



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MORELIA

“José María Morelos y Pavón”

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

POSGRADO EN CIENCIAS EN METALURGIA

TESIS

“MODELACIÓN MATEMÁTICA DE LA EMULSIFICACIÓN ACERO-
ESCORIA EN EL DISTRIBUIDOR DE COLADA CONTINUA DURANTE EL
CAMBIO DE OLLA”

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN METALURGIA

PRESENTA:

ING. FRANCISCO ANDRÉS ZEPEDA DÍAZ

DIRECTOR: DR. SAÚL GARCÍA HERNÁNDEZ

CODIRECTOR: DR. JOSÉ DE JESÚS BARRETO SANDOVAL

REVISOR: DR. ÁNGEL RAMOS BANDERAS

REVISOR: DRA. ENIF GUADALUPE GUTIÉRREZ GUERRERO

MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO A 13 DE JUNIO DEL 2018

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	I
LISTA DE TABLAS.....	IV
NOMENCLATURA	V
RESUMEN	VII
ABSTRACT	8
1. PRESENTACIÓN	9
1.1 INTRODUCCIÓN.....	10
1.2 OBJETIVO GENERAL	13
1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.3 JUSTIFICACIÓN	14
2 MARCO TEÓRICO.....	15
2.1 COLADA CONTINUA.....	16
2.2 EL DISTRIBUIDOR DE COLADA CONTINUA.	16
2.2.1 BUZA DE ALIMENTACIÓN.	17
2.3 FLUJO DE FLUIDO EN EL DISTRIBUIDOR.....	18
2.4 DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN DEL CAMBIO DE OLLA.....	19
2.5 EMULSIFICACIÓN.....	21
2.6 FLUJO DE ACERO EN EL DISTRIBUIDOR.	22
2.7 COMPORTAMIENTO DEL FLUJO EN EL DISTRIBUIDOR.	22
2.8 ESTADO DEL ARTE	24
2.8.1 ANTECEDENTES.....	24
2.8.2 ESTADO DEL ARTE DE LA EMULSIFICACIÓN DE LA ESCORIA EN EL ACERO.	25
2.8.3 EMULSIFICACIÓN DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LAS REACCIONES QUÍMICAS.....	25
2.8.9 EMULSIFICACIÓN DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA MODELACIÓN FÍSICA:	27
2.8.10 EXPERIMENTACIÓN EN PLANTA.	34
2.8.11 EMULSIFICACIÓN DESDE EL PUNTO DE LA MODELACIÓN MATEMÁTICA.	36
2.8.12 DISCUSION DEL ESTADO DEL ARTE.....	39
2.9 DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL.	41

2.9.1 ECUACIONES CONSTITUTIVAS.	41
2.9.2 MODELO MULTIFÁSICO DE VOLUMEN DE FLUIDO (VOF).	42
2.9.3 MODELO DE TURBULENCIA K- ϵ ESTÁNDAR.	46
2.9.4 ALGORITMO DE SOLUCIÓN.....	47
2.9.5 ALGORITMO DE SEGREGACIÓN BASADO EN LA PRESIÓN	48
2.10 GEOMETRÍAS Y MALLAS.....	50
3. DESARROLLO DEL MODELO	51
3.1 CONSIDERACIONES.....	52
3.2 PARÁMETROS Y PROPIEDADES DEL MODELO	52
3.3 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	55
3.4 GEOMETRÍA DEL DISTRIBUIDOR Y SUS ACCESORIOS	56
3.5 GEOMETRÍAS MALLADAS.....	58
3.6 CONDICIONES FRONTERA.	59
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y SU DISCUSIÓN.....	60
4.1 PATRONES DE FLUJO.	61
4.1.1 PATRONES DE FLUJO DURANTE EL ESTADO ESTABLE.	61
4.1.2. DESCENSO DEL NIVEL DEL ACERO.....	66
4.1.3. APERTURA DE LA NUEVA OLLA.....	67
4.2 EMULSIÓN DE ESCORIA Y ARRASTRE DE AIRE EN EL ACERO LÍQUIDO.	76
4.2.1 FENÓMENO DE EMULSIÓN DE ESCORIA EN EL ACERO.....	76
4.4.2. ATRAPAMIENTO DE AIRE.	85
4.3 APERTURA DE LA CAPA DE ESCORIA.	89
5. CONCLUSIONES	96
6. BIBLIOGRAFÍA	98
7 ANEXO.....	101

RESUMEN

La limpieza del acero es un reto técnico que las industrias siderúrgicas han enfrentado desde su inicio, con la llegada de los aceros de ultra alta resistencia y de alta especificación (uso en condiciones amargas) la necesidad de disminuir en lo posible las inclusiones no-metálicas se ha vuelto una necesidad de primer orden. Es bien conocido que controlar la cantidad de inclusiones en los periodos del cambio de olla en la máquina de colada continua es más complicado en comparación al estado estable. Sin embargo, ya sea en estado estable o en estado transitorio, los aceros deben de estar bajo especificación para que puedan ser aceptados por cliente. En la presente investigación se realizó una simulación matemática para evaluar el efecto de distintas buzas de alimentación al distribuidor en cuanto a la emulsión generada de escoria y arrastre de aire durante el periodo del cambio de olla. Inicialmente se realizó la simulación matemática en estado estable y posteriormente en un estado transitorio (donde se considera el periodo de cambio de olla en el distribuidor), con tres diseños de buzas, la primera es una buza convencional comúnmente empleada en la industria siderúrgica, y las otras dos son buzas disipadoras de energía las cuales cuentan con cambios de sección tipo cónica convergente-divergente variando únicamente las dimensiones de las recámaras entre estas dos buzas. Las tres buzas fueron evaluadas en cuanto a la cantidad de escoria emulsionada y aire atrapado durante el periodo de cambio de olla, la cantidad de escoria arrastrada hasta el molde de solidificación y la apertura de capa de escoria, en donde se encontró que con el uso de estas buzas disipadoras se consigue una menor emulsificación de escoria y arrastre de aire al baño de acero, así como una menor apertura de la capa de escoria.