

FACULTAD DE INGENIERÍA



CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

“SUPERVISIÓN DE LOS MOLINOS INDUSTRIALES PARA OPTIMIZAR EL INCREMENTO EN LA PRODUCCIÓN DE MINERALES EN UNA EMPRESA MINERA DEL DEPARTAMENTO DE PASCO – 2021”

Trabajo de suficiencia profesional para optar el título profesional de:

Ingeniero Mecatrónico

Autor:

Crhystiam Junior Pacchioni Advincula

Asesor:

Mg. Jorge Luis Contreras Cossio

Lima - Perú

2021

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO	iii
TABLA DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN EJECUTIVO	14
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	16
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	18
CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA	22
3.1. ETAPA DE PLANIFICACION Y DEFINICION.....	26
3.1.1 Identificar El Problema.....	23
3.1.2 Cronograma del Proyecto	26
3.1.3 Matriz de Despliegue de las Funciones de Calidad (QFD).....	27
3.1.4 Diagrama Sipoc (Proveedor, Entrada, Procesos, Salidas y Clientes).....	28
3.1.5 Diagrama De Proceso	28
3.1.6 Matriz Análisis Modal de Falla y Efectos (AMFE)	28
3.1.7 Sintesis de Conexión en el Equipo	28
3.1.8 Rápidas ganancias (Quick Wins)	29
CAPÍTULO IV. RESULTADOS	31
4.1. Etapa de Medición del Proceso e Indicadores	31
4.1.1 Fijación de Variables	31
a. Disponibilidad.....	31
b. Utilización.....	32
c. Eficiencia Total.....	33
4.1.3 Plan de Obtención de Datos	34

4.1.4 Autenticación de la Estructura de Medición	35
4.1.5 Comportamiento o Caracterización de Variables – RD 02	36
a. Circuito RD02 - Disponibilidad.....	36
b. Circuito RD02 - Utilización	36
c. Circuito RD02 - Eficiencia	36
d. Circuito RD02 - OEE	43
4.1.6 Comportamiento o Caracterización de Variables – RD 03	36
a. Circuito RD03 - Disponibilidad.....	36
b. Circuito RD03 - Utilización	36
c. Circuito RD03 - Eficiencia	36
d. Circuito RD03 - OEE	36
4.1.7 Comportamiento o Caracterización de Variables – RD 04	36
a. Circuito RD04 - Disponibilidad.....	36
b. Circuito RD04 - Utilización	36
c. Circuito RD04 - Eficiencia	36
d. Circuito RD04 - OEE	36
4.1.8 Resumen de Comportamiento de Variables por Circuito.....	65
a. Estabilidad y Normalidad	65
b. Capacidad del Proceso.....	65
4.2. Etapa de Análisis de Datos Obtenidos	66
4.2.1 Análisis de Causas-Validación por Correlación y Regresión.....	66
4.2.2 Disponibilidad	66
a. Diagrama de Pareto.....	66
b. Análisis de Causa de Fallas	68
c. Análisis de Correlación y Regresión	71
4.2.3 Utilización... ..	73
a. Diagrama de Pareto.....	73

b. Analisis de Causa de Fallas	74
c. Analisis de Correlacion y Regresion	74
4.2.4 Eficiencia.....	75
a. Diagrama de Pareto.....	75
b. Analisis de Causa de Fallas	75
c. Analisis de Correlacion y Regresion	76
4.3.ETAPA MEDRA DE ANALISIS	76
4.3.1 Identificación de Soluciones.....	76
a. Disponibilidad.....	76
b. Utilizacion	78
c. Eficiencia	79
4.3.2 Análisis Estadístico-Test de Hipótesis	80
a. Implementación de Preuso de Operación	81
b. Control Diario de Cumplimiento de Mantto Preventivo	82
c. Sensores en Faja	83
d. Control Diario de Operación de Bombas	84
4.3.3 Diseño de Experimentos (DOE).....	85
a. Análisis Diseño Circuito RD02	86
b. Análisis Diseño Circuito RD03	91
c. Análisis Diseño Circuito RD04	97
4.3.4 Matriz Analisis Modal de Falla y Efecto de las Soluciones	104
4.3.5 Riesgos Identificados Considerando las Soluciones	105
4.3.6 Matriz del Plan de Comunicacion	106
4.4.Etapa de Control de Procesos e Indicadores	106
4.4.1 Desempeño Del Proceso Despues de la Mejora	106
a. Desempeño Circuito RD02	106
b. Desempeño Circuito RD03.....	107

c. Desempeño Circuito RD04	107
d. Desempeño Circuito Total.....	108
4.4.2 Comparación de Capacidades (antes y después de la mejora)	112
4.4.3 Plan de Implementación	113
4.4.4 Documentos y Procedimientos	114
4.4.5 Operaciones	114
4.4.6 Plan De Entrenamiento.....	116
4.4.7 Plan de Control.....	117
4.4.8 Tablero De Control.....	117
4.4.9 Oportunidades De Replicación.....	119
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	121
5.1.Conclusiones	121
5.1.1 Del Proyecto	121
5.1.2 De la Aplicación de Herramientas de Gestion.....	122
5.1.3 De la Aplicación a Futuro.....	123
5.1.RECOMENDACIONES	124
REFERENCIAS.....	125
ANEXOS.....	128

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Comparacion de Kpi's.....	24
Tabla 2 Limites Tecnicos por Circuito	25
Tabla 3 Comparativa de Rendimiento	25
Tabla 4 Matriz de Despliegue de Funcion de Calidad.....	27
Tabla 5 Sintesis de Conexion	29
Tabla 6 Quick Wins.....	30
Tabla 7 Límite Técnico por Circuitos.....	33
Tabla 8 Plan de Obtencion de Datos	35
Tabla 9 Resumen de Caracterización de Variables	65
Tabla 10 Resumen de Capacidad del Proceso por Circuito.....	66
Tabla 11 Tabla de Causas.....	68
Tabla 12 Fallas a Analizar	68
Tabla 13 Test de Hipótesis	71
Tabla 14 Causas que Afectaron las Horas de Utilización	73
Tabla 15 Test de Hipótesis de Causa Principal	74
Tabla 16 Resumen de Planes de Acción a Implementar	81
Tabla 17 Consideraciones para el Diseño de Experimento	85
Tabla 18 Plan de Comunicaciones de Mejoras.....	106
Tabla 19 Plan de Implementacion	114
Tabla 20 Plan de Entrenamiento de Procedimientos - Operaciones Planta.....	115
Tabla 21 Plan de Entrenamiento de Procedimientos de Mantenimiento.....	116
Tabla 22 Indicadores a Monitorear	117
Tabla 23 Oportunidad de Replicar el Proyecto de Mejora	120

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Tonelaje Acumulado Mensual	23
Figura 2 Tonelaje Promedio Diario	24
Figura 3 Gantt del Proyecto.....	26
Figura 4 Molino Rodmill 2.....	33
Figura 5 Molino Rodmill 3.....	34
Figura 6 Molino Rodmill 4.....	34
Figura 7 Gráfica de Estabilidad I-MR - Disponibilidad Rodmill 2.....	36
Figura 8 Grafica de Normalidad – Disponibilidad Rodmill 2.....	37
Figura 9 Tranformaciones Individuales – Disponibilidad Rodmill 2	37
Figura 10 Capacidad de Proceso – Disponibilidad Rodmill 2	38
Figura 11 Gráfica de Estabilidad I-MR – Utilizacion Rodmill 2	39
Figura 12 Grafica de Normalidad – Utilización Rodmill 2	39
Figura 13 Transformaciones individuales – Utilización Rodmill 2	40
Figura 14 Capacidad de Proceso – Utilización Rodmill 2	41
Figura 15 Gráfica de Estabilidad I-MR – Eficiencia Rodmill 2	41
Figura 16 Grafica de Normalidad – Eficiencia Rodmill 2.....	42
Figura 17 Transformaciones individuales – Eficiencia Rodmill 2.....	42
Figura 18 Capacidad de Proceso – Eficiencia Rodmill 2.....	43
Figura 19 Gráfica de Estabilidad I-MR – OEE Rodmill 2	44
Figura 20 Grafica de Normalidad – OEE Rodmill 2.....	44
Figura 21 Transformaciones individuales – OEE Rodmill 2	45
Figura 22 Capacidad de Proceso – OEE Rodmill 2	45
Figura 23 Gráfica de Estabilidad I-MR – Disponibilidad Rodmill 3	46
Figura 24 Grafica de Normalidad – Disponibilidad Rodmill 3.....	47

Figura 25 Transformaciones individuales – Disponibilidad Rodmill 3	47
Figura 26 Capacidad de Proceso – Disponibilidad Rodmill 3	48
Figura 27 Gráfica de Estabilidad I-MR – Utilización Rodmill 3	49
Figura 28 Grafica de Normalidad – Utilización Rodmill 3	49
Figura 29 Transformaciones individuales – Utilización Rodmill 3	50
Figura 30 Capacidad de Proceso – Utilización Rodmill 3	50
Figura 31 Gráfica de Estabilidad I-MR – Eficiencia Rodmill 3	51
Figura 32 Grafica de Normalidad – Eficiencia Rodmill 3.....	52
Figura 33 Transformaciones individuales – Eficiencia Rodmill 3.....	52
Figura 34 Capacidad de Proceso – Eficiencia Rodmill 3.....	53
Figura 35 Gráfica de Estabilidad I-MR – OEE Rodmill 3	53
Figura 36 Grafica de Normalidad – OEE Rodmill 3.....	54
Figura 37 Transformaciones individuales – OEE Rodmill 3	54
Figura 38 Capacidad de Proceso – OEE Rodmill 3	55
Figura 39 Gráfica de Estabilidad I-MR – Disponibilidad Rodmill 4	56
Figura 40 Grafica de Normalidad – Disponibilidad Rodmill 4.....	56
Figura 41 Transformaciones individuales – Disponibilidad Rodmill 4	57
Figura 42 Capacidad de Proceso – Disponibilidad Rodmill 4	57
Figura 43 Gráfica de Estabilidad I-MR – Utilización Rodmill.....	48
Figura 44 Grafica de Normalidad – Utilización Rodmill 4.....	59
Figura 45 Transformaciones individuales – Utilización Rodmill 4	59
Figura 46 Capacidad de Proceso – Utilización Rodmill 4	60
Figura 47 Gráfica de Estabilidad I-MR – Eficiencia Rodmill 4.....	60
Figura 48 Grafica de Normalidad – Eficiencia Rodmill 4.....	61
Figura 49 Transformaciones individuales – Eficiencia Rodmill 4.....	61
Figura 50 Capacidad de Proceso – Eficiencia Rodmill 4.....	62

Figura 51 Gráfica de Estabilidad I-MR – OEE Rodmill 4	63
Figura 52 Grafica de Normalidad – OEE Rodmill 4.....	63
Figura 53 Transformaciones individuales – OEE Rodmill 4	64
Figura 54 Capacidad de Proceso – OEE Rodmill 4	64
Figura 55 Diagrama de Pareto sin Contar Falla de Eje Flotante	67
Figura 56 Diagrama de Pareto con Falla de Eje Flotante.....	67
Figura 57 Sistema de lubricación	69
Figura 58 Falla de Rodamientos.....	69
Figura 59 Análisis de Soltura de Pernos.....	70
Figura 60 Análisis de Falla de Sistema de Embrague	70
Figura 61 Análisis de Falla en Eje Flotante	70
Figura 62 Modelo de Regresión Múltiple para Disponibilidad	72
Figura 63 Diagrama de Pareto para Utilizacion	73
Figura 64 Análisis de Falla de Cedazo Lavador N°1	74
Figura 65 Regresión Múltiple para utilización	75
Figura 66 Análisis de Causa de Fallas para Eficiencia.....	75
Figura 67 Planes de Acción - Falla de Sistema de Lubricación.....	76
Figura 68 Planes de Acción - Falla de Rodamientos	77
Figura 69 Planes de Acción - Soltura de Pernos	77
Figura 70 Planes de Acción - Falla de Sistema de Embrague	78
Figura 71 Planes de Acción - Falla en Eje Flotante	78
Figura 72 Planes de Acción - Falla en Cedazo N°1	79
Figura 73 Plan de Acción - Baja Eficiencia en Circuito de Molienda.....	80
Figura 74 Resumen de Análisis de Fallas.....	80
Figura 75 Test de hipótesis – Implementación de Pre-uso de Operación	82

Figura 76 Valor p de Prueba de Hipotesis	82
Figura 77 Test de hipótesis – Control Diario de Mantenimiento	83
Figura 78 Test de Hipotesis – Sensores de Faja	83
Figura 79 Valor p de Prueba de Hipotesis	84
Figura 80 Test de Hipotesis – Control Diario de Operaciones de Bomba	84
Figura 81 Valor p de Prueba de Hipotesis	85
Figura 82 Diagrama de Pareto de Efectos Estandarizados – Rodmill 2	86
Figura 83 Gráfica de residuos – Rodmill 2	86
Figura 84 Valor p de Prueba de Hipotesis	87
Figura 85 Diagrama de Pareto sin Combinación de Factores – Rodmill 2	87
Figura 86 Gráfica de residuos sin combinación de factores – Rodmill 2	88
Figura 87 Valor p de Prueba de Hipotesis	88
Figura 88 Gráfica de efectos principales – Rodmill 2	89
Figura 89 Gráfica de cubos – Rodmill 2	90
Figura 90 Gráfica de optimización de respuestas – Rodmill 2	90
Figura 91 Valor p de Prueba de Hipotesis	91
Figura 92 Diagrama de Pareto de Efecto Estandarizado Rodmill 3	92
Figura 93 Gráfica de Residuos – Rodmill 3	92
Figura 94 Valor p de Prueba de Hipotesis	93
Figura 95 Diagrama de Pareto sin Combinación de Factores – Rodmill 3	93
Figura 96 Gráfica de Residuos sin Combinación de Factores – Rodmill 3	94
Figura 97 Valor p de Prueba de Hipotesis	94
Figura 98 Gráfica de efectos principales – Rodmill 3	95
Figura 99 Gráfica de Cubos – Rodmill 3	96
Figura 100 Gráfica de Optimización de Respuestas – Rodmill 3	96
Figura 101 Valor p de Prueba de Hipotesis	97
Figura 102 Diagrama de Pareto de efecto estandarizado Rodmill 4	98

Figura 103 Gráfica de Residuos – Rodmill 4	98
Figura 104 Valor p de Prueba de Hipotesis	99
Figura 105 Diagrama de Pareto sin Combinación de Factores – Rodmill 4	99
Figura 106 Gráfica de Residuos sin Combinación de Factores – Rodmill 4.....	100
Figura 107 Valor p de Prueba de Hipotesis	101
Figura 108 Gráfica de Efectos Principales – Rodmill 4	101
Figura 109 Gráfica de cubos – Rodmill 4	102
Figura 110 Gráfica de Optimización de Respuestas – Rodmill 4	103
Figura 111 Valor p de Prueba de Hipotesis	103
Figura 112 AMFE de Soluciones	104
Figura 113 Matriz de Identificación de Riesgos.....	105
Figura 114 Mejoras OEE - Circuito Rodmill 2	107
Figura 115 Mejoras OEE - Circuito Rodmill 3	107
Figura 116 Mejoras OEE - Circuito Rodmill 4	108
Figura 117 Mejoras OEE – Circuito Molienda Global.....	108
Figura 118 Disponibilidad Circuito de Molienda	109
Figura 119 Utilización Circuito de Molienda – Circuito Total	110
Figura 120 Eficiencia del Circuito de Molienda – Circuito Total.....	110
Figura 121 Rendimiento del Circuito de Molienda (tph)	111
Figura 122 Analisis de Estabilidad	111
Figura 123 Gráfica IMR de Estabilidad por Etapas	112
Figura 124 Comparación de Capacidades Después de la Mejora	112
Figura 125 Capacidad de Largo Plazo (antes y después de la mejora)	113
Figura 126 Gantt de Plan de Entrenamiento.....	117
Figura 127 Tablero de Control Para Monitoreo de Variables	119

RESUMEN EJECUTIVO

La Minera en estudio está conformada por 2 minas subterráneas (actualmente inoperativas), 1 tajo abierto (donde se extrae el mineral) y 1 planta concentradora cuya capacidad en sus inicios fue de 12,000 Toneladas por Día (TPD).

Por ello el presente proyecto se enfocará en el área más susceptible de todo el proceso que es el área de Molienda, el cual al realizar las mediciones y seguimiento de índices y KPI's no llega a los especificado por la Corporación ni las especificaciones dadas para ser una minera de clase mundial.

Estas desviaciones van generando muchas falencias en el proceso de producción y no haciendo posible el cumplimiento del plan ni el Budget que son los indicadores que rigen la productividad, generando sobrecostos y excedente de paradas no planificadas en la unidad operativa.

Se aplicará la metodología 6-S (six Sigma) para identificar los parámetros de operación que causan la variabilidad del proceso. Para ellos utilizaremos las siguientes etapas:

- Etapa Conformación del Equipo de Desarrollo: Se determinará las personas involucradas y respectivas responsabilidades.
- Etapa Planificación y Definición: Se identificarán las variables y fases críticas input – output a través de las herramientas de mejora.
- Etapa Medición de Indicadores: Utilizando herramientas estadísticas se evaluará las posibles causas raíces que determinan el comportamiento.
- Etapa Análisis de datos: Se observará a profundidad los parámetros e índices obtenidos.
- Etapa Medra o Mejora de Análisis: Se realizará la comparación exhaustiva de datos analizados previamente.

- Etapa de Control de procesos e Indicadores: Se proyectará planes de acciones que permita validar, medir y controlar las variables analizadas cotejándolo en nuevas posturas.

NOTA DE ACCESO

No se puede acceder al texto completo pues contiene datos confidenciales

REFERENCIAS

Olaya C. (2011) “Aumento de la Productividad en el Proceso de Molienda de Colpisa S.A”. Medellín: Universidad Eafit Escuela de Ingeniería. Departamento de Ingeniería de Producción

Gutierrez H. (2009) “Control Estadístico de calidad y Seis Sigma McGraw-Hill”, Edición 2

Prokopenko J. (1999) “La Gestión de la Productividad - Manual Práctico”, Edición Limusa

Bustamante A. (2017) “Optimización del Proceso de Molienda en la Planta 2 de Minera Saucito”. México: Instituto politécnico nacional – Escuela superior de Ingeniería Química e industrias Extractivas.

Velez, O. (2010). “Información general del proceso de molienda”. Medellín: Colpisa S.A.

Ceramic, Z. (2010). Milling media solutions, (p. 30). (s.f.). Recuperado el 10 de 5 de 2011, de sitio Web de Grupo Lleal:

http://www.lleal.com/producto_interior.php?id=&lab=1&tipus=proces&id_prod=

103

(s.f.). Recuperado el 13 de 5 de 2011, de sitio Web de Columbian Chemicals:

[http://www.columbianchemicals.com/Portals/0/Products/Literature/Spanish/paint
sp.pdf](http://www.columbianchemicals.com/Portals/0/Products/Literature/Spanish/paintsp.pdf)

(s.f.). Recuperado el 10 de 5 de 2011, de sitio Web de Eirich The Pioneer in

Material Processing: <http://www.eirich-molaris.es/es/tower-mill>

(s.f.). Recuperado el 13 de 5 de 2011, de sitio Web de Tecnologías limpias:

http://www.tecnologiaslimpias.org/html/central/352101/352101_ee.htm

(s.f.). Recuperado el 13 de 5 de 2011, de sitio Web de Alipso:

<http://www.alipso.com/monografias/molienda/>

(s.f.). Recuperado el 15 de 5 de 2011, de sitio Web de Patentes online:

<http://www.patentesonline.com.mx/molino-de-rodillos-37335.html>

(s.f.). Recuperado el 15 de 5 de 2011, de sitio Web de Solos Stocks:

[http://www.solostocks.com.mx/venta-productos/instrumentos-medicionalisis/
instrumentos-medicion/grindometro-de-molienda-pintura-tinta-225023](http://www.solostocks.com.mx/venta-productos/instrumentos-medicionalisis/instrumentos-medicion/grindometro-de-molienda-pintura-tinta-225023)

(s.f.). *Recuperado el 10 de 5 de 2011, de sitio Web de Ebroacero:*

www.ebroacero.com/plantas_cemento.aspx

(s.f.). *Recuperado el 15 de 5 de 2011, de sitio web de NETZSCH:*

www.netzschgrinding.com/es

(s.f.). *Recuperado el 12 de 6 de 2011, de sito web de cerawikia:*

ceramica.wikia.com/wiki/Molino_de_bolas

Harbs, E. T. (2009). *“Tecnologia de molinos de esferas”*. Sao Pablo: *NETZSCH DO BRASIL*.

Runger, M. (2002). *“Probabilidad y Estadística”*, Limusa.