

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	ii
DEDICATORIA	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE GENERAL	vi

### CAPITULO 1

#### INTRODUCCIÓN

1.1.- ANTECEDENTES Y MOTIVACIÓN	2
1.2.- DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	2
1.3.- SOLUCIÓN PROPUESTA	3
1.4.- OBJETIVOS Y ALCANCES DEL PROYECTO	3
1.4.1.- Objetivo General	3
1.4.2.- Objetivos Específicos	3
1.4.3.- Alcances del Proyecto	4
1.5.- METODOLOGÍAS Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS	4
1.6.- RESULTADOS OBTENIDOS	5
1.7.- ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO	5

### CAPITULO 2

#### ANTECEDENTES GENERALES

2.1.- ANTECEDENTES DE LA EMPRESA.	7
2.1.1- Corporación Nacional del Cobre	7
2.1.2- División El Teniente	7
2.1.3.- Gerencia Fundición (GFUN)	7
2.1.4.- Superintendencia de Mantenimiento Fundición (SMF)	8
2.1.5.- Unidad de Ingeniería de Confiabilidad	9
2.2.- PROCESOS DE FUNDICIÓN	10
2.2.1.- Preparación y Carga (PRECA)	10
2.2.2.- Fusión y Conversión (FUCO)	10
2.2.3.- Refinación y Moldeo (REMO)	10
2.2.4.- Planta de Limpieza de Gases (LIGA)	11
2.2.5.- Planta de Oxígeno, Aire y Nitrógeno (POAN)	11
2.3.- EQUIPO EN ESTUDIO: CONVERTIDOR TENIENTE	12
2.3.1.- Principales características	12
2.3.2.- Descripción del proceso	13

2.3.3.- Fundamentos piro-metalúrgicos	16
2.3.4.- Control de operaciones del proceso	17
2.3.5.- Equipos y componentes del Convertidor Teniente	20
2.3.6.- Equipos que acompañan en la operación	25
2.4.- Software utilizado: Pro/ENGINEER	25
2.4.1.- Modelado de piezas	25
2.4.2.- Procesos de modelado	25
2.4.3.- Mechanism	26
2.4.4.- Simulaciones	26
2.4.5.- Simulación Dinámica	27

### **CAPITULO 3**

#### **DESARROLLO DE LA MODELACIÓN Y SIMULACIÓN DINÁMICA**

3.1. EQUIPOS A MODELAR	29
3.1.1.- Especificaciones de los equipos a modelar y simular	29
3.2.- INTERFAZ DE PRO/ENGINEER	30
3.2.1.- Gestión de Ficheros	30
3.2.2.- Planos de referencia y sistema de coordenadas	31
3.2.3.- Navegación en Pro/ENGINEER	32
3.3.- ASPECTOS BÁSICOS DEL DISEÑO Y MONTAJE DE PIEZAS	33
3.3.1.- Modos de diseño básicos de Pro/E	33
3.3.2.- Herramientas de la creación de piezas en el programa de esbozo	34
3.3.3.- Herramientas de la evolución a un objeto tridimensional	36
3.3.4.- Modo Conjunto	38
3.3.5.- Manipulación de modelos	39
3.4.- MODELAMIENTO DEL CONVERTIDOR TENIENTE	40
3.4.1.- Procesos para el modelamiento	40
3.4.2.- Equipo a modelar	42
3.4.3.- Diseño 3D de piezas	44
3.4.4.- Montaje de piezas para formar un conjunto	51
3.4.5.- Montaje del Equipo	55
3.5.- SIMULACIÓN DINÁMICA DEL CONVERTIDOR TENIENTE	57
3.5.1.- Procesos de simulación	57
3.5.2.- Propiedades de masa	58
3.5.3.- Definición de condiciones de funcionamiento, operación e interrelación entre componentes	61
3.5.4.- Simulación Dinámica	67

**CAPITULO 4****PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

4.1.- Resultados gráficos de la modelación	74
4.1.1.- Sistema de Rodado	74
4.2.- Resultados gráficos de la simulación	76
4.2.1.- Resultados de medidas	76
4.3.- Resultados de la utilización del CT modelado	77
4.3.1.- Visualización general	78
4.3.2.- Dimensionamiento de espacios	80
4.3.3.- Plataforma para análisis de equipos	80

**CAPITULO 5****DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

5.1.- Modelación	83
5.1.1- CT modelado	83
5.1.2.- Plataforma de modelos para análisis	83
5.1.3.- Mejoras en la planificación de montajes	84
5.2.- Simulación Dinámica	84
5.2.1.- CT simulado dinámicamente	84
5.2.2.- Plataforma para simulación	85

**CAPITULO 6****CONCLUSIONES Y PROYECCIONES**

6.1.- Conclusiones	88
6.2.- Proyecciones	89
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90

**ANEXOS**

## ANEXO A

## EQUIPOS MODELADOS

A.1.- Identificación de los equipos modelados	92
A.2.- Resumen de modelados	94
A.3.- Resumen de funciones	95

## ANEXO B

## CARTA GANTT

## ANEXO C

96
99

TABLAS DE VOLUMENES MB Y ESCORIA	99
ANEXO D	
MEMORIA DE CÁLCULO	102
ANEXO E	
PLANOS DEL CT	115
ANEXO F	
RESULTADOS GRÁFICOS	118
F.1.- Fundaciones	119
F.2.- Tapas	120
F.3.- Boca de Gases	121
F.4.- Sistema de Conjuntos de Toberas	122
F.5.- Sistemas de Sujeción	123
F.6.- Casco	124
F.7.- Condiciones de funcionamiento	125

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Organigrama de la Gerencia Fundición.	8
Figura 2.2: Operaciones de la SMF.	9
Figura 2.3: Convertidor Teniente (CT).	13
Figura 2.4: Diagrama horno Convertidor Teniente.	14
Figura 2.5: Diagrama del movimiento de materiales del área de fusión-conversión.	15
Figura 2.6: Distribución de fases al interior del CT.	16
Figura 2.7: Pantalla DCS, "Sistema de inyección de concentrado seco" CT N°1.	18
Figura 2.8: Pantalla DCS, "Aire / Oxígeno de soplado y sólidos por Garr-Gun", CT N°1.	19
Figura 2.9: Vista lateral del Convertidor Teniente.	20
Figura 2.10: Vista superior del Convertidor Teniente.	20
Figura 2.11: Sistema motriz Bogiflex.	24
Figura 2.12. Procesos de modelado.	26
Figura 3.1: Opciones del cuadro de dialogo "Nuevo".	31
Figura 3.2: Planos de referencia y sistema de coordenadas de la pieza por defecto.	32
Figura 3.3: Utilización del árbol del modelo en la navegación.	33
Figura 3.4: Herramientas para la creación de piezas.	35
Figura 3.5: Sección 2D en el programa de esbozo y sólido resultante.	36
Figura 3.6: Herramientas para sólidos en 3D.	37
Figura 3.7: Aplicación de profundidad en la superficie extruida.	38
Figura 3.8: Herramientas en el modo conjunto.	38
Figura 3.9: Conjunto de piezas.	39

Figura 3.10: Iconos de control de visualización.	39
Figura 3.11: Proceso de modelación.	41
Figura 3.12: Plan de trabajo de las piezas a modelar.	42
Figura 3.13: Plano del Sistema de rodado radial.	43
Figura 3.14: Planos de piezas seleccionadas.	44
Figura 3.15: Copia simétrica en el programa de esbozo.	45
Figura 3.16: Sección completa con punto de control de profundidad.	46
Figura 3.17: Aristas redondeadas.	46
Figura 3.18: El taladro en modo vista previa, antes de confirmar las referencias.	47
Figura 3.19: Patrón terminado.	47
Figura 3.20: Taladros simétricos.	48
Figura 3.21: Chaflanes de 45 x D.	48
Figura 3.22: Extrusión tridimensional.	49
Figura 3.23: Sección de corte revolucionada en 360°.	50
Figura 3.24: Barrido de sección constante.	50
Figura 3.25: Pieza base, totalmente restringida.	53
Figura 3.26: Montaje buje sobre eje del polín radial.	54
Figura 3.27: Conjunto 1 montado.	54
Figura 3.28: Herramienta arrastrar	55
Figura 3.29: Conjuntos montado y totalmente restringidos.	55
Figura 3.30: Vista explotada del sistema de rodado radial	56
Figura 3.31: Resumen del equipo modelado.	56
Figura 3.32: Esquema del proceso de simulación.	58
Figura 3.33: Propiedades de masa a la pista lado fijo	59
Figura 3.34: Definición de par de engranajes.	62
Figura 3.35: Selección de engranajes y soporte	62
Figura 3.36: Definición del motor.	64
Figura 3.37: Definición de fuerza del motor.	65
Figura 3.38: Distribución de cargas de las fases del cobre en el CT.	66
Figura 3.39: Definición de fuerza/torsión.	67
Figura 3.40: Definición de análisis en preferencias	68
Figura 3.41: Definición de análisis en motores.	69
Figura 3.42: Definición de análisis en cargas externas	69
Figura 3.43: Grafico de velocidad tangencial vs tiempo de la corona 328 dientes.	72
Figura 4.1: Componentes sistemas de rodado.	74
Figura 4.2: Modelación sistema de rodado lado motriz.	75
Figura 4.3: Modelación sistema de rodado lado fijo.	75
Figura 4.4: Condiciones de trabajo a través de Pro/E.	76
Figura 4.5: Resultado de medida velocidad versus tiempo.	77
Figura 4.6: Vistas en Pro/E del CT modelado.	78
Figura 4.7: Vistas en Pro/E del CT modelado.	79
Figura 4.8: Dimensionamiento de plataformas en la reparación del CT2.	80
Figura 4.9: Rediseño interior de la tobera de concentrado.	81
Figura 4.10: Análisis de la placa de metal blanco	81
Figura 5.1: Esquema para obtener la modelación del CT.	83

Figura 5.2: Esquema para obtener la simulación dinámica del CT.	85
Figura D.1: DCL metal blanco y escoria.	104
Figura D.2: DCL ladrillo refractario.	110
Figura D.3: Sistema motriz Bogiflex.	112
Figura F.1: Componentes sistema de rodado lado motriz.	119
Figura F.2: Modelación sistema de rodado lado motriz.	119
Figura F.3: Componentes tapas del Convertidor Teniente.	120
Figura F.4: Modelación tapa lado motriz.	120
Figura F.5: Modelación tapa lado fijo.	121
Figura F.6: Componentes boca de gases.	121
Figura F.7: Modelación boca de gases.	122
Figura F.8: Componentes del sistema de conjuntos de toberas.	122
Figura F.9: Modelación del sistema de conjuntos de toberas.	123
Figura F.10: Componentes del sistema se sujeción.	123
Figura F.11: Modelación sistema de sujeción.	124
Figura F.12: Componentes del casco.	124
Figura F.13: Modelación del casco	125
Figura F.14: Pin agregados al sistema de rodado.	126
Figura F.15: Entidades en los polines – pistas.	126
Figura F.16: Componentes del sistema motriz Bogiflex.	127
Figura F.17: Modelación sistema motriz Bogiflex	127
Figura F.18: Entidades de los reductores.	128
Figura F.19: Cargas entregadas al CT.	128

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Características principales del CT.	12
Tabla 2.2: Información de operación diaria.	17
Tabla 2.3: Sistema motriz Bogiflex.	24
Tabla 3.1: Lista de componentes sistema de rodado radial.	42
Tabla 3.2: Restricciones de conjunto.	52
Tabla 3.3: Masa aproximada de los principales equipos.	60
Tabla 3.4: Pesos de los ladrillos refractario en el CT.	60
Tabla 3.5: Reducción sistema motriz.	63
Tabla 3.6: Definición del motor.	63
Tabla 3.7: Parámetros establecidos para la extracción de fases.	65
Tabla 3.8: Cargas en el CT.	66
Tabla A.1: Cantidad de elementos modelados.	94
Tabla A.2: Cantidad de funciones ingresadas.	95