La figura 5.40, se describe de los diagramas de cajas y bigotes, las cajas, bigotes y medias presentan ligera simetría entre laboratorio y PSM, esta denota que aún existen dispersiones y oscilaciones mínimas de datos en las mediciones del PSM con respecto a laboratorio y hace que las mediciones en tiempo real sean con valores insignificantes. En los histogramas de igual manera los comportamientos de cada

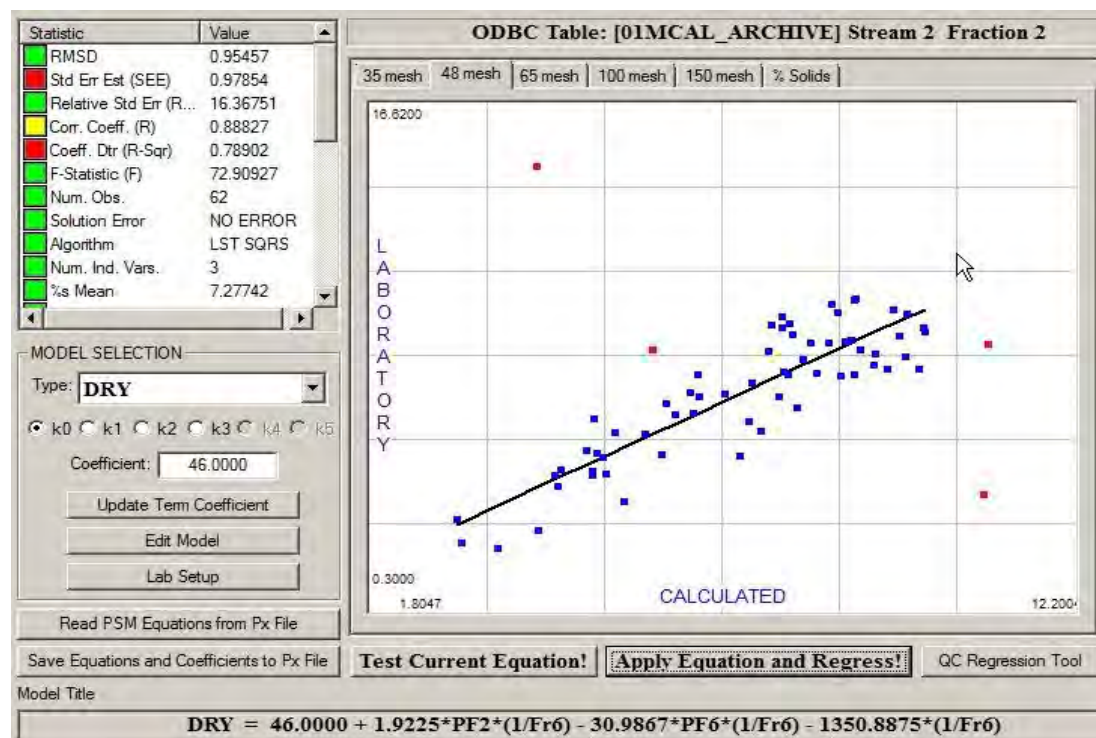
proceso presentan simetría y existe ligera dispersión de datos, los valores de las medias son iguales y las desviaciones estándar existen variaciones por la dispersión y oscilación de datos en la medición del PSM con respecto a laboratorio, además la campana de gauss se aprecia con ligeros ajustes del PSM con respecto a laboratorio.

5.2.3. Modelamiento de ecuaciones para malla 50

Se inicia el proceso de recalibración de la malla 50 en OF2 de PSM 400MPX, para esta malla se tiene de igual manera un modelo de la figura 5.41, que está en línea en el equipo PSM, entonces al igual que para la malla 40 se tiene resultado de las 43 muestras de dicho modelo.

Figura 5. 41.

Modelo en Línea del PSM para Malla 50 en OF2



Nota: Fuente: Servidor del PSM-THE MODELER-Control de Procesos – Las Bambas.

La figura 5.42, presenta la tendencia de la comparativa del anexo 8 de los muestreos de calibración de las primeras 43 muestras como resultado del modelo en línea en el equipo, donde las tendencias presentan comportamiento de oscilación y

dispersión de datos del analizador con respecto a laboratorio según la comparativa realizada.

Figura 5. 42.

Tendencias Comparativas Iniciales para Porcentaje de Malla 50 entre Laboratorio y PSM

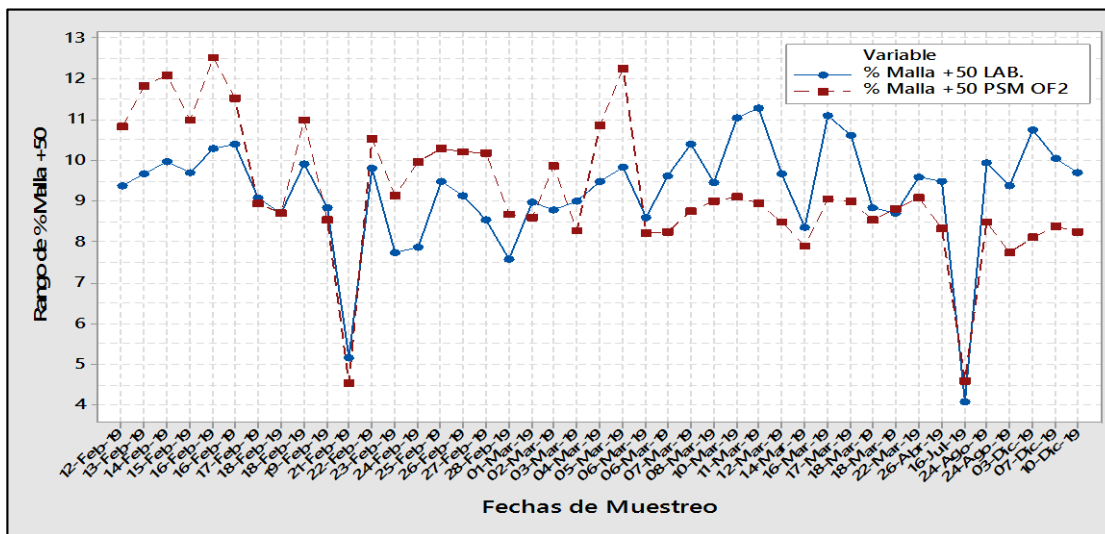
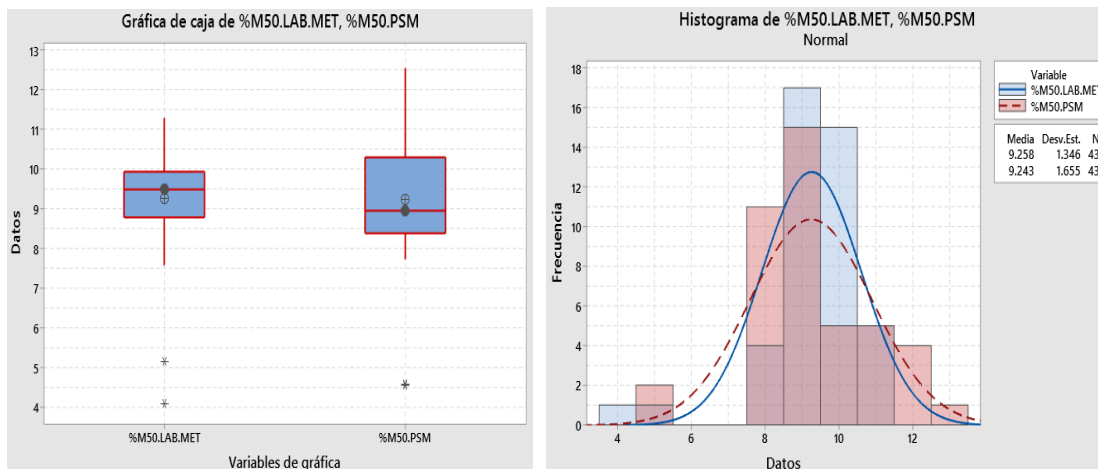


Figura 5. 43.

Las Diagramas de Cajas y bigotes e Histogramas de Variables de Entrada para % Malla 50



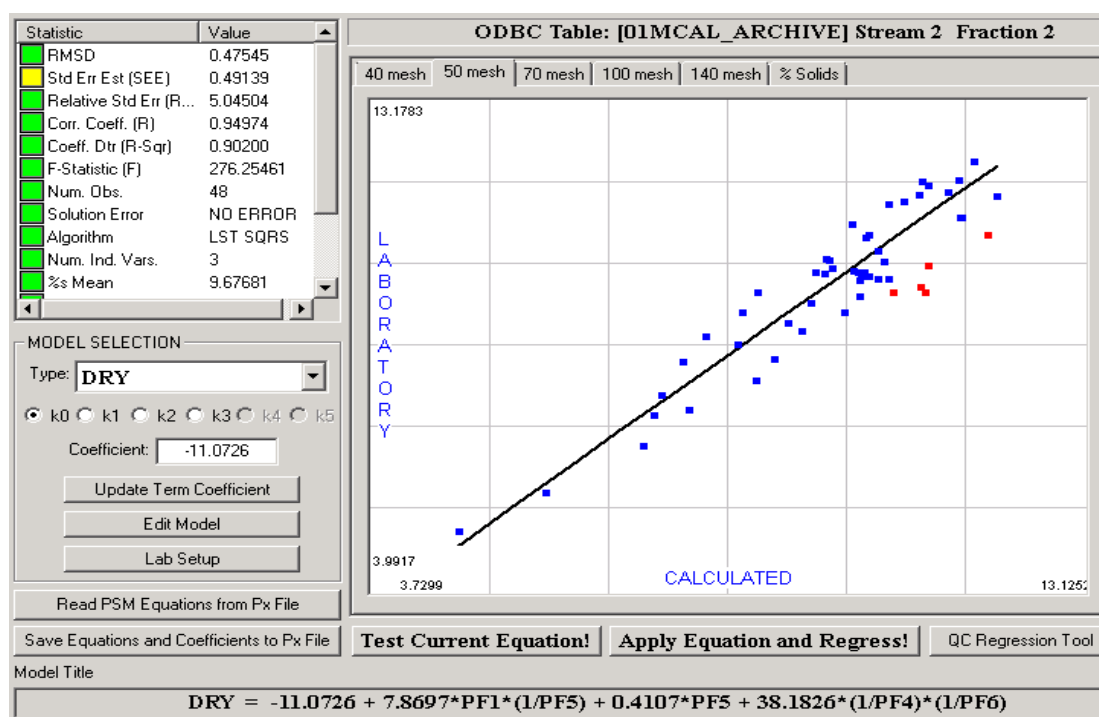
La figura 5.43, se describe de los diagramas de cajas y bigotes, las cajas, bigotes y medias son asimétricos entre laboratorio y PSM, se denota que existe en la distribución bastante dispersión y oscilación de datos con respecto a laboratorio, observa también que existen valores atípicos tanto en PSM y laboratorio debido a la inestabilidad de la planta de procesos. En los histogramas de igual manera los

comportamientos de cada proceso son distintas por bastante dispersión y variación de datos, los valores de las medias son iguales, pero sin embargo las desviaciones estándar presentan valores significantes por la dispersión y oscilación de datos y por ende hasta las campanas de gauss no se ajustan entre ambos.

En tal sentido para los siguientes modelos preliminares se tiene en los anexos: 9 para segundo modelo, 10 para tercer modelo, 11 para cuarto modelo y 13 para la validación del resultado del modelo final.

Figura 5. 44.

Modelo Final en el PSM para Malla 50 en OF2



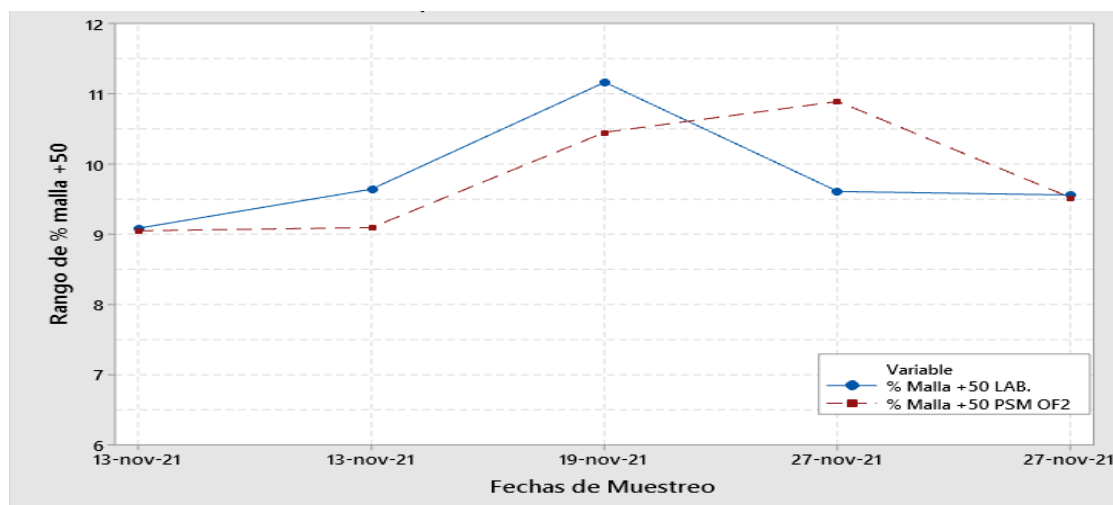
Nota: Servidor del PSM-THE MODELER-Control de Procesos – Las Bambas.

El modelo final realizado para la malla 50 en OF2 de PSM 400MPX, se muestra en la figura 5.44, las muestras utilizadas en este modelo final son muestras del proceso de recalibración para mejorar los valores estadísticos y agregamos las últimas 10 muestras del **anexo 12**, en total próximamente tenemos más de 45 muestras para dicho modelo.

Los resultados del modelo final se validan con 5 muestras de calibración que se tiene en el anexo 13 y las tendencias comparativas entre laboratorio y equipó para malla 50 véase en la figura 5.45. Esta figura denota que existe según las tendencias oscilaciones mínimas cada punto de análisis del PSM con respecto a laboratorio.

Figura 5. 45.

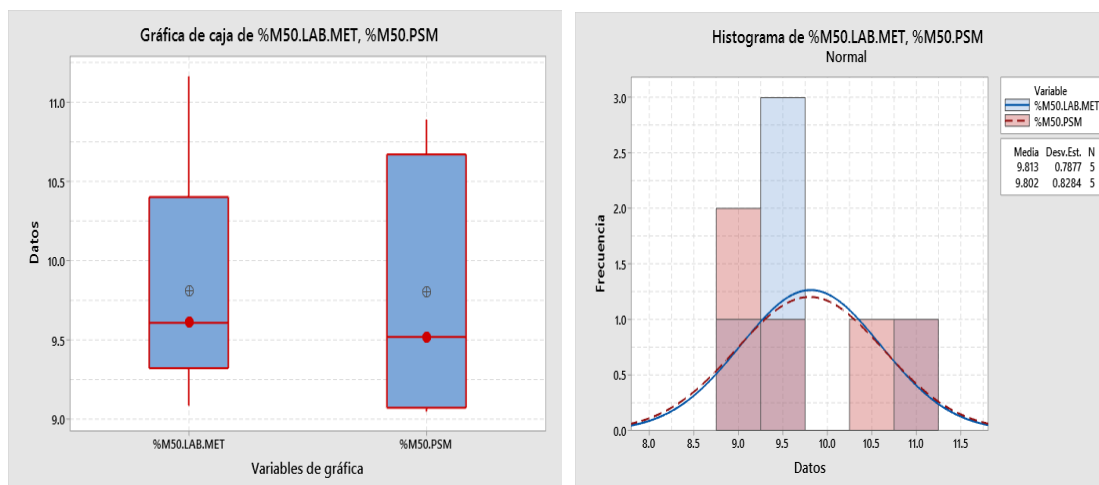
Las Tendencias Comparativas Finales para Porcentaje de Malla 50 entre Laboratorio y PSM



La figura 4.46, se describe de los diagramas de cajas y bigotes, las cajas, bigotes y medias presentan ligera simetría entre laboratorio y PSM, esta denota que aún existe ligera dispersión y oscilación de datos en la medición con respecto a laboratorio. En los histogramas de igual manera los comportamientos de cada proceso son simétricos, pero ligera dispersión de datos del PSM con respecto a laboratorio, los valores de las medias y desviaciones estándar son similares esta debido a la oscilación de datos y por ende hasta las campanas de gauss está ajustada del PSM con respecto a resultados de laboratorio.

Figura 5. 46.

Diagramas de Cajas y bigotes e Histogramas de Variables de Salida para % Malla 50



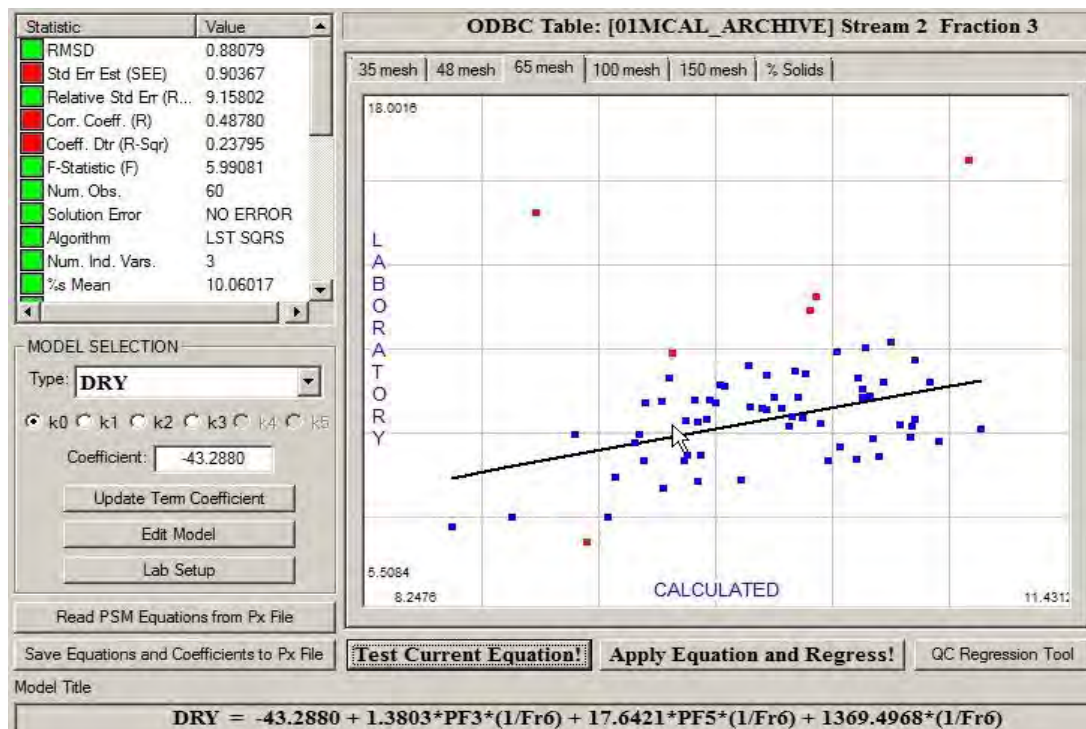
5.2.4. Modelamiento de ecuaciones para malla 70

Se inicia el proceso de recalibración de la malla 70 en OF2 del PSM 400MPX para esta malla se tiene de igual manera un modelo de la figura 5.47, que está en línea en el equipo PSM, entonces al igual que para la malla 50 se tiene resultado de las 43 muestras de dicho modelo.

La figura 5.48, se presentan las tendencias de las comparativas del anexo 8 de los muestreos de calibración de las primeras 43 muestras como resultado del modelo en línea en el equipo, donde las tendencias presentan comportamiento con bastante oscilación, dispersión e inestabilidad de datos del analizador con respecto a los resultados de laboratorio.

Figura 5. 47.

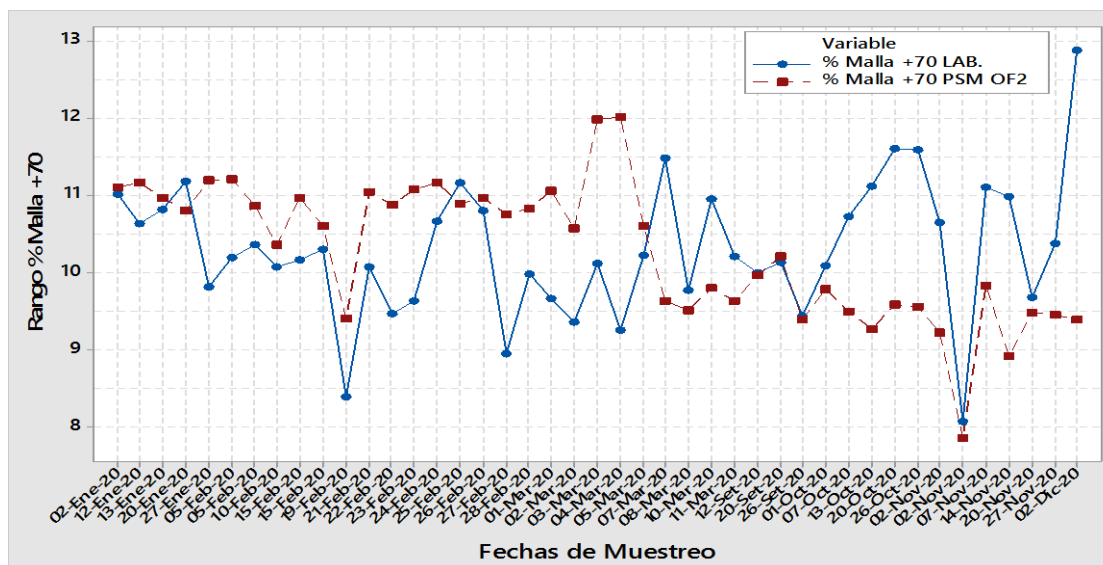
Modelo en Línea del PSM para Malla 70 en OF2



Nota: Servidor del PSM-THE MODELER-Control de Procesos – Las Bambas.

Figura 5. 48.

Tendencias Comparativas Iniciales para Porcentaje de Malla 70 entre Laboratorio y PSM

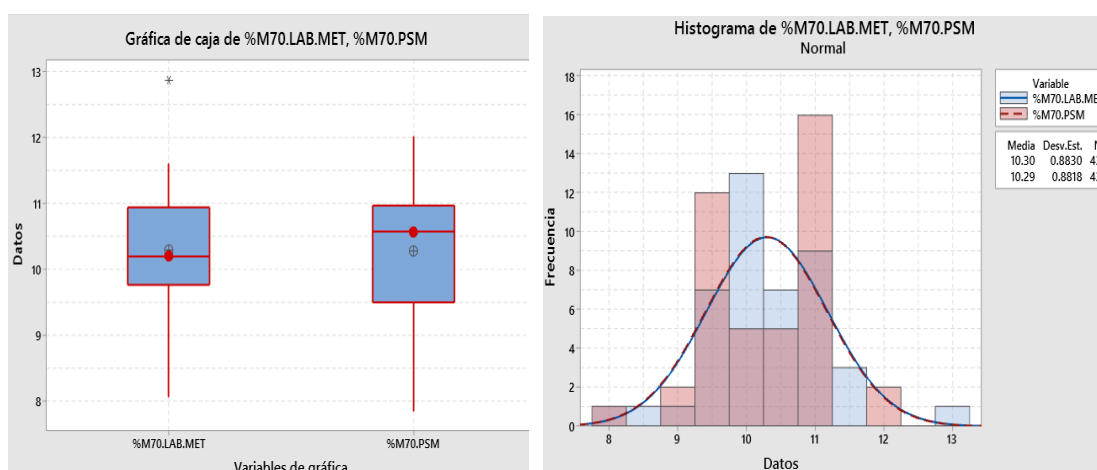


La figura 5.49, se describe de los diagramas de cajas y bigotes, las cajas, bigotes y medias son asimétricos entre laboratorio y PSM, esta denota que existe en

la distribución bastante dispersión y oscilación de datos en la medición con respecto a laboratorio, En los histogramas de igual manera los comportamientos de cada proceso son asimétricos por la existencia de bastante dispersión de datos y constante, los valores de las medias y desviaciones estándar son iguales, debido a que los valores son constan del PSM con respecto a laboratorio y por ello hasta la campana de gauss se ve ajustada entre ambas.

Figura 5. 49.

Diagramas de Cajas y bigotes e Histogramas de Variables de Entrada para % Malla 70

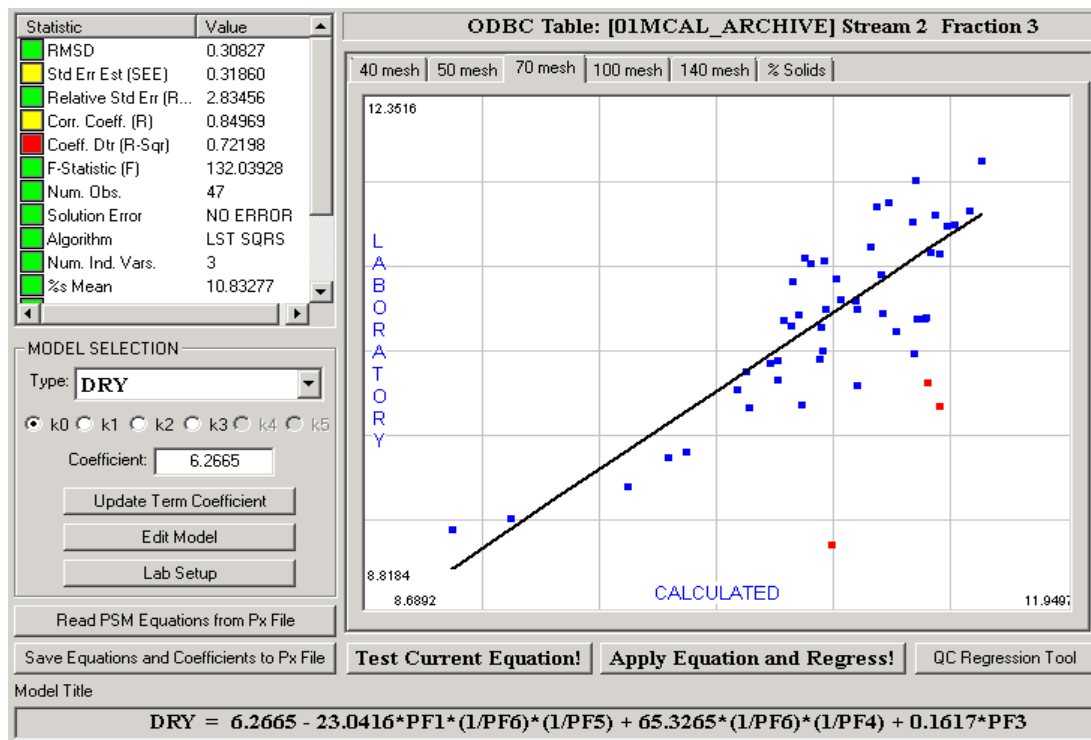


Los siguientes modelos preliminares para la malla 70 para la recalibración se encuentran en los anexos: 9 para segundo modelo, 10 para tercer modelo, 11 para cuarto modelo y 13 para la validación del resultado del modelo final.

El modelo final realizado para malla 70 del PSM 400MPX de OF2, se muestra en la figura 5.50, las muestras utilizadas en este modelo final son muestras del proceso de recalibración para mejorar los valores estadísticos y agregamos las últimas 10 muestras del anexo 12, en total próximamente tenemos más de 45 muestras para dicho modelo.

Figura 5. 50.

Modelo Final en el PSM para Malla 70 en OF2



Nota: Servidor del PSM-THE MODELER-Control de Procesos – Las Bambas.

Los resultados del modelo final se validan con 5 muestras de calibración que se tiene en el anexo 13 y la tendencia comparativa entre laboratorio y equipó para malla 70 véase en la figura 5.51. Esta figura denota que existe según la tendencia oscilaciones mínimas y puntos de coincidencia del PSM con respecto a laboratorio, las diferencias son grandes en comparación con las tendencias del modelo inicial.

La figura 5.52, se describe de los diagramas de cajas y bigotes, las cajas, bigotes y medias presentan ligera simetría entre laboratorio y PSM, esta denota que aún existe ligera dispersión y oscilación de datos en la medición con respecto a laboratorio. En los histogramas de igual manera los comportamientos de cada proceso presentan ligera simetría, pero existe ligera dispersión de datos del PSM con respecto a laboratorio, las medias y desviaciones estándar presentan valores insignificantes en el proceso y por eso las campanas de gauss están ajustadas.

Figura 5. 51.

Tendencias Comparativas Finales para Porcentaje de Malla 70 entre Laboratorio y PSM

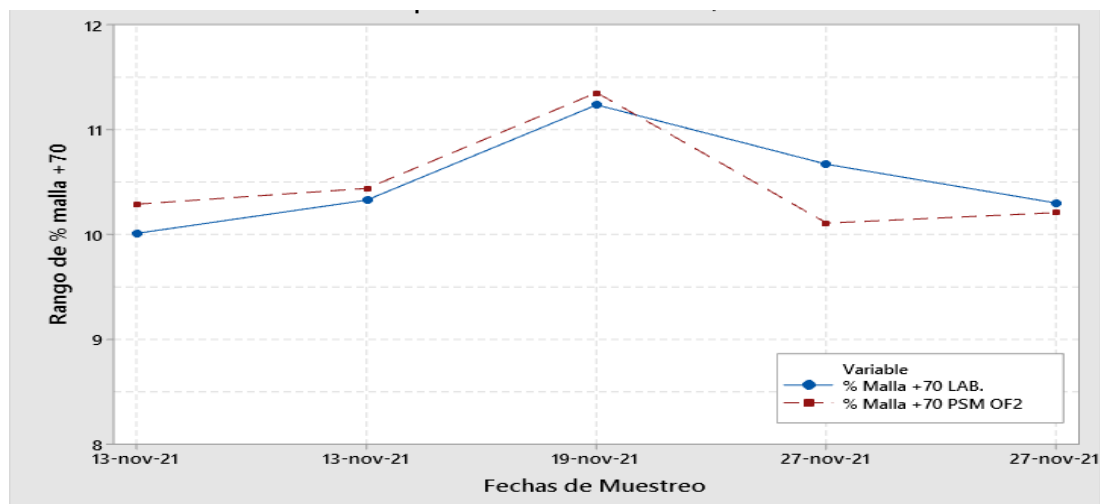
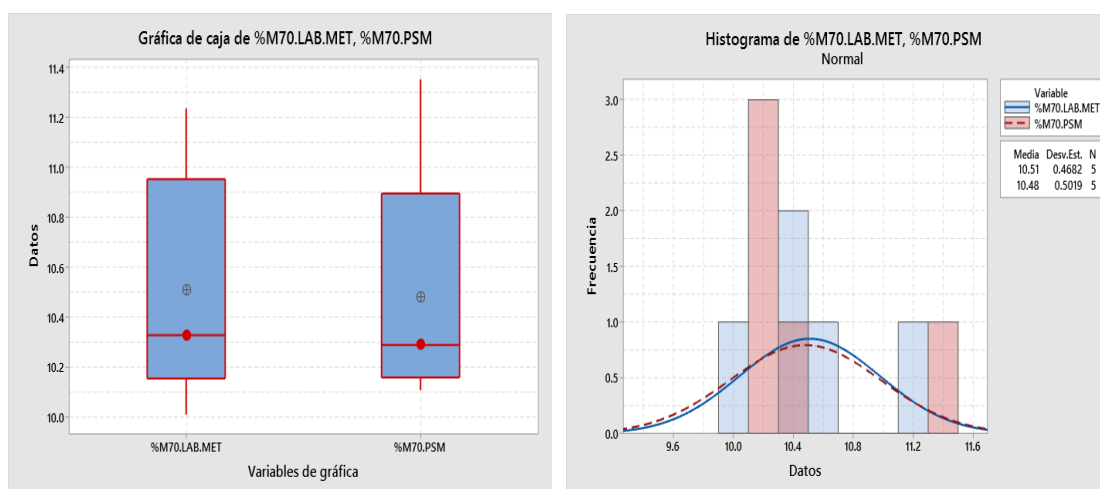


Figura 5. 52.

Diagramas de Cajas y bigotes e Histogramas de Variables de Salida para % Malla 70



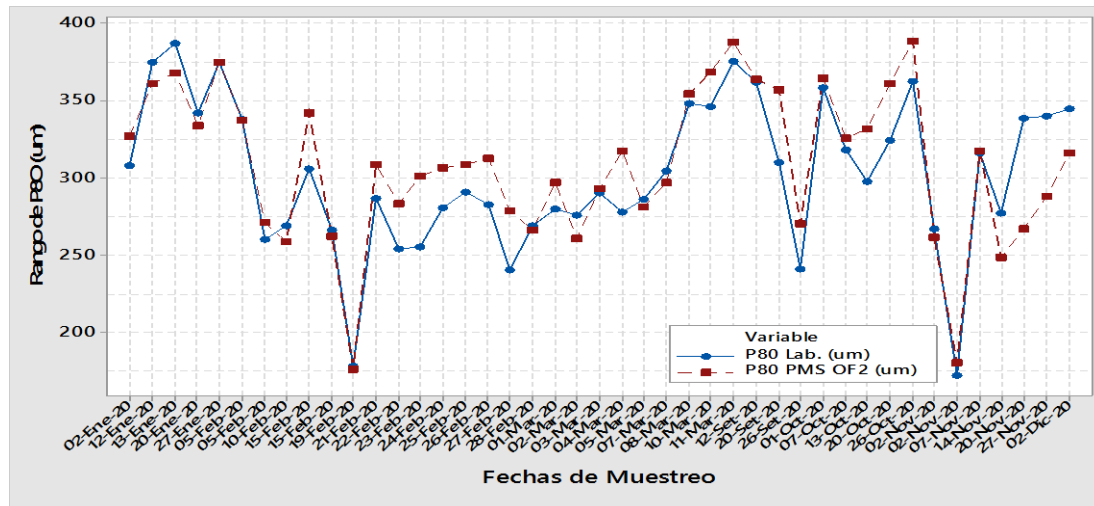
5.2.5. Resultados de P_{80} de los modelos

En cada muestra de calibración con el perfil de las mallas, porcentaje de sólidos, mallas 40, 50 y 70, tienen el resultado de cálculo realizado de P_{80} en el DCS y registrados en el PI System del PSM 400MPX de OF2, de igual manera el laboratorio Metalúrgico reporta los resultados de P_{80} de las muestras enviadas para la recalibración. Entonces estos valores de P_{80} tanto de laboratorio y equipo analizador

se realizan comparaciones que está en el anexo 8, para evaluar los resultados del comportamiento de los modelos de las mallas en recalibración.

Figura 5. 53.

Tendencias Comparativas Iniciales para P_{80} entre Laboratorio y PSM

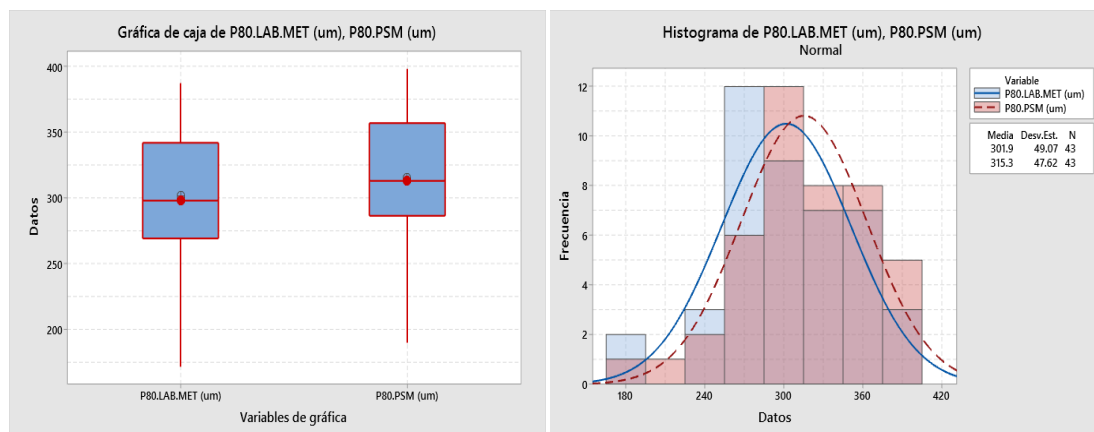


En la figura 5.53, muestran las tendencias que existen puntos de dispersión y oscilación del PSM con respecto a laboratorio Metalúrgico en las 43 muestras del bloque de primeros modelos de las mallas en recalibración en el OF2.

La figura 5.54, se describe de los diagramas de cajas y bigotes, las cajas, bigotes y medias son asimétricos entre laboratorio y PSM, esta denota que existe dispersión y oscilación de datos en la medición en tiempo real con respecto a laboratorio. En los histogramas de igual manera los comportamientos de cada proceso son asimétricos porque existe dispersión de datos del PSM con respecto a laboratorio, las medias y desviaciones estándares presentan valores significantes del PSM con respecto a laboratorio y hasta la campana de gauss no se ajusta por dispersión de datos al laboratorio. En general, estos resultados de P_{80} son los resultados de los modelos de entrada o inicial, entonces aún requiere la recalibración de las mallas según el perfil establecida.

Figura 5. 54.

Diagramas de Cajas y bigotes e Histogramas de Variables de Entrada para P_{80}

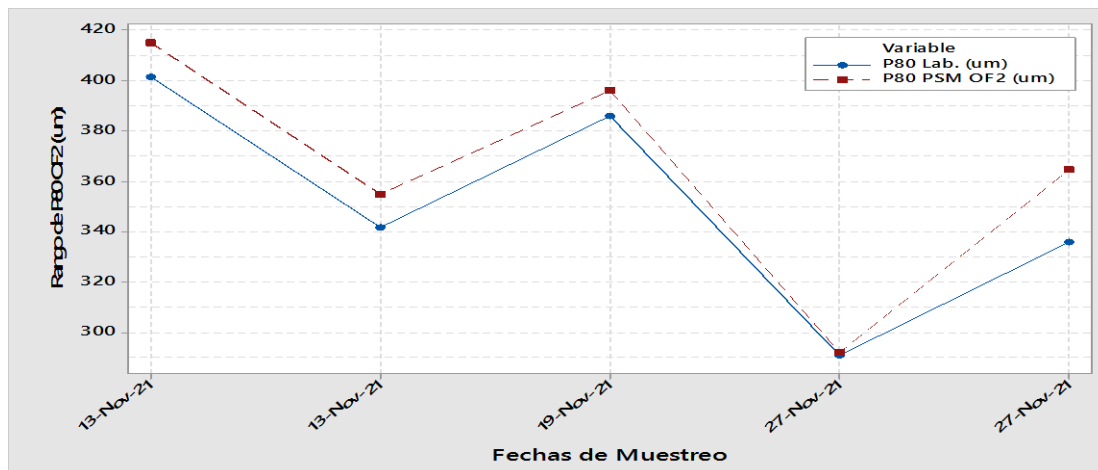


Los siguientes resultados de P_{80} en cada proceso de recalibración de las mallas de análisis del PSM OF2 se encuentran en los mismos anexos: 9 para segundo modelo, 10 para tercer modelo, 11 para cuarto modelo y 13 para la validación del resultado del modelo final.

La figura 5.55, muestran las tendencias comparativas de los resultados finales calculados de P_{80} del equipo PSM con respecto a los resultados de laboratorio, estos resultados están a base de los resultados de modelos realizados finales en bloque para porcentaje de sólidos y mallas, para la validación se tiene 5 muestras de calibración cuyos resultados se tiene en el anexo 13, como se aprecia en las tendencias comparativas los puntos de medición tienen casi coincidencia entre PSM y laboratorio, pero la tendencia del PSM están por encima del laboratorio y presentan ligera dispersión de datos, esta asegura que el equipo tiene buen performance en el análisis en línea para el control de la granulometría en el circuito de molienda en la línea 1 de la planta concentradora y favorece para la toma de acción inmediata frente cualquier evento que se presente en el circuito.

Figura 5. 55.

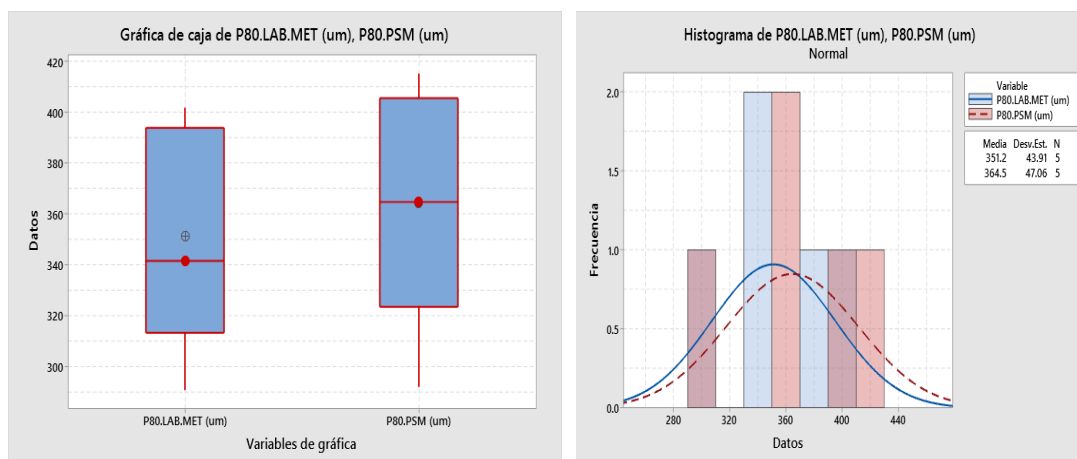
Tendencias Comparativas Finales para P₈₀ entre Laboratorio y PSM



La figura 5.56, se describe de los diagramas de cajas y bigotes, las cajas, bigotes y medias presentan ligera simetría entre laboratorio y PSM, esta denota que aún existe ligera dispersión y oscilación de datos en la medición con respecto a laboratorio. En los histogramas de igual manera los comportamientos de cada proceso son simétricos, pero ligera dispersión de datos del PSM con respecto a laboratorio, los valores de las medias y desviaciones estándar son similares esta debido a la oscilación de datos y por ende hasta las campanas de gauss tiene ligero ajuste del PSM con respecto a resultados de laboratorio.

Figura 5. 56.

Diagramas de Cajas y bigotes e Histogramas de Variables de Salida para P₈₀



5.3. Disponibilidad del equipo PSM 400MPX

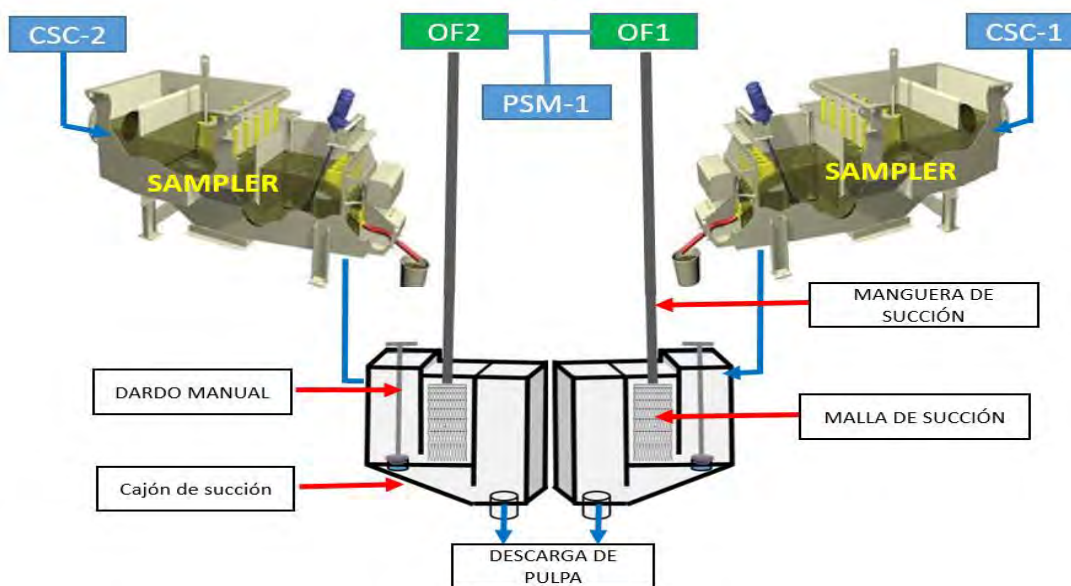
5.3.1. Sistema de dardos manuales en el OF1 y OF2 para el PSM

La presencia de granulometría gruesa en el circuito de molienda que son factores por tonelaje alto, tipo de mineral, mala clasificación en los hidrociclones u otros factores, presentan constantes arenamientos (material grueso) en los cajones de succiones y ductos del analizador de partículas PSM 400MPX en OF1 y OF2, dejando al equipo fuera de servicio operacional por varios minutos u horas según sea por arenamientos o falla del TPM u otros componentes y todo impactando a aguas abajo estos factores

los cajones de succiones de pulpa de estos equipos están diseñados para un flujo de 70 m³/h aproximadamente, es decir son muestras representativas donde el muestreador (sampler) recibe el 100% de volumen de pulpa de los nidos de clasificadores de la línea 1, al final se tiene una muestra de 5% en volumen de cada muestreador, que esta va directamente a los cajones de succiones PSM para el análisis, la figura 5.57, presenta el esquema de los cajones de succiones de OF1 y OF2, cuando tenían dardos manuales.

Figura 5. 57.

Esquema del Sistema de Muestreo del PSM en OF1 y OF2



Se pueden mencionar que los dardos manuales requerían que un operador en campo vaya cada cierto tiempo a levantar y limpiar con agua ambos cajones de succiones de pulpa, esta para evitar sedimentación material, arenamientos y daño a componentes críticos cuando ocurra circunstancias en aguas arriba (parada de bombas warman, mala clasificación en ciclones, alto tonelaje y otros), toda esta actividad se realiza para dar la disponibilidad al analizador de partículas PSM las 24 horas.

El análisis de la granulometría en el equipo PSM dura cada 300 segundos en el OF1 y 300 segundos en el OF2 (5 minutos), así sucesivamente el equipo trabaja con ambos flujos continuos con los perfiles de mallas 40, 50, 70, porcentaje de sólidos y datos calculados en DCS el P_{80} en ambos flujos. Entonces a menor disponibilidad operacional del equipo analizador de partículas nace la idea de implementar la tecnología del sistema de automatización en los dardos en ambos overflow.

5.3.2. Sistema de dardos neumáticos para la instalación

Los dardos manuales existente en el OF1 y OF2 del PSM, son retirados para la instalación de los dardos neumáticos en los cajones de succiones de pulpa del PSM y la integración de señales de la tarjeta memoria del equipo mediante relés hacia el sistema del PLC. La figura 5.58, muestra los dardos neumáticos para la instalación.

Figura 5. 58.

Dardos Neumáticos para OF1 y OF2



Tabla 5. 1.

Descripción de Materiales para el Gabinete de Control de Dardos

N°	Descripción	Cantidad	Unidad
1	Fuente de 110 AC a 24 DC	1	c/u
2	Llave termo magnética Unipolar Q2, Q3	2	c/u
3	Llave termo Magnética Q1	1	c/u
4	Módulo de comunicación DT200	1	c/u
5	Módulo de salida	1	c/u
6	Panel de conexión de borneras 4 mm	59	c/u
7	Gabinete de 80 x 100 x 30 cm	1	c/u
8	Solenoides Electroneumáticos 24V DC doble efecto PNEUMAX	2	c/u
9	Poli tubo diámetro 12 mm	-	
10	Canaleta ranurada 40 x 40 mm	-	c/u
11	Unidad de mantenimiento neumático PNEUMAX	1	c/u
12	Módulo de entrada	1	c/u
13	Relé de 24 V	1	c/u
14	Interruptor Diferencial	1	c/u

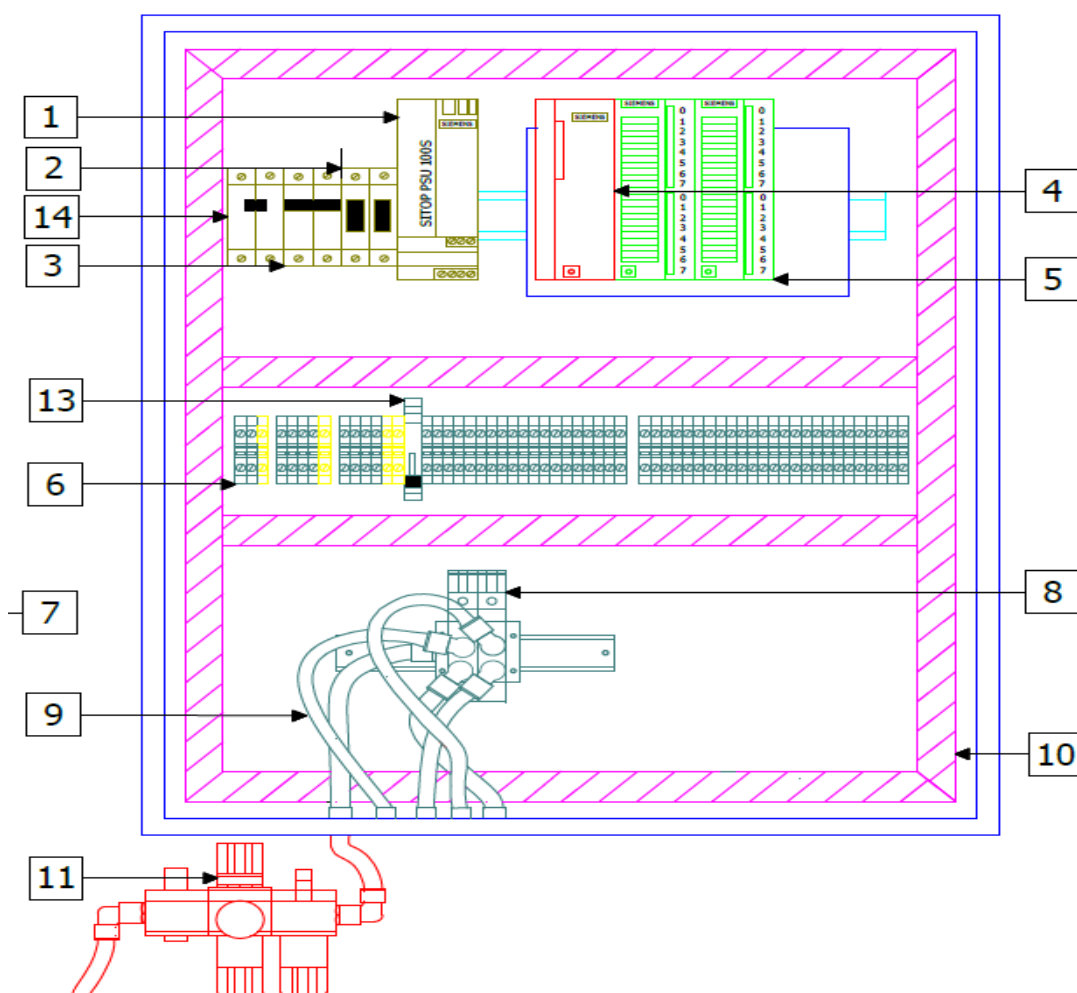
Nota: Metal Mecánica Servicios Temporales SAC - Las Bambas.

5.3.3. Instalación de gabinete de control para los dardos neumáticos

Se realiza la identificación de las señales de comunicación en el tablero del PSM 400MPX, vea la figura 4.58, y se elabora el plano para el gabinete de control y sus instalaciones, vea en la figura 5.59, y de acuerdo con este diseño se realizan los trabajos de instalación en campo y montaje de dardos neumáticos en OF1 y OF2. La descripción de componentes a usar en el gabinete se describe en la tabla 5.1.

Figura 5. 59.

Diseño de Gabinete de Control de Dardos



Nota: Metal Mecánica Servicios Temporales SAC - Las Bambas.

La figura 4.60, muestra el gabinete de control instalada, parte superficial de los comandos de selectores (manual/automático y subir/bajar) e interior todo el

sistema de componentes para la comunicación, El sistema de comunicación de gabinete de control es mediante el protocolo de comunicación Profibus que va directamente al sistema de servidores y de ahí se integra al DCS para implementar las filosofías de control de acuerdo al análisis de los flujos que comanda el equipo analizador.

Figura 5. 60.

Gabinete Instalado de los Dardos Neumáticos OF1 y OF2



Figura 5. 61.

El Gabinete del Sistema Operativo del PSM 400MPX

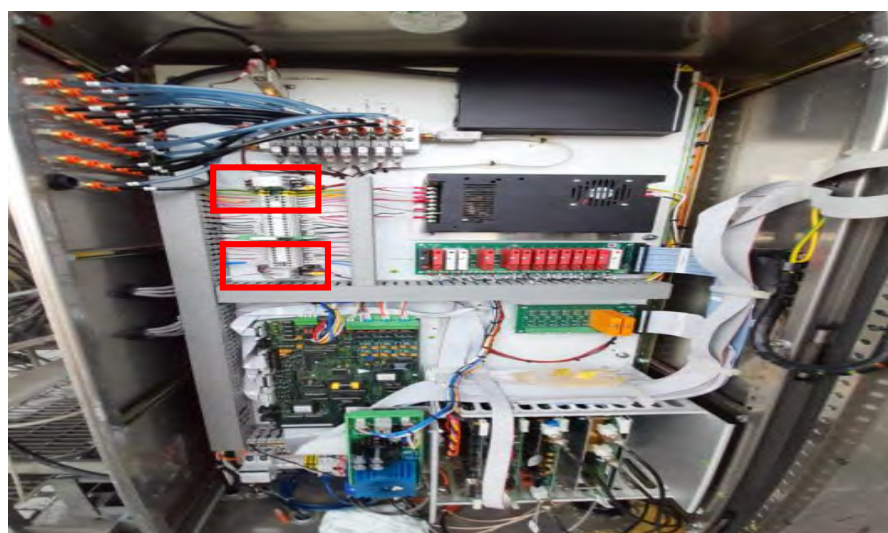
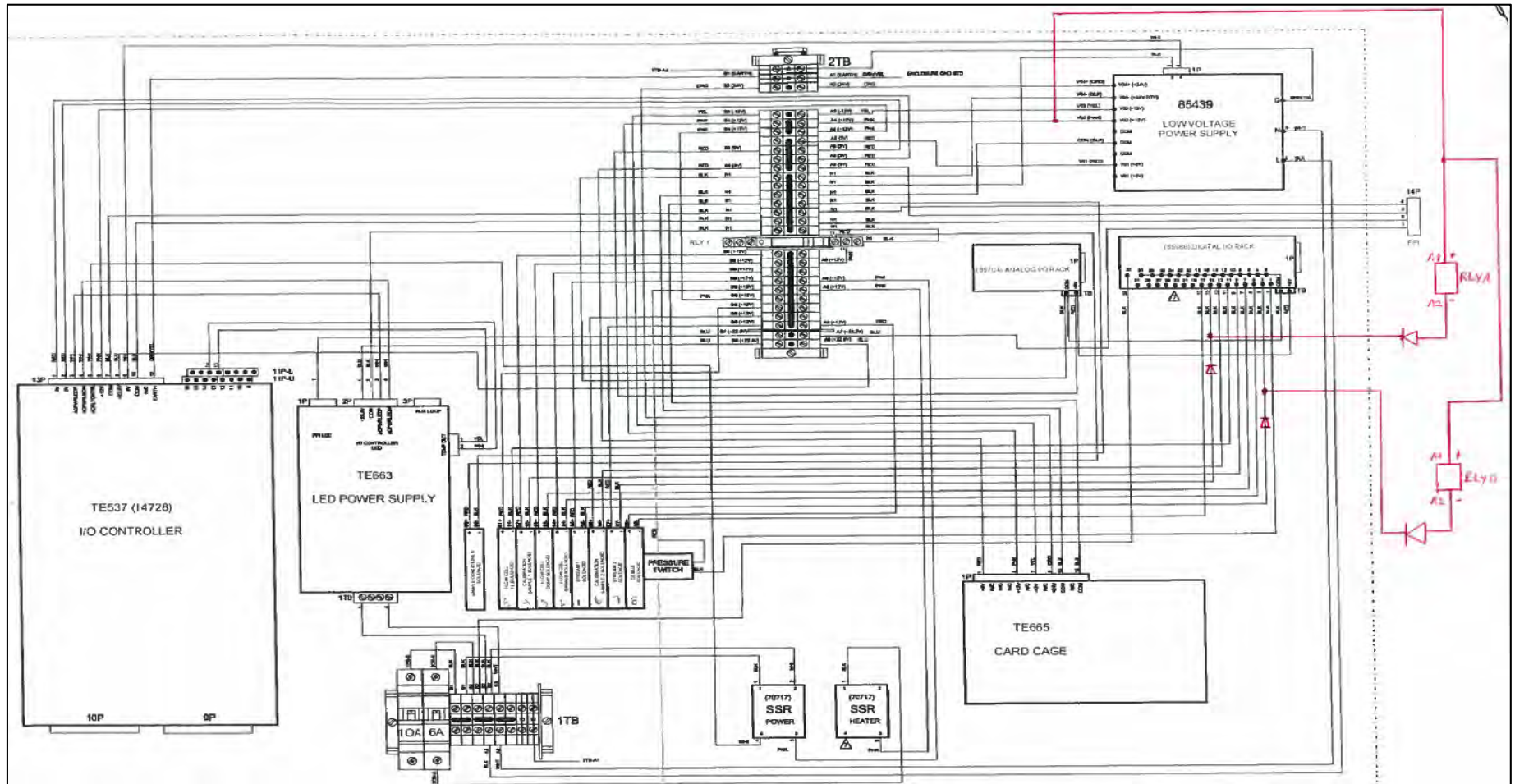


Figura 5. 62.

Plano de Sistema Eléctrico del PSM 400MPX



Nota: Manual PI&D del PSM Control de procesos - Las Bombas.

El sistema de comunicación del equipo analizador del PSM 400MPX de la figura 5.61 hacia el gabinete de control de dardos neumáticos de la figura 5.60, es mediante relé, dicho plano eléctrico del equipo se muestra en la figura 5.62.

5.3.4. Filosofía de control de los dardos neumáticos de OF1 y OF2 PSM 400MPX

Implementación y descripción de la filosofía de control para el correcto funcionamiento del izaje de dardos automáticos de OF1 y OF2 del PSM 400MPX, se describe de la siguiente manera:

a. Operación normal para secuencia de funcionamiento

La secuencia de funcionamiento de equipo 330-ZPS-001 es de la siguiente manera:

- Si el Stream N°1 (OF1) en PSM1 está leyendo en consecuencia 0310PSML1L2.PSM1VD1_CLOSE (dardo cerrado) está activado y 0310PSML1L2.PSM1VD2_OPEN (dardo abierto) a fin de drenar el cajón opuesto, después de 300 segundos se activa el comando de cerrado del dardo N°2 (OF2) 0310PSML1L2.XU03602_CMD (comando cierre) y 0310PSML1L2.PSM1VD2_CLOSE (dardo cerrado).
- Si el Stream N°2 (OF2) en PSM1 está leyendo en consecuencia 0310PSML1L2.PSM1VD2_OPEN (dardo abierto) está activado y 0310PSML1L2.PSM1VD1_OPEN (dardo abierto) a fin de drenar el cajón opuesto, después de 300 segundos se activa el comando de cerrado de dardo N°1 (OF1) 0310PSML1L2.XU03601_CMD (comando cierre) y 0310PSML1L2.PSM1VD1_CLOSE (dardo cerrado).

b. Condicionales Especiales de Funcionamiento

La condicional implementada en este caso, es cuando presente evento de detención del molino SAG N°1:

- Si 0310M17453S1.RUN = “NO FUNCIONANDO” entonces se activa el comando de apertura de dardo N°1 (OF1) (XU03601) 0310PSML1L2.PSM1VD1_OPEN (dardo abierto) y del dardo N°2 (OF2) (XU03602) 0310PSML1L2.PSM1VD2_OPEN (dardo abierto).

c. Condicional de funcionamiento evento parada bombas Warman:

En el caso se tiene 2 bombas Warman que alimentan flujo de pulpa hacia los nidos de hidrociclones 1 y 2, la filosofía de describe de la siguiente manera:

1. Detención bomba Warman 1:

- Si 0310PPS0001.RUN = **NO FUNCIONANDO**, entonces se activa el comando de apertura de dardo N°1 (OF1) (XU03601) 0310PSML1L2.PSM1VD1_OPEN (dardo abierto) y del dardo N°2 (OF2) (XU03602) 0310PSML1L2.PSM1VD2_CLOSE (dardo cerrado).

2. Detención bomba Warman 2

- 0310PPS0002.RUN = **NO FUNCIONANDO**, entonces se activa el comando de apertura de dardo N°2 (OF2) (XU03602) 0310PSML1L2.PSM1VD1_OPEN (dardo abierto) y del dardo N°1 (OF1) (XU03601) 0310PSML1L2.PSM1VD2_CLOSE (dardo cerrado).

d. Condicional de funcionamiento en detención de bomba de alimentación de agua a PSM:

- Si 0310M17453S1.RUN = **NO FUNCIONANDO** ó 0310MLB0001.RUN = **NO FUNCIONANDO**, realizar la detención de la Bomba del PSM N°1 después de 15 minutos y la bomba pasa a local para ser arrancada en campo.

La implementación de lógicas de control para los dardos del OF1 y OF2 se realiza de acuerdo con las señales de comando del analizador de partículas PSM en el DCS de la tabla 5.2, de la siguiente manera:

Tabla 5. 2.

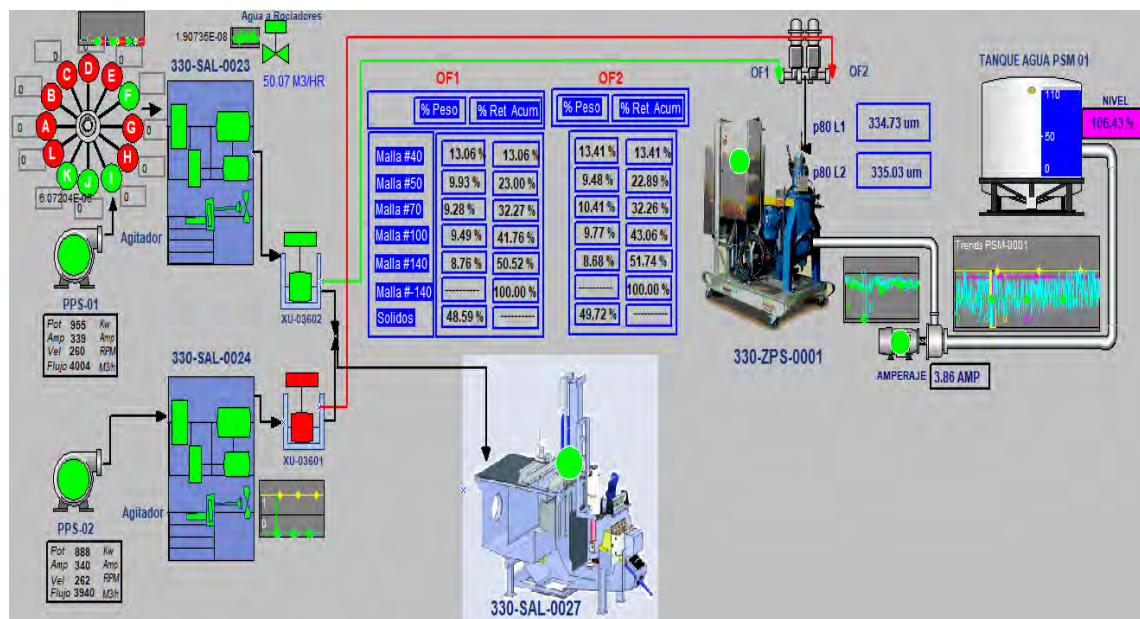
Tiempos de los Actuadores y Análisis del PSM

Equipo	Flujos	Tiempo de sistemas de dardos modo cierre antes de análisis (s)	Tiempo de flashing del PSM (s)	Tiempo de análisis de la granulometría del PSM (s)	Tiempo de cierre de dardos (S)	Tiempo de izaje de dardos (S)
PSM 400MPX	OF1	34	60	300	394	1
	OF2	34	60	300	394	1

La figura 5.63 muestra el diagrama de flujo de los componentes del sistema de funcionamiento en PI process book del analizador de partículas PSM 400MPX para el control de la granulometría y P_{80} en tiempo real en la molienda. Véase en la figura 5.64 la representación del equipo analizador en campo.

Figura 5. 63.

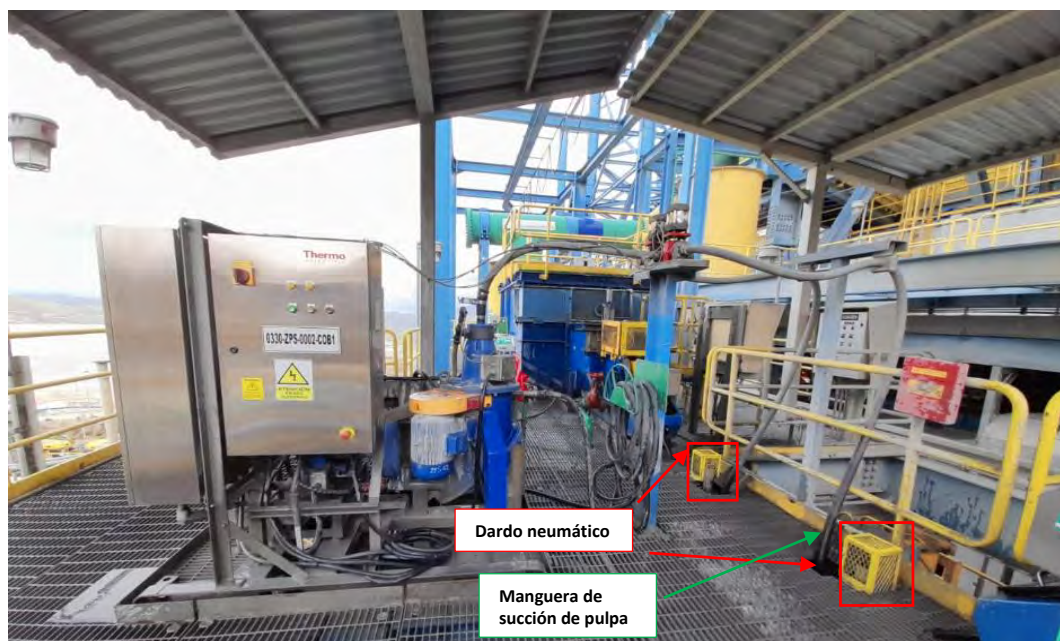
Diagrama de Flujo del PSM 400MPX



Nota: Fotografía de PI Process Book Control de Procesos - Las Bombas.

Figura 5. 64.

Representación del PSM 400MPX en Campo



5.3.5. Disponibilidad operacional del equipo PSM 400MPX

La disponibilidad operacional del equipo es de mucha importancia para dar la continuidad en el análisis de las mallas en línea y esta como resultado tenga valores de P_{80} en ambos overflow para el monitoreo y control de granulometría en el circuito de molienda. Entonces bajo esta premisa el PI System nos permite evaluar con la data registrada en horas, minutos y segundos del funcionamiento del equipo analizador de partículas PSM 400MPX, para filtrar la data de funcionamiento están identificados con los siguientes TAG:

PSM 400MPX : 0330PSM01.RUN

Molino SAG : 0310M17453S1.RUN

Con estás TAGs se filtra la data mediante Data Link bajo condicional: ('0330PSM01.RUN') = "NO FUNCIONANDO", para el equipo PSM 400MPX y para molino SAG, ('0310M17453S1.RUN') = "FUNCIONANDO", con estas condicionales se tiene la data para el cálculo de la disponibilidad de equipo por día y

respectivamente. El base de datos para el cálculo de la disponibilidad se tiene el anexo 14. En la tabla 5.3, se tiene las disponibilidades calculadas del equipo de cada mes del PSM 400MPX con respecto a la funcionalidad operacional del molino SAG1 durante el periodo de 14 meses.

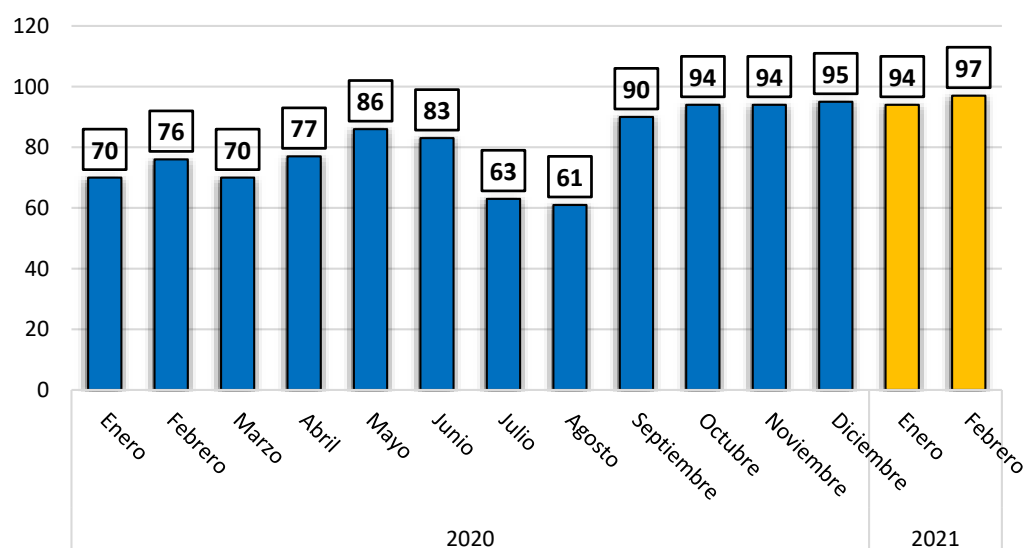
Tabla 5. 3.

% Disponibilidad Mensual PSM 400MPX con Respecto a Disponibilidad del Molino SAG1

Año	Mes	Fecha y Hora		Horas Off-Line 0330-ZPS-002 (hh:mm)	Horas SAG Running (hh:mm)	Funcionamiento del equipo PSM (hh:mm)	Disponibilidad Mensual (%)
		Inicio	Final				
2020	Enero	01/01/2020 07:00	01/02/2020 07:00	159.72	528.89	369.18	70
	Febrero	01/02/2020 07:00	01/03/2020 07:00	165.74	680.39	514.66	76
	Marzo	01/03/2020 07:00	01/04/2020 07:00	202.78	675.31	472.54	70
	Abril	01/04/2020 07:00	01/05/2020 07:00	167.89	720.00	552.12	77
	Mayo	01/05/2020 07:00	01/06/2020 07:00	98.00	677.24	579.24	86
	Junio	01/06/2020 07:00	01/07/2020 07:00	118.55	709.91	591.36	83
	Julio	01/07/2020 07:00	01/08/2020 07:00	269.61	736.72	467.11	63
	Agosto	01/08/2020 07:00	01/09/2020 07:00	222.48	575.61	353.12	61
	Septiembre	01/09/2020 07:00	01/10/2020 07:00	69.40	714.39	645.00	90
	Octubre	01/10/2020 07:00	01/11/2020 07:00	40.95	739.38	698.43	94
	Noviembre	01/11/2020 07:00	01/12/2020 07:00	35.63	637.65	602.02	94
	Diciembre	01/12/2020 07:00	01/01/2021 07:00	35.00	726.36	691.36	95
2021	Enero	01/01/2021 07:00	01/02/2021 07:00	44.03	742.46	698.43	94
	Febrero	01/02/2021 07:00	01/03/2021 07:00	15.53	509.52	493.99	97

La figura 5.65, presenta la evolución mensual de la disponibilidad del equipo analizador PSM 400MPX con respecto a la operatividad del molino SAG1.

El funcionamiento periódico del equipo en la evaluación de la disponibilidad mensual desde enero del 2020 hasta agosto del 2020 presenta una variación en la gráfica de barras que no supera el 80% de disponibilidad, pero después de setiembre del 2020 hasta febrero del 2021, el porcentaje de disponibilidad supera el 90% según la operatividad del molino SAG1. Estos incrementos en la funcionalidad del equipo PSM, por la implementación filosofías de control en los dardos neumáticos acorde a la operación del molino y bombas warman.

Figura 5. 65.*% de Disponibilidad Mensual del PSM*

La tabla 5.4 presenta las horas totales contabilizadas de cada mes en evaluación en los 14 meses, a base de esta se realizó los cálculos de disponibilidad del PSM y molino SAG1, para tener la información certera.

La figura 5.66, denota que la evolución de funcionamiento del equipo analizador fue favorablemente desde las calibraciones e implementaciones realizadas en las instalaciones del analizador, esto permite de que el analizador estará en funcionamiento continua para la medición de datos en tiempo real durante las 24 horas del día para el control y monitoreo de la granulometría en el circuito de molienda de la línea 1, y que servirá para la toma de acción inmediata frente a cualquier evento que se presente en el circuito.

Figura 5. 66.

% Disponibilidad Mensual del PSM y Molino SAG1

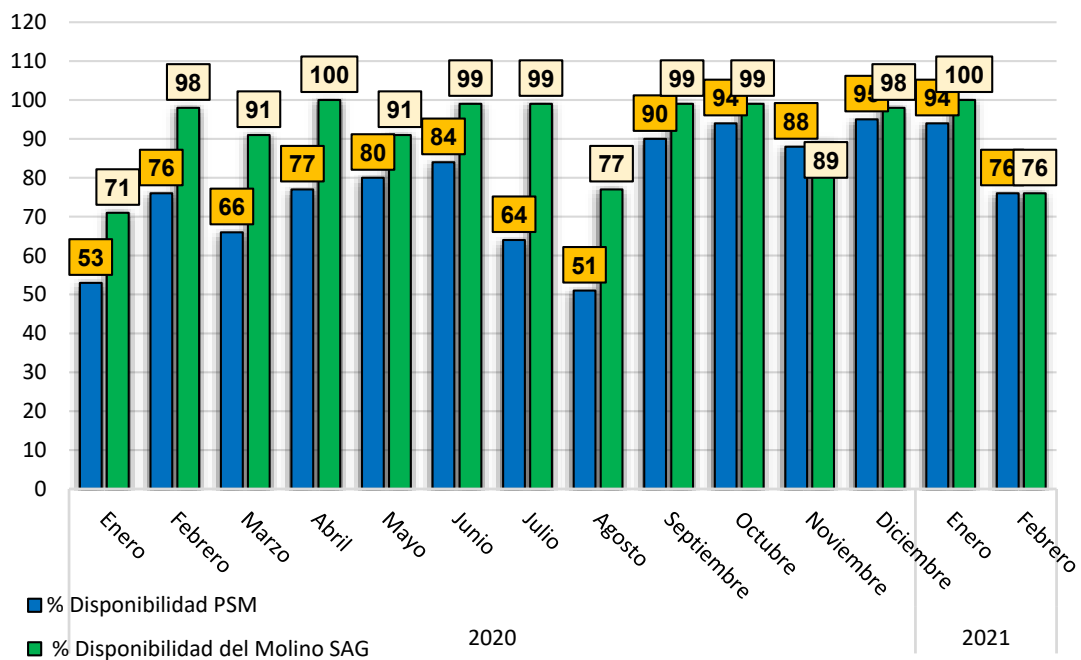


Figura 5. 67.

El % Disponibilidad Semanal del PSM1 con Respecto al SAG1

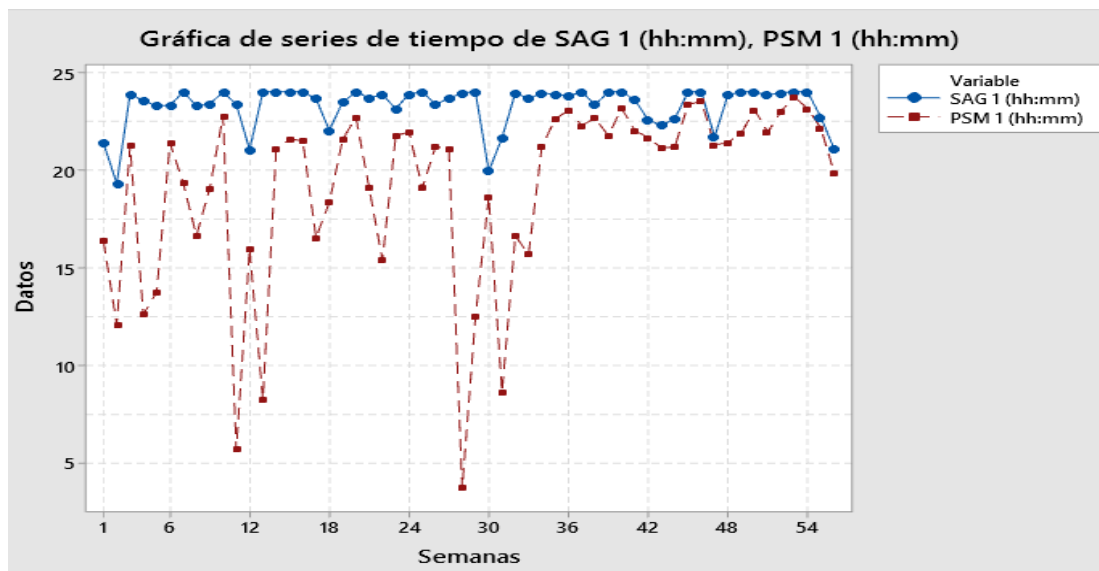


Tabla 5. 4.*% Disponibilidad Mensual del PSM y Molino SAG 1*

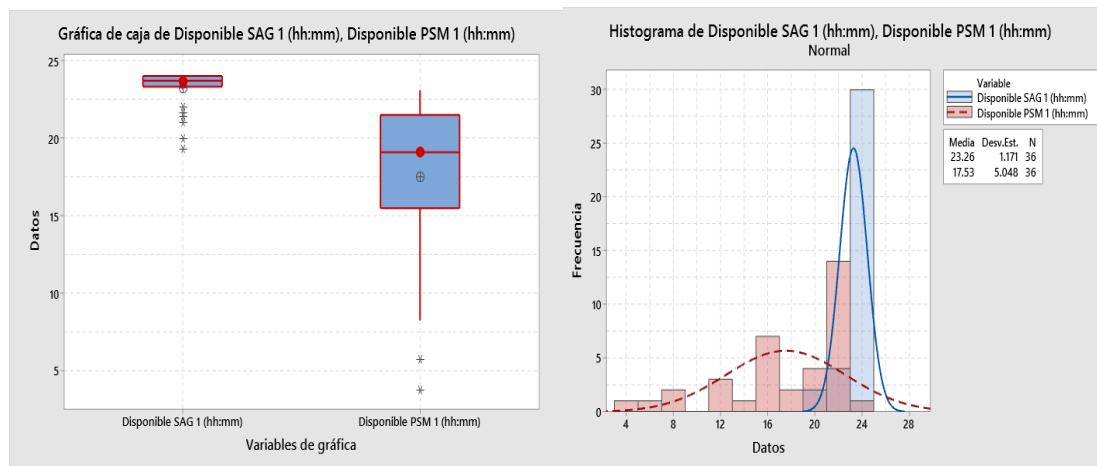
Año	Meses	Fecha y Hora		Off-Line PSM (hh:mm)	Running SAG (hh:mm)	Total Horas Mes (hh:mm)	On-Line PSM (hh:mm)	Off-Line SAG (hh:mm)	Mantenimiento SAG N°1 (días)	Mantenimiento SAG (días)	Total de Horas detenidas por circunstancias el PSM	% Disponibilidad PSM	% Disponibilidad del Molino SAG
		Inicio	Final										
2020	Enero	01/01/20 20 07:00	01/02/20 20 07:00	159.72	528.89	744.00	392.28	23	8	192.00	159.72	53	71
	Febrero	01/02/20 20 07:00	01/03/20 20 07:00	165.74	680.39	696.00	530.27	16	0	0.00	165.74	76	98
	Marzo	01/03/20 20 07:00	01/04/20 20 07:00	202.78	675.31	744.00	493.23	21	2	48.00	202.78	66	91
	Abril	01/04/20 20 07:00	01/05/20 20 07:00	167.89	720.00	720.00	552.12	0	0	0.00	167.89	77	100
	Mayo	01/05/20 20 07:00	01/06/20 20 07:00	98.00	677.24	744.00	598.00	19	2	48.00	98.00	80	91
	Junio	01/06/20 20 07:00	01/07/20 20 07:00	118.55	709.91	720.00	601.45	10	0	0.00	118.55	84	99
	Julio	01/07/20 20 07:00	01/08/20 20 07:00	269.61	736.72	744.00	474.39	7	0	0.00	269.61	64	99
	Agosto	01/08/20 20 07:00	01/09/20 20 07:00	222.48	575.61	744.00	377.52	24	6	144.00	222.48	51	77
	Septiembre	01/09/20 20 07:00	01/10/20 20 07:00	69.40	714.39	720.00	650.60	6	0	0.00	69.40	90	99
	Octubre	01/10/20 20 07:00	01/11/20 20 07:00	40.95	739.38	744.00	703.05	5	0	0.00	40.95	94	99
	Noviembre	01/11/20 20 07:00	01/12/20 20 07:00	35.63	637.65	720.00	636.37	34	2	48.00	35.63	88	89
	Diciembre	01/12/20 20 07:00	01/01/20 21 07:00	35.00	726.36	744.00	709.00	18	0	0.00	35.00	95	98
2021	Enero	01/01/20 21 07:00	01/02/20 21 07:00	44.03	742.46	744.00	699.97	2	0	0.00	44.03	94	100
	Febrero	01/02/20 21 07:00	01/03/20 21 07:00	15.53	509.52	672.00	512.47	18	6	144.00	15.53	76	76

Nota: Data PI System Control de Procesos - Las Bambas.

La figura 5.68 de grafica de cajas y bigotes muestra que el funcionamiento del molino SAG1 es constante y existe poca dispersión y valores atípicos por las paradas atípicos del molino, pero sin embargo en caso PSM presenta bastante dispersión y valores atípicos esta por detenciones constantes por circunstancias de granulometría y falla de algún componentes, entonces el PSM1, no guarda relación en el funcionamiento con el molino SAG, esta debido a bastantes detenciones por arenamientos, mantenimiento y otros factores. El histograma presenta igual manera un pico alto y constante de funcionamiento del molino SAG 1, mientras tanto del PSM1 picos bajos por paradas constantes, hasta la desviación estándar en ambos casos existe bastante diferencia y de igual manera en las medias.

Figura 5. 68.

Las Diagramas de Cajas y bigotes e Histogramas de Variables de Entrada PSM y SAG1

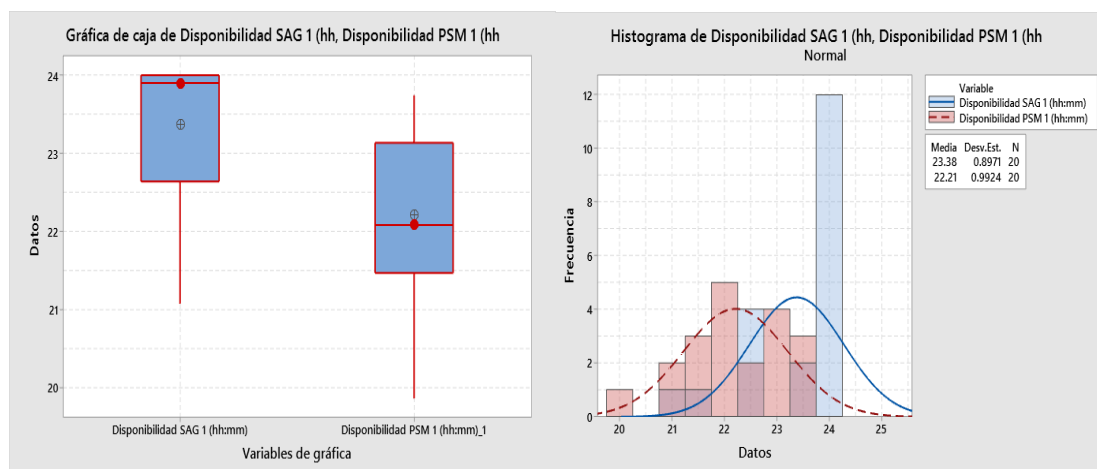


La figura 5.69 se describe que las cajas son similares en la amplitud entre PSM y molino SAG1, sin embargo, las posiciones de las cajas son distintas donde la concentración de datos del molino SAG1 está en las 22 y 24 horas, mientras del PSM está entre 21 y 23 horas está por las detenciones atípicas que se presenta en el PSM. En el histograma existe dispersión de datos del analizador con respecto al molino SAG1, Dado que el molino tiene funcionamiento continuo, mientras que PSM aun continua con detenciones atípicas, donde las medias y desviaciones estándar de los

datos aún continúan con las diferencias considerables, quiere decir que aún se requiere mejorar la funcionalidad del PSM. Haciendo la comparación con los datos de entrada del molino SAG y PSM, existe abismal diferencia tanto en las cajas y histogramas.

Figura 5. 69.

Diagramas de Cajas y bigotes e Histogramas de Variables de Salida PSM y SAG1



5.4. Discusión de resultados

Los análisis de datos de las mallas de calibraciones se realizaron para porcentaje de sólidos y las mallas 40, 50 y 70 en el analizador de partículas PSM 400MPX del overflow de los nidos de clasificadores del circuito de molienda, con la finalidad de optimizar el P_{80} y para tener un mejor control y monitoreo de la granulometría, en total en el OF1 se utilizó 105 muestras y OF2 igual también 106 muestras para el proceso de calibración, los valores estadísticos a evaluar en todas las calibraciones es el coeficiente de correlación, desviación estándar, error relativo del modelo y muestras.

5.4.1. Inferencia de resultados para porcentaje de sólidos OF1

El valor estadístico obtenido en las 5 calibraciones realizadas se tiene en la tabla 5.5, del porcentaje de sólidos del analizador de partículas de PSM 400MPX, dentro de ellos se consideraron el modelo inicial, intermedio y final.

Tabla 5. 5.

Valores Estadísticos de los Modelos para Porcentaje Sólidos

Descripción Estadístico de % Sólidos	Modelo Inicial	Tercer Modelo	Modelo Final
RMSD	2.09	1.4	1.16
Error Estándar (SE)	1.74	1.46	1.2
Error Relativo (ER)	3.59	3.07	2.53
Coefficiente de Correlación (R)	0.76	0.85	0.94
Coefficiente de Determinación (R ²)	0.59	0.73	0.89
Estadística (F)	20.79	13.73	23.26
Numero de observaciones	39	38	45
Promedio	46.72	45.38	47.12

Nota: Servidor del PSM-THE MODELER-Control de Procesos – Las Bambas.

Los valores estadísticos que se evalúan de esta tabla, es coeficiente de correlación y error relativo en cada modelo realizado, de tal forma de la tabla 5.5, se tiene del modelo de porcentaje de sólidos, donde el modelo inicial tiene un coeficiente de correlación de 76% y final de 94% quiere decir que hubo una mejora de 18%, mientras en los errores relativos de 3.59% a 2.53% tiene un incremento de 1.06%. Caso en la tabla 5.6 en los datos estadísticos de los resultados de los modelos en las muestras de calibración, donde el error relativo promedio en las muestras es de 8.8% y final de 1.60%, haciendo un incremento de mejora de 7.28%. la figura 5.70, presenta los histogramas de coeficientes y errores relativos.

Tabla 5. 6.

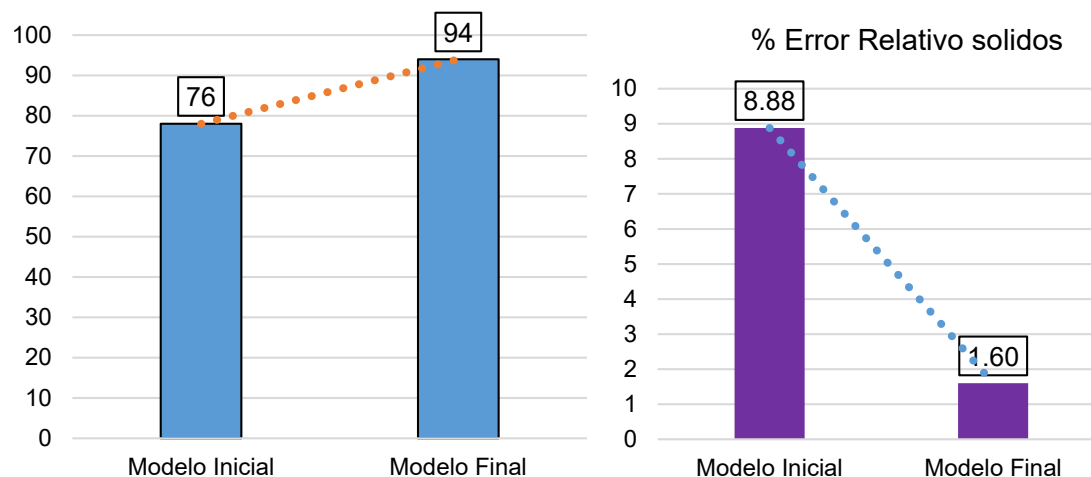
Valores Estadísticos de las Muestras de Calibración en Cada Modelo

Descripción Estadística % sólidos	Modelo Inicial (entrada)		Tercer Modelo		Modelo Final(salida)	
	Laboratorio	PSM	Laboratorio	PSM	Laboratorio	PSM
Media	48.8	46.7	49.3	48.2	50.5	50.2
Desv.Est.	2.6	5.5	3.7	5.0	2.5	2.0

Varianza	6.9	30.3	13.9	25.2	6.4	4.1
Mínimo	48.5	44.9	41.7	33.4	46.9	47.6
Máximo	54.1	52.7	54.4	52.5	54.1	52.7
# de Muestras	43	43	12	12	5	5
% Error Relativo Muestra	0.0	8.88	0.0	4.42	0.0	1.60

Figura 5. 70.

Coefficientes de Correlación en los modelos y Errores Relativos Promedio en Muestras



5.4.2. Inferencia de resultados para malla 40 OF1

El valor estadístico obtenido en las 5 calibraciones realizadas se tiene en la tabla 5.7, para la malla 40 del analizador de partículas de PSM 400MPX del OF1 dentro de ellos se consideraron el modelo inicial, intermedio y final.

Tabla 5. 7.

Valores Estadísticos de los Modelos para la Malla 40

Descripción Estadístico de malla 40	Modelo Inicial	Tercer Modelo	Modelo Final
RMSD	2.07	1.12	0.99
Error Estándar (SE)	2.1	1.17	1.03
Error Relativo (ER)	5.28	10.48	3.12
Coefficiente de Correlación (R)	0.77	0.93	0.97
Coefficiente de Determinación (R^2)	0.6	0.86	0.94
Estadística (F)	44.86	13.73	23.26
Numero de observaciones	61	38	45
Promedio	39.23	9.94	10.97

Nota: Servidor del PSM-THE MODELER-Control de Procesos – Las Bambas.

Los valores estadísticos que se evalúan de esta tabla, es coeficiente de correlación y error relativo en cada modelo realizado, de tal forma de la tabla 5.7, se tiene del modelo para la malla 40, donde el modelo inicial tiene un coeficiente de correlación de 77% y final de 97% quiere decir que hubo una mejora de 20%, mientras en los errores relativos de 5.28% a 3.12% tiene un incremento de 2.16%.

Tabla 5. 8.

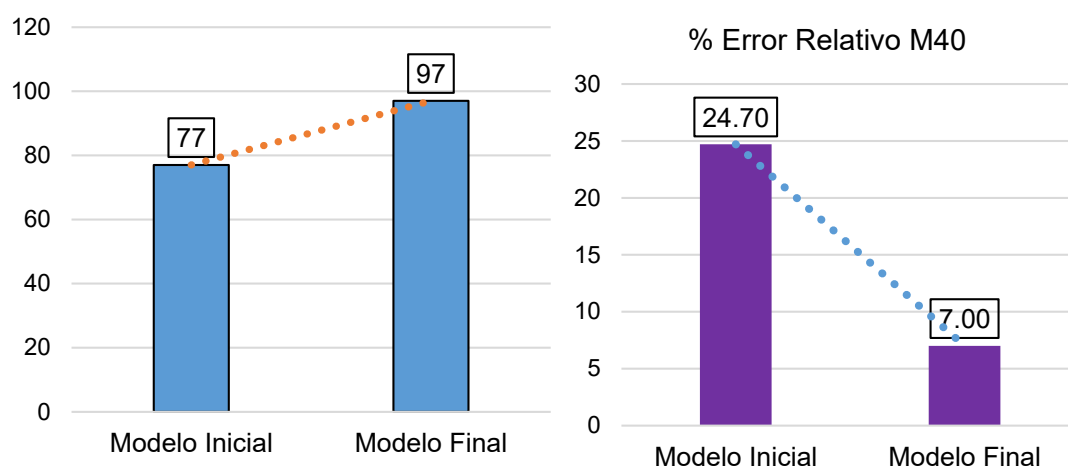
Valores Estadísticos de las Muestras de Calibración en Cada Modelo

Descripción Estadística de malla 40	Modelo Inicial(entrada)		Tercer Modelo		Modelo Final (salida)	
	Laboratorio	PSM	Laboratorio	PSM	Laboratorio	PSM
Media	11.4	10.8	13.1	11.6	15.3	14.7
Desv.Est.	3.6	2.7	4.9	3.1	4.6	4.2
Varianza	12.9	7.4	24.0	9.5	21.2	17.8
Mínimo	2.5	4.8	4.0	3.7	10.5	10.7
Máximo	11.5	11.2	12.4	12.0	13.3	12.8
# de Muestras	43	43	12	12	5	5
% Error Relativo Muestra	0.0	24.70	0.0	16.17	0.0	7.00

Caso en la tabla 5.8 en los datos estadísticos de los resultados de los modelos en las muestras de calibración, donde el error relativo promedio en las muestras es de 24.7% y final de 7%, haciendo un incremento de mejora de 17.7%. estos datos se observan en la figura 5.71.

Figura 5. 71.

Coefficientes de Correlación en los modelos y Errores Relativos Promedio en Muestras



5.4.3. Inferencia de resultados para malla 50 OF1

El valor estadístico obtenido en las 5 calibraciones realizadas se tiene en la tabla 5.9, para la malla 50 del analizador de partículas de PSM 400MPX del OF1 dentro de ellos se consideraron el modelo inicial, intermedio y final.

Tabla 5. 9.

Valores Estadísticos de los Modelos para la Malla 50

Descripción Estadístico de malla 50	Modelo Inicial	Tercer Modelo	Modelo Final
RMSD	0.97	0.60	0.46
Error Estándar (SE)	0.99	0.62	0.48
Error Relativo (ER)	17.09	6.30	5.04
Coefficiente de Correlación (R)	0.88	0.72	0.90
Coefficiente de Determinación (R^2)	0.77	0.52	0.81
Estadística (F)	69.37	13.73	23.26
Numero de observaciones	63.00	38.00	45.00
Promedio	7.30	8.89	9.38

Nota: Servidor del PSM-THE MODELER-Control de Procesos – Las Bambas.

Los valores estadísticos que se evalúan de estas tablas, es coeficiente de correlación y error relativo en cada modelo realizado, de tal forma en la tabla 5.9, se tiene el modelo para malla 50, donde el modelo inicial tiene un coeficiente de

correlación de 88% y final de 90% quiere decir que hubo una mejora de 2%, mientras en los errores relativos de 17.09% a 5.04% tiene un incremento de 12.05% de mejora.

Caso en la tabla 5.10 en los datos estadísticos de los resultados de los modelos en las muestras de calibración, donde el error relativo promedio en las muestras es de 10.56% y final de 6.20%, haciendo un incremento de mejora de 4.36%. Estos datos se observan en la figura 5.72.

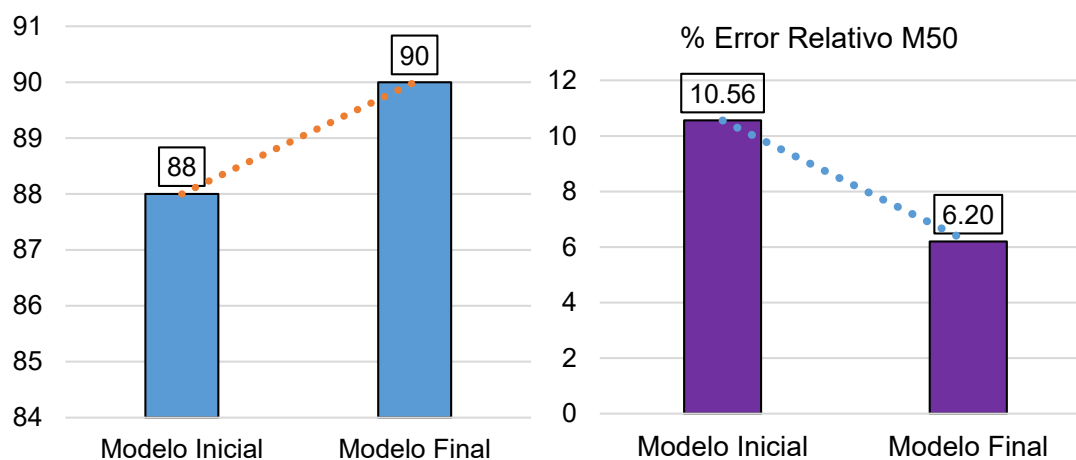
Tabla 5. 10.

Valores Estadísticos de las Muestras de Calibración en Cada Modelo

Descripción Estadística de malla 50	Modelo Inicial(entrada)		Tercer Modelo		Modelo Final (salida)	
	Laboratorio	PSM	Laboratorio	PSM	Laboratorio	PSM
Media	9.82	9.58	11.00	9.72	10.01	10.49
Desv.Est.	0.94	1.10	1.20	0.82	0.83	0.91
Varianza	0.88	1.21	1.43	0.67	0.70	0.41
Mínimo	6.85	7.85	8.53	8.56	9.15	9.48
Máximo	11.55	12.40	12.53	11.47	10.93	11.06
# de Muestras	43	43	12	12	5	5
% Error Relativo Muestra	0.0	10.56	0.0	11.42	0.0	6.20

Figura 5. 72.

Los Coeficientes de Correlación en los modelos y Errores Relativos Promedio en Muestras



5.4.4. Inferencia de resultados para malla 70 OF1

El valor estadístico obtenido en las 5 calibraciones realizadas se tiene en la tabla 5.11, para la malla 70 del analizador de partículas de PSM 400MPX del OF1 dentro de ellos se consideraron el modelo inicial, intermedio y final.

Tabla 5. 11.

Valores Estadísticos de los Modelos para la Malla 70

Descripción Estadístico de malla 70	Modelo Inicial	Tercer Modelo	Modelo Final
RMSD	0.76	0.46	0.67
Error Estándar (SE)	0.78	0.48	0.69
Error Relativo (ER)	7.81	4.54	3.82
Coefficiente de Correlación (R)	0.70	0.69	0.88
Coefficiente de Determinación (R ²)	0.50	0.48	0.77
Estadística (F)	18.91	13.73	23.26
Numero de observaciones	60.00	38.00	45.00
Promedio	10.06	10.22	10.39

Nota: Servidor del PSM-THE MODELER-Control de Procesos – Las Bambas.

Los valores estadísticos que se evalúan de estas tablas, es coeficiente de correlación y error relativo en cada modelo realizado, de tal forma en la tabla 5.11, se tiene el modelo para malla 70, donde el modelo inicial tiene un coeficiente de correlación de 70% y final de 88% quiere decir que hubo una mejora de 18%, mientras en los errores relativos de 7.81% a 3.82% tiene un incremento de 4% de mejora.

Caso en la tabla 5.12 en los datos estadísticos de los resultados de los modelos en las muestras de calibración, donde el error relativo promedio en las muestras es de 10.28% y final de 3.80%, haciendo un incremento de mejora de 6.48%. Estos datos se observan en la figura 5.73.

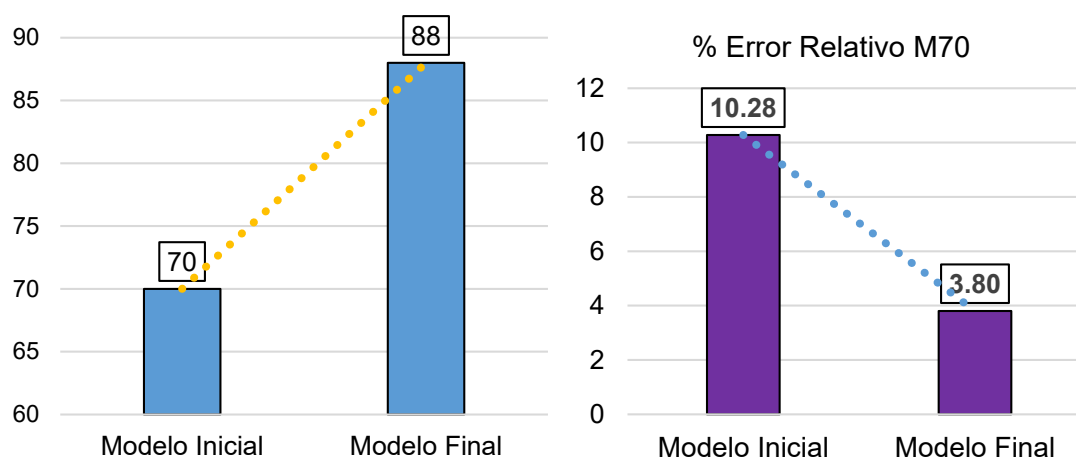
Tabla 5. 12.

Valores Estadísticos de las Muestras de Calibración en Cada Modelo

Descripción Estadística de malla 70	Modelo Inicial(entrada)		Tercer Modelo		Modelo Final (salida)	
	Laboratorio	PSM	Laboratorio	PSM	Laboratorio	PSM
Media	10.77	10.33	11.92	10.73	10.64	10.74
Desv.Est.	0.85	1.27	0.57	0.59	0.41	0.60
Varianza	0.72	1.60	0.32	0.35	0.17	0.45
Mínimo	8.86	5.30	10.84	9.89	10.06	10.45
Máximo	12.72	12.45	12.78	11.89	11.05	12.03
# de Muestras	43	43	12	12	5	5
% Error Relativo Muestra	0.0	10.28	0.0	10.08	0.0	3.80

Figura 5. 73.

Coefficientes de Correlación en los modelos y Errores Relativos Promedio en Muestras



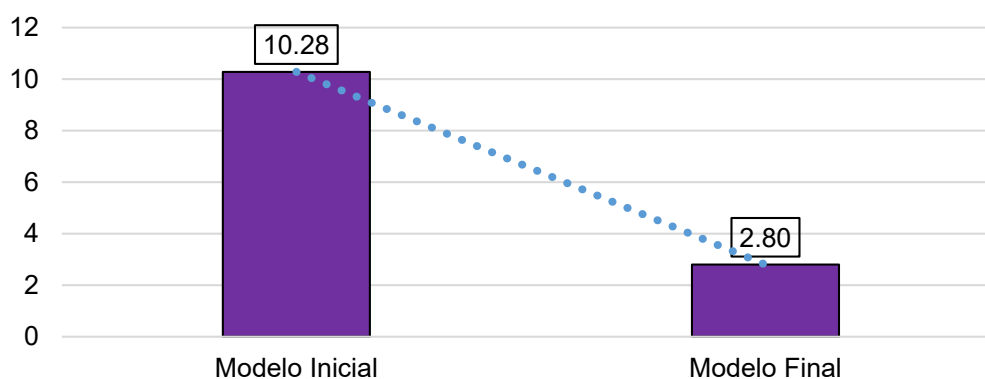
5.4.5. Inferencia de resultados para P₈₀ OF1

La tabla 5.13, presenta los valores estadísticos de P₈₀, resultado en cada modelo inicial, intermedia y final calculados por el equipo analizador y laboratorio.

Los valores estadísticos que se evalúan de estas tablas, es coeficiente de correlación y error relativo en cada modelo realizado, de tal forma en la tabla 5.13, se tiene los resultados de los modelos en las muestras de calibración, cuyos errores relativos son de 10.28% y 2.80%, haciendo un incremento en la mejora de 7.4%, la figura 5.74 muestra el histograma de errores relativos.

Tabla 5. 13.*Valores Estadísticos de P_{80} en cada Modelo*

Descripción Estadística de P_{80}	Modelo Inicial (entrada)		Tercer Modelo		Modelo Final (salida)	
	Laboratorio	PSM	Laboratorio	PSM	Laboratorio	PSM
Media	307.0	306.7	327.6	317.2	355.5	361.8
Desv.Est.	45.3	39.58	52.0	38.0	47.17	52
Varianza	2050	1566	2699	1444	2224	2793
Mínimo	198.3	149.7	237.6	233.2	306.2	301.0
Máximo	410.3	377.9	438.3	361.1	410.0	415.9
Numero de Muestras	43	43	12	12	5	5
% Error Relativo Muestra	0.0	10.28	0.0	7.75	0.0	2.80

Figura 5. 74.*Los Errores Relativos Promedios Inicial y Final de P_{80} en Muestras de Calibración*

En resumen, los resultados encontrados en calibración en porcentaje de sólidos y mallas 40, 50 y 70, que se muestra en la tabla 5.14, se evaluó con un KPI mayores a 90% en coeficientes de correlación, donde los modelos finales superaron el KPI, solo excepto la malla 70 está por debajo, quiere decir que aún requiere calibración para mejorar la correlación. Además, estos resultados de las mallas calibradas tuvieron un impacto significativo en los cálculos de P_{80} en el equipo donde están por debajo de 10% de error del KPI, véase en la tabla 4.25. Estos resultados de los modelos en los P_{80} , permitieron que el equipo tenga buen performance en la medición para el control de la granulometría en tiempo real en la molienda del circuito línea 1.

Tabla 5. 14.

Resumen de los Coeficientes de Correlación en cada Modelo en OF1

PSM OF1	MODELOS	% Solidos	Kpi>90%	Malla 40	Kpi>90%	Malla 50	Kpi>90%	Malla 70	Kpi>90%
COHEFICIENTE DE CORRELACION	Modelo inicial	78.00	Mejorable	77.00	Mejorable	88.00	Mejorable	70.00	Mejorable
	Modelo 1	76.00	Mejorable	93.00	Aceptable	85.00	Mejorable	52.00	Mejorable
	Modelo 2	89.00	Mejorable	96.00	Aceptable	80.00	Mejorable	69.00	Mejorable
	Modelo 3	85.00	Mejorable	93.00	Aceptable	72.00	Mejorable	69.00	Mejorable
	Modelo 4	91.00	Aceptable	96.00	Aceptable	83.00	Mejorable	81.00	Mejorable
	Modelo final	94.00	Aceptable	97.00	Aceptable	90.00	Aceptable	88.00	Aceptable

Tabla 5. 15.

El Resumen de los Resultados de P₈₀ en las Muestras de Calibraciones en Cada Modelo

PSM 400MPX	Modelos	% Error Relativo	KPI <10%
P ₈₀	Modelo inicial	10.28	Mejorable
	Modelo 1	6.50	Aceptable
	Modelo 2	9.09	Aceptable
	Modelo 3	7.75	Aceptable
	Modelo 4	5.90	Aceptable
	Modelo Final	2.80	Aceptable

Nota: Elaboración propia.

5.4.6. Inferencia de resultados para porcentaje de solidos OF2

El valor estadístico obtenido en las 5 calibraciones realizadas se tiene en la tabla 5.16, del porcentaje de solidos del analizador de partículas de PSM 400MPX de OF2, dentro de ellos se consideraron el modelo inicial, intermedio y final.

Tabla 5. 16.

Valores Estadísticos de los Modelos para % Solidos

Descripción Estadístico de % Solidos	Modelo Inicial	Tercer Modelo	Modelo Final
RMSD	2.2	1.66	0.97
Error Estándar (SE)	2.24	1.73	1
Error Relativo (ER)	5.64	3.69	2.03
Coefficiente de Correlación (R)	0.74	0.85	0.96
Coefficiente de Determinación (R ²)	0.56	0.73	0.92
Estadística (F)	36.48	20.21	175.92

Numero de observaciones	60	39	47
Promedio	39.2	46.57	47.52

Notas: Servidor del PSM-THE MODELER-Control de Procesos – Las Bambas.

Los valores estadísticos que se evalúan de esta tabla, es coeficiente de correlación y error relativo en cada modelo realizado, de tal forma de la tabla 5.16, se tiene del modelo de porcentaje de solidos donde, el modelo inicial tiene un coeficiente de correlación de 74% y final de 96% quiere decir que hubo una mejora de 22%, mientras en los errores relativos de 5.64% a 2.03% tiene un incremento de 3.61%. Caso en la tabla 5.17, en los datos estadísticos de los resultados de los modelos en las muestras de calibración, donde el error relativo promedio en las muestras es de 9.72% y final de 1.60%, haciendo un incremento de mejora de 8.12%.

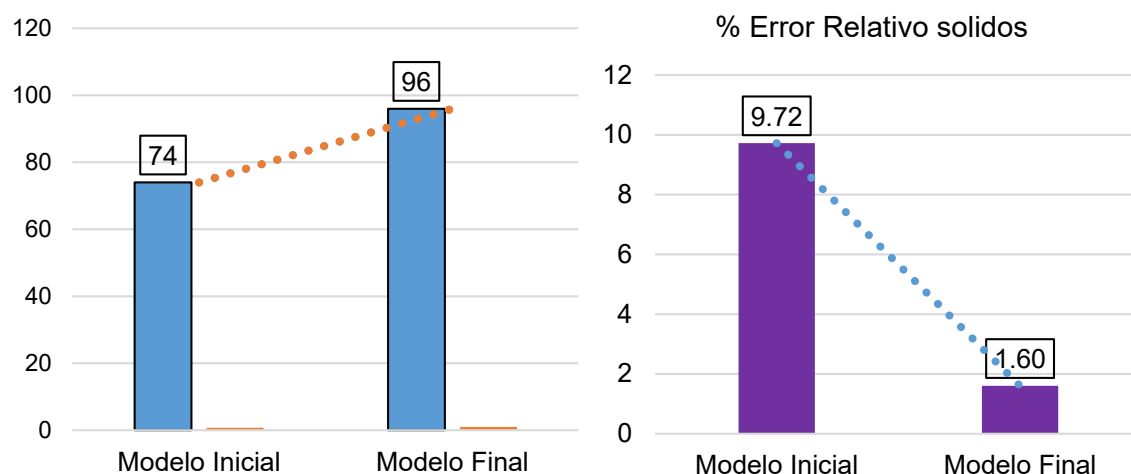
Tabla 5. 17.

Valores Estadísticos de las Muestras de Calibración en Cada Modelo

Descripción Estadística % solidos	Modelo Inicial (entrada)		Tercer Modelo		Modelo Final (salida)	
	Laboratorio	PSM	Laboratorio	PSM	Laboratorio	PSM
Media	48.61	46.67	48.57	49.27	49.62	49.09
Desv.Est.	3.50	5.215	4.40	5.57	2.77	1.95
Varianza	12.27	45.06	19.38	31.05	7.69	3.79
Mínimo	37.78	35.07	40.89	39.78	46.58	46.82
Máximo	54.50	61.04	54.87	58.92	53.60	51.10
# de Muestras	43	43	12	12	5	5
% Error Relativo Muestra	0.0	9.72	0.0	3.31	0.0	1.60

Figura 5. 75.

Coefficientes de Correlación en los modelos y Errores Relativos Promedio en Muestras



5.4.7. Inferencia de resultados para malla 40 OF2

El valor estadístico obtenido en las 5 calibraciones realizadas se tiene en la tabla 5.18, para la malla 40 del analizador de partículas de PSM 400MPX del OF2 dentro de ellos se consideraron el modelo inicial, intermedio y final.

Los valores estadísticos que se evalúan de esta tabla, es coeficiente de correlación y error relativo en cada modelo realizado, de tal forma de la tabla 5.18, se tiene del modelo para la malla 40, donde el modelo inicial tiene un coeficiente de correlación de 94% y final de 97% quiere decir que hubo una mejora de 3%, mientras en los errores relativos de 114.83% a 13.14% tiene un incremento de 101.2%.

Tabla 5. 18.

Valores Estadísticos de los Modelos para la Malla 40

Descripción Estadístico de malla 40	Modelo Inicial	Tercer Modelo	Modelo Final
RMSD	1.11	1.35	1.04
Error Estándar (SE)	1.14	1.4	1.07
Error Relativo (ER)	114.83	18.93	13.14
Coefficiente de Correlación (R)	0.94	0.94	0.97
Coefficiente de Determinación (R ²)	0.88	0.88	0.94
Estadística (F)	145.35	20.21	175.42

Numero de observaciones	60	39	47
Promedio	4.76	11.1	11.96

Nota: Servidor del PSM-THE MODELER-Control de Procesos – Las Bambas.

Caso en la tabla 5.19 en los datos estadísticos de los resultados de los modelos en las muestras de calibración, donde el error relativo promedio en las muestras es de 13.02% y final de 4.20%, haciendo un incremento de mejora de 8.8%. estos datos se observan en la figura 5.76.

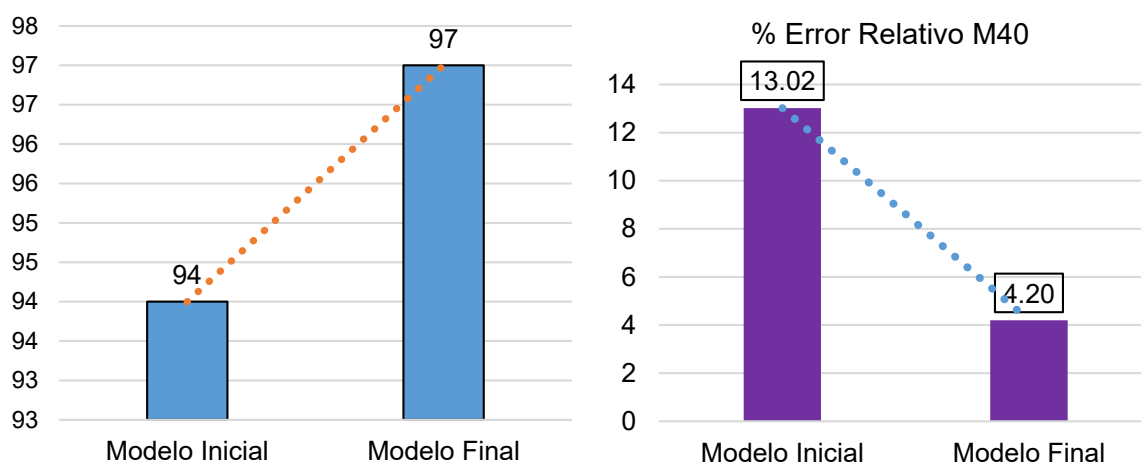
Tabla 5. 19.

Valores Estadísticos de las Muestras de Calibración en Cada Modelo

Descripción Estadística de malla 40	Modelo Inicial (entrada)		Tercer Modelo		Modelo Final (salida)	
	Laboratorio	PSM	Laboratorio	PSM	Laboratorio	PSM
Media	11.07	11.06	13.82	12.62	14.05	14.05
Desv.Est.	3.75	3.83	4.81	3.57	2.68	3.23
Varianza	14.10	14.68	23.11	12.71	10.45	7.35
Mínimo	0.98	0.81	5.35	4.63	10.16	10.30
Máximo	17.47	18.53	20.55	16.91	18.75	17.62
# de Muestras	43	43	12	12	5	5
% Error Relativo Muestra	0.0	13.02	0.0	11.92	0.0	4.20

Figura 5. 76.

Coefficientes de Correlación en los modelos y Errores Relativos Promedio en Muestras



5.4.8. Inferencia de resultados para malla 50 OF2

El valor estadístico obtenido en las 5 calibraciones realizadas se tiene en la tabla 5.20, para la malla 50 del analizador de partículas de PSM 400MPX del OF2 dentro de ellos se consideraron el modelo inicial, intermedio y final.

Tabla 5. 20.

Valores Estadísticos de los Modelos para la Malla 50

Descripción Estadístico de malla 50	Modelo Inicial	Tercer Modelo	Modelo Final
RMSD	0.95	0.65	0.47
Error Estándar (SE)	0.97	0.67	0.49
Error Relativo (ER)	16.36	6.79	5.04
Coefficiente de Correlación (R)	0.88	0.89	0.94
Coefficiente de Determinación (R ²)	0.78	0.79	0.9
Estadística (F)	72.9	20.21	276.25
Numero de observaciones	62	39	48
Promedio	7.27	9.32	9.67

Nota: Servidor del PSM-THE MODELER-Control de Procesos –Las Bambas.

Los valores estadísticos que se evalúan de esta tabla, es coeficiente de correlación y error relativo en cada modelo realizado, de tal forma en la tabla 5.20, se tiene el modelo para malla 50, donde el modelo inicial tiene un coeficiente de correlación de 88% y final de 94% quiere decir que hubo una mejora de 6%, mientras en los errores relativos de 16.36% a 5.04% tiene un incremento de 11.32% de mejora.

Tabla 5. 21.

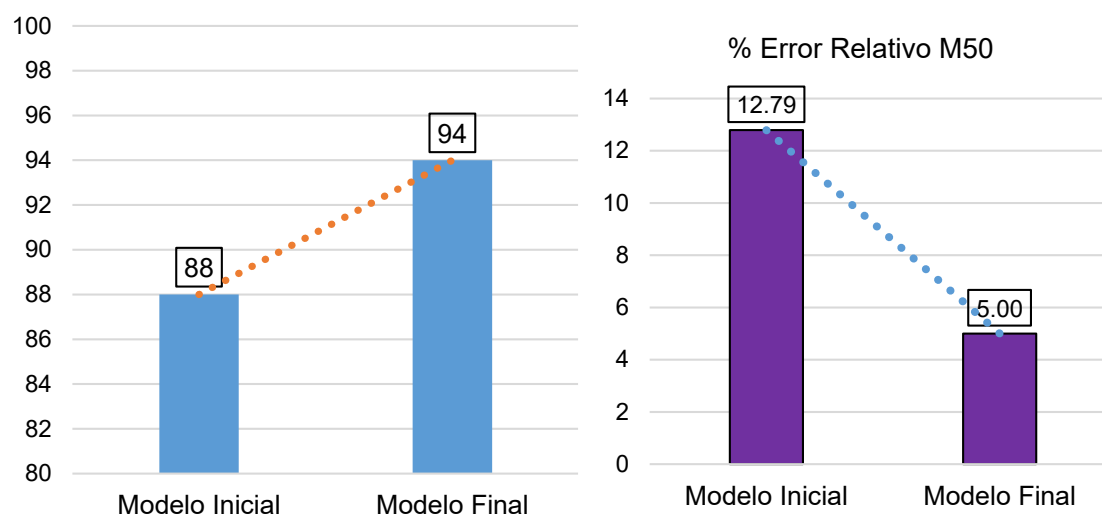
Valores Estadísticos de las Muestras de Calibración en Cada Modelo

Descripción Estadística de malla 50	Modelo Inicial (entrada)		Tercer Modelo		Modelo Final (salida)	
	Laboratorio	PSM	Laboratorio	PSM	Laboratorio	PSM
Media	9.26	9.24	10.30	9.90	9.81	9.80
Desv.Est.	1.35	1.66	1.15	0.99	0.78	0.82
Varianza	1.81	2.74	1.31	0.99	0.62	0.39
Mínimo	4.08	4.55	8.35	7.70	9.09	8.89
Máximo	11.28	12.53	12.03	10.98	11.16	10.45
# de Muestras	43	43	12	12	5	5
% Error Relativo Muestra	0.0	12.79	0.0	5.85	0.0	5.00

Caso en la tabla 5.21 en los datos estadísticos de los resultados de los modelos en las muestras de calibración, donde el error relativo promedio en las muestras es de 12.79% y final de 5.0%, haciendo un incremento de mejora de 7.8%. estos datos se observan en la figura 5.77.

Figura 5. 77.

Coefficientes de Correlación en los modelos y Errores Relativos Promedio en Muestras



5.4.9. Inferencia de resultados para malla 70 OF2

El valor estadístico obtenido en las 5 calibraciones realizadas se tiene en la tabla 5.22, para la malla 70 del analizador de partículas de PSM 400MPX del OF2 dentro de ellos se consideraron el modelo inicial, intermedio y final.

Tabla 5. 22.

Valores Estadísticos de los Modelos para la Malla 70

Descripción Estadístico de malla 70	Modelo Inicial	Tercer Modelo	Modelo Final
RMSD	0.88	0.38	0.3
Error Estándar (SE)	0.9	0.4	0.31
Error Relativo (ER)	9.15	3.56	2.83
Coefficiente de Correlación (R)	0.48	0.74	0.84
Coefficiente de Determinación (R^2)	0.23	0.55	0.72
Estadística (F)	5.99	20.21	132.03

Numero de observaciones	60	39	47
Promedio	10.06	10.6	10.83

Nota: Servidor del PSM-THE MODELER-Control de Procesos – Las Bambas.

Los valores estadísticos que se evalúan de esta tabla, es coeficiente de correlación y error relativo en cada modelo realizado, de tal forma en la tabla 5.22, se tiene el modelo para malla 70, donde el modelo inicial tiene un coeficiente de correlación de 48% y final de 84% quiere decir que hubo una mejora de 36%, mientras en los errores relativos de 9.15% a 2.83% tiene un incremento de 6.3% de mejora.

Caso en la tabla 5.23 en los datos estadísticos de los resultados de los modelos en las muestras de calibración, donde el error relativo promedio en las muestras es de 9.44% y final de 2.2%, haciendo un incremento de mejora de 7.2%. Estos datos se observan en la figura 5.78.

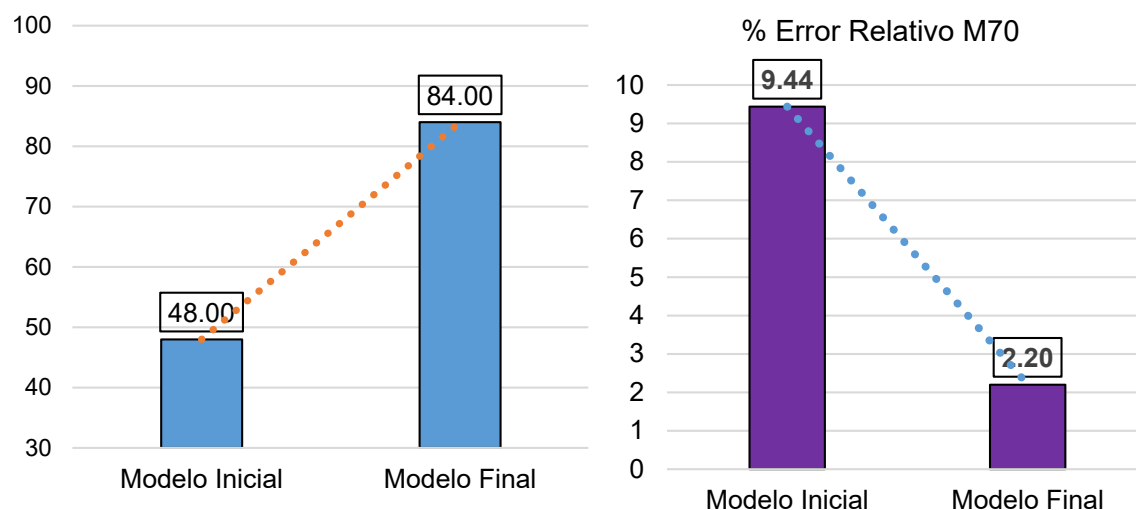
Tabla 5. 23.

Valores Estadísticos de las Muestras de Calibración en Cada Modelo

Descripción Estadística de malla 70	Modelo Inicial(entrada)		Tercer Modelo		Modelo Final (salida)	
	Laboratorio	PSM	Laboratorio	PSM	Laboratorio	PSM
Media	10.30	10.29	11.28	11.04	10.51	10.48
Desv.Est.	0.88	0.88	0.46	0.33	0.46	0.50
Varianza	0.78	0.77	0.21	0.11	0.22	0.10
Mínimo	8.07	7.85	10.40	10.24	10.01	10.11
Máximo	12.88	12.02	11.91	11.52	11.24	10.94
# de Muestras	43	43	13	13	5	5
% Error Relativo Muestra	0.0	9.44	0.0	4.31	0.0	2.20

Figura 5. 78.

Los Coeficientes de Correlación en los modelos y Errores Relativos Promedio en Muestras



5.4.10. Inferencia de resultados para P_{80} OF2

La tabla 5.24, presenta los valores estadísticos de P_{80} , resultado en cada modelo inicial, intermedia y final calculados por el equipo analizador y laboratorio.

Tabla 5. 24.

Valores Estadísticos de P_{80} en Cada Modelo

Descripción Estadística de P_{80}	Modelo Inicial		Tercer Modelo		Modelo Final	
	Laboratorio	PSM	Laboratorio	PSM	Laboratorio	PSM
Media	301.9	315.3	333.7	338.5	351.2	364.5
Desv.Est.	49.07	47.62	53.1	60.8	43.91	47.06
Varianza	3493	1970	2820	3698	1928	2215
Mínimo	172.0	176.4	252.5	230.9	290.9	292.2
Máximo	387.1	388.4	405.9	454.0	401.6	415.0
Numero de Muestras	43	43	13	13	5	5
% Error Relativo Muestra	0.0	9.26	0.0	5.46	0.0	2.80

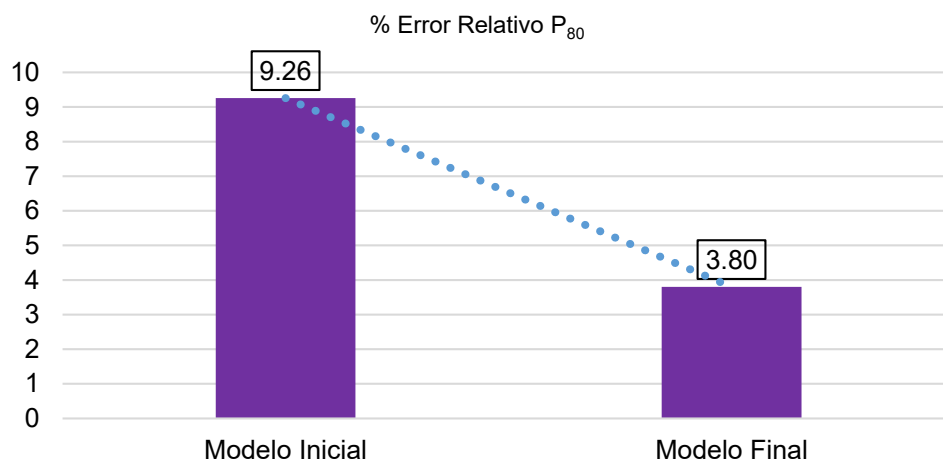
Nota: Elaboración propia en programa Minitab.

Los valores estadísticos que se evalúan de esta tabla, son los errores relativos en cada modelo realizado, de tal forma en la tabla 5.24, se tiene los resultados de los

modelos en las muestras de calibración, cuyos errores relativos son de 9.26% y 2.80%, haciendo un incremento en la mejora de 6.4%, la figura 5.79 muestra el histograma de errores relativos.

Figura 5. 79.

Los Errores Relativos Promedios Inicial y Final de P_{80} en Muestras de Calibración



En resumen, los resultados encontrados en calibración en porcentaje de sólidos y mallas 40, 50 y 70, que se muestra en la tabla 5.25, se evaluó con un KPI mayores a 90% en coeficientes de correlación en donde los modelos finales superaron el KPI, solo excepto la malla 70 está por debajo, quiere decir que aún requiere calibración para mejorar la correlación. Además, estos resultados de las mallas calibradas tuvieron un impacto significativo en los cálculos de P_{80} en el equipo donde están por debajo de 10% de error del KPI, véase en la tabla 5.26. estos resultados de los modelos en los P_{80} , permitieron que el equipo tenga buen performance en la medición para el control de la granulometría en tiempo real en la molienda del circuito línea 1.

Tabla 5. 25.

Resumen de los Coeficientes de Correlación en cada Modelo en OF2

PSM OF2	MODELOS	% Sólidos	Kpi>90%	Malla 40	Kpi>90%	Malla 50	Kpi>90%	Malla 70	Kpi>90%
COHEFICIENTE DE	Modelo inicial	74.00	Mejorable	94.00	Aceptable	88.00	Mejorable	48.00	Mejorable
	Modelo 1	89.00	Mejorable	96.00	Aceptable	97.00	Aceptable	69.00	Mejorable
	Modelo 2	89.00	Mejorable	94.00	Aceptable	85.00	Mejorable	73.00	Mejorable

CORRELACION	Modelo 3	85.00	Mejorable	94.00	Aceptable	89.00	Mejorable	74.00	Mejorable
	Modelo 4	92.00	Aceptable	94.00	Aceptable	92.00	Aceptable	77.00	Mejorable
	Modelo final	96.00	Aceptable	97.00	Aceptable	94.00	Aceptable	84.00	Aceptable

Tabla 5. 26.

Resumen de los Resultados de P₈₀ en las Muestras de Calibraciones en Cada Modelo

PSM 400MPX	Modelos	% Error Relativo	KPI <10%
P ₈₀	Modelo inicial	9.26	Mejorable
	Modelo 1	10.04	Mejorable
	Modelo 2	6.82	Aceptable
	Modelo 3	5.46	Aceptable
	Modelo 4	5.00	Aceptable
	Modelo Final	2.80	Aceptable

5.4.11. Inferencia de resultados para la disponibilidad del PSM

La tabla 5.27, de la disponibilidad del PSM 400MPX, muestra que entre enero y agosto del 2020 presenta una disponibilidad promedio mensual de 74%, pero sin embargo después de realizar la implementación de dardos neumáticos y lógicas de control en las instalaciones del analizador que inicia de setiembre del 2020 a febrero del 2021, presenta el equipo una disponibilidad operacional promedio de 94% mensual esta con respecto al funcionamiento del molino SAG1 como patrón de evaluación.

Tabla 5. 27.

Resumen de Disponibilidades del PSM por Periodos con Respecto al Molino SAG1

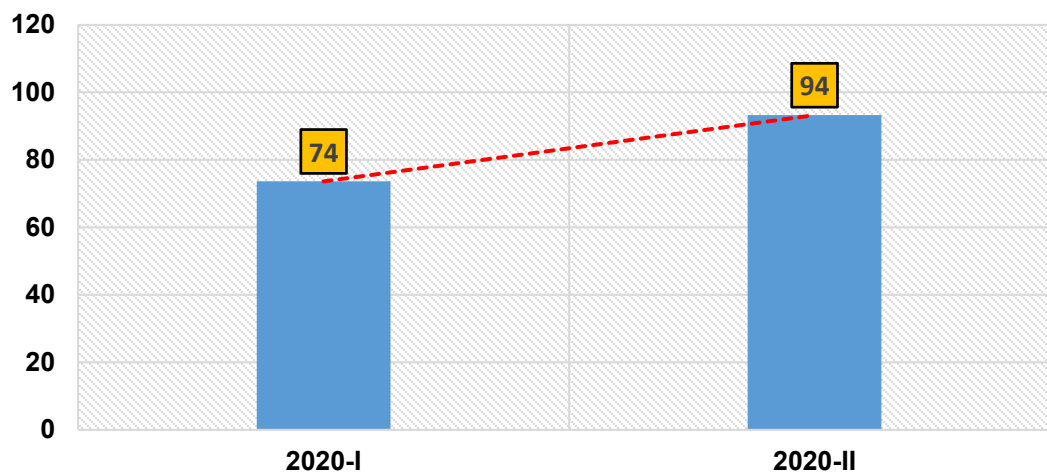
Año	Meses/periodo	% Disponibilidad del Equipo PSM	% Disponibilidad del PSM por periodo
2020-I	Enero – Agosto	74	74
2020-II	Setiembre - Diciembre	93	94
2021	Enero – Febrero	95	

De la figura 5.80 se describe que, la disponibilidad operacional del analizador PSM 400MPX tiene un incremento de 20% en la funcionalidad con respecto al molino SAG1, esta disponibilidad del equipo, permite tener datos de análisis de las mallas y P80 las 24 horas para el control de la granulometría en el circuito de molienda y ayuda

a los operadores de molienda y flotación para la toma de acción inmediata ante cualquier evento que puede suceder en el circuito.

Figura 5. 80

grafica de Barras de % Disponibilidad del PSM por Periodos con Respecto al SAG1



5.5. Prueba de hipótesis

A continuación, se identifica las variables a ser sometidas a inferencia, mediante técnicas estadísticas de verificación de hipótesis de datos independientes de las 105 muestras de OF1 y 106 muestras de OF2. Este análisis nos ha permitido evaluar la calibración de las mallas de la distribución granulométrica. Se tiene las siguientes variables:

X = % valores de % sólidos, mallas y P_{80} reportado por laboratorio metalúrgico.

Y = % valores de % sólidos, mallas y P_{80} reportado por PSM 400MPX.

Z = % de disponibilidad operacional del PSM 400MPX

A = % de disponibilidad de Molino SAG 1.

HIPOTESIS GENERAL: Con modelamientos de evaluación en las mallas se calibra el patrón P_{80} y se estabiliza las medias, donde los errores relativos son menores a 5% en el overflow de los nidos de clasificadores para el control y monitoreo de la granulometría en el circuito de molienda en la planta concentradora de las Bambas.

Esta hipótesis, se somete a verificación experimental con pruebas inferenciales, formulando hipótesis estadísticas en función de la hipótesis de investigación, a cada uno de los dos grupos de datos experimentales, en este caso para OF1 y OF2 en los resultados obtenidos en las calibraciones.

Para la validación de la hipótesis general planteada, se formula la siguiente hipótesis estadística con nivel de significancia de ($\alpha = 0.05$) para OF1 y OF2:

Hipótesis	Formulación de hipótesis
(Ho)	Las medias de P ₈₀ .LAB.MET y P ₈₀ .PSM, son iguales
(Ha)	Las medias de P ₈₀ .LAB.MET y P ₈₀ .PSM, son diferentes

Los valores de medias utilizadas para los cálculos están en la tabla 5.13 para OF1 y tabla 5.24 para OF2, para la determinación de la distribución (Z) se utilizan las ecuaciones 13 y 14 y se tiene los siguientes resultados:

Variables de entrada

$$\text{OF1} \quad \sigma_{X_{P_{80}.LAB.MET} - Y_{P_{80}.PSM}} = 31.697$$

$$\mathbf{Z = -0.325}$$

$$\text{OF2} \quad \sigma_{X_{P_{80}.LAB.MET} - Y_{P_{80}.PSM}} = 28.784$$

$$\mathbf{Z = -0.462}$$

Variables de salida

$$\text{OF1} \quad \sigma_{X_{P_{80}.LAB.MET} - Y_{P_{80}.PSM}} = 9.174$$

$$\mathbf{Z = 1.253}$$

$$\text{OF2} \quad \sigma_{X_{P_{80}.LAB.MET} - Y_{P_{80}.PSM}} = 10.428$$

$$\mathbf{Z = -1.285}$$

Los valores críticos de la distribución normal (Z) se encuentran entre -1.96 y 1.96 en el ensayo bilateral, en este caso los valores determinados de Z son: para OF1= -0.325 y OF2 = -0.462, estos valores están dentro del rango según el nivel de significancia a $\alpha = 0.05$ en las variables de entrada, en caso de variables de salida, los valores determinados de Z son: OF1 = 1.253 y OF2= -1.285, estas valores también

se encuentran dentro del rango según el nivel de significancia, quiere decir que existe diferencias insignificantes en los valores de laboratorio y PSM en los ambos resultados, entonces se confirma que la (Ho) se **acepta** donde “X” = “Y”, y se rechaza la (Ha) donde “X” ≠ “Y” en los ambos casos.

La hipótesis general planteada se valida con los resultados obtenidos en la distribución normal (Z), con un nivel de confianza al 95%, donde los valores de las medias de P₈₀ del PSM y laboratorio son iguales y los resultados promedios obtenidos en los errores relativos en las muestras de validación en OF1 y OF2 en P₈₀ están por debajo del KPI que es el 5%, con un valor real de 2.8% en ambos, entonces esta nos permite tener confianza en los resultados de medición en el PSM en tiempo real.

HIPOTESIS ESPECIFICO 1: Con las pruebas de calibraciones y correcciones, las correlaciones de las regresiones de las distribuciones granulométricas expresadas mediante una función lineal en el software the modeler en el PSM 400MPX son elevadas a más del 90% en porcentaje de sólidos, mallas 40, 50 y 70 del overflow de los nidos de clasificadores para la evaluación del patrón P₈₀ para el control y monitoreo de la granulometría en el circuito molienda de la planta concentradora de las Bambas.

Esta hipótesis, se somete a verificación experimental con pruebas inferenciales, formulando hipótesis estadísticas en función de la hipótesis de investigación, a cada uno de los dos grupos de datos experimentales, en este caso para OF1 y OF2 en las mallas de calibración. Para la validación de la hipótesis general planteada, se formula la siguiente hipótesis estadística con nivel de significancia de ($\alpha = 0.05$) para OF1 y OF2 para **porcentaje de sólidos**:

Hipótesis	Formulación de hipótesis
(Ho)	Las medias de %SOL.LAB.MET y %SOL.PSM -OF1, son iguales
(Ha)	Las medias de %SOL.LAB.MET y %SOL.PSM -OF1, son diferentes

Los valores de medias utilizadas para los cálculos están en la tabla 5.6 para OF1 y tabla 5.17 para OF2, para la determinación de la distribución (Z) se utilizan las ecuaciones 13 y 14 (para todas las mallas) y se tiene los siguientes resultados:

Variables de entrada

$$\begin{aligned} \text{OF1} \quad \sigma_{X\%SOLLAB.MET-Y\%SOL.PSM} &= 0.929 \\ \mathbf{Z} &= \mathbf{2.247} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{OF2} \quad \sigma_{X\%SOLLAB.MET-Y\%SOL.PSM} &= 0.854 \\ \mathbf{Z} &= \mathbf{-2.293} \end{aligned}$$

Variables de salida

$$\begin{aligned} \text{OF1} \quad \sigma_{X\%SOLLAB.MET-Y\%SOL.PSM} &= 1.451 \\ \mathbf{Z} &= \mathbf{0.174} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{OF2} \quad \sigma_{X\%SOLLAB.MET-Y\%SOL.PSM} &= 1.592 \\ \mathbf{Z} &= \mathbf{0.207} \end{aligned}$$

Los valores críticos de la distribución normal (Z) también se encuentran entre -1.96 y 1.96 en el ensayo bilateral (campana de gauss), en este caso los valores determinados de Z son: para OF1= 2.247 y OF2 = -2.293, estos valores están fuera del rango según el nivel de significancia a $\alpha = 0.05$, entonces se **rechaza** la (Ho) y se acepta la (Ha) en las variables de entrada, en caso de variables de salida, los valores determinados de Z son: OF1 = 0.174 y OF2= 0.207, estas valores también se encuentran dentro del rango según el nivel de significancia, quiere decir que existe diferencias insignificantes en los valores de laboratorio y PSM en los ambos resultados, entonces se confirma que la (Ho) se **acepta** donde "X" = "Y", y se rechaza la (Ha) donde "X" \neq "Y" en los ambos casos.

Para la validación de la hipótesis general planteada, se formula la siguiente hipótesis estadística con nivel de significancia de ($\alpha = 0.05$) para OF1 y OF2 para **mallá 40**:

Hipótesis	Formulación de hipótesis
(Ho)	Las medias de %M40.LAB.MET y %M40.PSM, son iguales
(Ha)	Las medias de %M40.LAB.MET y %M40.PSM, son diferentes

Los valores de medias utilizadas para los cálculos están en la tabla 5.8 para OF1 y tabla 5.19 para OF2, los resultados de la determinación de la distribución normal (Z) y se tiene los siguientes:

Variables de entrada

$$\text{OF1} \quad \sigma_{X_{\%M40.LAB.MET} - Y_{\%M40.PSM}} = 0.686$$

$$\mathbf{Z = 0.874}$$

$$\text{OF2} \quad \sigma_{X_{\%M40.LAB.MET} - Y_{\%M40.PSM}} = 0.791$$

$$\mathbf{Z = 0.013}$$

Variables de salida

$$\text{OF1} \quad \sigma_{X_{\%M40.LAB.MET} - Y_{\%M40.PSM}} = 2.78$$

$$\mathbf{Z = 0.21}$$

$$\text{OF2} \quad \sigma_{X_{\%M40.LAB.MET} - Y_{\%M40.PSM}} = 1.881$$

$$\mathbf{Z = 0.005}$$

Los valores críticos de la distribución normal (Z) también se encuentran entre -1.96 y 1.96 en el ensayo bilateral (campana de gauss), en este caso los valores determinados de Z son: para OF1= 0.874 y OF2 = 0.013, estos valores están dentro del rango según el nivel de significancia a $\alpha = 0.05$, en caso de variables de salida, los valores determinados de Z son: OF1 = 0.21 y OF2= 0.005, estos valores también se encuentran dentro del rango según el nivel de significancia, quiere decir que existe diferencias insignificantes en los valores de laboratorio y PSM en los ambos resultados, entonces se confirma que la (Ho) se **acepta** donde "X" = "Y", y se rechaza la (Ha) donde "X" \neq "Y" en los ambos casos.

Para la validación de la hipótesis general planteada, se formula la siguiente hipótesis estadística con nivel de significancia de ($\alpha = 0.05$) para OF1 y OF2 para **mall 50**:

Hipótesis	Formulación de hipótesis
(Ho)	Las medias de %M50.LAB.MET y %M50.PSM, son iguales
(Ha)	Las medias de %M50.LAB.MET y %M50.PSM, son diferentes

Los valores de medias utilizadas para los cálculos están en la tabla 5.10 para OF1 y tabla 5.21 para OF2, los resultados de la determinación de la distribución normal (Z) y se tiene los siguientes:

Variables de entrada

$$\text{OF1} \quad \sigma_{X_{\%M50.LAB.MET} - Y_{\%M50.PSM}} = 0.221$$

$$\mathbf{Z = 1.088}$$

$$\text{OF2} \quad \sigma_{X_{\%M50.LAB.MET} - Y_{\%M50.PSM}} = 0.324$$

$$\mathbf{Z = 0.031}$$

Variables de salida

$$\text{OF1} \quad \sigma_{X_{\%M50.LAB.MET} - Y_{\%M50.PSM}} = 0.470$$

$$\mathbf{Z = -1.022}$$

$$\text{OF2} \quad \sigma_{X_{\%M50.LAB.MET} - Y_{\%M50.PSM}} = 0.511$$

$$\mathbf{Z = 0.022}$$

Los valores críticos de la distribución normal (Z) también se encuentran entre -1.96 y 1.96 en el ensayo bilateral (campana de gauss), en este caso los valores determinados de Z son: para OF1= 1.088 y OF2 = 0.031, estos valores están dentro del rango según el nivel de significancia a $\alpha = 0.05$, en caso de variables de salida, los valores determinados de Z son: OF1 = -1.022 y OF2= 0.022, estas valores también se encuentran dentro del rango según el nivel de significancia, quiere decir que existe diferencias insignificantes en los valores de laboratorio y PSM en los ambos

resultados, entonces se confirma que la (Ho) se **acepta** donde “X” = “Y”, y se rechaza la (Ha) donde “X” ≠ “Y” en los ambos casos.

Para la validación de la hipótesis general planteada, se formula la siguiente hipótesis estadística con nivel de significancia de ($\alpha = 0.05$) para OF1 y OF2 para **mall 70**:

Hipótesis	Formulación de hipótesis
(Ho)	Las medias de %M70.LAB.MET y %M70.PSM, son iguales
(Ha)	Las medias de %M70.LAB.MET y %M70.PSM, son diferentes

Los valores de medias utilizadas para los cálculos están en la tabla 5.12 para OF1 y tabla 5.23 para OF2, los resultados de la determinación de la distribución normal (Z) y se tiene los siguientes:

Variables de entrada

$$\text{OF1} \quad \sigma_{X_{\%M70.LAB.MET} - Y_{\%M70.PSM}} = 0.233$$

$$\mathbf{Z = 1.859}$$

$$\text{OF2} \quad \sigma_{X_{\%M70.LAB.MET} - Y_{\%M70.PSM}} = 0.958$$

$$\mathbf{Z = 2.026}$$

Variables de salida

$$\text{OF1} \quad \sigma_{X_{\%M70.LAB.MET} - Y_{\%M70.PSM}} = 0.326$$

$$\mathbf{Z = -0.295}$$

$$\text{OF2} \quad \sigma_{X_{\%M70.LAB.MET} - Y_{\%M570.PSM}} = 0.307$$

$$\mathbf{Z = 0.098}$$

Los valores críticos de la distribución normal (Z) también se encuentran entre -1.96 y 1.96 en el ensayo bilateral (campana de gauss), en este caso los valores determinados de Z son: para OF1= 1.859 y OF2 = 2.026, el valor de OF1 está dentro del rango según el nivel de significancia a $\alpha = 0.05$ y se **acepta** la (Ho), mientras de OF2 está fuera del rango, entonces se **rechaza** la (Ho), quiere decir que existe diferencias abismales en las mediciones en línea. En caso de variables de salida, los

valores determinados de Z son: $OF1 = -0.295$ y $OF2 = 0.098$, estos valores también se encuentran dentro del rango según el nivel de significancia, quiere decir que existe diferencias insignificantes en los valores de laboratorio y PSM en los ambos resultados, entonces se confirma que la (H_0) se **acepta** donde " $X = Y$ ", y se rechaza la (H_a) donde " $X \neq Y$ " en los ambos casos.

La tabla 5.29, muestra el resumen de las pruebas de hipótesis realizados para los modelos iniciales y finales.

Tabla 5. 28.

Resumen de las Pruebas de Hipótesis

Muestra	OF1 (H_0)		OF2 (H_0)	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida
SOLIDOS	Se rechaza	Se acepta	Se acepta	Se acepta
MALLA 40	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta
MALLA 50	Se acepta	Se acepta	Se rechaza	Se acepta
MALLA 70	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta

Entonces según la tabla 5.28 indica para el OF1 y OF2 en general se ha aceptado en 7 casos la (H_0), quiere decir que los valores de las medias de 'X' y 'Y', son iguales en un 90% en OF1 y OF2. Esta nos lleva a interpretar que las correlaciones de las regresiones de las distribuciones granulométricas realizadas en las mallas y porcentaje de sólidos en el OF1 y OF2 son altas y superan los 90%, según el KPI propuesto para la evaluación. Estos resultados permitirán en cada modelo de las mallas a tener buenos resultados en los valores calculados de P_{80} de OF1 y OF2 para el control de granulometría en el circuito de la molienda. En general validamos y justificamos la primera hipótesis propuesto de la investigación.

HIPOTESIS ESPECIFICO 2. Se optimiza la disponibilidad operacional del PSM 400MPX del overflow de los nidos de hidrociclones a más del 90% mensual para el control y monitoreo del P_{80} en el circuito de molienda de la planta concentradora de las Bambas.

Esta hipótesis, se somete a verificación experimental con pruebas inferenciales, formulando hipótesis estadísticas en función de la hipótesis de investigación, a cada uno de los dos, una la disponibilidad operacional del molino SAG1 y disponibilidad operacional de analizador PSM 400MPX.

Hipótesis Formulación de hipótesis

(Ho) Las medias de Disponibilidad de molino SAG 1 y PS, son iguales

(Ha) Las medias de Disponibilidad de molino SAG 1 y PSM, son diferentes

Tabla 5. 29.

Resumen Estadístico de las Disponibilidades del SAG1 y PSM

Periodo	N (semanas)	Molino SAG1		PSM	
		Media (hh:mm)	σ (desviación estándar)	Media (hh:mm)	σ (desviación estándar)
1	36	23.26	1.17	17.53	5.048
2	20	23.38	0.90	22.21	0.99

Los valores de medias utilizadas para los cálculos están en la tabla 5.29 para la determinación de la distribución normal (Z) y se tiene los siguientes:

Variables de entrada

$$\sigma_{Z\%Disp.SAG1 - A\%Disp.PSM1} = 0.864$$

$$Z = 6.635$$

Variables de salida

$$\sigma_{Z\%Disp.SAG1 - A\%Disp.PSM1} = 0.299$$

$$Z = 3.911$$

Los valores críticos de la distribución normal (Z) también se encuentran entre -1.96 y 1.96 en el ensayo bilateral (campana de gauss), en este caso los valores determinados de Z son: En la variable de entrada es de 6.365, en este caso la (Ho) es **rechazada** y se acepta la (Ha), debido a que se encuentran fuera del rango según el nivel de significancia y en la variable de salida es de 3.911, en este caso se continua

que la (Ho) se **rechaza** y se acepta la (Ha), de igual manera se encuentra fuera del nivel de significancia en la distribución. En general estos resultados indica que existe diferencias en las disponibilidades operacionales del PSM con respecto al molino SAG1, es decir que la “Z” \neq “Y”.

Tabla 5. 30.

Resumen de las Prueba de Hipótesis de la Disponibilidad del PSM

Muestra	Ho	
	Entrada	Salida
Disponibilidad PSM vs SAG1	Se rechaza	Se rechaza

Según la tabla 5.30, la media de la disponibilidad del PSM, se rechaza la (Ho) con los datos de entrada y también se rechaza la (Ho) con datos de salida, lo que indica que **los valores de las medias de ‘A’ y ‘Z’, son distintos** se cumple que el 94% de disponibilidad operacional mensual del PSM con respecto a la disponibilidad operacional de molino SAG1 es aún insuficiente, dado que la disponibilidad operacional del molino SAG1 está en 97% mensual. Quiere decir que el funcionamiento del PSM es aun discontinua para la medición en tiempo real de las mallas y cálculo de P_{80} para el control de la granulometría en circuito de molienda. En general con estos resultados validamos la segunda hipótesis planteada de la investigación.

CONCLUSIONES

1. Se realizó la calibración del equipo PSM 400MPX en el OF1 y OF2 de los nidos de hidrociclones para la medición de la granulometría y porcentaje de sólidos de manera que los errores relativos promedios en P_{80} en las 5 muestras de validación están en 2.80% en ambos flujos y los valores de medias son iguales entre laboratorio y analizador según al nivel de confianza al 95%, por lo tanto se afirma evaluación del patrón de calibración y su estabilización del analizador del overflow para el control y monitoreo de la granulometría. estos datos permiten a los operadores de molienda y flotación la toma de acción inmediata ante cualquier evento en el circuito de molienda.
2. Los coeficientes de correlación y regresiones registradas del PSM en el software The modeler de la distribución granulométrica en los modelamientos de las ecuaciones superan los 90% en promedio en OF1 y OF2, donde los valores para porcentaje de sólidos es 95%, malla 40 es 97%, malla 50 es 92% y malla 70 es 86%, además según el nivel de significancia al 5% los valores de las medias son igual al 90% entre laboratorio y PSM en cada malla de análisis.
3. La disponibilidad operacional del PSM 400MPX para la estabilización de los datos de P_{80} y mallas de análisis en tiempo real para el control de granulometría del overflow en el circuito de molienda, durante la evaluación en un periodo de 14 meses entre 2020 y 2021, aplicando la automatización y filosofías de control implementadas alcanza un 94% de disponibilidad cada mes el equipo con respecto al molino SAG1, haciendo que la disponibilidad del molino es de 98% mensual, permitiendo tener datos más tiempo en línea para la toma de acción inmediata.

RECOMENDACIONES

1. Continuar con el proceso de calibración en las mallas con el fin de mejorar la correlación en la malla 70, debido a que se llegó a un coeficiente de correlación de 88% en el OF1 y 84% en OF2, esta con el fin de mejorar el cálculo de P_{80} .
2. Contar con un plan de muestreo anual para la recalibración de las mallas del equipo analizador de partículas y también con el fin de mantener actualizada la data de calibración y modelo en las mallas en el equipo y que ayude la precisión en la medición en línea de acuerdo a las condiciones de operación de la planta.
3. Contar con un plan de mantenimiento anual (cambio de repuestos y elaboración de tablas de agua) para el equipo analizador de partículas, con el fin de mantener la confiabilidad y disponibilidad operacional superior al 95%.
4. El circuito de agua de recirculación con la bomba que alimenta la PSM 400MPX para la generación del vacío, por el momento está conectada agua de proceso que contiene partículas y lodos y hace que daño también el TPM a largo tiempo, instalar una línea de agua fresca hacia el tanque de agua de recirculación.
5. Se sugiere automatizar el sistema de comunicación del motor acondicionador de muestras con las bombas Warman 1 y 2 que alimentan a los muestreadores estáticos y pasan como muestra representativa hacia el PSM OF1 y PF2, esta con el fin de evitar que se dañe el TPM cuando esta sin pulpa los cajones de succiones por las paradas repentinas de las bombas.
6. Realizar muestreos estratégicos para realizar una prueba de malla valorada y comparar los valores obtenido de la granulometría con el equipo analizador de partículas y de leyes.

BIBLIOGRAFÍA

- arellano Hechtle, K. A. (2017). Evaluación Técnica Del Desempeño De Pst En Planta Laguna Seca. Chile.
- Blanco, E. (s.f.). Bloque ii - Capitulo 9, Clasificacion, Cribado. España: UC.
- Carmano, 2015.
- Cuyo Ccolque, M. (2018). Puesta en Marcha de Sistema de Analizadores en Tiempo Real de Leyes de Mineral. En Área de Flotación en Mina las Bambas. Arequipa - Peru.
- Hernandez-Sampieri, R. & Mendoza. C. (2018). Metodologia de la Investigacion. Mexico.
- Jarama Chavez, G. A. (2005). Proyecto de Implementacion de un Sistema de Gestion Operacion en Planta. Lima - Peru.
- Moly- Cop Adesur S.A. (2012). Curso de Molienda de Minerales . Arequipa -Peru.
- Sánchez Quispe, H., & Fernandes Ccorihuaman, M. (2012). Fundamentos de la Estadística y Diseño Experimental para Ingenieros. Cusco - Peru.
- Taipe Quezada, J. (2015). Capitulo 6 Teoria y Tecnicas de Molienda. Iquique - Chile.
- Tapia Quezada, J. (02 de 10 de 2015). Fundamentos de la conminucion. Obtenido de <https://es.slideshare.net/pedro2914/teoria-deconminucion>
- Tapia Quezada, J. (2015). Fundamentos de la conminucion. Iquique - Chile.
- Tecsup. (2015). Manual de Operacion de Espesamiento y Filtrado. Lima - Peru.
- Tecsup. (2015). Manual de Operacion de Filtos de Concentrado. Lima - Peru.
- Tecsup. (2015). Manual de Operacion de Flotacion. Lima - Peru.
- Tecsup. (2015). Manual de Operaciones Chancado Primario. Lima - Peru.
- Tecsup. (2015). Manual de Operaciones de Area de Molienda. Lima- Peru.
- Tecsup. (2016). Fundamentos de Operacion en Planta Concentradora. Arequipa - Peru.
- Thermo Electron Corporation. (2006). PSM 400MPX Technical Manual. Australia.
- Thermo Fisher Scientific. (2017). Curso de Capacitacion Particle Size Monitor PSM 4000MPX.
- Yllanes Mesa, P. (2009). Implementación de un Sistema Automatico de Control de Tamaño de Particulas para Aumentar los Niveles de Recuperación de Oro de la Pulpa Cianurada de la Planta Gold Mill de Minera Yanacocha S.R.L. Cajamarca - Peru.
- Zumaran Ferrofin, D. M. (2017). Evaluación de la Influencia de las Variables en la Distribución Granulométrica del Producto de Molienda por Bolas de Minerales Mediante Diseños Experimentales. Arequipa - Peru.

Páginas web

- C.V., L. (30 de 10 de 2018). linkedin. Obtenido de <https://www.linkedin.com/pulse/granulometria-liec-s-a-de-c-v-/?originalSubdomain=es>
- Catalogo de Visualizaciones de Datos. (2020 de 10 de 06). Diagrama Cajas y Bigotes. Obtenido de https://datavizcatalogue.com/ES/metodos/diagrama_cajas_y_bigotes.html
- Christensen, C. (10 de Mayo de 2018). Presentacion de Confiabilidad y Disponibilidad. Obtenido de <http://docplayer.es/>: <http://docplayer.es/48175563-Presentacion-confiabilidad-disponibilidad-tipos-de-mantenimiento-y-tendencias-clasificacion-del-mantenimiento.html>
- Wikipedia. (13 de Octubre de 2021). Regresión lineal. Obtenido de Wikipedia, la enciclopedia libre: https://es.wikipedia.org/wiki/Regresi%C3%B3n_lineal
- Wikipedia. (10 de 12 de 2021). Wikipedia, la enciclopedia libre. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Granulometr%C3%ADa#:~:text=La%20granulometr%C3%ADa%20es%20el%20estudio,o%20de%20un%20l%C3%ADquido%20multif%C3%A1sico.>
- Wikipedia. (04 de 07 de 2022). Wikipedia, la enciclopedia libre. Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Fiabilidad_\(psicometr%C3%ADa\)#:%7E:text=La%20Confiabilidad%20es%20la%20%22capacidad,que%20queremos%20que%20lo%20haga.](https://es.wikipedia.org/wiki/Fiabilidad_(psicometr%C3%ADa)#:%7E:text=La%20Confiabilidad%20es%20la%20%22capacidad,que%20queremos%20que%20lo%20haga.)
- Consultores, B. (19 de 06 de 2021). Online Tesis. Obtenido de Análisis Univariante: <https://online-tesis.com/analisis-univariante/>
- datavizcatalogue. (06 de 10 de 2020). Diagrama Cajas y Bigotes. Obtenido de https://datavizcatalogue.com/ES/metodos/diagrama_cajas_y_bigotes.html
- Desconocido. (s.f.). Google Arts & Culture. Obtenido de https://artsandculture.google.com/entity/mineral/m04tc_?hl=es
- Diccionario. (08 de Junio de 2020). Diámetro medio aritmético, D50. Obtenido de Diccionario ✓: <https://www.diccionario.geotecnia.online/palabra/diametro-medio-aritmetico-d50/>
- Electrin. (29 de Mayo de 2016). Estructura básica de un PLC. Obtenido de WordPress.com: <https://electrinblog.wordpress.com/2016/04/24/post-2/>
- Elgueta, H. (20 de 04 de 2022). Metso Outotec. Obtenido de <https://www.mogroup.com/es/informacion/blog/mineria-y-refinacion-de-metales/la-importancia-del-proceso-de-flotacion-de-minerales/#:~:text=El%20proceso%20de%20flotaci%C3%B3n%20de,cual%20tiene%20un%20efecto%20directo>

- FICEM. (7 de Setiembre de 2016). Cinco Elementos Fundamentales para lograr la Excelencia Operativa. Obtenido de Ficem.org/boletines: http://www.ficem.org/boletines/Boletines_2016/BOLETIN-DE-RESULTADOS-CT-2016/PRESENTACIONES/MIERCOLES/10_FICEM%202016%20-%20Alejandro%20Espejel.pdf
- Fuenmayor, E. (17 de Mayo de 2020). Analisis de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad de un Sistema de Bombeo. Obtenido de LinkedIn: <https://es.linkedin.com/pulse/analisis-de-confiabilidad-disponibilidad-y-un-sistema-edgar#:~:text=La%20disponibilidad%20Operacional%20representa%20el,paros%20programados%20y%20no%20programados.>
- Hekmat, A., & Muñoz Gomez, S. A. (17 de 01 de 2020). Repositorio BibEvaluación y calibración de software para la obtención de granulometría mediante análisis digital de imágenes. Obtenido de Bibliotecas UdeC Repositorio: <http://repositorio.udec.cl/handle/11594/343>
- KEIKA. (31 de Enero de 2020). Los 5 Niveles de la Automatización Industrial. Obtenido de SEIKA Automation | Automatización Industrial: <https://www.seika.com.mx/5-niveles-de-la-automatizacion-industrial/>
- Laboratorio Caltex Sistemas. (17 de 03 de 2022). CALTEX | Tu proveedor único en calibración. Obtenido de <https://www.caltex.es/que-es-la-calibracion-de-un-instrumento/>
- Lopez, J. F. (19 de Febrero de 2021). Coeficiente de determinación (R cuadrado). Obtenido de Economipedia: <https://economipedia.com/definiciones/r-cuadrado-coeficiente-determinacion.html>
- Minitab 18. (2022). (C) Minitab, LLC. All rights Reserved. 2022. Obtenido de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/data-concepts/what-is-the-standard-deviation/#:~:text=La%20desviaci%C3%B3n%20est%C3%A1ndar%20es%20la,la%20dispersi%C3%B3n%20de%20los%20datos.>
- Molina Zuñiga, R. (08 de Abril de 2016). Operaciones Mecanicas. Obtenido de dokumen.tips: <https://dokumen.tips/documents/carcamo-hugo-operaciones-mecanicas-metalurgiapdf.html>
- Nexus Integra. (3 de Enero de 2022). 10 beneficios de contar con un sistema de automatización industrial. Obtenido de Nexus Integra: <https://nexusintegra.io/es/10-beneficios-de-contar-con-un-sistema-de-automatizacion-industrial/#:~:text=Los%20sistemas%20de%20automatizaci%C3%B3n%20industrial,trabajo%20humano%20en%20la%20industria.>
- Ortega, C. (07 de 03 de 2022). QuestionPro. Obtenido de <https://www.questionpro.com/blog/es/la-media-la-mediana-y-la-moda/#:~:text=La%20media%2C%20tambi%C3%A9n%20conocida%20como,es%20la%20cantidad%20de%20valores>

Prado Cachay, J. O. (25 de 08 de 2014). Aplicación de los Analizadores en Línea en el Proceso de Flotación. Obtenido de Scribd: <https://es.scribd.com/doc/171042064/Aplicacion-de-Analizadores-en-Linea-Rev>

Ramirez, N. (2011). Pro Industriales. Obtenido de <http://proindustriales.blogspot.com/2013/05/molienda.html#:~:text=La%20molienda%20es%20una%20operaci%C3%B3n%20unitaria%20que%20reduce%20el%20volumen,mec%C3%A1nicos%20hasta%20el%20tama%C3%B1o%20deseado.>

Red Hat. (10 de 05 de 2022). Obtenido de <https://www.redhat.com/es/topics/automation#:~:text=La%20automatizaci%C3%B3n%20consiste%20en%20usar,lleven%20a%20cabo%20tareas%20repetitivas.>

Rodó, P. (26 de 01 de 2021). Economipedia. Obtenido de <https://economipedia.com/definiciones/niveles-de-significacion.html#:~:text=Los%20niveles%20de%20significaci%C3%B3n%20son,una%20prueba%20de%20inferencia%20estad%C3%ADstica.>

Rodríguez, P. (23 de 09 de 2020). unprofesor.com. Obtenido de [https://www.unprofesor.com/matematicas/que-es-el-error-absoluto-y-el-error-relativo-1176.html#:~:text=El%20error%20absoluto%20\(Ea\)%20es,trata%20de%20un%20valor%20absoluto.](https://www.unprofesor.com/matematicas/que-es-el-error-absoluto-y-el-error-relativo-1176.html#:~:text=El%20error%20absoluto%20(Ea)%20es,trata%20de%20un%20valor%20absoluto.)

de Capacitacion Particle Size Monitor PSM 4000MPX. Apurimac- Las Bambas.

Vitc. (12 de Julio de 2019). ¿Qué es y cómo funciona la automatización Industrial? Obtenido de Vester training: <https://vestertraining.com/blog/automatizacion-industrial-que-es-como-funciona/>

Westreicher, G. (27 de 05 de 2020). Economipedia. Obtenido de <https://economipedia.com/definiciones/optimizacion.html#:~:text=La%20optimizaci%C3%B3n%20en%20general%20implica,hallar%20la%20soluci%C3%B3n%20m%C3%A1s%20conveniente.>

ANEXOS

Anexo 1: Procesamiento de las muestras

1. Procedimiento para toma de muestras de calibración del equipo

Toma de muestras para la calibración del equipo analizador PSM 400MPX para ambos flujos OF1 y OF2, se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- a. Se realiza la inspección de los sensores ultrasónicos A emisor y B receptor de ambos canales OF1 y OF2, si se observa depósitos de carbonatos y/o óxidos se procede a limpiar con cepillo y ácido clorhídrico al 10%.
- b. Realizar la estandarización de cada equipo manualmente.
- c. Obtener una muestra de calibración sin flujos, con la finalidad de limpiar los conductos de muestreo de cada línea.
- d. Obtener muestras de calibración en recipientes de 2.5 litros de los flujos OF1 y OF2, se observa en la figura 1. frascos con muestras de pulpa de calibración. Registrar la hora de muestreo y pulp factor de cada muestra de calibración para corroborar en Microsoft Access.

2. Preparación mecánica de muestras en laboratorio Metalúrgico

La preparación de muestras se realiza en laboratorio Metalúrgico de la siguiente manera:

a. Recepción de las muestras

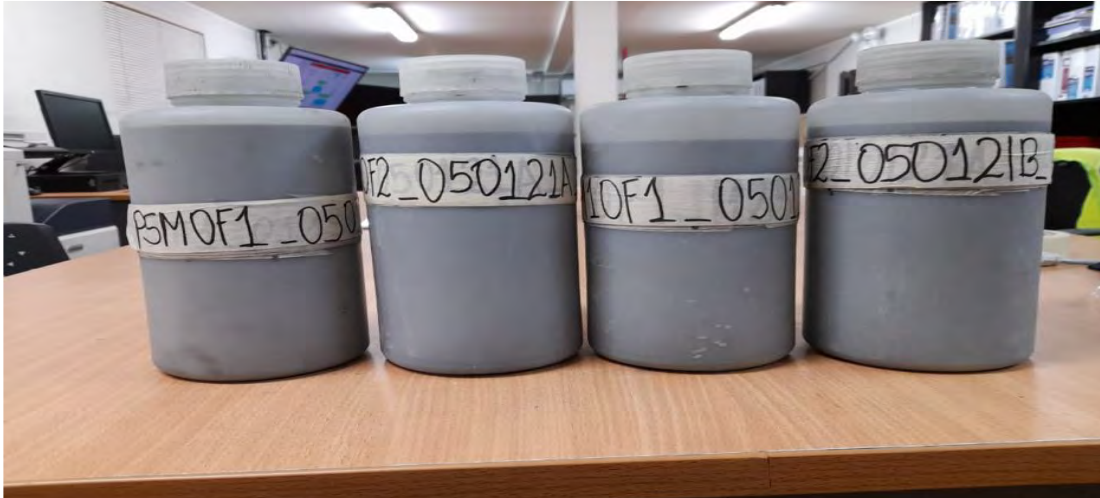
- ✓ Realizar el peso húmedo de la muestra: Poner la balanza en cero, pesar muestra con recipiente incluido (pomo).
- ✓ Registrar el peso total (peso inicial de muestra más envase).

b. Deslamado y secado de secado de muestras

- ✓ Para el deslamado usar malla 400.

Figura 1.

Los Tachos con Muestras de Calibración



Nota: Control de Procesos – Las Bambas.

- ✓ Con la malla adecuada se vierte un poco de muestra sobre ella, se agrega agua y se agita constantemente sin derramar o que salpique parte de la muestra al exterior, se procede con la operación hasta que el agua que pasa por el tamiz sea clara. Continuar hasta terminar todo el contenido del pomo o bolsa, en la figura 2. se tiene pulpa en proceso de deslamado.

Figura 2.

Deslamado de Muestras en el Equipo Deslamador



Nota: Laboratorio Metalúrgico – Las Bambas.

- ✓ El retenido de la malla se vierte en una bandeja limpia y se lava la malla sobre la bandeja para retirar todo el contenido y no perder muestra.

- ✓ Dejar la bandeja por unos minutos para que sedimente las partículas, finalmente escurrir el exceso de agua y colocar las bandejas en el horno. Después de aproximadamente 1 a 2 horas de secado se saca las bandejas para su enfriamiento.
- ✓ El pasante de la malla se junta en baldes al que luego se añadirá aproximadamente 300 ml de floculante preparado de 0.02 a 0.04 g/l, para sedimentar las lamas. Después de un tiempo, cuando se verifique la parte sedimentada de la parte clara escurrir los baldes sin derramar muestra (dicha muestra seca se denomina menos 400), la figura 3. se tiene ripio en los baldes y muestra floculada en la bandeja.

Figura 3.

El Ripio de la Muestra y Floculada



Nota: Laboratorio Metalúrgico – Las Bambas.

- ✓ Finalmente se vierte la muestra floculada y muestra deslamada en unas bandejas codificadas para su secado en el horno de ambas muestras aproximadamente 1 a 2 horas y posteriormente el pesado, figura 4.

Figura 4.

EL Secado de Muestras Deslamadas y Ripios



Nota: Laboratorio Metalúrgico – Las Bambas.

c. Análisis granulométrico del mineral

- ✓ Se tiene un juego de tamices previamente inspeccionadas, seleccionadas y rotuladas para análisis granulométrico del mineral.
- ✓ Se tiene tamiz armado figura 5, y colocar cinta masking alrededor de todo el juego para sellar la unión de cada tamiz y minimizar pérdidas durante el tamizado.
- ✓ Se lleva a ROT UP, figura 5, y se programa un tiempo de 15 minutos de tamizado.
- ✓ Se vierte la muestra sobre el juego de tamices; se limpia la bandeja con brocha y espátula para remover todo el contenido de la muestra de la bandeja.
- ✓ Pasado el tiempo de tamizaje se retira la cinta y pesar el retenido de cada malla, antes limpiar con espátula cada malla debido a que se puede incrustado mineral en los tamices, la figura 6 muestra el pesado de muestras y registro de datos.

Figura 5.*EL Banco de Tamiz y Rot Up***Nota:** Laboratorio Metalúrgico – Las Bambas.**Figura 6.***Pesado de Muestras Retenidos en cada Malla y Registro***Nota:** Laboratorio Metalúrgico – Las Bambas.**d. Reporte de resultados**

- ✓ Todos los datos obtenidos se abre la plantilla Excel, una hoja por cada muestra. Se empieza colocando Código de muestra y fecha. Se añade los pesos retenidos, así como el peso del menos 400, se presenta un ejemplo los resultados en tabla 1 de OF1, además en resumen los resultados de P_{80} , peso húmedo y seco,

porcentaje de sólidos en la tabla 2 y la figura 7 de perfil granulométrico de la tabla 1.

Tabla 1. Algunos Resultados de Muestra de Calibración PSMOF1

PROPOSITO : Calibración PSM 4000MPX

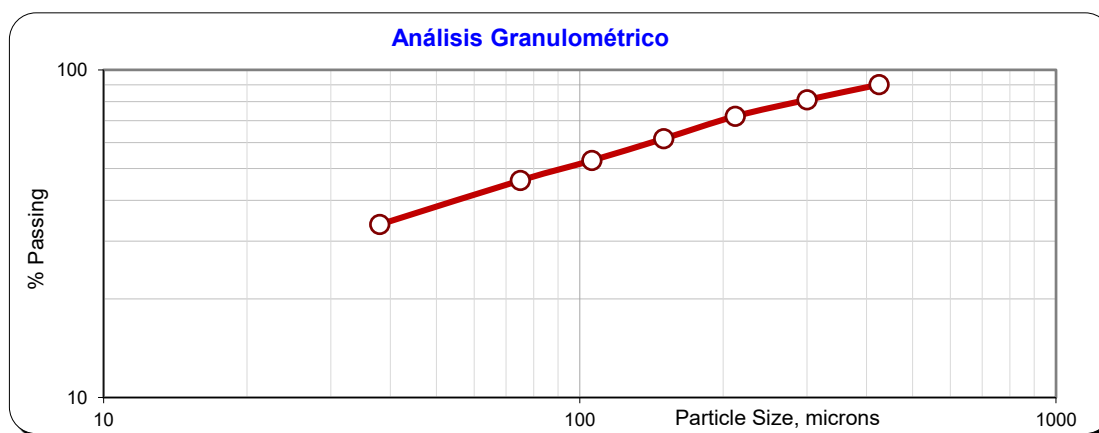
CODIGO MUESTRA : PSMOF1_022220A_0904

FECHA RECEPCION : 22/02/2020

No. MALLA ASTM	ABERTURA μm	PESO g	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
40	425	71.47	9.81	9.81	90.19
50	300	66.54	9.13	18.94	81.06
70	212	64.57	8.86	27.80	72.20
100	150	76.62	10.52	38.32	61.68
140	106	63.77	8.75	47.07	52.93
200	75	50.49	6.93	54.00	46.00
400	38	89.28	12.25	66.25	33.75
-400	-38	245.93	33.75	100.00	0.00
TOTAL		728.67	100.00		

Nota: Laboratorio Metalúrgico – Las Bambas.

Figura 7. Perfil granulométrico de la tabla 1.



Nota: Laboratorio Metalúrgico – Las Bambas.

Tabla 2. Resultados de pesos, % sólidos y P₈₀ del PSM OF1 y OF2

Ítem	Producto	Peso Húmedo (g)	Peso Seco (g)	% Sólidos	P ₈₀ micrones
1	PSMOF1_022220A_0904	1418.56	728.67	51.37	288
2	PSMOF2_022220A_0844	1425.89	777.10	54.50	363

Nota: Laboratorio Metalúrgico – Las Bambas.

Anexo 2: Base de datos de calibración para primer modelo OF1

Comparativa entre laboratorio y analizador en porcentaje de sólidos, malla 40, malla 50, malla 70 y P80																														
Modelos	N°	FLUJO DE MUESTREO	NOMBRE DEL TACHO	DÍA (MUESTREO)	Pulp Factor N°1	Pulp Factor N°3	Pulp Factor N°5	Pulp Factor N°2	Pulp Factor N°4	Pulp Factor N°6	% Sólidos Lab.	% Sólidos OF1 PSM	Error Absoluto	% Error Relativo	425 (um)				300 (um)				212 (um)				P80 (um)			
															Malla 40 Lab. Met.	Malla 40 OF1 PSM	Error Absoluto	% Error Relativo	Malla 50 Lab. Met.	Malla 50 OF1 PSM	Error Absoluto	% Error Relativo	Malla 70 Lab. Met.	Malla 70 OF1 PSM	Error Absoluto	% Error Relativo	P80 Lab. Met.	P80 OF1 PSM	Error Absoluto	% Error Relativo
Primer Modelo para % sólidos, malla 40, malla 50 y malla 70	1	OF-1	PSMOF1 010220A 0839	02-ene-20	30.5394	45.4783	57.2767	4.4368	6.0478	7.1701	48.36	43.33	5.03	10	14.94	11.54	3.39	23	9.56	10.82	-1.26	13	12.14	11.35	0.79	6	345.00	319.51	25.49	7
	2	OF-1	PSMOF1 010320A 0842	03-ene-20	28.6727	42.6531	52.9427	4.233	6.6399	6.7757	42.64	44.70	-2.06	5	13.19	12.09	1.11	8	10.76	11.82	-1.06	10	10.47	12.04	-1.57	15	332.00	343.02	-11.02	3
	3	OF-1	PSMOF1 010420A 0856	04-ene-20	32.9817	49.0416	61.2716	4.39	6.1653	7.2452	48.99	44.89	4.11	8	18.39	11.37	7.02	38	10.65	11.82	-1.17	11	11.91	12.10	-0.19	2	400.04	344.13	55.91	14
	4	OF-1	PSMOF1 012020A 0908	20-ene-20	33.6629	49.6264	61.4571	4.3663	6.2362	7.3333	48.34	43.45	4.89	10	19.00	8.81	10.18	54	11.35	11.02	0.33	3	11.31	11.66	-0.35	3	410.26	323.72	86.54	21
	5	OF-1	PSMOF1 012720A 1052	27-ene-20	30.3648	43.1815	57.3693	4.4964	6.0197	7.2464	48.14	45.50	2.64	5	14.39	12.73	1.66	12	10.50	12.40	-1.90	18	12.72	12.45	0.27	2	344.86	357.78	-12.92	4
	6	OF-1	PSMOF1 020520A 0936	05-feb-20	35.8301	52.2614	63.393	5.0762	6.8083	7.9397	51.81	43.01	8.80	17	15.66	11.52	4.14	26	10.90	11.45	-0.55	5	10.78	12.14	-1.37	13	363.44	327.73	35.71	10
	7	OF-1	PSMOF1 021320B 2210	05-feb-20	31.0005	45.1165	59.4939	4.2765	5.7397	6.9731	48.99	41.41	7.58	15	16.04	8.46	7.59	47	10.53	9.78	0.74	7	11.07	11.07	0.00	0	366.38	280.09	86.29	24
	8	OF-1	PSMOF1 021020A 1219	10-feb-20	23.794	35.4966	47.9729	4.0144	5.038	6.1463	47.20	41.06	6.14	13	8.33	7.28	1.05	13	9.94	8.68	1.26	13	10.55	10.37	0.18	2	275.78	260.68	15.09	5
	9	OF-1	PSMOF1 021520A 0955	15-feb-20	22.5641	32.4766	44.2493	3.8551	4.8343	5.904	44.63	42.30	2.33	5	9.19	9.57	-0.39	4	9.53	10.23	-0.70	7	10.16	11.16	-1.00	10	278.62	300.69	-22.08	8
	10	OF-1	PSMOF1 021520B 2218	15-feb-20	26.6439	38.3935	53.3321	4.0071	5.4562	6.5367	46.80	40.35	6.45	14	13.05	7.18	5.87	45	10.44	9.09	1.35	13	10.66	10.82	-0.16	1	327.87	271.28	56.59	17
	11	OF-1	PSMOF1 021920A 1040	19-feb-20	21.8217	32.153	44.0768	3.7844	4.781	5.729	45.82	36.42	9.40	21	7.22	4.83	2.38	33	9.28	10.20	-0.92	10	10.12	9.19	0.92	9	259.21	149.71	109.50	42
	12	OF-1	PSMOF1 022120A 0949	21-feb-20	12.8642	20.14	28.9184	2.5123	3.061	3.6652	41.14	41.87	-0.73	2	2.51	10.39	-7.88	314	6.85	10.13	-3.28	48	8.86	11.39	-2.53	29	198.25	297.24	-99.00	50
	13	OF-1	PSMOF1 022220A 1013	22-feb-20	27.1622	40.7561	53.8886	4.1135	5.3314	6.511	49.39	41.59	7.80	16	10.17	7.79	2.38	23	10.17	8.93	1.24	12	10.41	10.65	-0.24	2	293.82	275.60	18.23	6
	14	OF-1	PSMOF1 022320A 0921	23-feb-20	23.9642	34.2683	46.6982	4.1238	6.2343	6.2543	47.17	44.03	3.14	7	8.40	11.38	-2.98	35	8.73	10.87	-2.15	25	9.94	11.44	-1.49	15	263.69	324.77	-61.08	23
	15	OF-1	PSMOF1 022420A 1000	24-feb-20	30.9198	44.8907	55.9054	4.7687	6.3243	7.4722	48.54	40.38	8.15	17	8.62	7.32	1.30	15	8.97	9.42	-0.46	5	10.22	11.03	-0.81	8	268.69	277.11	-8.42	3
	16	OF-1	PSMOF1 022520A 0956	25-feb-20	20.8509	31.2289	53.6524	3.5758	4.5118	5.3997	44.62	43.88	0.75	2	8.10	10.65	-2.55	32	9.69	10.73	-1.04	11	10.57	11.20	-0.64	6	271.63	321.02	-49.39	18
	17	OF-1	PSMOF1 022620A 0854	26-feb-19	29.3202	41.2016	54.4183	4.4313	5.9252	6.9225	47.88	44.13	3.75	8	11.36	11.49	-0.13	1	10.83	10.97	-0.14	1	10.92	11.46	-0.54	5	312.44	326.89	-14.45	5
	18	OF-1	PSMOF1 022719A 0942	27-feb-20	30.5868	44.7749	57.3487	4.7595	6.3406	7.42	51.15	42.93	8.21	16	12.89	8.94	3.95	31	10.69	9.25	1.45	14	10.20	10.68	-0.48	5	328.18	288.56	39.62	12
	19	OF-1	PSMOF1 022820A 0933	28-feb-20	25.8096	37.4838	48.3132	4.6192	5.9016	6.9935	48.61	41.83	6.78	14	9.01	9.32	-0.31	3	8.80	9.27	-0.48	5	9.75	10.74	-1.00	10	269.12	282.66	-13.54	5
	20	OF-1	PSMOF1 030120A 0857	01-mar-20	26.2687	40.6679	52.3591	4.3506	5.708	6.6836	47.86	42.45	5.42	11	11.89	9.27	2.62	22	9.29	9.80	-0.51	6	10.80	11.06	-0.25	2	302.41	295.16	7.25	2
	21	OF-1	PSMOF1 030220A 0855	02-mar-20	25.5996	38.0303	52.3607	4.3762	5.5872	6.7079	48.30	42.45	5.86	12	9.23	9.27	-0.04	0	9.66	9.80	-0.14	1	9.89	11.06	-1.17	12	279.69	295.16	-15.46	6
	22	OF-1	PSMOF1 030320A 0914	03-mar-20	21.7666	33.2173	44.6125	4.1142	5.1279	6.1691	46.32	41.45	4.87	11	7.12	9.29	-2.17	30	8.92	9.03	-0.12	1	9.71	10.60	-0.90	9	253.51	290.96	-37.45	15
	23	OF-1	PSMOF1 030420A 0923	04-mar-20	25.8574	38.5152	50.1488	4.2754	5.4726	6.5233	47.95	43.11	4.84	10	8.83	9.91	-1.08	12	9.25	8.23	1.02	11	10.08	9.11	0.97	10	272.94	284.95	-12.01	4
	24	OF-1	PSMOF1 030520A 0900	05-mar-20	25.585	37.9125	52.8958	4.6416	5.7125	6.8066	50.51	53.38	-2.87	6	7.02	8.90	-1.89	27	9.38	9.11	0.27	3	10.09	9.46	0.63	6	258.52	278.84	-20.31	8
	25	OF-1	PSMOF1 030720A 0925	07-mar-20	32.7157	48.7031	61.4107	5.1415	6.7038	7.6984	51.63	48.10	3.53	7	12.90	13.64	-0.74	6	9.41	9.01	0.40	4	11.15	9.86	1.28	12	316.49	317.97	-1.47	0
	26	OF-1	PSMOF1 030820A 0920	08-mar-20	31.0226	45.6893	57.4517	4.5538	5.9662	7.0559	50.82	54.37	-3.55	7	12.64	12.65	-0.01	0	9.54	8.99	0.55	6	11.22	9.66	1.57	14	314.36	321.13	-6.76	2
	27	OF-1	PSMOF1 031020A 1006	10-mar-20	39.4993	49.8271	60.0787	4.5688	6.1	7.251	50.90	54.98	-4.08	8	14.44	15.26	-0.81	6	10.28	8.89	1.39	14	11.65	9.80	1.85	16	343.84	353.37	-9.53	3
	28	OF-1	PSMOF1 031120A 0915	11-mar-20	32.5324	50.8348	59.5913	4.502	6.1503	7.2654	50.81	45.15	5.66	11	14.11	15.66	-1.55	11	11.09	8.96	2.12	19	10.58	9.54	1.04	10	345.47	355.49	-10.01	3
	29	OF-1	PSMOF1 091220A 1028	12-sep-20	29.0991	43.8684	55.5514	4.8002	6.2034	7.4217	50.89	54.60	-3.71	7	10.88	11.79	-0.91	8	9.77	8.95	0.83	8	9.85	9.91	-0.06	1	296.63	324.51	-27.88	9
	30	OF-1	PSMOF1 092020A 1027	20-sep-20	22.5286	34.0572	47.2149	4.3637	6.2218	48.93	52.11	-3.18	6	5.20	6.19	-0.90	19	8.34	9.09	-0.74	9	9.30	9.34	-0.04	0	230.42	252.24	-21.82	9	
	31	OF-1	PSMOF1 092620A 0918	26-sep-20	35.5796	52.3243	62.6996	4.9159	6.6347	7.5694	52.25	55.59	-3.34	6	14.00	15.71	-1.71	12	11.02	8.78	2.23	20	10.30	10.22	0.08	1	344.14	377.94	-33.79	10
	32	OF-1	PSMOF1 100120A 0924	01-oct-20	28.2476	42.3733	54.1972	4.407	5.6803	6.8044	51.08	51.69	-0.60	1	9.42	11.62	-2.19	23	8.81	8.96	-0.15	2	11.34	9.43	1.91	17	277.20	308.33	-31.13	11
	33	OF-1	PSMOF1 100720A 0937	07-oct-20	29.9985	44.0215	56.6426	4.5411	5.8625	7.1103	51.46	51.73	-0.27	1	10.92	12.38	-1.47	13	9.38	8.93	0.45	5	11.63	9.56	2.08	18	294.48	312.07	-17.59	6
	34	OF-1	PSMOF1 101320A 0951	13-oct-20	32.8054	47.2425	59.8276	4.7007	6.2071	7.3733	52.72	52.50	0.22	0	12.37	13.97	-1.60	13	9.08	9.01	0.07	1	12.17	9.64	2.53	21	306.32	322.20	-15.87	5
	35	OF-1	PSMOF1 102020A 0904	20-oct-20	29.8571	44.47	57.2199	4.6511	5.8893	7.1099	51.37	48.58	2.79	5	9.81	11.24	-1.44	15	9.98	8.84	1.13	11	9.68	9.71	-0.03	0	288.39	302.17	-13.78	5
	36	OF-1	PSMOF1 102620A 0943	26-oct-20	22.1115	32.5256	46.6216	3.8811	4.875	5.8896	46.97	48.65	-1.68	4	6.38	6.79	-0.42	7	8.79	8.59	0.20	2	10.31	9.26	1.05	10	249.44	258.77	-9.33	4
	37	OF-1	PSMOF1 110220A 1828	02-nov-20	25.295	36.721	49.3216	4.3951	5.5197	6.5106	48.28	49.23	-0.95	2	8.62	8.18	0.44	5	9.15	8.52	0.63	7	11.37	9.23	2.14	19	273.08	270.74	2.33	1
	38	OF-1	PSMOF1 110220B 2029	02-nov-20	27.8861	40.2688	52.3799	4.4592	5.777	6.839	48.46	50.55	-2.09	4	12.27	10.36	1.91	16	11.55	8.67	2.88	25	11.20	9.60	1.60	14	327.97	288.30	39.66	12
	39	OF-1	PSMOF1 110720A 1711	07-nov-20	33.1506	37.9612	65.598	5.4401	7.1688	8.3428	53.10	45.10	8.00	15	11.55	14.18	-2.63	23	9.87	8.10	1.77	18	11.30	10.45	0.85	8	304.30	367.09	-62.79	21
	40	OF-1	PSMOF1 111420A 0931	14-nov-20</																										

Anexo 8: Base de datos de calibración para primer modelo OF2

Comparativa entre laboratorio y analizador en porcentaje de sólidos, malla 40, malla 50, malla 70 y P80																														
Modelos	N°	FLUJO DE MUESTREO	NOMBRE DEL TACHO	DÍA (MUESTREO)	Pulp Factor N°1	Pulp Factor N°3	Pulp Factor N°5	Pulp Factor N°2	Pulp Factor N°4	Pulp Factor N°6	% Sólidos Lab.	% Sólidos OF2 PSM	Error Absoluto	% Error Relativo	425 (um)				300 (um)				212 (um)				P80 (um)			
															Malla 40 Lab. Met.	Malla 40 OF2 PSM	Error Absoluto	% Error Relativo	Malla 50 Lab. Met.	Malla 50 OF2 PSM	Error Absoluto	% Error Relativo	Malla 70 Lab. Met.	Malla 70 OF2 PSM	Error Absoluto	% Error Relativo	P80 Lab. Met.	P80 OF2 PSM	Error Absoluto	% Error Relativo
Primer Modelo para % sólidos, malla 40, malla 50 y malla 70	1	OF-2	PSM0F2_010220A_0835	02-ene-20	28.8412	40.9373	52.7796	4.2138	5.6641	6.7989	48.09	44.26	3.83	8	12.07	11.67	0.41	3	9.39	10.83	-1.44	15	11.01	11.10	-0.10	1	308.00	346.94	-38.94	13
	2	OF-2	PSM0F2_010320A_0849	03-ene-20	33.3052	47.145	60.7427	4.4923	6.2512	7.378	48.35	46.24	2.11	4	16.71	13.21	3.50	21	9.66	11.82	-2.15	22	10.63	11.15	-0.52	5	375.00	351.41	23.59	6
	3	OF-2	PSM0F2_010420A_0915	04-ene-20	54.5798	50.5593	61.7482	4.694	6.4945	7.5897	48.49	46.70	1.79	4	17.47	13.64	3.83	22	9.97	12.09	-2.11	21	10.81	10.96	-0.16	1	387.08	368.15	18.93	5
	4	OF-2	PSM0F2_012020A_1059	20-ene-20	31.6518	46.2094	58.9023	4.8399	6.5327	7.6962	49.25	45.02	4.23	9	14.50	12.26	2.24	15	9.70	10.99	-1.29	13	11.17	10.80	0.37	3	341.90	334.19	7.70	2
	5	OF-2	PSM0F2_012720A_0944	27-ene-20	37.075	53.704	66.6005	5.2769	7.3569	8.2204	51.97	47.65	4.33	8	16.49	15.28	1.21	7	10.29	12.53	-2.24	22	9.81	11.19	-1.38	14	374.75	374.70	0.05	0
	6	OF-2	PSM0F2_020520A_0942	05-feb-20	30.6412	45.8674	56.944	4.1747	5.6926	6.7657	48.32	45.13	3.19	7	13.61	11.96	1.65	12	10.40	11.53	-1.12	11	10.19	11.21	-1.02	10	338.05	377.64	-39.59	12
	7	OF-2	PSM0F2_021320B_2216	05-feb-20	22.5207	32.9023	45.8707	3.9519	4.8669	5.9654	46.17	41.28	4.88	11	7.23	7.68	-0.45	6	9.08	8.95	0.13	1	10.36	10.86	-0.50	5	260.24	291.22	-30.98	12
	8	OF-2	PSM0F2_021020A_1225	10-feb-20	23.4991	33.0717	45.8611	3.8764	4.9158	5.9909	44.11	40.98	3.13	7	8.89	7.47	1.41	16	8.70	8.70	-0.01	0	10.07	10.35	-0.29	3	269.23	288.94	-19.71	7
	9	OF-2	PSM0F2_021520A_1001	15-feb-20	26.8299	38.7821	51.6155	3.953	5.3095	6.37	45.79	44.77	1.02	2	11.36	10.02	1.34	12	9.92	11.00	-1.08	11	10.16	10.97	-0.81	8	305.90	341.87	-35.97	12
	10	OF-2	PSM0F2_021520B_2222	15-feb-20	23.0086	34.574	48.209	3.7968	4.8887	5.8926	44.96	40.59	4.38	10	8.38	7.40	0.98	12	8.84	8.55	0.29	3	10.30	10.59	-0.29	3	266.62	282.33	-15.71	6
	11	OF-2	PSM0F2_021920A_1046	19-feb-20	11.5581	17.1381	24.5133	2.456	2.9557	3.477	40.08	35.07	5.00	12	1.35	1.20	0.15	11	5.14	4.55	0.60	12	8.38	9.40	-1.02	12	178.05	206.37	-28.32	16
	12	OF-2	PSM0F2_021220A_0954	21-feb-20	26.5497	39.8181	52.6033	4.1008	5.2993	6.4368	48.92	43.65	5.27	11	9.41	10.31	-0.90	10	9.10	10.55	-0.75	8	10.07	11.03	-0.96	10	286.82	308.81	-21.98	8
	13	OF-2	PSM0F2_022220A_1018	22-feb-20	24.4735	36.7019	47.378	4.4264	5.6013	6.6703	47.67	42.03	5.64	12	8.08	8.93	-0.85	11	7.75	9.14	-1.39	18	9.47	10.87	-1.40	15	253.84	293.26	-39.42	16
	14	OF-2	PSM0F2_022320A_0927	23-feb-20	27.8764	42.3741	54.3697	4.5487	6.004	7.1325	46.69	43.18	3.51	8	8.13	9.13	-0.99	12	7.88	9.97	-2.09	26	9.63	11.08	-1.44	15	255.18	301.41	-46.23	18
	15	OF-2	PSM0F2_022420A_1007	24-feb-20	23.5986	35.5894	47.837	3.7478	4.8343	5.8023	46.33	43.05	3.28	7	8.85	8.81	0.04	0	9.50	10.29	-0.79	8	10.66	11.17	-0.50	5	280.67	306.30	-25.63	9
	16	OF-2	PSM0F2_022520A_1001	25-feb-20	27.158	40.1285	53.5858	4.3402	5.7856	6.8142	48.11	43.40	4.72	10	10.57	10.75	-0.18	2	9.14	10.22	-1.08	12	11.16	10.89	0.26	2	290.73	328.87	-38.14	13
	17	OF-2	PSM0F2_022620A_0859	26-feb-20	28.4684	42.2021	55.6	4.668	6.1452	7.238	50.66	43.83	6.83	13	10.19	11.55	-1.36	13	8.55	10.18	-1.63	19	10.80	10.96	-0.16	1	282.65	313.07	-30.42	11
	18	OF-2	PSM0F2_022720A_0948	27-feb-20	24.3639	34.9312	46.7889	4.5943	5.8096	6.8382	48.72	41.84	6.89	14	7.04	8.61	-1.58	22	7.58	8.68	-1.09	14	8.95	10.75	-1.79	20	240.36	278.71	-38.35	16
	19	OF-2	PSM0F2_022820A_0939	28-feb-20	24.1988	35.4101	46.9716	4.4388	5.1822	7.0215	44.67	40.83	3.84	9	8.44	5.96	2.49	29	8.97	8.60	0.37	4	9.98	10.82	-0.85	8	269.33	286.53	-17.20	6
	20	OF-2	PSM0F2_030120A_0903	01-mar-20	25.318	38.3774	50.0631	4.3319	5.5457	6.8843	48.00	42.89	5.11	11	9.82	9.42	0.41	4	8.78	9.86	-1.08	12	9.66	11.06	-1.40	14	280.24	307.30	-27.06	10
	21	OF-2	PSM0F2_030220A_0902	02-mar-20	25.4883	36.8651	49.8482	4.2298	5.4533	6.5125	48.09	40.52	7.57	16	9.26	9.23	0.03	0	9.01	8.29	0.72	8	9.36	10.58	-1.22	13	275.69	250.53	25.16	9
	22	OF-2	PSM0F2_030320A_0919	03-mar-20	28.7471	43.0785	55.245	4.7203	6.0067	7.0997	50.51	47.09	3.42	7	10.11	11.23	-1.12	11	9.49	10.85	-1.37	14	10.12	11.98	-1.87	18	290.03	262.86	27.17	9
	23	OF-2	PSM0F2_030420A_0928	04-mar-20	26.9493	40.5332	54.415	4.7346	5.8456	7.0687	51.29	46.79	4.50	9	8.60	9.92	-1.32	15	9.85	12.26	-2.42	25	9.25	12.02	-2.76	30	278.16	317.36	-39.20	14
	24	OF-2	PSM0F2_030520A_0907	05-mar-20	26.2721	38.8526	49.9795	4.2446	5.5648	6.6592	46.63	52.37	-5.74	12	10.56	9.67	0.89	8	8.61	8.22	0.39	5	10.22	10.60	-0.38	4	285.83	298.01	-12.18	4
	25	OF-2	PSM0F2_030720A_0931	07-mar-20	28.8851	42.59	56.1232	4.6598	5.9982	7.1729	45.36	57.56	-12.20	27	11.41	12.63	-1.22	11	9.63	8.26	1.37	14	11.48	9.62	1.86	16	304.49	296.83	7.66	3
	26	OF-2	PSM0F2_030820A_0927	08-mar-20	35.7439	52.1194	63.3665	5.3727	6.9967	8.1947	52.84	47.22	5.63	11	14.47	16.44	-1.97	14	10.41	8.75	1.66	16	9.77	9.50	0.26	3	348.28	384.23	-35.96	10
	27	OF-2	PSM0F2_031020A_1013	10-mar-20	36.7305	52.6126	62.2446	4.8967	6.5122	7.5688	52.67	47.96	4.71	9	14.80	16.22	-1.42	10	9.47	8.99	0.48	5	10.95	9.79	1.15	11	346.14	378.48	-32.34	9
	28	OF-2	PSM0F2_031120A_0921	11-mar-20	38.166	54.0936	66.0015	4.8463	6.7553	7.6787	52.48	46.04	6.44	12	16.37	17.87	-1.50	9	11.04	9.11	1.93	17	10.20	9.63	0.57	6	375.95	397.93	-21.98	6
	29	OF-2	PSM0F2_091220A_1034	12-sep-20	36.3913	51.4905	64.5276	4.6953	6.3975	7.4855	51.22	48.07	3.15	6	15.15	15.86	-0.71	5	11.28	8.94	2.33	21	9.99	9.96	0.02	0	362.00	364.25	-2.25	1
	30	OF-2	PSM0F2_092020A_1033	20-sep-20	34.1984	48.9024	61.4598	5.3143	7.0208	8.0413	53.28	49.70	3.58	7	11.94	15.43	-3.49	29	9.68	8.48	1.20	12	10.13	10.21	-0.08	1	309.96	356.95	-46.99	15
	31	OF-2	PSM0F2_092620A_0923	26-sep-20	25.0162	37.5371	50.7063	4.5061	5.5563	6.6014	50.20	47.15	3.04	6	6.19	8.66	-2.47	40	8.35	7.91	0.45	5	9.43	9.39	0.03	0	241.10	270.63	-29.53	12
	32	OF-2	PSM0F2_100120A_0929	01-oct-20	38.5283	56.3473	83.5879	5.1631	7.0637	8.0575	53.28	59.72	-6.44	12	15.03	15.93	-0.90	6	11.09	9.06	2.03	18	10.08	9.78	0.30	3	358.84	364.64	-5.80	2
	33	OF-2	PSM0F2_100720A_0943	07-oct-20	29.3365	43.1609	56.5969	4.1412	5.471	6.576	49.34	60.87	-11.53	23	11.58	12.52	-0.95	8	10.62	8.99	1.63	15	10.72	9.50	1.23	11	318.13	335.97	-17.84	6
	34	OF-2	PSM0F2_101320A_0957	13-oct-20	31.8558	47.4645	57.7027	4.6068	6.0366	7.2744	51.62	53.49	-1.87	4	11.42	13.62	-2.20	19	8.84	8.55	0.29	3	11.11	9.27	1.85	17	298.04	332.21	-34.17	11
	35	OF-2	PSM0F2_102020A_0909	20-oct-20	34.8376	48.7061	60.3079	4.8629	6.5735	7.6811	52.34	50.62	1.72	3	13.78	15.79	-2.02	15	8.71	8.81	-0.10	1	11.61	9.58	2.02	17	324.62	361.61	-36.99	11
	36	OF-2	PSM0F2_102620A_0949	26-oct-20	40.6486	57.4335	187.7153	5.3271	7.1584	8.2988	54.50	50.64	3.86	7	15.96	18.53	-2.58	16	9.59	9.08	0.50	5	11.58	9.56	2.02	17	362.59	388.44	-25.85	7
	37	OF-2	PSM0F2_110220A_1833	02-nov-20	24.4883	36.9278	49.0055	3.8957	4.9633	6.0033	46.90	50.01	-5.11	11	7.39	7.90	-0.51	7	9.48	8.33	1.15	12	10.65	9.22	1.43	13	266.74	281.68	-14.95	6
	38	OF-2	PSM0F2_110220B_2036	02-nov-20	12.1022	17.9509	25.6498	2.9114	3.5049	4.0102	37.78	47.75	-9.97	26	0.98	0.81	0.17	18	4.08	4.59	-0.51	13	8.07	7.85	0.22	3	172.00	190.30	-18.30	11
	39	OF-2	PSM0F2_110720A_1718	07-nov-20	31.9202	47.2394	56.4147	4.9627	6.2972	7.4851	53.94	47.46	6.48	12	12.02	11.38	0.64	5	9.93	8.49	1.45	15	11.09	9.83	1.26	11	316.44	317.37	-	

Anexo 14: Base de datos de disponibilidad de PSM con respecto SAG N°1

Año	Mes	Fecha Inicio	Fecha Final	Horas Off-Line 0330-ZPS-0001 (hh:mm)	Horas SAG N°1Running (hh:mm)	Funcionamiento del equipo PSM (hh:mm)	% Disponibilidad diario PSM	Año	Mes	Fecha Inicio	Fecha Final	Horas Off-Line 0330-ZPS-0001 (hh:mm)	Horas SAG N°1Running (hh:mm)	Funcionamiento del equipo PSM (hh:mm)	% Disponibilidad diario PSM
2020	Enero	01/01/2020 07:00	02/01/2020 07:00	15.22	23.46	8.25	35.15	2020	Marzo	01/03/2020 07:00	02/03/2020 07:00	17.54	24.00	6.46	26.91
2020	Enero	02/01/2020 07:00	03/01/2020 07:00	6.16	24.00	17.84	74.34	2020	Marzo	02/03/2020 07:00	03/03/2020 07:00	0.18	20.49	20.31	99.12
2020	Enero	03/01/2020 07:00	04/01/2020 07:00	2.00	24.00	22.00	91.67	2020	Marzo	03/03/2020 07:00	04/03/2020 07:00	0.58	23.10	22.52	97.47
2020	Enero	04/01/2020 07:00	05/01/2020 07:00	0.05	24.00	23.95	99.79	2020	Marzo	04/03/2020 07:00	05/03/2020 07:00	3.14	24.00	20.86	86.91
2020	Enero	05/01/2020 07:00	06/01/2020 07:00	1.51	11.44	9.93	86.82	2020	Marzo	05/03/2020 07:00	06/03/2020 07:00	1.21	24.00	22.79	94.97
2020	Enero	06/01/2020 07:00	07/01/2020 07:00					2020	Marzo	06/03/2020 07:00	07/03/2020 07:00	7.30	24.00	16.70	69.58
2020	Enero	07/01/2020 07:00	08/01/2020 07:00					2020	Marzo	07/03/2020 07:00	08/03/2020 07:00	0.04	24.00	23.96	99.83
2020	Enero	08/01/2020 07:00	09/01/2020 07:00					2020	Marzo	08/03/2020 07:00	09/03/2020 07:00	1.43	24.00	22.58	94.06
2020	Enero	09/01/2020 07:00	10/01/2020 07:00					2020	Marzo	09/03/2020 07:00	10/03/2020 07:00	0.13	24.00	23.88	99.48
2020	Enero	10/01/2020 07:00	11/01/2020 07:00					2020	Marzo	10/03/2020 07:00	11/03/2020 07:00	0.12	24.00	23.88	99.5
2020	Enero	11/01/2020 07:00	12/01/2020 07:00					2020	Marzo	11/03/2020 07:00	12/03/2020 07:00	2.26	24.00	21.74	90.56
2020	Enero	12/01/2020 07:00	13/01/2020 07:00					2020	Marzo	12/03/2020 07:00	13/03/2020 07:00	0.15	24.00	23.85	99.38
2020	Enero	13/01/2020 07:00	14/01/2020 07:00					2020	Marzo	13/03/2020 07:00	14/03/2020 07:00	4.48	24.00	19.52	81.32
2020	Enero	14/01/2020 07:00	15/01/2020 07:00	7.22	19.32	12.10	62.65	2020	Marzo	14/03/2020 07:00	15/03/2020 07:00	0.06	24.00	23.94	99.75
2020	Enero	15/01/2020 07:00	16/01/2020 07:00	2.16	24.00	21.85	91.01	2020	Marzo	15/03/2020 07:00	16/03/2020 07:00	0.38	24.00	23.63	98.44
2020	Enero	16/01/2020 07:00	17/01/2020 07:00	0.52	24.00	23.48	97.83	2020	Marzo	16/03/2020 07:00	17/03/2020 07:00	4.00	19.52	15.52	79.51
2020	Enero	17/01/2020 07:00	18/01/2020 07:00	5.10	24.00	18.90	78.75	2020	Marzo	17/03/2020 07:00	18/03/2020 07:00	24.00	24.00	0.00	0
2020	Enero	18/01/2020 07:00	19/01/2020 07:00	5.37	24.00	18.63	77.64	2020	Marzo	18/03/2020 07:00	19/03/2020 07:00	24.00	24.00	0.00	0
2020	Enero	19/01/2020 07:00	20/01/2020 07:00	4.81	23.11	18.30	79.2	2020	Marzo	19/03/2020 07:00	20/03/2020 07:00	24.00	24.00	0.00	0
2020	Enero	20/01/2020 07:00	21/01/2020 07:00	0.30	24.00	23.70	98.75	2020	Marzo	20/03/2020 07:00	21/03/2020 07:00	24.00	24.00	0.00	0
2020	Enero	21/01/2020 07:00	22/01/2020 07:00	0.09	24.00	23.91	99.63	2020	Marzo	21/03/2020 07:00	22/03/2020 07:00	23.10	24.00	0.90	3.75
2020	Enero	22/01/2020 07:00	23/01/2020 07:00	1.19	24.00	22.81	95.03	2020	Marzo	22/03/2020 07:00	23/03/2020 07:00	7.48	24.00	16.53	68.85
2020	Enero	23/01/2020 07:00	24/01/2020 07:00	0.20	24.00	23.80	99.17	2020	Marzo	23/03/2020 07:00	24/03/2020 07:00	4.54	24.00	19.46	81.08
2020	Enero	24/01/2020 07:00	25/01/2020 07:00	0.15	24.00	23.85	99.38	2020	Marzo	24/03/2020 07:00	25/03/2020 07:00	3.81	24.00	20.19	84.13
2020	Enero	25/01/2020 07:00	26/01/2020 07:00	15.16	24.00	8.84	36.83	2020	Marzo	25/03/2020 07:00	26/03/2020 07:00	0.42	12.20	11.78	96.58
2020	Enero	26/01/2020 07:00	27/01/2020 07:00	16.31	24.00	7.69	32.05	2020	Marzo	26/03/2020 07:00	27/03/2020 07:00				
2020	Enero	27/01/2020 07:00	28/01/2020 07:00	24.00	24.00	0.00	0	2020	Marzo	27/03/2020 07:00	28/03/2020 07:00				
2020	Enero	28/01/2020 07:00	29/01/2020 07:00	15.18	24.00	8.83	36.77	2020	Marzo	28/03/2020 07:00	29/03/2020 07:00	9.10	24.00	14.90	62.08
2020	Enero	29/01/2020 07:00	30/01/2020 07:00	17.01	19.56	2.55	13.05	2020	Marzo	29/03/2020 07:00	30/03/2020 07:00	10.09	24.00	13.91	57.95
2020	Enero	30/01/2020 07:00	31/01/2020 07:00	11.47	24.00	12.53	52.22	2020	Marzo	30/03/2020 07:00	31/03/2020 07:00	0.23	24.00	23.78	99.06
2020	Enero	31/01/2020 07:00	01/02/2020 07:00	8.57	24.00	15.43	64.31	2020	Marzo	31/03/2020 07:00	01/04/2020 07:00	5.02	24.00	18.98	79.1
2020	Febrero	01/02/2020 07:00	02/02/2020 07:00	12.08	23.41	11.33	48.39	2020	Abril	01/04/2020 07:00	02/04/2020 07:00	5.13	24.00	18.87	78.61
2020	Febrero	02/02/2020 07:00	03/02/2020 07:00	11.14	23.25	12.10	52.07	2020	Abril	02/04/2020 07:00	03/04/2020 07:00	24.00	24.00	0.00	0
2020	Febrero	03/02/2020 07:00	04/02/2020 07:00	19.03	24.00	4.97	20.69	2020	Abril	03/04/2020 07:00	04/04/2020 07:00	24.00	24.00	0.00	0
2020	Febrero	04/02/2020 07:00	05/02/2020 07:00	23.07	24.00	0.93	3.89	2020	Abril	04/04/2020 07:00	05/04/2020 07:00	24.00	24.00	0.00	0
2020	Febrero	05/02/2020 07:00	06/02/2020 07:00	0.29	20.30	20.00	98.56	2020	Abril	05/04/2020 07:00	06/04/2020 07:00	20.56	24.00	3.44	14.34
2020	Febrero	06/02/2020 07:00	07/02/2020 07:00	1.05	24.00	22.95	95.63	2020	Abril	06/04/2020 07:00	07/04/2020 07:00	4.08	24.00	19.92	82.99
2020	Febrero	07/02/2020 07:00	08/02/2020 07:00	0.08	24.00	23.92	99.66	2020	Abril	07/04/2020 07:00	08/04/2020 07:00	8.35	24.00	15.65	65.21
2020	Febrero	08/02/2020 07:00	09/02/2020 07:00	0.11	24.00	23.89	99.54	2020	Abril	08/04/2020 07:00	09/04/2020 07:00	6.43	24.00	17.57	73.19
2020	Febrero	09/02/2020 07:00	10/02/2020 07:00	2.59	24.00	21.41	89.21	2020	Abril	09/04/2020 07:00	10/04/2020 07:00	0.38	24.00	23.62	98.4
2020	Febrero	10/02/2020 07:00	11/02/2020 07:00	3.45	24.00	20.55	85.63	2020	Abril	10/04/2020 07:00	11/04/2020 07:00	0.25	24.00	23.75	98.96
2020	Febrero	11/02/2020 07:00	12/02/2020 07:00	2.07	24.00	21.93	91.39	2020	Abril	11/04/2020 07:00	12/04/2020 07:00	0.90	24.00	23.10	96.25
2020	Febrero	12/02/2020 07:00	13/02/2020 07:00	0.12	24.00	23.88	99.5	2020	Abril	12/04/2020 07:00	13/04/2020 07:00	2.56	24.00	21.44	89.33
2020	Febrero	13/02/2020 07:00	14/02/2020 07:00	0.50	24.00	23.50	97.92	2020	Abril	13/04/2020 07:00	14/04/2020 07:00	1.59	24.00	22.41	93.37
2020	Febrero	14/02/2020 07:00	15/02/2020 07:00	4.51	19.12	14.61	76.42	2020	Abril	14/04/2020 07:00	15/04/2020 07:00	8.45	24.00	15.56	64.79
2020	Febrero	15/02/2020 07:00	16/02/2020 07:00	6.57	24.00	17.43	72.64	2020	Abril	15/04/2020 07:00	16/04/2020 07:00	0.59	24.00	23.41	97.53
2020	Febrero	16/02/2020 07:00	17/02/2020 07:00	4.09	24.00	19.91	82.95	2020	Abril	16/04/2020 07:00	17/04/2020 07:00	8.58	24.00	15.42	64.24
2020	Febrero	17/02/2020 07:00	18/02/2020 07:00	2.50	24.00	21.50	89.58	2020	Abril	17/04/2020 07:00	18/04/2020 07:00	4.13	24.00	19.87	82.78
2020	Febrero	18/02/2020 07:00	19/02/2020 07:00	1.54	24.00	22.46	93.58	2020	Abril	18/04/2020 07:00	19/04/2020 07:00	0.57	24.00	23.43	97.64
2020	Febrero	19/02/2020 07:00	20/02/2020 07:00	0.13	24.00	23.87	99.44	2020	Abril	19/04/2020 07:00	20/04/2020 07:00	0.47	24.00	23.53	98.06
2020	Febrero	20/02/2020 07:00	21/02/2020 07:00	0.15	24.00	23.85	99.38	2020	Abril	20/04/2020 07:00	21/04/2020 07:00	0.17	24.00	23.83	99.31
2020	Febrero	21/02/2020 07:00	22/02/2020 07:00	17.53	24.00	6.47	26.94	2020	Abril	21/04/2020 07:00	22/04/2020 07:00	0.29	24.00	23.71	98.78
2020	Febrero	22/02/2020 07:00	23/02/2020 07:00	4.43	24.00	19.58	81.56	2020	Abril	22/04/2020 07:00	23/04/2020 07:00	0.15	24.00	23.85	99.38
2020	Febrero	23/02/2020 07:00	24/02/2020 07:00	1.10	24.00	22.90	95.42	2020	Abril	23/04/2020 07:00	24/04/2020 07:00	2.45	24.00	21.55	89.79
2020	Febrero	24/02/2020 07:00	25/02/2020 07:00	5.16	22.12	16.96	76.68	2020	Abril	24/04/2020 07:00	25/04/2020 07:00	5.08	24.00	18.93	78.85
2020	Febrero	25/02/2020 07:00	26/02/2020 07:00	13.27	23.14	9.88	42.68	2020	Abril	25/04/2020 07:00	26/04/2020 07:00	4.33	24.00	19.68	81.98
2020	Febrero	26/02/2020 07:00	27/02/2020 07:00	3.08	22.94	19.86	86.56	2020	Abril	26/04/2020 07:00	27/04/2020 07:00	0.30	24.00	23.70	98.75
2020	Febrero	27/02/2020 07:00	28/02/2020 07:00	5.16	22.12	16.96	76.68	2020	Abril	27/04/2020 07:00	28/04/2020 07:00	0.25	24.00	23.75	98.96
2020	Febrero	28/02/2020 07:00	29/02/2020 07:00	13.27	24.00	10.73	44.72	2020	Abril	28/04/2020 07:00	29/04/2020 07:00	0.10	24.00	23.90	99.58
2020	Febrero	29/02/2020 07:00	01/03/2020 07:00	7.67	24.00	16.33	68.06	2020	Abril	29/04/2020 07:00	30/04/2020 07:00	0.29	24.00	23.71	98.78
2020								2020	Abril	30/04/2020 07:00	01/05/2020 07:00	9.45	24.00	14.55	60.63

Año	Mes	Fecha Inicio	Fecha Final	Horas Off-Line 0330-ZPS-0001 (hh:mm)	Horas SAG N°1Runnng (hh:mm)	Funcionamiento del equipo PSM (hh:mm)	% Disponibilidad diario PSM	Año	Mes	Fecha Inicio	Fecha Final	Horas Off-Line 0330-ZPS-0001 (hh:mm)	Horas SAG N°1Runnng (hh:mm)	Funcionamiento del equipo PSM (hh:mm)	% Disponibilidad diario PSM	
2020	Mayo	01/05/2020 07:00	02/05/2020 07:00	4.50	24.00	19.50	81.25	2020	Junio	30/06/2020 07:00	01/07/2020 07:00	2.35	24.00	21.65	90.21	
2020	Mayo	02/05/2020 07:00	03/05/2020 07:00	24.00	24.00	0.00	0	2020	Julio	01/07/2020 07:00	02/07/2020 07:00	0.14	24.00	23.86	99.41	
2020	Mayo	03/05/2020 07:00	04/05/2020 07:00	12.10	24.00	11.90	49.58	2020	Julio	02/07/2020 07:00	03/07/2020 07:00	0.59	24.00	23.41	97.53	
2020	Mayo	04/05/2020 07:00	05/05/2020 07:00	4.04	21.55	17.51	81.24	2020	Julio	03/07/2020 07:00	04/07/2020 07:00	3.01	24.00	20.99	87.47	
2020	Mayo	05/05/2020 07:00	06/05/2020 07:00	3.47	24.00	20.53	85.56	2020	Julio	04/07/2020 07:00	05/07/2020 07:00	4.57	24.00	19.43	80.97	
2020	Mayo	06/05/2020 07:00	07/05/2020 07:00	0.52	24.00	23.48	97.85	2020	Julio	05/07/2020 07:00	06/07/2020 07:00	3.21	24.00	20.79	86.63	
2020	Mayo	07/05/2020 07:00	08/05/2020 07:00	1.10	24.00	22.90	95.42	2020	Julio	06/07/2020 07:00	07/07/2020 07:00	0.58	24.00	23.43	97.6	
2020	Mayo	08/05/2020 07:00	09/05/2020 07:00	3.10	24.00	20.90	87.08	2020	Julio	07/07/2020 07:00	08/07/2020 07:00	22.25	24.00	1.75	7.29	
2020	Mayo	09/05/2020 07:00	10/05/2020 07:00	0.13	23.38	23.24	99.43	2020	Julio	08/07/2020 07:00	09/07/2020 07:00	9.46	24.00	14.54	60.59	
2020	Mayo	10/05/2020 07:00	11/05/2020 07:00	14.10	24.00	9.90	41.25	2020	Julio	09/07/2020 07:00	10/07/2020 07:00	0.20	24.00	23.80	99.17	
2020	Mayo	11/05/2020 07:00	12/05/2020 07:00	4.53	24.00	19.48	81.15	2020	Julio	10/07/2020 07:00	11/07/2020 07:00	1.32	24.00	22.68	94.51	
2020	Mayo	12/05/2020 07:00	13/05/2020 07:00	3.12	24.00	20.88	87	2020	Julio	11/07/2020 07:00	12/07/2020 07:00	0.42	23.36	22.94	98.22	
2020	Mayo	13/05/2020 07:00	14/05/2020 07:00	0.23	23.06	22.82	98.99	2020	Julio	12/07/2020 07:00	13/07/2020 07:00	2.08	20.15	18.07	89.68	
2020	Mayo	14/05/2020 07:00	15/05/2020 07:00	0.54	11.80	11.26	95.41	2020	Julio	13/07/2020 07:00	14/07/2020 07:00	1.38	24.00	22.62	94.24	
2020	Mayo	15/05/2020 07:00	16/05/2020 07:00		Mantenimiento de planta				2020	Julio	14/07/2020 07:00	15/07/2020 07:00	0.13	24.00	23.87	99.46
2020	Mayo	16/05/2020 07:00	17/05/2020 07:00						2020	Julio	15/07/2020 07:00	16/07/2020 07:00	0.33	22.58	22.25	98.52
2020	Mayo	17/05/2020 07:00	18/05/2020 07:00	0.35	21.46	21.11	98.37	2020	Julio	16/07/2020 07:00	17/07/2020 07:00	0.25	24.00	23.75	98.96	
2020	Mayo	18/05/2020 07:00	19/05/2020 07:00	4.14	24.00	19.86	82.74	2020	Julio	17/07/2020 07:00	18/07/2020 07:00	2.60	24.00	21.40	89.17	
2020	Mayo	19/05/2020 07:00	20/05/2020 07:00	1.12	24.00	22.88	95.35	2020	Julio	18/07/2020 07:00	19/07/2020 07:00	7.43	24.00	16.57	69.03	
2020	Mayo	20/05/2020 07:00	21/05/2020 07:00	0.00	24.00	24.00	100	2020	Julio	19/07/2020 07:00	20/07/2020 07:00	1.34	24.00	22.66	94.41	
2020	Mayo	21/05/2020 07:00	22/05/2020 07:00	4.05	24.00	19.95	83.13	2020	Julio	20/07/2020 07:00	21/07/2020 07:00	4.16	24.00	19.84	82.67	
2020	Mayo	22/05/2020 07:00	23/05/2020 07:00	5.33	24.00	18.67	77.78	2020	Julio	21/07/2020 07:00	22/07/2020 07:00	2.02	23.13	21.11	91.28	
2020	Mayo	23/05/2020 07:00	24/05/2020 07:00	0.50	24.00	23.50	97.92	2020	Julio	22/07/2020 07:00	23/07/2020 07:00	22.28	24.00	1.72	7.15	
2020	Mayo	24/05/2020 07:00	25/05/2020 07:00	1.57	24.00	22.43	93.47	2020	Julio	23/07/2020 07:00	24/07/2020 07:00	24.00	24.00	0.00	0	
2020	Mayo	25/05/2020 07:00	26/05/2020 07:00	0.38	24.00	23.63	98.44	2020	Julio	24/07/2020 07:00	25/07/2020 07:00	8.16	24.00	15.84	66.01	
2020	Mayo	26/05/2020 07:00	27/05/2020 07:00	0.26	24.00	23.74	98.92	2020	Julio	25/07/2020 07:00	26/07/2020 07:00	22.51	24.00	1.49	6.22	
2020	Mayo	27/05/2020 07:00	28/05/2020 07:00	1.40	24.00	22.60	94.17	2020	Julio	26/07/2020 07:00	27/07/2020 07:00	24.00	24.00	0.00	0	
2020	Mayo	28/05/2020 07:00	29/05/2020 07:00	1.35	24.00	22.65	94.38	2020	Julio	27/07/2020 07:00	28/07/2020 07:00	24.00	24.00	0.00	0	
2020	Mayo	29/05/2020 07:00	30/05/2020 07:00	1.11	24.00	22.89	95.38	2020	Julio	28/07/2020 07:00	29/07/2020 07:00	24.00	23.51	-0.49	-2.1	
2020	Mayo	30/05/2020 07:00	31/05/2020 07:00	0.40	24.00	23.60	98.33	2020	Julio	29/07/2020 07:00	30/07/2020 07:00	24.00	24.00	0.00	0	
2020	Mayo	31/05/2020 07:00	01/06/2020 07:00	0.58	24.00	23.43	97.6	2020	Julio	30/07/2020 07:00	31/07/2020 07:00	24.00	24.00	0.00	0	
2020	Junio	01/06/2020 07:00	02/06/2020 07:00	0.00	24.00	24.00	100	2020	Julio	31/07/2020 07:00	01/08/2020 07:00	5.20	24.00	18.80	78.33	
2020	Junio	02/06/2020 07:00	03/06/2020 07:00	1.02	24.00	22.98	95.75	2020	Agosto	01/08/2020 07:00	02/08/2020 07:00	24.00	24.00	0.00	0	
2020	Junio	03/06/2020 07:00	04/06/2020 07:00	0.00	24.00	24.00	100	2020	Agosto	02/08/2020 07:00	03/08/2020 07:00	3.32	24.00	20.68	86.18	
2020	Junio	04/06/2020 07:00	05/06/2020 07:00	0.20	24.00	23.80	99.17	2020	Agosto	03/08/2020 07:00	04/08/2020 07:00	0.24	24.00	23.76	99	
2020	Junio	05/06/2020 07:00	06/06/2020 07:00	0.49	22.52	22.03	97.82	2020	Agosto	04/08/2020 07:00	05/08/2020 07:00	8.35	24.00	15.65	65.21	
2020	Junio	06/06/2020 07:00	07/06/2020 07:00	10.22	23.35	13.13	56.24	2020	Agosto	05/08/2020 07:00	06/08/2020 07:00	2.40	24.00	21.60	90	
2020	Junio	07/06/2020 07:00	08/06/2020 07:00	20.32	24.00	3.68	15.35	2020	Agosto	06/08/2020 07:00	07/08/2020 07:00	24.00	24.00	0.00	0	
2020	Junio	08/06/2020 07:00	09/06/2020 07:00	17.42	24.00	6.58	27.43	2020	Agosto	07/08/2020 07:00	08/08/2020 07:00	18.19	24.00	5.81	24.21	
2020	Junio	09/06/2020 07:00	10/06/2020 07:00	24.00	24.00	0.00	0	2020	Agosto	08/08/2020 07:00	09/08/2020 07:00	0.38	24.00	23.62	98.42	
2020	Junio	10/06/2020 07:00	11/06/2020 07:00	12.10	23.49	11.39	48.49	2020	Agosto	09/08/2020 07:00	10/08/2020 07:00	2.02	24.00	21.98	91.58	
2020	Junio	11/06/2020 07:00	12/06/2020 07:00	4.24	24.00	19.76	82.33	2020	Agosto	10/08/2020 07:00	11/08/2020 07:00	1.52	11.86	10.34	87.21	
2020	Junio	12/06/2020 07:00	13/06/2020 07:00	1.17	24.00	22.83	95.14	2020	Agosto	11/08/2020 07:00	12/08/2020 07:00					
2020	Junio	13/06/2020 07:00	14/06/2020 07:00	0.13	24.00	23.87	99.46	2020	Agosto	12/08/2020 07:00	13/08/2020 07:00					
2020	Junio	14/06/2020 07:00	15/06/2020 07:00	0.10	23.54	23.44	99.58	2020	Agosto	13/08/2020 07:00	14/08/2020 07:00					
2020	Junio	15/06/2020 07:00	16/06/2020 07:00	0.16	24.00	23.84	99.33	2020	Agosto	14/08/2020 07:00	15/08/2020 07:00					
2020	Junio	16/06/2020 07:00	17/06/2020 07:00	7.50	24.00	16.50	68.75	2020	Agosto	15/08/2020 07:00	16/08/2020 07:00					
2020	Junio	17/06/2020 07:00	18/06/2020 07:00	0.38	18.01	17.63	97.92	2020	Agosto	16/08/2020 07:00	17/08/2020 07:00					
2020	Junio	18/06/2020 07:00	19/06/2020 07:00	1.16	24.00	22.84	95.17	2020	Agosto	17/08/2020 07:00	18/08/2020 07:00	2.43	12.25	9.83	80.2	
2020	Junio	19/06/2020 07:00	20/06/2020 07:00	0.30	24.00	23.70	98.75	2020	Agosto	18/08/2020 07:00	19/08/2020 07:00	24.00	24.00	0.00	0	
2020	Junio	20/06/2020 07:00	21/06/2020 07:00	0.12	24.00	23.88	99.51	2020	Agosto	19/08/2020 07:00	20/08/2020 07:00	10.20	24.00	13.80	57.5	
2020	Junio	21/06/2020 07:00	22/06/2020 07:00	0.06	24.00	23.94	99.75	2020	Agosto	20/08/2020 07:00	21/08/2020 07:00	4.35	24.00	19.65	81.88	
2020	Junio	22/06/2020 07:00	23/06/2020 07:00	0.08	24.00	23.92	99.67	2020	Agosto	21/08/2020 07:00	22/08/2020 07:00	24.00	24.00	0.00	0	
2020	Junio	23/06/2020 07:00	24/06/2020 07:00	1.09	24.00	22.91	95.46	2020	Agosto	22/08/2020 07:00	23/08/2020 07:00	24.00	24.00	0.00	0	
2020	Junio	24/06/2020 07:00	25/06/2020 07:00	4.12	24.00	19.88	82.83	2020	Agosto	23/08/2020 07:00	24/08/2020 07:00	1.83	24.00	22.17	92.38	
2020	Junio	25/06/2020 07:00	26/06/2020 07:00	0.19	24.00	23.81	99.21	2020	Agosto	24/08/2020 07:00	25/08/2020 07:00	12.53	24.00	11.47	47.79	
2020	Junio	26/06/2020 07:00	27/06/2020 07:00	4.21	24.00	19.79	82.46	2020	Agosto	25/08/2020 07:00	26/08/2020 07:00	9.18	23.50	14.32	60.92	
2020	Junio	27/06/2020 07:00	28/06/2020 07:00	3.06	24.00	20.94	87.25	2020	Agosto	26/08/2020 07:00	27/08/2020 07:00	3.71	24.00	20.29	84.55	
2020	Junio	28/06/2020 07:00	29/06/2020 07:00	0.13	23.00	22.87	99.43	2020	Agosto	27/08/2020 07:00	28/08/2020 07:00	1.38	24.00	22.62	94.24	
2020	Junio	29/06/2020 07:00	30/06/2020 07:00	2.25	24.00	21.75	90.63	2020	Agosto	28/08/2020 07:00	29/08/2020 07:00	3.10	24.00	20.90	87.08	

Año	Mes	Fecha Inicio	Fecha Final	Horas Off-Line 0330-ZPS-0001 (hh:mm)	Horas SAG N°1Runnin g (hh:mm)	Funcionam iento del equipo PSM (hh:mm)	% Disponibil dad diario PSM	Año	Mes	Fecha Inicio	Fecha Final	Horas Off-Line 0330-ZPS-0001 (hh:mm)	Horas SAG N°1Runnin g (hh:mm)	Funcionam iento del equipo PSM (hh:mm)	% Disponibil dad diario PSM
2020	Agosto	29/08/2020 07:00	30/08/2020 07:00	0.18	24.00	23.83	99.27	2020	Octubre	28/10/2020 07:00	29/10/2020 07:00	0.10	24.00	23.90	99.58
2020	Agosto	30/08/2020 07:00	31/08/2020 07:00	8.00	24.00	16.00	66.67	2020	Octubre	29/10/2020 07:00	30/10/2020 07:00	0.13	24.00	23.87	99.46
2020	Agosto	31/08/2020 07:00	01/09/2020 07:00	9.18	24.00	14.82	61.73	2020	Octubre	30/10/2020 07:00	31/10/2020 07:00	0.08	24.00	23.92	99.67
2020	Setiembre	01/09/2020 07:00	02/09/2020 07:00	2.07	24.00	21.93	91.37	2020	Octubre	31/10/2020 07:00	01/11/2020 07:00	0.37	24.00	23.63	98.47
2020	Setiembre	02/09/2020 07:00	03/09/2020 07:00	13.38	22.58	9.20	40.72	2020	Noviembre	01/11/2020 07:00	02/11/2020 07:00	0.10	24.00	23.90	99.58
2020	Setiembre	03/09/2020 07:00	04/09/2020 07:00	0.42	24.00	23.58	98.25	2020	Noviembre	02/11/2020 07:00	03/11/2020 07:00	8.10	21.10	13.00	61.61
2020	Setiembre	04/09/2020 07:00	05/09/2020 07:00	0.18	23.12	22.95	99.24	2020	Noviembre	03/11/2020 07:00	04/11/2020 07:00	1.12	24.00	22.88	95.33
2020	Setiembre	05/09/2020 07:00	06/09/2020 07:00	0.09	24.00	23.91	99.63	2020	Noviembre	04/11/2020 07:00	05/11/2020 07:00	1.01	24.00	22.99	95.79
2020	Setiembre	06/09/2020 07:00	07/09/2020 07:00	7.15	24.00	16.85	70.21	2020	Noviembre	05/11/2020 07:00	06/11/2020 07:00	0.13	24.00	23.87	99.44
2020	Setiembre	07/09/2020 07:00	08/09/2020 07:00	11.60	24.00	12.40	51.67	2020	Noviembre	06/11/2020 07:00	07/11/2020 07:00	0.26	24.00	23.74	98.92
2020	Setiembre	08/09/2020 07:00	09/09/2020 07:00	6.53	24.00	17.48	72.81	2020	Noviembre	07/11/2020 07:00	08/11/2020 07:00	0.23	24.00	23.78	99.06
2020	Setiembre	09/09/2020 07:00	10/09/2020 07:00	5.88	24.00	18.12	75.49	2020	Noviembre	08/11/2020 07:00	09/11/2020 07:00	0.12	24.00	23.88	99.48
2020	Setiembre	10/09/2020 07:00	11/09/2020 07:00	2.84	24.00	21.16	88.16	2020	Noviembre	09/11/2020 07:00	10/11/2020 07:00	0.16	24.00	23.84	99.34
2020	Setiembre	11/09/2020 07:00	12/09/2020 07:00	0.13	24.00	23.87	99.46	2020	Noviembre	10/11/2020 07:00	11/11/2020 07:00	2.12	24.00	21.88	91.18
2020	Setiembre	12/09/2020 07:00	13/09/2020 07:00	0.55	24.00	23.45	97.71	2020	Noviembre	11/11/2020 07:00	12/11/2020 07:00	0.33	13.87	13.55	97.66
2020	Setiembre	13/09/2020 07:00	14/09/2020 07:00	0.10	23.56	23.46	99.58	2020	Noviembre	12/11/2020 07:00	13/11/2020 07:00	0.11	24.00	23.89	99.55
2020	Setiembre	14/09/2020 07:00	15/09/2020 07:00	3.10	24.00	20.90	87.08	2020	Noviembre	13/11/2020 07:00	14/11/2020 07:00	0.19	24.00	23.81	99.2
2020	Setiembre	15/09/2020 07:00	16/09/2020 07:00	0.12	24.00	23.88	99.5	2020	Noviembre	14/11/2020 07:00	15/11/2020 07:00	3.22	24.00	20.78	86.6
2020	Setiembre	16/09/2020 07:00	17/09/2020 07:00	1.33	24.00	22.67	94.44	2020	Noviembre	15/11/2020 07:00	16/11/2020 07:00	0.13	24.00	23.87	99.46
2020	Setiembre	17/09/2020 07:00	18/09/2020 07:00	0.53	24.00	23.48	97.81	2020	Noviembre	16/11/2020 07:00	17/11/2020 07:00	0.20	24.00	23.80	99.18
2020	Setiembre	18/09/2020 07:00	19/09/2020 07:00	0.29	24.00	23.71	98.8	2020	Noviembre	17/11/2020 07:00	18/11/2020 07:00	1.08	24.00	22.92	95.49
2020	Setiembre	19/09/2020 07:00	20/09/2020 07:00	0.13	23.07	22.94	99.44	2020	Noviembre	18/11/2020 07:00	19/11/2020 07:00	0.14	24.00	23.86	99.42
2020	Setiembre	20/09/2020 07:00	21/09/2020 07:00	3.00	24.00	21.00	87.5	2020	Noviembre	19/11/2020 07:00	20/11/2020 07:00	0.15	24.00	23.85	99.38
2020	Setiembre	21/09/2020 07:00	22/09/2020 07:00	3.52	24.00	20.48	85.35	2020	Noviembre	20/11/2020 07:00	21/11/2020 07:00	5.20	13.75	8.55	62.18
2020	Setiembre	22/09/2020 07:00	23/09/2020 07:00	0.08	24.00	23.92	99.67	2020	Noviembre	21/11/2020 07:00	22/11/2020 07:00	Mantenimiento de planta			
2020	Setiembre	23/09/2020 07:00	24/09/2020 07:00	0.49	24.00	23.51	97.95	2020	Noviembre	22/11/2020 07:00	23/11/2020 07:00	☐			
2020	Setiembre	24/09/2020 07:00	25/09/2020 07:00	2.45	24.00	21.55	89.79	2020	Noviembre	23/11/2020 07:00	24/11/2020 07:00	6.30	16.52	10.22	61.86
2020	Setiembre	25/09/2020 07:00	26/09/2020 07:00	0.06	22.58	22.52	99.73	2020	Noviembre	24/11/2020 07:00	25/11/2020 07:00	0.22	24.00	23.78	99.1
2020	Setiembre	26/09/2020 07:00	27/09/2020 07:00	1.30	24.00	22.70	94.58	2020	Noviembre	25/11/2020 07:00	26/11/2020 07:00	0.12	24.00	23.88	99.5
2020	Setiembre	27/09/2020 07:00	28/09/2020 07:00	0.53	24.00	23.48	97.81	2020	Noviembre	26/11/2020 07:00	27/11/2020 07:00	0.13	24.00	23.87	99.44
2020	Setiembre	28/09/2020 07:00	29/09/2020 07:00	0.36	24.00	23.64	98.51	2020	Noviembre	27/11/2020 07:00	28/11/2020 07:00	4.16	20.41	16.25	79.63
2020	Setiembre	29/09/2020 07:00	30/09/2020 07:00	0.17	23.49	23.32	99.29	2020	Noviembre	28/11/2020 07:00	29/11/2020 07:00	0.28	24.00	23.72	98.83
2020	Setiembre	30/09/2020 07:00	01/10/2020 07:00	1.03	24.00	22.97	95.69	2020	Noviembre	29/11/2020 07:00	30/11/2020 07:00	0.15	24.00	23.85	99.38
2020	Octubre	01/10/2020 07:00	02/10/2020 07:00	0.15	24.00	23.85	99.37	2020	Noviembre	30/11/2020 07:00	01/12/2020 07:00	0.18	24.00	23.82	99.25
2020	Octubre	02/10/2020 07:00	03/10/2020 07:00	4.25	24.00	19.75	82.28	2020	Diciembre	01/12/2020 07:00	02/12/2020 07:00	2.20	24.00	21.80	90.83
2020	Octubre	03/10/2020 07:00	04/10/2020 07:00	1.18	24.00	22.83	95.1	2020	Diciembre	02/12/2020 07:00	03/12/2020 07:00	0.16	24.00	23.84	99.33
2020	Octubre	04/10/2020 07:00	05/10/2020 07:00	0.15	24.00	23.85	99.38	2020	Diciembre	03/12/2020 07:00	04/12/2020 07:00	0.22	24.00	23.78	99.08
2020	Octubre	05/10/2020 07:00	06/10/2020 07:00	6.13	24.00	17.88	74.48	2020	Diciembre	04/12/2020 07:00	05/12/2020 07:00	1.35	24.00	22.65	94.38
2020	Octubre	06/10/2020 07:00	07/10/2020 07:00	0.08	24.00	23.92	99.66	2020	Diciembre	05/12/2020 07:00	06/12/2020 07:00	0.18	24.00	23.83	99.27
2020	Octubre	07/10/2020 07:00	08/10/2020 07:00	0.10	24.00	23.90	99.58	2020	Diciembre	06/12/2020 07:00	07/12/2020 07:00	0.31	24.00	23.69	98.72
2020	Octubre	08/10/2020 07:00	09/10/2020 07:00	0.90	24.00	23.10	96.25	2020	Diciembre	07/12/2020 07:00	08/12/2020 07:00	0.12	24.00	23.88	99.51
2020	Octubre	09/10/2020 07:00	10/10/2020 07:00	0.56	24.00	23.44	97.66	2020	Diciembre	08/12/2020 07:00	09/12/2020 07:00	0.18	24.00	23.82	99.25
2020	Octubre	10/10/2020 07:00	11/10/2020 07:00	0.15	24.00	23.85	99.37	2020	Diciembre	09/12/2020 07:00	10/12/2020 07:00	0.12	24.00	23.88	99.5
2020	Octubre	11/10/2020 07:00	12/10/2020 07:00	0.17	24.00	23.83	99.31	2020	Diciembre	10/12/2020 07:00	11/12/2020 07:00	0.24	24.00	23.76	99
2020	Octubre	12/10/2020 07:00	13/10/2020 07:00	0.12	24.00	23.88	99.5	2020	Diciembre	11/12/2020 07:00	12/12/2020 07:00	0.19	24.00	23.81	99.21
2020	Octubre	13/10/2020 07:00	14/10/2020 07:00	2.66	24.00	21.34	88.92	2020	Diciembre	12/12/2020 07:00	13/12/2020 07:00	0.22	24.00	23.78	99.1
2020	Octubre	14/10/2020 07:00	15/10/2020 07:00	0.23	19.38	19.16	98.84	2020	Diciembre	13/12/2020 07:00	14/12/2020 07:00	2.10	24.00	21.90	91.24
2020	Octubre	15/10/2020 07:00	16/10/2020 07:00	6.10	24.00	17.90	74.58	2020	Diciembre	14/12/2020 07:00	15/12/2020 07:00	0.23	24.00	23.78	99.06
2020	Octubre	16/10/2020 07:00	17/10/2020 07:00	0.30	24.00	23.70	98.76	2020	Diciembre	15/12/2020 07:00	16/12/2020 07:00	0.21	24.00	23.79	99.13
2020	Octubre	17/10/2020 07:00	18/10/2020 07:00	0.15	24.00	23.85	99.38	2020	Diciembre	16/12/2020 07:00	17/12/2020 07:00	0.15	24.00	23.85	99.38
2020	Octubre	18/10/2020 07:00	19/10/2020 07:00	5.00	24.00	19.00	79.17	2020	Diciembre	17/12/2020 07:00	18/12/2020 07:00	0.33	24.00	23.68	98.65
2020	Octubre	19/10/2020 07:00	20/10/2020 07:00	0.22	24.00	23.78	99.06	2020	Diciembre	18/12/2020 07:00	19/12/2020 07:00	0.21	24.00	23.79	99.13
2020	Octubre	20/10/2020 07:00	21/10/2020 07:00	3.78	24.00	20.23	84.27	2020	Diciembre	19/12/2020 07:00	20/12/2020 07:00	1.26	23.17	21.91	94.57
2020	Octubre	21/10/2020 07:00	22/10/2020 07:00	0.15	24.00	23.85	99.38	2020	Diciembre	20/12/2020 07:00	21/12/2020 07:00	0.47	8.75	8.28	94.67
2020	Octubre	22/10/2020 07:00	23/10/2020 07:00	2.19	24.00	21.81	90.87	2020	Diciembre	21/12/2020 07:00	22/12/2020 07:00	0.26	24.00	23.74	98.92
2020	Octubre	23/10/2020 07:00	24/10/2020 07:00	2.10	24.00	21.90	91.25	2020	Diciembre	22/12/2020 07:00	23/12/2020 07:00	0.32	24.00	23.68	98.65
2020	Octubre	24/10/2020 07:00	25/10/2020 07:00	0.13	24.00	23.87	99.46	2020	Diciembre	23/12/2020 07:00	24/12/2020 07:00	0.54	24.00	23.46	97.74
2020	Octubre	25/10/2020 07:00	26/10/2020 07:00	2.95	24.00	21.05	87.71	2020	Diciembre	24/12/2020 07:00	25/12/2020 07:00	1.30	24.00	22.70	94.58
2020	Octubre	26/10/2020 07:00	27/10/2020 07:00	0.26	24.00	23.74	98.92	2020	Diciembre	25/12/2020 07:00	26/12/2020 07:00	16.93	24.00	7.08	29.48
2020	Octubre	27/10/2020 07:00	28/10/2020 07:00	0.13	24.00	23.87	99.46	2020	Diciembre	26/12/2020 07:00	27/12/2020 07:00	3.79	22.45	18.66	83.11

Año	Mes	Fecha Inicio	Fecha Final	Horas Off-Line 0330-ZPS-0001 (hh:mm)	Horas SAG N°1Running (hh:mm)	Funcionamiento del equipo PSM (hh:mm)	% Disponibilidad diario PSM	Año	Mes	Fecha Inicio	Fecha Final	Horas Off-Line 0330-ZPS-0001 (hh:mm)	Horas SAG N°1Running (hh:mm)	Funcionamiento del equipo PSM (hh:mm)	% Disponibilidad diario PSM
2020	Diciembre	27/12/2020 07:00	28/12/2020 07:00	0.20	24.00	23.80	99.17	2021	Enero	28/01/2021 07:00	29/01/2021 07:00	1.63	23.51	21.88	93.05
2020	Diciembre	28/12/2020 07:00	29/12/2020 07:00	0.25	24.00	23.75	98.96	2021	Enero	29/01/2021 07:00	30/01/2021 07:00	0.50	24.00	23.50	97.92
2020	Diciembre	29/12/2020 07:00	30/12/2020 07:00	0.26	24.00	23.74	98.92	2021	Enero	30/01/2021 07:00	31/01/2021 07:00	0.14	24.00	23.9	100
2020	Diciembre	30/12/2020 07:00	31/12/2020 07:00	0.52	24.00	23.48	97.83	2021	Enero	31/01/2021 07:00	01/02/2021 07:00	1.61	24.00	22.4	93
2020	Diciembre	31/12/2020 07:00	01/01/2021 07:00	0.21	24.00	23.79	99.13	2021	Febrero	01/02/2021 07:00	02/02/2021 07:00	0.35	24.00	23.7	99
2021	Enero	01/01/2021 07:00	02/01/2021 07:00	10.98	24.00	13.02	54.24	2021	Febrero	02/02/2021 07:00	03/02/2021 07:00	0.33	24.00	23.7	99
2021	Enero	02/01/2021 07:00	03/01/2021 07:00	0.30	24.00	23.70	98.75	2021	Febrero	03/02/2021 07:00	04/02/2021 07:00	0.22	24.00	23.8	99
2021	Enero	03/01/2021 07:00	04/01/2021 07:00	0.57	24.00	23.43	97.64	2021	Febrero	04/02/2021 07:00	05/02/2021 07:00	0.18	24.00	23.8	99
2021	Enero	04/01/2021 07:00	05/01/2021 07:00	0.18	24.00	23.82	99.25	2021	Febrero	05/02/2021 07:00	06/02/2021 07:00	0.20	24.00	23.8	99
2021	Enero	05/01/2021 07:00	06/01/2021 07:00	0.09	24.00	23.91	99.63	2021	Febrero	06/02/2021 07:00	07/02/2021 07:00	0.43	24.00	23.6	98
2021	Enero	06/01/2021 07:00	07/01/2021 07:00	0.28	24.00	23.73	98.85	2021	Febrero	07/02/2021 07:00	08/02/2021 07:00	0.13	24.00	23.9	100
2021	Enero	07/01/2021 07:00	08/01/2021 07:00	2.53	24.00	21.48	89.48	2021	Febrero	08/02/2021 07:00	09/02/2021 07:00	0.27	24.00	23.7	99
2021	Enero	08/01/2021 07:00	09/01/2021 07:00	0.10	24.00	23.90	99.58	2021	Febrero	09/02/2021 07:00	10/02/2021 07:00	0.35	24.00	23.6	98
2021	Enero	09/01/2021 07:00	10/01/2021 07:00	0.26	24.00	23.74	98.92	2021	Febrero	10/02/2021 07:00	11/02/2021 07:00	4.25	24.00	19.8	82
2021	Enero	10/01/2021 07:00	11/01/2021 07:00	0.16	24.00	23.84	99.33	2021	Febrero	11/02/2021 07:00	12/02/2021 07:00	0.23	24.00	23.8	99
2021	Enero	11/01/2021 07:00	12/01/2021 07:00	0.19	24.00	23.81	99.2	2021	Febrero	12/02/2021 07:00	13/02/2021 07:00	0.19	24.00	23.8	99
2021	Enero	12/01/2021 07:00	13/01/2021 07:00	0.17	24.00	23.83	99.29	2021	Febrero	13/02/2021 07:00	14/02/2021 07:00	0.42	24.00	23.6	98
2021	Enero	13/01/2021 07:00	14/01/2021 07:00	3.89	24.00	20.11	83.78	2021	Febrero	14/02/2021 07:00	15/02/2021 07:00	0.22	24.00	23.8	99
2021	Enero	14/01/2021 07:00	15/01/2021 07:00	1.63	24.00	22.37	93.23	2021	Febrero	15/02/2021 07:00	16/02/2021 07:00	0.19	24.00	23.8	99
2021	Enero	15/01/2021 07:00	16/01/2021 07:00	0.38	24.00	23.62	98.4	2021	Febrero	16/02/2021 07:00	17/02/2021 07:00	0.24	24.00	23.8	99
2021	Enero	16/01/2021 07:00	17/01/2021 07:00	0.51	24.00	23.49	97.88	2021	Febrero	17/02/2021 07:00	18/02/2021 07:00	1.26	20.10	18.8	94
2021	Enero	17/01/2021 07:00	18/01/2021 07:00	0.15	24.00	23.85	99.38	2021	Febrero	18/02/2021 07:00	19/02/2021 07:00				
2021	Enero	18/01/2021 07:00	19/01/2021 07:00	0.18	24.00	23.82	99.25	2021	Febrero	19/02/2021 07:00	20/02/2021 07:00				
2021	Enero	19/01/2021 07:00	20/01/2021 07:00	0.50	23.77	23.27	97.89	2021	Febrero	20/02/2021 07:00	21/02/2021 07:00				
2021	Enero	20/01/2021 07:00	21/01/2021 07:00	1.98	23.18	21.20	91.44	2021	Febrero	21/02/2021 07:00	22/02/2021 07:00				
2021	Enero	21/01/2021 07:00	22/01/2021 07:00	9.73	24.00	14.28	59.48	2021	Febrero	22/02/2021 07:00	23/02/2021 07:00				
2021	Enero	22/01/2021 07:00	23/01/2021 07:00	3.42	24.00	20.58	85.76	2021	Febrero	23/02/2021 07:00	24/02/2021 07:00				
2021	Enero	23/01/2021 07:00	24/01/2021 07:00	0.98	24.00	23.02	95.9	2021	Febrero	24/02/2021 07:00	25/02/2021 07:00	4.41	9.42	5	53
2021	Enero	24/01/2021 07:00	25/01/2021 07:00	0.15	24.00	23.85	99.38	2021	Febrero	25/02/2021 07:00	26/02/2021 07:00	0.60	24.00	23.4	98
2021	Enero	25/01/2021 07:00	26/01/2021 07:00	0.38	24.00	23.62	98.42	2021	Febrero	26/02/2021 07:00	27/02/2021 07:00	0.80	24.00	23.2	97
2021	Enero	26/01/2021 07:00	27/01/2021 07:00	0.35	24.00	23.65	98.54	2021	Febrero	27/02/2021 07:00	28/02/2021 07:00	0.11	24.00	23.9	100
2021	Enero	27/01/2021 07:00	28/01/2021 07:00	0.12	24.00	23.88	99.5	2021	Febrero	28/02/2021 07:00	01/03/2021 07:00	0.15	24.00	23.9	100

Nota: PI System de Control de Procesos - Las Bambas.

PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES Y UNIDADES	MÉTODOLOGIA
<p>Problema general</p> <p>¿Es posible calibrar el analizador PSM 400MPX para la evaluación y su estabilización del patrón P80 de overflow de los nidos de hidrociclones para el control y monitoreo de la granulometría en el circuito de molienda en la planta concentradora de Las Bambas?</p> <p>Problema específico.</p> <p>¿Será posible demostrar que las correlaciones y regresiones de las distribuciones granulométricas expresadas mediante una función lineal en el software the modeler para porcentaje de sólidos, mallas 40, 50 y 70 del overflow en el PSM 400MPX sean altas en la evaluación del patrón de P80 para el control y monitoreo de la granulometría en el circuito de molienda en la planta concentradora Las Bambas?</p> <p>¿Se podrá optimizar la disponibilidad operacional para un periodo de tiempo del PSM 400MPX de overflow de los hidrociclones para el control y monitoreo del P80 en el circuito de molienda de la planta concentradora de Las Bambas?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Calibrar el equipo PSM 400MPX para la evaluación y estabilización del patrón P80 de overflow de los nidos de hidrociclones para el control y monitoreo de la granulometría en el circuito de molienda de la planta concentradora de Las Bambas – Apurímac.</p> <p>Objetivos específicos.</p> <p>1. Demostrar que las correlaciones y regresiones de las distribuciones granulométricas expresadas mediante una función lineal en el software the modeler para porcentaje de sólidos, mallas 40, 50 y 70 del overflow en el PSM 400MPX son altas en la evaluación de la calibración del patrón de P80 para el control y monitoreo de la granulometría en el circuito de molienda en la planta concentradora Las Bambas.</p> <p>2. Optimizar la disponibilidad operacional para un periodo de tiempo del PSM 400MPX del overflow de los nidos de hidrociclones para el control y monitoreo del P80 en el circuito de molienda de la planta concentradora de Las Bambas.</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>Con modelamientos de evaluación en las mallas de análisis se calibra el patrón P80 y se estabiliza las medias, donde los errores relativos son menores a 5% en el overflow de los nidos de hidrociclones para el control y monitoreo de la granulometría en el circuito de molienda en la planta concentradora de las Bambas.</p> <p>Hipótesis específica.</p> <p>1. Con las pruebas de calibraciones y correcciones, las correlaciones y regresiones de las distribuciones granulométricas expresadas mediante una función lineal en el software the modeler en el PSM 400MPX son elevadas a más del 90% en porcentaje de sólidos, mallas 40, 50 y 70 del overflow de los nidos de hidrociclones para la evaluación del patrón P80 para el control y monitoreo de la granulometría en el circuito molienda de la planta concentradora de las Bambas.</p> <p>2. Se optimiza la disponibilidad operacional del PSM 400MPX del overflow de los nidos de hidrociclones a más del 90% mensual para el control y monitoreo del P80 en el circuito de molienda de la planta concentradora de las Bambas.</p>	<p>VARIABLES Y UNIDADES</p> <p>VARIABLES INDEPENDIENTES.</p> <ul style="list-style-type: none"> Numero de mallas 40, 50, 70 y porcentaje de sólidos. Tiempo de funcionamiento del PSM <p>Variable dependiente.</p> <ul style="list-style-type: none"> Optimización del patrón de P₈₀ en el PSM 400 MPX 	<p>Ámbito de estudio</p> <p>La investigación se realizó en la empresa Minera Las Bambas Operada por MMG Ltda. Que se encuentra en proceso de producción de concentrado BULK de cobre y concentrado de Molibdeno en la región de Apurímac. A partir de la pulpa de mineral proveniente de la molienda que son alimentados a los nidos de clasificadores y los productos Overflow son proveídos a los equipos PSM 400 MPX mediante muestreadores estáticos y Underflow ingresa hacia molienda secundaria de la planta concentradora de las Bambas.</p> <p>Tipo de investigación</p> <p>Cuantitativa, y Experimental</p> <p>Nivel de investigación</p> <p>Correlacional y analítico</p> <p>POBLACIÓN:</p> <p>Pulpa de mineral de los molinos producto de los clasificadores de los nidos 1 y 2, que son proveídos la pulpa Overflow a los muestreadores estáticos donde el 95% son pasantes y 5% son retenido y enviados a los PSM para su trabajo continuo.</p> <p>MUESTRA:</p> <p>Se obtendrán muestras de estandarizaciones de los equipos aleatoriamente durante 24 horas para análisis granulométrico.</p> <p>PSM1- 400 MPX</p> <p>O/F1= 2.5 litros de muestra de pulpa</p> <p>O/F2= 2.5 litros de muestra de pulpa</p> <p>Procesamiento de data</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Revisión documental. ✓ Técnicas de recolección de datos. ✓ Procesamiento de data y resultados.

“EVALUACIÓN DE LA CALIBRACIÓN DEL PATRÓN P₈₀ EN EL PSM 400MPX DE OVERFLOW EN NIDOS DE HIDROCICLONES EN PLANTA CONCENTRADORA LAS BAMBAS - APURÍMAC”