



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**EFFECTO DEL ESPESOR Y TIPO DE ESCORIA SOBRE EL MEZCLADO EN OLLAS
AGITADAS CON GAS ASISTIDO POR MODELADO FÍSICO.**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA QUÍMICA METALÚRGICA**

PRESENTA

MÓNICA ÁVILA GARCÍA



MÉXICO, D.F.

AÑO 2012



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: EUSEBIO CÁNDIDO ATLATENCO TLAPANCO

VOCAL: CARLOS GONZÁLEZ RIVERA

SECRETARIO: ADRIÁN MANUEL AMARO VILLEDA

1er. SUPLENTE: JUAN SOLÓRZANO LÓPEZ

2° SUPLENTE: AGUSTÍN GERARDO RUIZ TAMAYO

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA: EDIFICIO D, FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM

ASESOR DEL TEMA:

M. en I. ADRIÁN MANUEL AMARO VILLEDA

SUPERVISOR TÉCNICO:

Dr. MARCO AURELIO RAMÍREZ ARGÁEZ

SUSTENTANTE:

MÓNICA ÁVILA GARCÍA

Agradecimientos

Mi negocio; Que me pago la carrera y me hizo responsable.

Carlos; Gracias por creer en mi, por tu tiempo, por las palabras tan sabias que siempre tenias para mi, por rezar por mi para que me fuera bien. Una valiosa pieza en este mi rompecabezas.

Toño; Gracias me diste el regalo mas valioso que alguien puede recibir, tu ayuda incondicional, motivación, fe, esperanza y sobre todo confianza en mi misma.

Karla; Gracias por tu amistad, cariño, consejos, regaños, por ser mi mejor amiga y a la vez parte de tu familia.

Cesar; Gracias por ser mi mejor amigo, por tu lealtad y sinceridad.

Nelly: Gracias por ser mi mejor amiga, por tu cariño, por tu lealtad y sinceridad.

A mis profesores de los cuales me llevo mas que una bonita amistad, su gran ejemplo, para aplicar lo aprendido de ellos y recordar que la universidad tiene no solo profesores sino personas alas que les apasiona su trabajo y lo demuestran día con día. Profesores: CHIRINOS, ENRRIQUE BRAVO MEDINA, ROSAS, GRANADOS, OSCAR RENDON, CARLOS GONZALEZ, NOGES, HUERTA, SALAS, CANDIDO ATLATENCO, ADRIAN MANUEL AMARO, MARCO AURELIO, CIRO MARQUEZ, INGALS, BAZUA Y BARRAGAN. GRACIAS.

Por que no solo la escuela educa.....

Judit: Gracias por tus palabras las recordare toda la vida.

Bilchis: Gracias por tu amistad y ayuda incondicional, siempre tienes tiempo para los demás.

Janet: Gracias por tu amistad, tiempo, apoyo, por escuchar y muchas cosas más.

Familia: Gracias.

Israel: Gracias por darme 7 años maravillosos de tu vida, compartiendo tristezas, alegrías, por tu compañía, respeto, motivación, apoyo y sobre todo mucho amor.

Tessa: Gracias por llegar a mi vida, por ser quien me llena de alegría y me motiva para echarle ganas cada día.

ÍNDICE

	Pag.
Capítulo 1 INTRODUCCIÓN.....	6
1.1 ANTECEDENTES.....	6
1.2 PROCESOS DE FABRICACION	8
1.3 HORNO OLLA.....	10
1.4 MODELADO FÍSICO.....	13
1.5 ASPECTOS ECONÓMICOS.....	15
1.6 OBJETIVO	17
Capítulo 2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	18
Capítulo 3 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	22
3.1 INSTALACIÓN DEL MODELO FÍSICO.....	22
3.2 TRAZADOR.....	26
3.3 CONDICIONES DE OPERACIÓN.....	28
3.4 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	29

3.5	PROTOCOLO DE EXPERIMENTACIÓN.....	31
3.5.1.	MONTAJE DE DESMONTAJE.....	32
3.5.2.	PROCESO EXPERIMENTAL.....	34
3.5.3.	TRATAMIENTO DE DATOS.....	35
Capítulo 4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
Capítulo 5	CONCLUSIONES.....	47
INDICE DE FIGURAS	48
INDICE DE TABLAS	50
ABREVIATURAS	51
BIBLIOGRAFIA	52

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se muestran algunos aspectos de los procesos siderúrgicos como el de la refinación secundaria del acero en horno olla, se presentan los antecedentes históricos, y los diferentes procesos o rutas de fabricación del acero, la importancia que tiene la refinación secundaria, así como los aspectos más relevantes del horno olla y los modelos físicos, además de algunos datos económicos de la fabricación del acero a nivel nacional y mundial.

1.1 ANTECEDENTES

Los metales inician su historia cuando el hombre se siente atraído por su brillo y se da cuenta de que golpeándolos puede darles forma y fabricar así utensilios necesarios para su supervivencia.

La humanidad se sucede en Edades, a las que se ha dado nombres de metales, y cuando se cierran las Edades del Cobre y Bronce, a las que se atribuye una duración de 500 a 2000 años, comienza la Edad del Hierro.

Con la excepción del aluminio, el hierro se encuentra en la naturaleza en cantidades mayores que cualquier otro metal; se explota con métodos relativamente sencillos, y se puede trabajar y transformar tanto como se quiera. La razón del retraso en la aparición del hierro respecto al

bronce hay que buscarla en el elevado punto de fusión del hierro puro, lo que hacía prácticamente imposible que una vez tratados sus minerales se pudiese ofrecer en forma líquida, separado de la escoria.

El hierro en estado puro no posee la resistencia y dureza necesarias para las aplicaciones de uso común. Sin embargo, cuando se combina con pequeñas cantidades de carbono se obtiene una aleación denominada acero, cuyas propiedades varían en función de su contenido en carbono y de otros elementos en aleación, tales como el manganeso, el cromo, el silicio o el aluminio, entre otros.

Los principales minerales de los que se extrae el hierro se presentan en la Tabla 1.

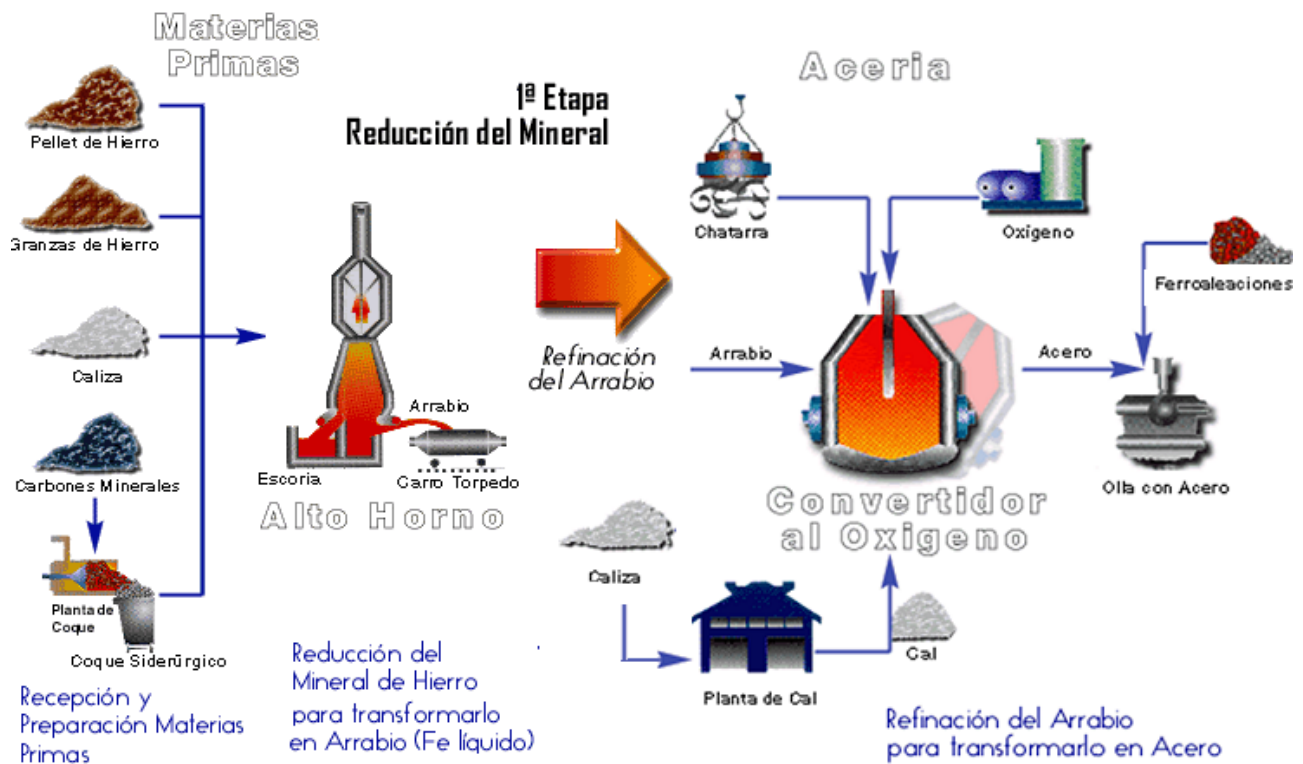
Hematita (merma roja)	70% de hierro
Magnetita (merma negra)	72.4% de hierro
Siderita (merma café pobre)	48.3% de hierro
Limonita (merma café)	60-65% de hierro

Tabla 1.- Principales minerales para la producción de Fe.

1.2 PROCESOS DE FABRICACION DE ACERO

En la actualidad existen dos rutas para la fabricación de acero.

1.- Ruta integrada: parte de la extracción de minerales de hierro. En esta ruta se obtiene arrabio a través del Alto horno, arrabio que posteriormente es refinado en un Convertidor BOF/BOS (Basic Oxygen Furnace), seguido de una segunda etapa de refinación, la cual generalmente ocurre en un Horno Olla, LF (ladle Furnace), como se muestra en la Figura 1.



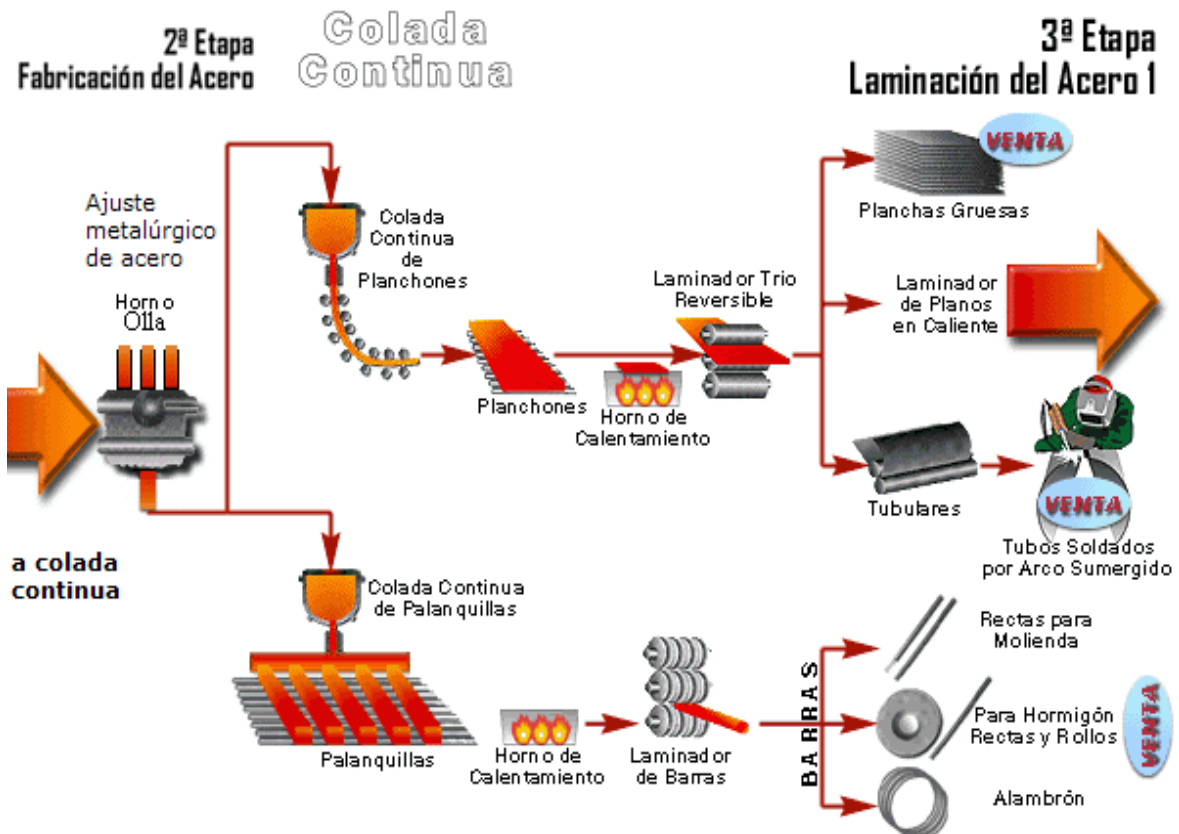


Figura 1.- Ruta de fabricación de acero a partir de materias primas minerales, también conocida como ruta integrada.

2.- Proceso no integrado: que considera la fabricación de acero a partir de reciclaje de chatarra de hierro. Ver Figura 2.

Metalurgia Secundaria:

Se entiende por metalurgia secundaria, la segunda etapa de refinación del acero que contribuye a aumentar su grado de limpieza mediante la eliminación de compuestos o elementos nocivos para este metal, tales como la eliminación de carbono (descarburización), de azufre (desulfuración), de oxígeno (desoxidación), además de alearlo para cumplir con el tipo y grado de material especificado, y también la modificación y/o eliminación de las inclusiones no metálicas.

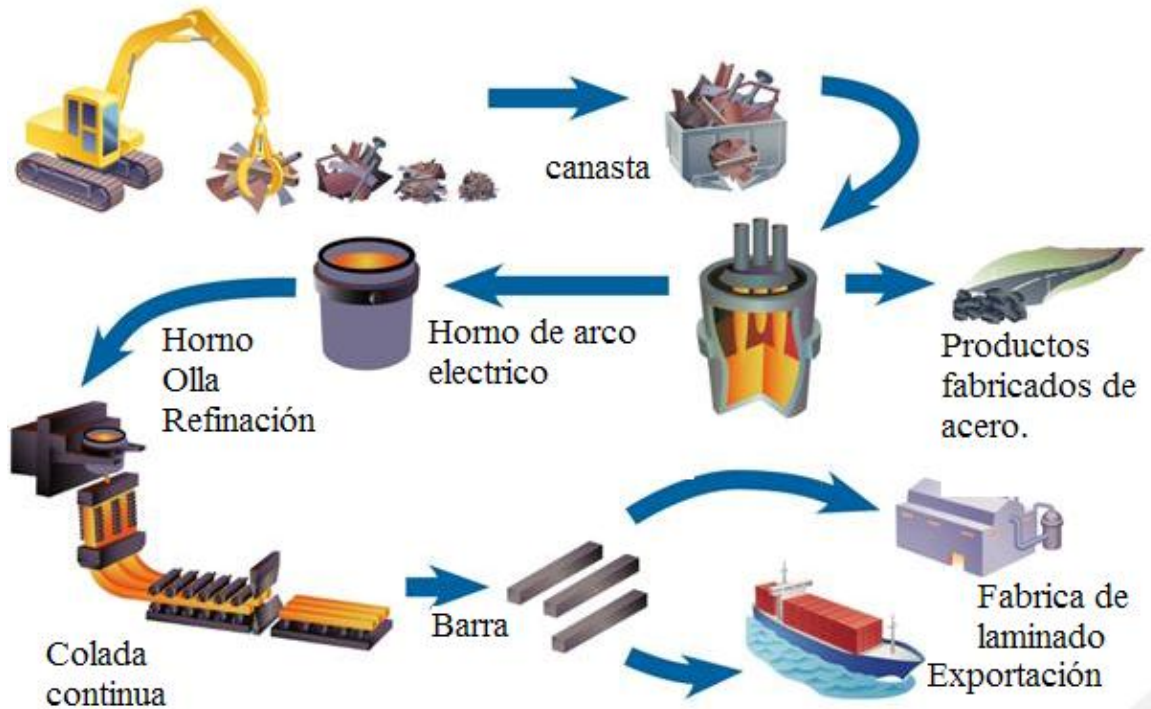


Figura 2.- Proceso para la manufactura del acero utilizando como materia prima chatarra y horno de arco eléctrico EAF (Electric Arc Furnace), seguido opcionalmente de una segunda etapa de refinación en la Olla.

Este proceso ayudará a proveer al acero de las propiedades físicas y la composición química requerida a través de la especificación de manufactura.

1.3 HORNO OLLA

La Olla se transporta desde el reactor de aceración (BOF o EAF) hacia la posición del Horno Olla donde se coloca debajo de una cubierta equipada con tres electrodos de grafito conectados a un transformador

de arco trifásico. El fondo de la Olla tiene tapones porosos de refractario que están conectados a la tubería de suministro de argón en el fondo del horno Olla. El Horno Olla está equipado con una tolva en la cubierta o techo y una lanza de inyección de agentes de desulfurización. Los humos formados durante la operación se retiran a través de la cubierta mediante un ducto extractor de gases. Un esquema de un Horno Olla se presenta en la Figura 3.

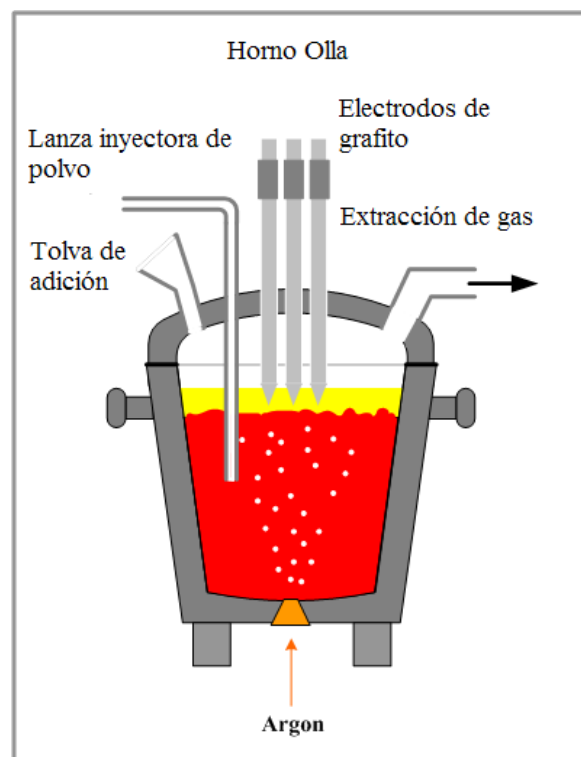


Figura 3.- Esquema de Horno Olla, muestra los principales componentes de este equipo para la refinación secundaria del acero.

El acero fundido tratado en el Horno Olla está cubierto por una capa de escoria de desulfuración. Los electrodos de grafito se encuentran sumergidos en la escoria, que protege el revestimiento de la Olla contra el sobrecalentamiento producido por el arco eléctrico. Los arcos son

capaces de calentar el acero a una rapidez de alrededor de 5 °F / min (3 °C / min).

Durante el proceso de refinación secundaria, gas argón es inyectado a través del tapón poroso en el fondo de la olla, proporcionando agitación continua al metal. Como resultado de la agitación, se distribuye el calor producido por los arcos, fomentando la homogeneización térmica y química.

Los elementos de aleación y/o componentes de escoria pueden ser añadidos a través de la tolva de adición.

Si es necesario realizar una desulfuración crítica o severa, agentes activos de desulfuración se inyectan a la masa fundida a través de una lanza de inyección.

Beneficios de Horno Olla (LF):

- Limpieza profunda de azufre (desulfuración y desoxidación);
- Adición de elementos de aleación;
- Homogenización química y térmica;
- Eliminación de inclusiones no metálicas.
- Eliminación de elementos residuales como H, N, C, etc.

El proceso de Horno Olla se utiliza para refinar una amplia gama de aceros y elevar la calidad del producto semiterminado que cumpla con adecuadas propiedades mecánicas y demás propiedades requeridas dependiendo del grado de acero a fabricar.

1.4 MODELADO FÍSICO

En ingeniería de procesos, los modelos físicos por contraposición a los modelos matemáticos, son construcciones a escala reducida o simplificada de obras y usando materiales distintos a los que se emplean en el proceso industrial. Los modelos físicos se usan para estudiar experimentalmente aspectos del comportamiento del sistema real a bajo costo, sin peligro y permitir así perfeccionar los diseños del sistema antes de iniciar la construcción de las obras u objetos reales, optimizar la operación o simplemente entender el proceso.

Dadas las condiciones agresivas de operación en el Horno Olla industrial, es decir, temperaturas arriba de 1600 °C y opacidad de los metales y escorias fundidas, prácticamente es imposible realizar experimentación sistemática en planta como por ejemplo medir los tiempos de mezclado o determinar los patrones de flujo al interior de la misma, por lo que es común recurrir a la modelación física y matemática del Horno Olla como herramientas que permiten entender y predecir la dinámica de fluidos, así como también los fenómenos de mezclado en reactores agitados con gas como el Horno Olla.

Los modelos físicos permiten entender y medir los patrones de flujo utilizando recipientes de mucho menor tamaño, es decir, escalados; satisfaciendo los criterios de similitud geométrica, dinámica y cinemática correspondientes. Además, otra ventaja de estos modelos físicos es que emplean materiales distintos de menor riesgo y mayor utilidad, con los que se puede construir el reactor utilizando agua y aire en vez de acero líquido y argón respectivamente, a condiciones de temperatura controladas satisfaciendo el criterio de similitud dinámica. Además, la

viscosidad cinemática del acero a 1600 °C es la misma que la del agua a 20 °C (ver Tabla 2), satisfaciendo la similitud cinemática. Los modelos físicos son una de las principales herramientas del análisis de los procesos metalúrgicos (junto con modelos matemáticos y mediciones tanto en planta como en el laboratorio), con las que cuenta un ingeniero de procesos metalúrgicos para entender, controlar y optimizar procesos existentes o para diseñar nuevos procesos.

	ρ [Kg/m ³]	η [N s/m ²]	ν [m ² /s]
Agua 20°C	1000	0.001	1.00E-6
Acero 1600°C	7000	0.0068	0.97E-6
Simulador de escoria rojo	890	0.19135	2.15E-4
Simulador de escoria azul	881.4	0.16958	1.92398E-4
Simulador escoria cocina	919	0.055	5.98477E-5
Escoria real	3000	0.18 a 0.35	6E-5 a 12E-5

Tabla 2.- Datos de densidad y viscosidad, tanto dinámica como cinemática, del agua, acero, aceite y escoria reportados en la literatura¹².

En la actualidad numerosos estudios se continúan realizando para entender con mayor profundidad los fenómenos de la dinámica de fluidos al interior de los Hornos Olla. Se sabe de los numerosos beneficios que tiene la inyección de gas a través de tapones porosos, pero aún faltan ciertos aspectos por comprender. En particular, los fenómenos flui dinámicos y de mezclado en presencia de escoria con modelos físicos son aspectos poco estudiados.

1.5 ASPECTOS ECONÓMICOS

Aquellos productores que puedan fabricar acero con mínimos costos, pero además con alta calidad, en poco tiempo y respetando el medio ambiente podrán sobrevivir en el actual marco competitivo global. La calidad del material también es una constante preocupación de la industria acerera. En particular, la industria se encuentra en busca de lo que se denomina "acero limpio", este acero debe de tener una máxima concentración de elementos residuales y además un número bajo de inclusiones no-metálicas controladas en su forma. Para lograr este objetivo es fundamental mejorar, controlar y optimizar las operaciones metalúrgicas que se llevan a cabo en la olla, las cuales constituyen la refinación secundaria del acero, donde la composición química y homogeneidad térmica deben asegurarse.

En el año 2010 la producción de acero mundial fue de alrededor de 1,043.97 MTM (Millones de Toneladas Métricas), mientras que en el año 2011 se obtuvieron 1,133.8 MTM de acuerdo a lo reportado por la "World Steel Association". (Ver Tabla 3)

El futuro de la industria acerera es promisorio, ya que la demanda se verá impulsada principalmente por las necesidades del mundo en vías de desarrollo. Actualmente el principal productor de acero en el mundo es China con una producción anual de 525.73 MTM en el año 2011 lo que equivale al 46.37% de la producción mundial. En México se tubo ese mismo año una producción de 13.64 MTM lo equivalente a 1.2% de la producción mundial y al 2.59% de la producción China. Estos datos

representan la oportunidad de crecimiento en nuestro país, pues la demanda mundial es muy amplia.

World Steel Association

PRODUCCION DE ACERO

Mil Toneladas Metricas

	September 2011	August 2011	September 2010	% change Sep-11/10	worldsteel 102 20 Oct 11		
					9 months		
	2011	2010	2010		2011	2010	% change
Canada	1 040	1 130	1 078	-3.3	9 870	9 880	-0.1
Cuba	28	25	21	23.8	225	208	8.3
El Salvador	8	9	7	14.3	69	43	61.4
Guatemala	41	39	23	78.3	307	198	54.9
Mexico	1 597	1 521	1 410	13.2	13 648	12 470	9.4
Trinidad and Tobago	43	56	45	-5.0	487	453	3.1
United States	7 190	7 438	6 605	8.9	64 882	60 886	6.2
North America	9 945	10 218	9 187	8.3	89 266	84 137	6.1
Argentina	473	489	461	4.9	4 166	3 810	9.4
Brazil	2 807	2 980	2 703	3.8	26 715	24 885	7.4
Chile	110	147	80	37.5	1 280	680	93.8
Colombia	111	108	94	18.1	951	901	5.6
Ecuador	54	51	33	64.6	402	262	53.4
Paraguay	4	2	5	-13.8	20	49	-59.3
Peru	80	77	73	9.6	661	657	0.6
Uruguay	9	8	6	51.9	58	46	27.4
Venezuela	297	283	252	17.9	2 528	1 433	76.2
South America	3 945	4 123	3 696	6.7	36 779	32 703	12.5
Algeria	40	40	38	4.3	321	518	-38.1
Egypt	488	565	525	-7.2	4 875	4 834	0.8
Libya	0	0	75	-100.0	100	598	-83.2
Morocco	25	25	31	-20.2	215	361	-40.4
South Africa	550	570	610	-9.9	4 960	6 016	-17.6
Africa	1 103	1 200	1 280	-13.9	10 471	12 325	-15.0
Iran	1 050	1 050	1 035	1.4	9 818	8 785	11.8
Qatar	165	170	150	10.0	1 503	1 458	3.1
Saudi Arabia	448	457	426	4.5	3 959	3 808	4.0
Middle East	1 661	1 677	1 611	3.1	15 280	14 051	8.7
China	56 700	58 752	48 878	16.5	525 735	474 904	10.7
India	5 950	6 160	5 654	5.2	53 908	51 179	5.3
Japan	8 882	8 909	9 236	-3.8	81 015	81 934	-1.1
South Korea	5 478	5 519	4 662	17.7	50 628	42 653	18.7
Taiwan, China	1 800	1 911	1 602	12.3	17 023	14 555	17.0
Asia	78 809	81 251	69 822	12.9	728 307	665 225	9.5
Australia	562	601	603	-0.7	5 288	5 480	-3.5
New Zealand	83	67	87	-6.2	629	643	-2.2
Oceania	626	668	670	-6.6	5 917	6 124	-3.4
Total 64 countries	123 567	124 241	112 640	9.7	1 133 806	1 047 970	8.2

Los 64 países incluidos en esta tabla estimaron más del 98% de la producción anual de acero en el 2010.

Tabla 3.- Producción de acero en distintas regiones del mundo.

1.6 OBJETIVOS

- Simular el mezclado de un trazador en el acero contenido en la olla industrial a través del modelado físico con la presencia de escoria.
- Evaluar el efecto del espesor de la capa de escoria y del tipo de escoria sobre el tiempo de mezclado.
- Evaluar el efecto del espesor de la capa de escoria y del tipo de escoria sobre el tamaño de la apertura de escoria (ojo de la pluma) en la superficie libre.

Capítulo 2

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En este capítulo se llevo acabo la revisión bibliográfica de los aspectos mas relevantes relacionados a las principales variables que intervienen durante la simulación física, en sistemas de agitación con gas en el horno olla.

Numerosos son los trabajos al respecto de la simulación de la agitación al interior del Horno Olla.

Existen varios tipos de modelos, los cuales se han ocupado para aproximar los resultados obtenidos cada vez más a la realidad. Se pueden dividir o clasificar en dos grupos principalmente y la combinación de estos.

1. Modelos Físicos
2. Modelos Matemáticos

La investigación de estos procesos cada vez más demanda una mayor aproximación a la realidad, es decir, incluir cada vez más condiciones a las que se llevan a cabo estos procesos metalúrgicos.

Los modelos macroscópicos¹ aunque si bien son una aproximación relativamente simple, se limitan a un sistema específico, en general

cada modelo y correlación han sido derivados de pruebas y comparados contra el sistema de modelo de agua equivalente. Sin embargo, la literatura indica que estos sistemas son igualmente eficaces en sistemas de agitación a altas temperaturas. En base a las pruebas presentadas, se demuestra que, a pesar de la compleja naturaleza de los sistemas de agitación de gas, los modelos macroscópicos, aunque simplistas, son un buen punto de partida para aproximar los cálculos de rapidez de los fenómenos involucrados.¹

También se han combinado los modelos (físico-matemático) para describir el fenómeno de agitación en la Olla. Muchas investigaciones teóricas y experimentales se han llevado a cabo sobre el tema de la inyección de gas en las operaciones de fabricación de acero en Horno Olla. Lanzas de posición simétrica y asimétrica / toberas / tapones porosos han sido utilizados como dispositivos de inyección de gas y se han publicado estudios de los sistemas gas-líquido, así como de gas-líquido-escoria, los sistemas para una amplia gama de geometrías de ollas y velocidades de flujo de gas. La influencia de las variables de operación (es decir, la velocidad de inyección de gas, geometría del recipiente, la ubicación de la boquilla de inyección de gas, etc.) en la hidrodinámica de la Olla y los procesos asociados al transporte han sido ampliamente estudiados y la influencia de estas variables ejercen en la práctica las condiciones de refinación en la olla que se conocen ahora con razonable certeza. Del mismo modo, el modelado matemático extensivo del flujo de fluidos y los fenómenos de transporte asociados (es decir, el mezclado, reacciones escoria-metal, la transferencia de masa sólido líquido, etc.) y la validación de las predicciones del modelo, así como los datos experimentales de la planta a escala indican que ahora existe un razonable marco matemático de trabajo para llevar a

cabo eficazmente diseño y cálculos de análisis de procesos de refinación en ollas².

Existen criterios de similitud dinámica, cinemática y geométrica establecidos en la literatura para la modelación de los sistemas de ollas agitadas con gas, para reducir la escala, los estudios de simulación del flujo de agitación con gas en sistemas de olla son investigados desde puntos de vista experimental y teórico. Para determinar los criterios apropiados durante la modelación, los tiempos de mezclado en el modelo y en el sistema real están relacionados a través de la relación $\tau_{mez,mod}/\tau_{mez,fs}=\lambda^{1/2}$ (donde $\tau_{mez,mod}$ es el tiempo de mezclado del modelo, $\tau_{mez,fs}$ es el tiempo de mezclado en el sistema real). Sobre esta base, tres diferentes ecuaciones de escalamiento para la rapidez de flujo de gas en la literatura se han investigado³ de forma experimental, y se demostró que, para los flujos de gas empleados en la olla, dominan los números de Froude, los criterios de similitud dinámica entre el modelo y el sistema real se pueden establecer, siempre que las tasas de flujo de gas en los dos sistemas se relacionan de acuerdo a $Q_{mod}=\lambda^{2.5} Q_{fs}$ (donde Q_{mod} es la razón de flujo de gas del modelo y Q_{fs} es la razón de flujo de gas en el sistema real).

También Maldal, Patil, Madan y Mazundar, han realizado⁴ estudios de agitación con dos tapones porosos de manera simultánea, concluyendo que el tiempo de mezclado depende del flujo de gas y del tamaño de la olla, así como de la geometría de la olla. El tiempo de mezclado varía con la velocidad del flujo de gas de acuerdo a $\tau_{mix} \propto Q^{-0.58}$ para operaciones con flujo de gas bajo. Sin embargo, más allá de un flujo de gas crítico ($\varepsilon_m \sim 0.007 \text{ W / kg}$, donde ε_m es la potencia de mezclado), la relación cambia a $\tau_{mix} \propto Q^{-0.35}$. Más allá de lo crítico de la rapidez del

flujo de gas, el patrón de flujo en el sistema se debe establecer. El flujo de gas crítico corresponde al inicio del régimen de flujo dominado por las fuerzas inercial y gravitacional⁴.

La mayoría de los sistemas de agitación estudiados hasta ahora solo involucran dos fases líquido/gas. Sin embargo Han, Heo, Kam, Yuo, Pak y colaboradores^{5,6} caracterizaron la agitación en la olla mediante flujo de gas con una capa de aceite simulando a la escoria con la ayuda de modelos de agua experimentales y simulación numérica. Se cuantificaron los efectos de la capa de aceite sobre el comportamiento del mezclado y sobre el mecanismo de formación de los ojos de la pluma, en base a experimentos en el modelo de agua, se discutieron y compararon estos resultados con los obtenidos en la simulación numérica. Se determinó que la capa de aceite tiene una gran influencia en el comportamiento del flujo de fluidos y mezclado en la olla. La capa de aceite sobre la parte superior del baño prolonga el tiempo de mezclado^{5,6}, es decir, a velocidad constante del flujo de gas, el tiempo de mezclado se ha ampliado con el aumento en el espesor de la película de aceite.⁵

Con base en el modelo de agua experimental, el tamaño del ojo de escoria abierta aumenta con el incremento de la velocidad de flujo de gas y disminuyen con el aumento del espesor de la película de aceite^{5,7}. Estos resultados además fueron confirmados a través de los resultados obtenidos de las simulaciones numéricas.⁵

En cuanto a la relación de densidades entre las fases superior e inferior, ésta afecta el tamaño de los ojos, ya que fases superiores de menor densidad provocan un ojo de menor tamaño.⁷

Capítulo 3

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

En este trabajo se modeló físicamente el sistema acero-argón-escoria en un horno olla mediante agua-aire-aceite. En la industria los gases se inyectan en el fondo del horno olla a través de un tapón poroso para agitar un baño de acero líquido, en el modelo físico se observará la influencia de la escoria sobre el tiempo de mezclado, así como su influencia sobre la exposición del acero en la superficie libre llamado "el ojo" formado por la pluma de gas, para 3 diferentes aceites, con 3 espesores distintos.

En este capítulo se detallan las prácticas experimentales que se siguieron en esta tesis y que cubren los siguientes aspectos:

- 3.1.-Instalación del modelo físico.
- 3.2. Tipo de trazador.
- 3.3.-Condiciones de operación.
- 3.4.-Diseño experimental.
- 3.5.-Protocolo de experimentación.

3.1 INSTALACIÓN DEL MODELO FÍSICO

La Figura 4 muestra la instalación del modelo físico usado para los experimentos desarrollados en esta tesis, siendo el experimento fotografiado configurado con un tapón localizado a $2/3$ de radio (ver

Tabla 2). Los elementos marcados son: 1.-Reactor de acrílico con una altura de 63.5cm, siendo la altura del baño de 41cm lo que equivale aproximadamente 90 L de agua destilada. 2.-Embudo para adición de trazador, 3.-Electrodo Ag AgCl, 4.-flujometro, 5.-Compresor, 6.-Distribución de flujo de gas, 7.-Conexión rápida de gas en el fondo de la olla, 8.-PH-metro, 9.-Cronómetro.

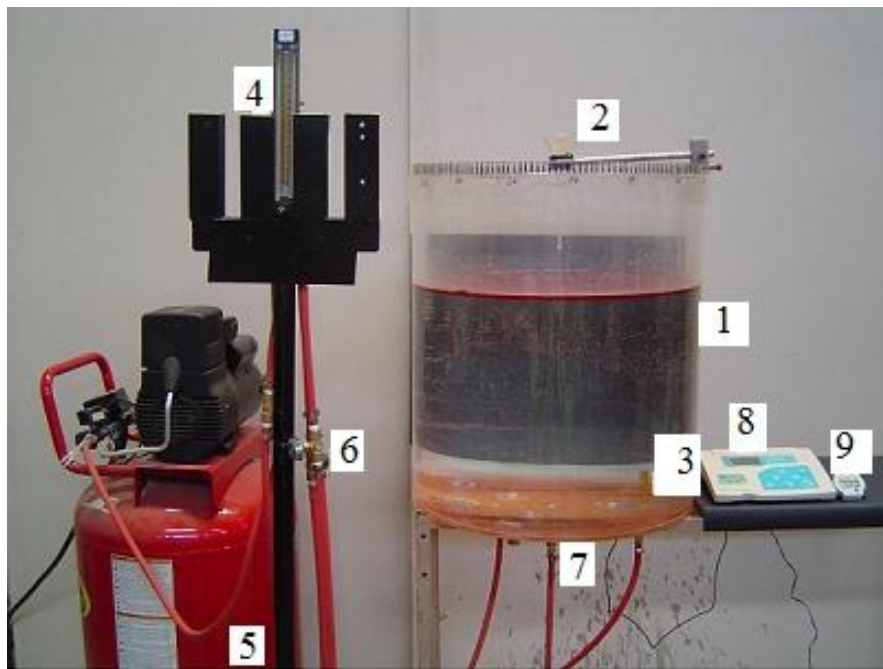


Figura 4.Instalación del modelo físico.

Por otro lado, en la Figura 5 se muestra un ejemplo de la operación del modelo físico durante el experimento 4 (ver Tabla No.6). En este arreglo, el espesor de aceite Q.S (rojo) es de 0.7cm. En la foto se observa el ojo de escoria abierta por la pluma.



Figura 5. Experimento 4 ver (ver Tabla No.6) con una vista superior que muestra la apertura de escoria u "ojo".

La Figura 6 muestra una foto en donde se aprecia en detalle la instalación y sus variantes para ajustar el experimento. Los elementos indicados en la figura son:

- a) Mecanismo de inserción de trazador: se conforma de un embudo (1) donde se adiciona el trazador para permitir una entrada de trazador uniforme en todos los experimentos. También hay un soporte metálico (2) que se puede ajustar en su longitud para adaptarse al sitio de adición del trazador.
- b) Tipos de aceite: Se conforma de 3 diferentes tipos de aceite Q.S Alto kilometraje SAE 25 W 50, Roshfrans Ti-22m SAE 20 W 50, Aceite de cocina-puro de soya. La elección de los aceites se hizo para satisfacer la similitud dinámica con la escoria real, ya que las fricciones viscosas entre el aceite y el agua son las que

presumiblemente afecten al tiempo de mezclado, similar a lo que ocurre en el sistema acero-escoria.

- c) Mecanismo de inserción de aceite: se hacen cálculos pertinentes para agregar 0.4cm de espesor de aceite (agregando 872.48 cm^3), para un espesor de 0.7cm de aceite (se agregaron 1526.8 cm^3) y para 1 cm de espesor de aceite (se agregaron 2181.2 cm^3) (3). Se agregó aceite con la ayuda de una probeta de 1litro. Al agregar la cantidad de aceite para cada experimento se tuvo una espera de 2 minutos para que los remanentes de la probeta bajen y se minimice el error experimental.
- d) Manejo de flujo de aire: Este es constante en todos los experimentos ya que se realizó un estudio previo¹¹, para obtener el flujo óptimo, siendo 7 l/min (4).
- e) Posición de electrodo: Este es constante en todos los experimentos, es decir, en un radio de $r/R = 1/2$, (5).
- f) Número de tapones: Este es constante en todos los experimentos ya que se realizó un estudio previo¹¹, para obtener el número óptimo, siendo 1 tapón (6).
- g) Posición del tapón: Este es constante en todos los experimentos ya que se realizó un estudio previo¹¹, siendo la posición óptima de $r/R = 2/3$ (7).

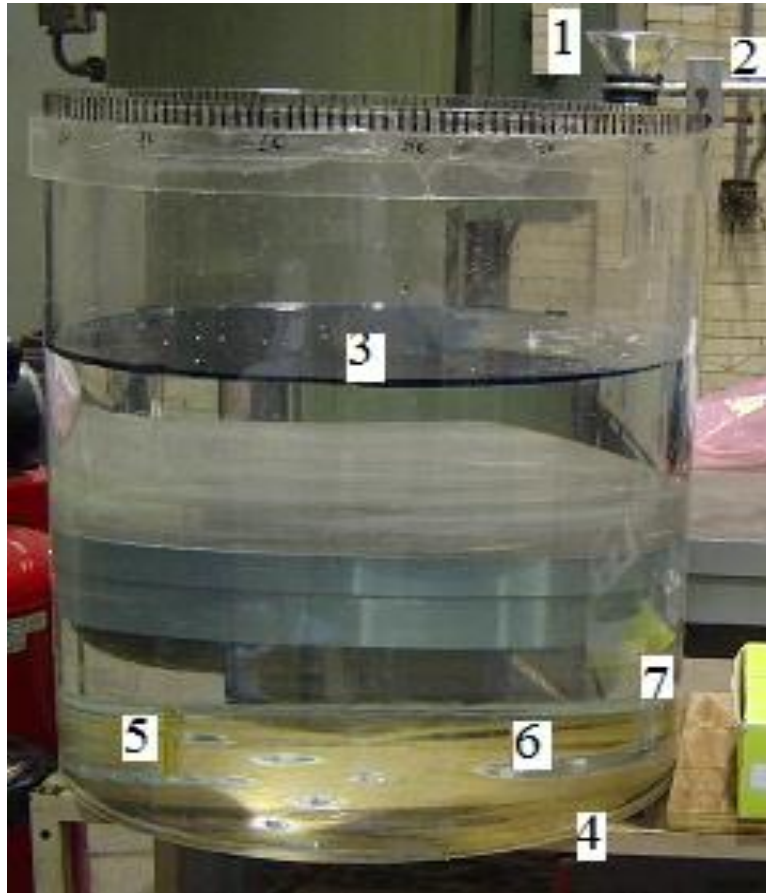


Figura 6. Fotografía que detalla cada parte de la instalación del modelo físico.

3.2 TRAZADOR

Los trazadores son partículas detectables que se adicionan intencionalmente para ser arrastradas junto con el fluido. Para que los resultados sean representativos, el trazador debe tener una densidad cercana a la del fluido de prueba. La trayectoria del trazador depende de la participación de las fuerzas que actúan sobre el sistema, tal es el caso de las fuerzas inerciales, de arrastre, gravitacionales, etc. Para el caso de trazadores líquidos miscibles en agua se consideran parte del mismo fluido, Se determinó usar NaOH 1M como trazador, ya que tiene disociación inmediata en agua.

El trazador representa un punto de referencia al realizar mediciones de concentración de los iones (OH^-), que mediante valores conocidos de concentración provee el factor cuantitativo necesario para conocer numéricamente el comportamiento de mezclado (tiempo de mezclado) estableciendo un criterio de mezclado que para este caso fue del 95%.

El punto de medición se considera representativo de una concentración global expresada por el pH alcanzado en el agua. El tiempo de residencia del trazador de NaOH es en este caso iguala al tiempo de mezclado y es mayor que el tiempo de disolución.

El pH de inicio de prueba fue 5.93 a 6.03, ya que en este rango de pH se obtuvieron los valores para el agua destilada, este valor será el cero de la prueba como punto de referencia al inicio.

Al adicionar un volumen conocido de NaOH, también se podrá conocer la concentración final teórica de la solución.

Se monitorean los valores de concentración con respecto al tiempo, el valor de pH final será el establecido mediante el criterio de mezclado (95%), es decir cuando la lectura de pH es igual al 95% del valor de pH calculado. En este momento el mezclado se considera completo.

La limpieza y calibración del instrumental es vital para la disminución de error experimental. Al tener el tiempo de vida del agua, los valores de inicio y final del pH en cada prueba garantizan mediciones precisas. Al final de cada prueba se reajusta el pH a su valor inicial mediante soluciones de HCl y NaOH 1M.

3.3 CONDICIONES DE OPERACIÓN

El recipiente escalado fue diseñado en un trabajo previo¹², a una escala de 1/6 de un horno olla industrial de la empresa TAMSA (ver Tabla 4), y estos datos son fijos para este proyecto.

	Altura del horno (m)	Altura de baño (m)	Diámetro del horno (m)
Olla industrial (140 Toneladas)	3.736	2.460	3.226
Modelo físico	0.622	0.410	0.537

Tabla 4.- Datos de escalamiento dimensional del modelo físico¹².

El escalamiento dinámico se realiza ajustando los flujos de gas inyectado¹³, el cual utiliza un exponente de 2.5 sobre el factor de escala ($\lambda=1/6$) para relacionar el flujo de gas inyectado en la olla (Q_{mod}) respecto al flujo inyectado en el modelo (Q_{fs}) y los resultados de este escalamiento se ven en la Tabla 5. La ecuación 1 define este escalamiento.

$$Q_{mod} = \lambda^{2.5} Q_{fs} \dots\dots\dots Ec. (1)$$

	Flujo de gas (m ³ /min)	Flujo de gas (l/min)
Olla industrial	0.882	882
Modelo físico	0.007	7

Tabla 5.- Escalamiento dinámico usado.

Estos datos de flujo de gas se encuentran en el rango operativo de la planta de TAMSA (13.605 a 40.8 l/min¹¹). Se determinó usar un flujo bajo de 7 l/min ya que fue el más óptimo de los flujos trabajados con aceite. Estos flujos son usados para homogeneización química y térmica del acero.

Los tapones también tienen tamaño fijo (abertura de ¼ de pulgada), la posición donde se encuentra es de uso común (⅔ del radio de la olla) y es fija para el cumplimiento de los objetivos del presente proyecto.

3.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

En la Tabla 6 se ha resaltado las condiciones estándar de operación que representan un punto intermedio de las variables respecto al tipo de aceite, así como de sus espesores de escoria, manteniendo constante el flujo de gas (7 l/min), la posición del tapón (2/3 del radio) y el número de tapones (1 tapón).

Cada experimento se realizó por triplicado para obtener una estimación del error experimental










Tipo de aceite	Exp.	Viscosidad (Ns/m)	Espesor Escoria Cm	Posición (R)	Número de tapones	Flujo (l/min)	Posición de electrodo
Aceite Q.S Alto kilometra SAE 25 W 50 Para carro (A.rojo)	1	.19135	0.4	2/3 	1	7 	1/2 
	2	.19135	0.4				
	3	.19135	0.4				
	4	.19135	0.7				
	5	.19135	0.7				
	6	.19135	0.7				
	7	.19135	1				
	8	.19135	1				
	9	.19135	1				
Aceite Roshfrans Ti-22m SAE 20 W 50 Para carro (A. azul)	10	.16958	0.4	2/3 	1	7 	1/2 
	11	.16958	0.4				
	12	.16958	0.4				
	13	.16958	0.7				
	14	.16958	0.7				
	15	.16958	0.7				
	16	.16958	1				
	17	.16958	1				
	18	.16958	1				
Aceite Cocina (soya Refinado)	19	.055	0.4	2/3 	1	7 	1/2 
	20	.055	0.4				
	21	.055	0.4				
	22	.055	0.7				
	23	.055	0.7				
	24	.055	0.7				
	25	.055	1				
	26	.055	1				
	27	.055	1				

Tabla 6.- Condiciones de operación y diseño de experimentos.

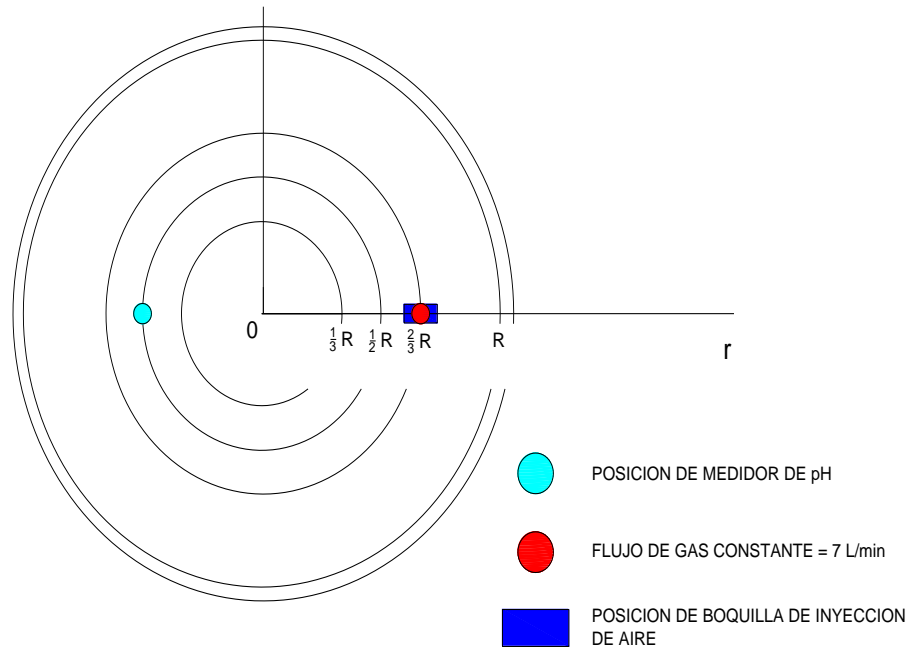


Figura 7. Esquema de posición 2/3 de radio, un tapón, flujo 7 l/min.

En la Figura 7 se presenta una vista superior donde son fácilmente localizables la posición del tapón y del electrodo. La posición del electrodo es lo más lejano posible a los ojos de pluma que se forman.

3.5 PROTOCOLO DE EXPERIMENTACIÓN.

Para la realización de los experimentos se siguió un protocolo, y así disminuir el error experimental y minimizar las variables externas (como puede ser la temperatura del agua).

El protocolo comprende:

1. Montaje y desmontaje.
2. Proceso experimental.
3. Tratamiento de datos.

3.5.1 MONTAJE Y DESMONTAJE.

Para este cometido se realizan los siguientes pasos:

- A) Chequeo de inventario.
- B) Limpieza del equipo.
- C) Calibración del equipo.
- D) Colocación de electrodo, embudo de adición de trazador e instalación de distribución de gas.

A) Chequeo de inventario. El material y reactivos siguientes se mantuvieron al alcance durante todo el desarrollo experimental, y al comienzo del día de experimentación se verificó su estado:

- Se utiliza un reactor de acrílico.
- Agua destilada 90 Litros.
- Electrodo de Ag AgCl.
- pH metro del equipo PC510 marca Eutech.
- Compresor de aire.
- Conexión rápida hembra de ¼ de pulgada de bronce.
- Conexión rápida macho de ¼ de pulgada de bronce.
- Manguera para aire ¼ de pulgada.
- Cronómetro.
- Termómetro.
- Un embudo.
- Una pizeta.

- Una pro pipeta.
- Una pipeta 10ml.
- Soporte para embudo de adición de trazador.
- Flujo metro (l/min)
- Soluciones buffer (4.01, 7.00 y 10.01)
- 3 Vasos de precipitado 50ml
- 2 Vasos de precipitado 100ml
- Aceites rojo (ver tabla 6)
- Aceite azul (ver tabla 6)
- Aceite cocina (ver tabla 6)
- Solución NaOH 1M
- Solución HCl 1M

B) Limpieza del equipo.

Todo el equipo de laboratorio (pipetas, vasos de precipitado y embudos), se limpia antes de la experimentación con agua y jabón.

Las conexiones de cobre y los soportes se limpian ante la presencia de óxidos, con lija, agua y jabón.

El agua destilada, se cambia cuando: a) se tengan partículas suspendidas o depositadas, y b) después de 17 pruebas.

C) Calibración de equipo.

Se coloca el termómetro en el centro de la olla sumergido 5 cm durante 3 min, pasado el tiempo se toma la medida de temperatura.

Se conecta el pH metro al electrodo y se ajusta a la temperatura registrada por el termómetro.

Tras la limpieza del electrodo con agua destilada, se calibra con las soluciones buffer con pH de 4.01, 7.00 y 10.01 respectivamente, realizando entre cada cambio de solución limpieza de la membrana del electrodo con agua destilada.

D) Colocación de electrodo, embudo de adición de trazador e instalación de distribución de gas.

Siguiendo la colocación de la Figura 7, los soportes son ajustados a las zonas determinadas, manteniendo la horizontal mediante el uso del nivel. La separación de la boca del embudo al baño se mantiene a 7 cm y la profundidad del electrodo es de 5 cm. La instalación de gas, se realiza respecto a las necesidades del experimento, las roscas son selladas con la cinta de teflón y antes de la experimentación se checa la existencia de fugas.

Después de la experimentación se desmontan los soportes y la instalación de gas (de las conexiones rápidas macho).

3.5.2 PROCESO EXPERIMENTAL

- Se inyecta gas a 7 l/min durante 3 min o hasta tener una medición inicial de pH sin variaciones.
- Se ajusta a 5.93 o 6.03 de pH mediante las soluciones NaOH y HCl.

- Se ajusta el flujo de gas al que se usara durante la experimentación y se mantiene 2 minutos.
- Manteniendo el flujo y el pH, se enciende la cámara (con enfoque al pH metro y cronómetro), se acciona el cronómetro, se inicia grabación y se menciona las características de la prueba (número de prueba, flujo, posición, cantidad de tapones abiertos y fecha de elaboración). Se menciona el inicio y fin de adición del trazador.
- Durante la prueba se mantiene control del flujo de gas.
- La prueba dura entre 5 y 6 minutos, dependiendo de la variación de pH que se observe.
- Finalizado el tiempo, se repiten las características de la prueba, se detiene la grabación, se incrementa el espesor de la escoria simulada (tipos de aceite) y se ajusta el pH a 5.93 o 6.03 con las soluciones de NaOH y HCl para iniciar otro experimento o una réplica.

3.5.3 TRATAMIENTO DE DATOS

A) Cuantificación del tiempo de mezclado.

En hojas de Excel, se registra el pH de inicio, el tiempo de adición de trazador, al finalizar la adición de trazador se toma el tiempo como el inicio de prueba.

Desde el inicio de prueba y hasta 300 segundos, se registra el pH cada segundo.

Al finalizar la prueba se registra el tiempo de prueba y el pH final.

El pH final se transforma a concentración y se evalúa el pH de los registros entre 95 y 105% de concentración. Cuando los registros

muestran que la variación de pH no rebasa el 95% o 105%, se toma el tiempo mínimo en que se alcanza cualquiera de los límites. Dicho tiempo es tomado como el tiempo de mezclado.

B) Cuantificación de área de ojo de pluma.

Para determinar el tamaño de área del ojo de pluma se captura una imagen fotográfica por la parte superior del modelo. Esta imagen representa dos áreas, la del ojo de pluma y la capa de escoria, que a través de una relación de pesos se cuantificara porcentualmente el área libre.

Capítulo 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo se exponen los resultados obtenidos bajo condiciones de flujo de aire, posición y número de tapones cte. Los resultados son presentados de manera gráfica en la que se muestra la influencia de la capa de aceite con relación a los tiempos de mezclado en la olla, así como el comportamiento de la capa de aceite en la superficie al variar el espesor de la película.

De la Figura 8 se presenta el comportamiento del tiempo de mezclado en función de la posición de inyección con un solo tapón y flujo constante de gas de 7 l/min sin y con la presencia de aceite rojo (ver Tabla 6). El menor tiempo de mezclado (con y sin aceite) se obtiene cuando el tapón se coloca a $2/3$ del radio de la olla. En ambos sistemas (con y sin escoria), se mejora el mezclado al alejar el tapón del centro y acercarlo a la pared. La película de aceite aumenta considerablemente el tiempo de mezclado sobre todo cuando el tapón está cerca del centro. El aumento en el tiempo de mezclado que provoca la capa de aceite es de hasta un 39% con respecto al mismo tiempo de mezclado sin aceite, tal y como se ve en la Tabla 7. El aumento en segundos del tiempo de mezclado con aceite (respecto al caso sin aceite) disminuye conforme el tapón se mueve del centro a la orilla y en la posición de $2/3$ de R la diferencia es mínima (5 segundos).

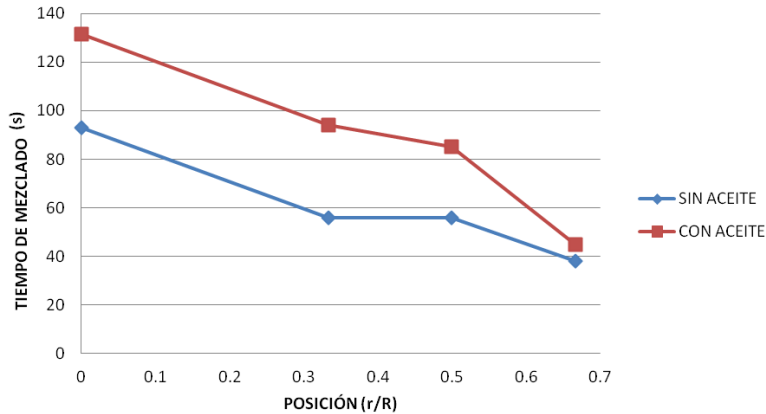


Figura 8.- Tiempo de mezclado con respecto a la posición del tapón para sistemas con y sin película de aceite a flujo constante de 7 l/min.

Posición	Tiempo de mezclado con aceite (s)	Tiempo de mezclado sin aceite (s)	Diferencia con y sin aceite (s)	% de variación
R=0	133	94	39	29%
R=1/3	95	58	37	39%
R=1/2	85	58	27	32%
R=2/3	43	38	5	12%

Tabla 7.-Tiempos de mezclado máximo con aceite rojo y mínima, sin aceite.

El mezclado lento que promueve la capa de aceite se debe a la fricción que ejerce éste sobre el baño de agua, disminuyendo la cantidad del movimiento en el sistema. Al frenarse el movimiento en el agua la circulación es más lenta y el mezclado tarda más. Es sabido que la inyección por el centro provoca dos toroides de recirculación de líquido en la parte superior de la olla pero zonas muertas en el fondo, lo que desfavorece al mezclado. En cambio, la inyección excéntrica promueve una circulación de líquido a través de toda la olla y eliminan las zonas muertas por lo que se mejora el mezclado al ir acercando el tapón a la

pared lateral de la olla. A 2/3 del radio es la posición más eficiente de agitación por lo que se disminuye el efecto de la película de aceite.

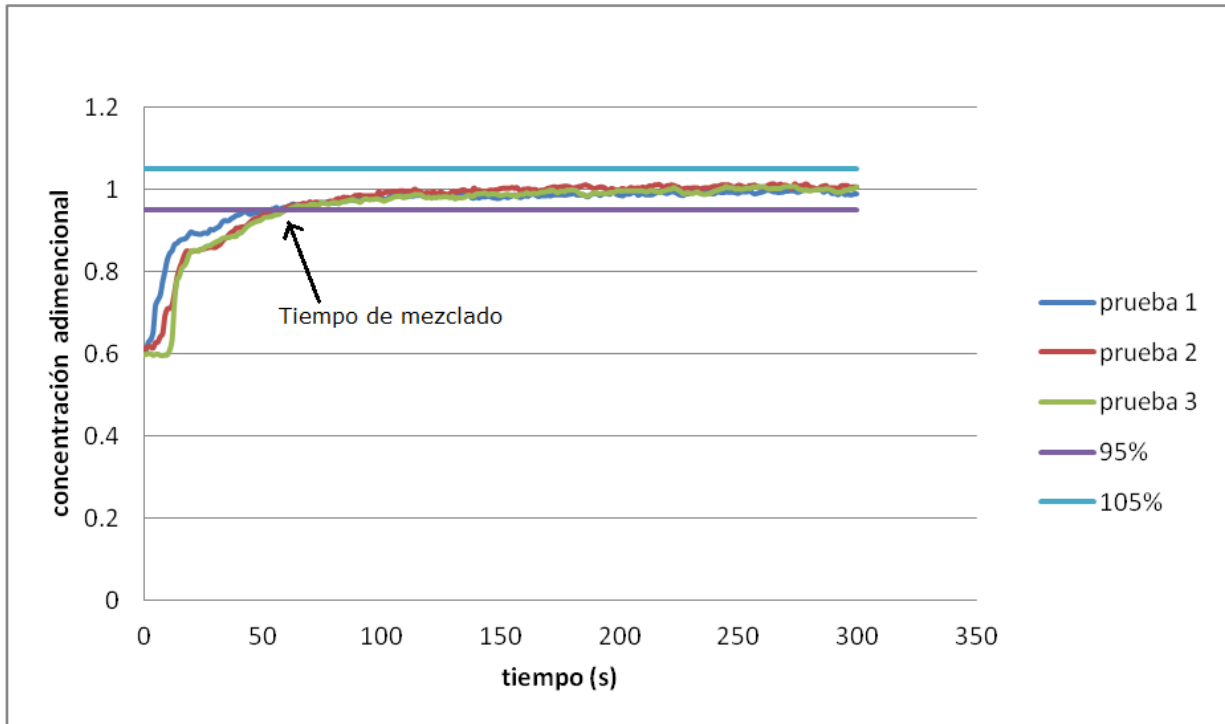


Figura 9.- Concentración adimensional contra tiempo de tres réplicas para determinar el tiempo de mezclado. Este ejemplo corresponde a una inyección de 7 l/min con un solo tapó localizado a 2/3R y aceite de cocina con un espesor de 0.7cm.

La Figura 9 muestra la evolución en el tiempo de la concentración de trazador medida con el pH metro para una inyección de gas de 7 l/min con un tapón a 2/3 R y en presencia de una capa de aceite de cocina de 0.7cm de espesor. Las tres líneas son el mismo experimento replicado y las líneas horizontales representan el criterio para determinar el tiempo de mezclado, es decir, el 95% y 105% de la concentración de equilibrio. Una vez que las mediciones de concentración se encuentran dentro de la ventana del +/-5% de la concentración de equilibrio, se dice que se ha

alcanzado el tiempo de mezclado. Esta figura ilustra el procedimiento seguido para determinar el tiempo de mezclado en cada experimento hecho (ver Tabla 6), el cual es el promedio de las 3 réplicas. El aumento de concentración de manera continua y estable indica que el sensor de pH se colocó en una zona donde no circula el fluido.

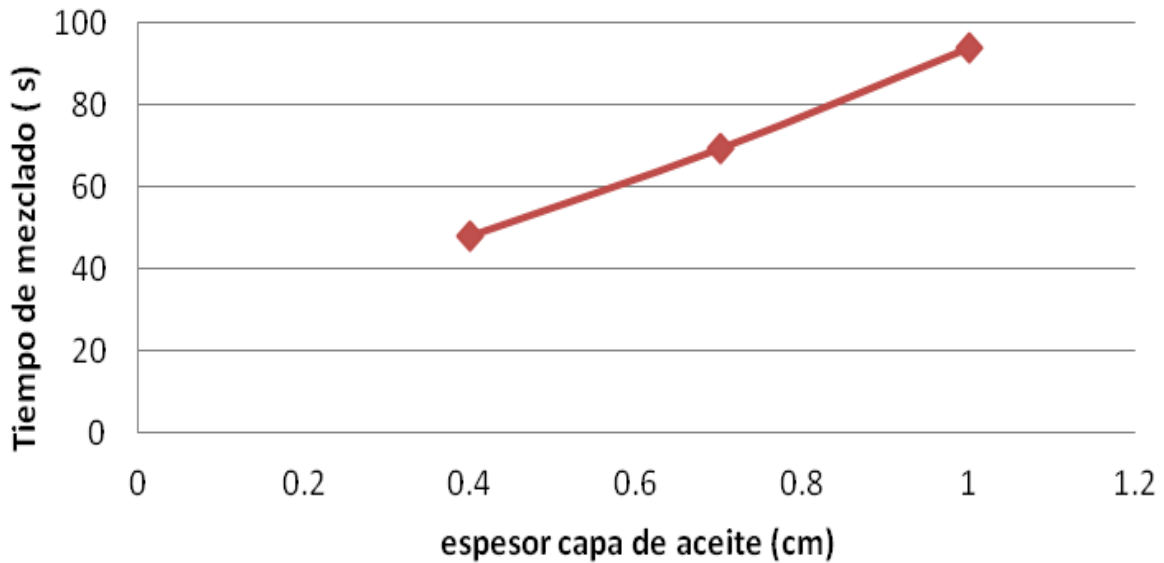


Figura 10.- Tiempo de mezclado en función del espesor de aceite rojo (ver tabla 5), con un solo tapón localizado a $2/3R$ y con un flujo de 7 l/min.

Las Figuras 10, 11 y 12 muestran el efecto del espesor de la capa de aceite rojo, azul y de cocina (ver Tabla 6), sobre tiempo de mezclado para inyecciones de gas por el fondo con un solo tapón a $2/3$ de R y flujos de 7 l/min. En general todas las figuras muestran que al aumentar el espesor de la capa de aceite aumenta proporcionalmente el tiempo de mezclado. Un aumento en la capa de aceite de 0.4cm a 1cm genera un aumento de alrededor del doble en el tiempo de mezclado (de 48 segundos a 94 segundos para el aceite rojo (ver Tabla 8), de 43.66 segundos a 86 segundos para el aceite azul (ver Tabla 8), y de 41.66 segundos a 81.33 segundos para el aceite de cocina (ver Tabla 8) como

se puede ver en la Tabla 8. Al aumentar la capa de aceite hay más volumen o masa aceite que mover y que le quita más cantidad de movimiento o fuerza convectiva al fluido, retardando el mezclado. El propósito de variar el tipo de aceite fue evaluar el efecto de cambios ligeros en la viscosidad sobre el tiempo de mezclado. Como se tuvo que satisfacer la similitud cinemática entre el aceite y la escoria la variación entre las viscosidades de los aceites es muy ligera (ver Tabla 6). El aceite más viscoso fue el rojo (ver Tabla 6) y el menos viscoso el de cocina (ver Tabla 6), siendo el azul (ver Tabla 6) intermedio en viscosidad. Se encontró que mientras más viscoso sea el aceite, más fricción o arrastre habrá con el agua restándole movimiento y retardando el mezclado.

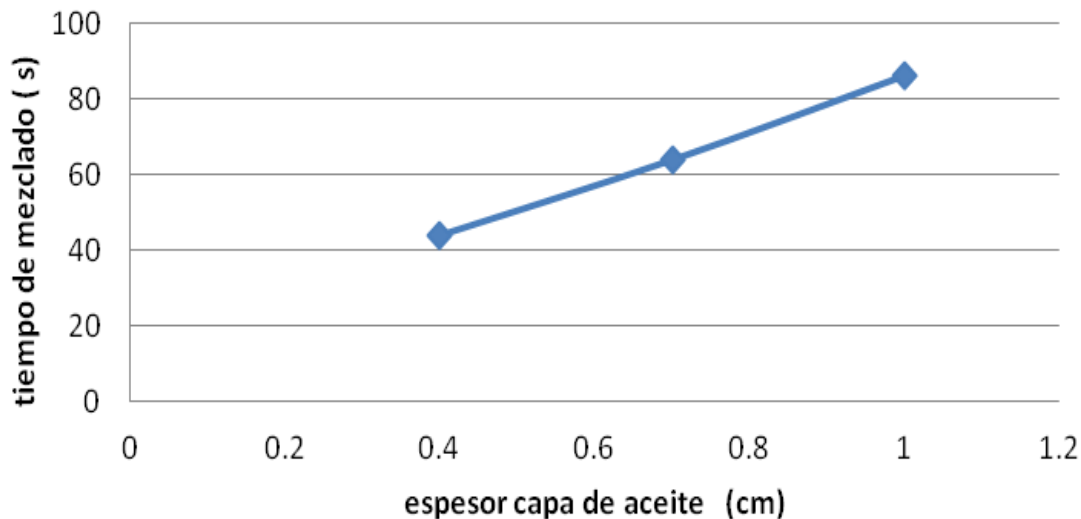


Figura 11.- Tiempo de mezclado en función del espesor de aceite azul, con un solo tapón localizado a $2/3R$ y con un flujo de 7 l/min.

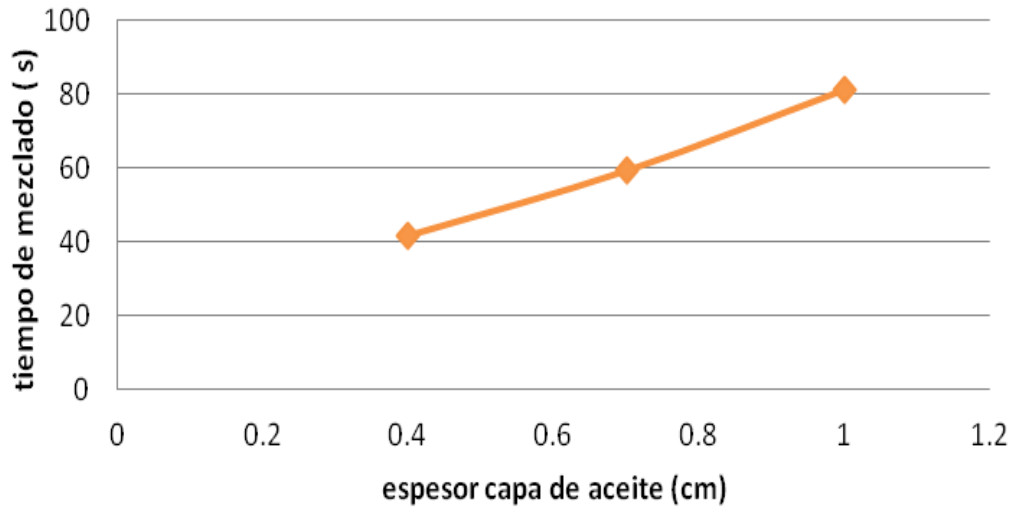


Figura 12.- Tiempo de mezclado en función del espesor de aceite de cocina (ver tabla 5), con un solo tapón localizado a $2/3R$ y con un flujo de 7 l/min.

Espesor	Tiempo de Mezclado (s)		
	A.rojo	A. azul	A. cocina
0.4cm	48	43.66	41.66
0.7cm	69.33	63.66	59.33
1.0cm	94	86	81.33

Tabla 8.- Tiempo de mezclado en función del espesor de capa de aceite y del tipo del aceite.

En las Figuras 13, 14 y 15 se muestra el efecto de la viscosidad del aceite sobre el tiempo de mezclado con espesores de 0.4 cm, 0.7 cm y 1 cm respectivamente inyectando gas con un solo tapón colocado a $2/3$ de R y con un flujo de 7 l/min. En los tres casos se aprecia la misma tendencia, es decir, al aumentar la viscosidad del aceite aumenta el tiempo de mezclado ya que aumenta el arrastre que detiene al fluido y retarda al mezclado. Sin embargo el aumento en el tiempo de mezclado

se ve magnificado conforme aumenta el espesor de aceite (con 0.4 cm de espesor los tiempos de mezclado van de 41.66 a 48 segundos, con 0.7 cm van de 59.33 a 69.33 segundos, y con 1 cm de espesor van de 81.33 a 94 segundos).

Finalmente, en la Figura 16 se muestran fotografías de los ojos formados en la superficie libre para los 3 aceites usados en este trabajo y los 3 espesores probados, para un flujo de gas de 7 l/min inyectados con un tapón a 2/3 de R.

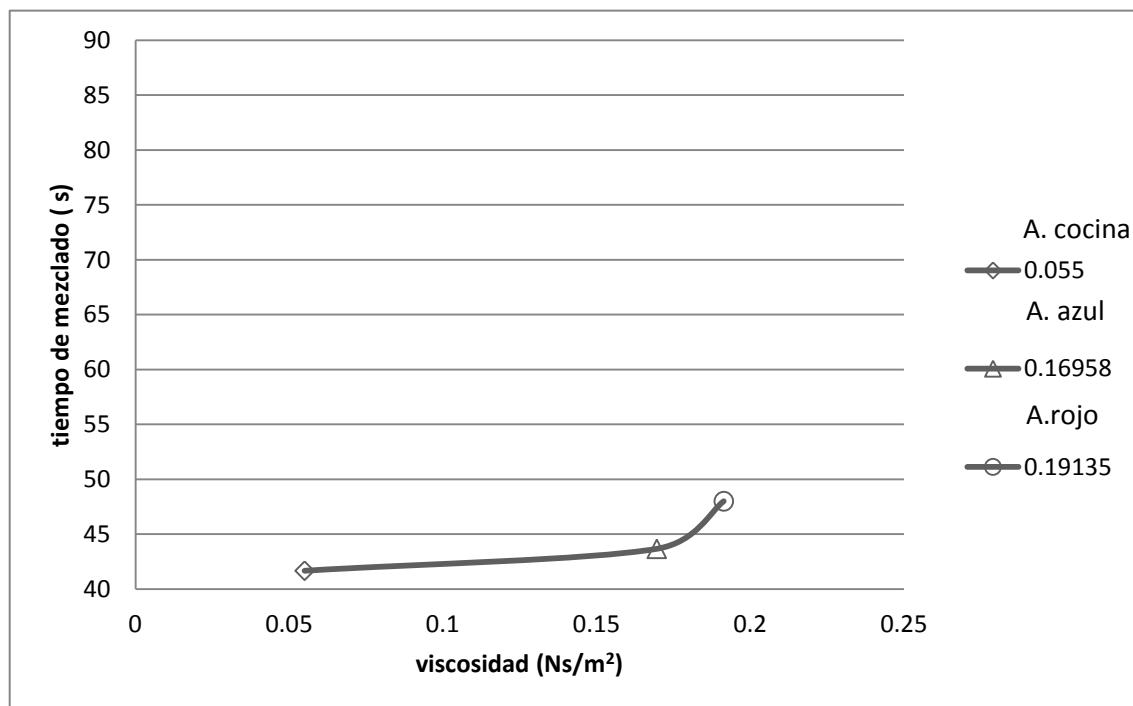


Figura 13.-Tiempo de mezclado vs viscosidad de diferentes aceites, manteniendo el espesor de 0.4cm inyectando gas con un solo tapón colocado a 2/3 de R con un flujo de 7 l/min.

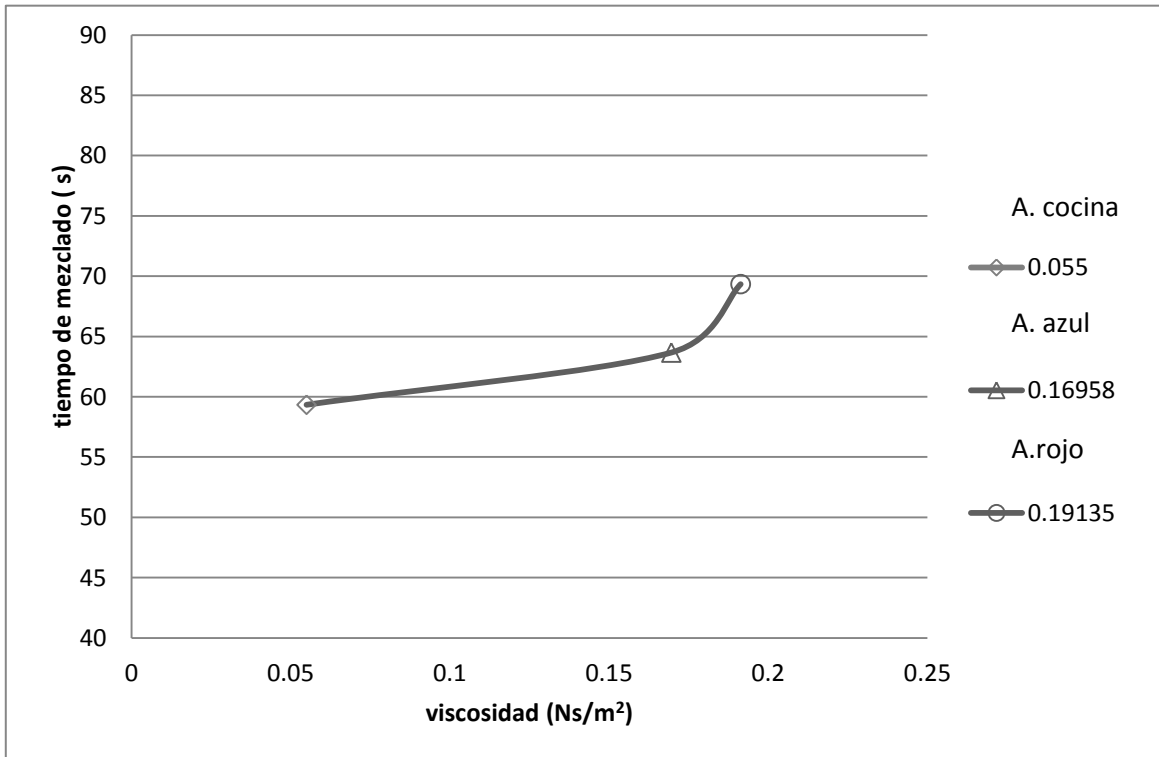


Figura 14.- Tiempo de mezclado vs viscosidad de diferentes aceites, manteniendo el espesor de 0.7cm inyectando gas con un solo tapón colocado a 2/3 de R con un flujo de 7 l/min.

Como era de esperarse a mayor espesor de la película de aceite, el área del ojo disminuye debido al aumento de masa de aceite que la pluma de aire debe desplazar. Entonces al haber mas masa con un aumento en el espesor se dificulta la apertura del ojo. Tambien se dificulta la apertura del ojo al aumentar la viscosidad del aceite ya que se requiere de mayor fuerza de arrastre para mantener el ojo abierto, por lo que el aceite rojo presento menor tamaño de ojo con los otros aceites (ver Tabla 9).

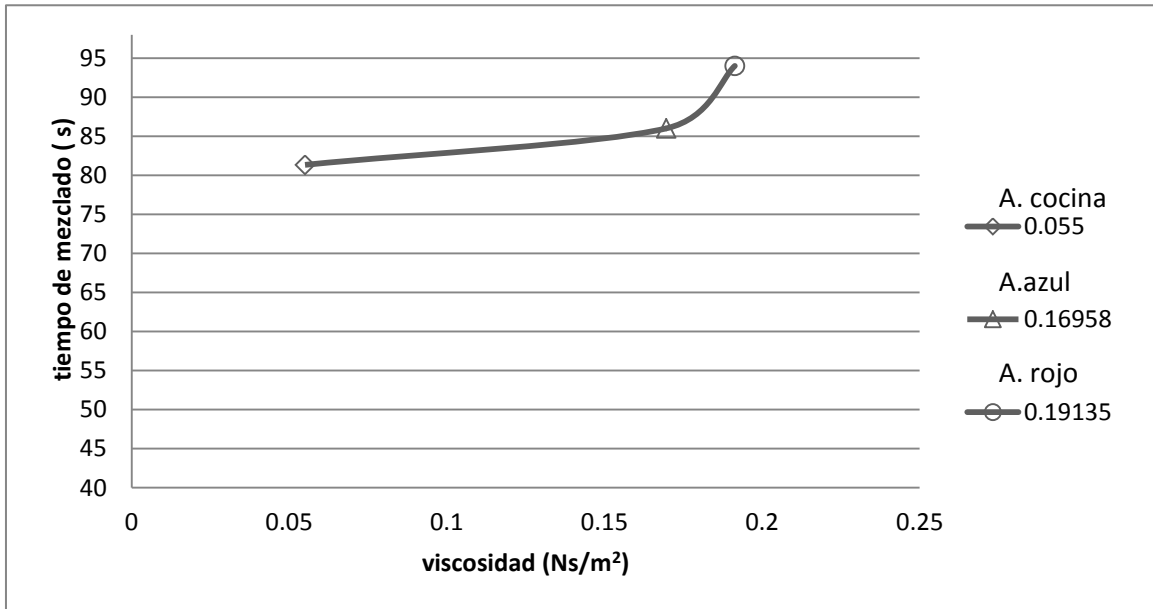


Figura 15.-Tiempo de mezclado vs viscosidad de diferentes aceites, manteniendo el espesor de 1 cm inyectando gas con un solo tapón colocado a 2/3 de R con un flujo de 7 l/min.

	Espesor (cm)	Ojo de pluma %	Resto del ojo %
Aceite rojo	0.4	29.73	70.27
	0.7	20.41	79.58
	1.0	13.78	86.22
Aceite azul	0.4	35.03	64.97
	0.7	23.41	76.58
	1.0	15.04	85.033
Aceite cocina	0.4	30.53	69.47
	0.7	25.59	74.46
	1.0	23.43	76.55

Tabla 9.- % de apertura del ojo para cada tipo de aceite y para cada espesor.



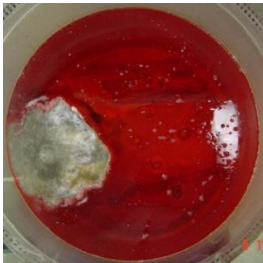
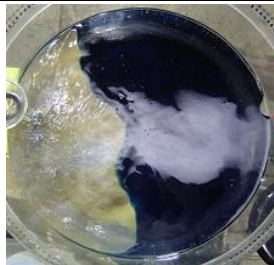
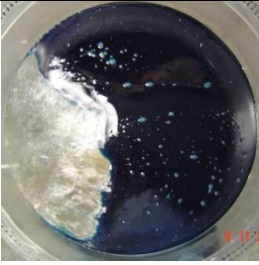
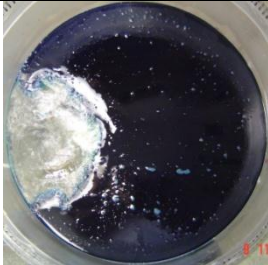
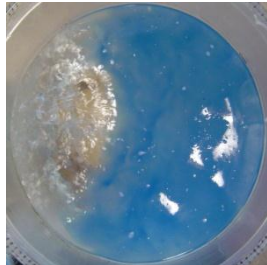
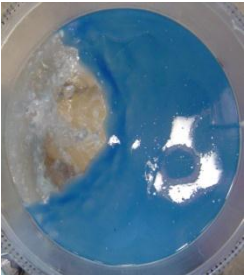
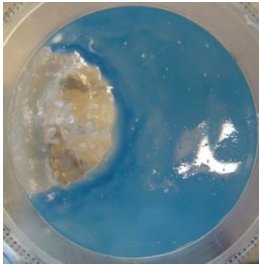
4 mm de espesor	7 mm de espesor	10 mm de espesor
		
Aceite rojo	Aceite rojo	Aceite rojo
		
Aceite azul	Aceite azul	Aceite azul
		
Aceite de cocina	Aceite de cocina	Aceite de cocina

Figura 16.- fotografías que muestran superficie libre expuesta del agua a la atmosfera para los diferentes aceites y espesores empleados.

Capítulo 5

CONCLUSIONES.

- Se simuló satisfactoriamente mediante un modelo físico el mezclado de un trazador NaOH, en presencia de una capa de aceite simulando escoria en un horno olla. El efecto de la capa de aceite encima del baño de agua, que simula la presencia de escoria sobre el acero en una olla, aumenta el tiempo de mezclado (respecto al caso con las mismas condiciones de operación pero sin presencia de escoria), porque el baño pierde cantidad de movimiento por el arrastre con la escoria.
- Al aumentar el espesor de la película de aceite (escoria) aumenta el tiempo de mezclado, debido a la disminución de las fuerzas inerciales del fluido por la pérdida de cantidad de movimiento que produce mover mayor masa de aceite.
- Se encontró que el aceite con mayor viscosidad también presentará mayor resistencia a las fuerzas inerciales del baño y por ende provoca un aumento de los tiempos de mezclado.
- Se encontró que a mayor espesor de la película de aceite y a mayor viscosidad de éste, el tamaño del ojo de pluma es menor, ya que mantener el ojo de la pluma abierto con mayor volumen de aceite que ejerce más arrastre, es más difícil que mantenerlo con menor volumen de aceite menos viscoso.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.-Esquema de la ruta de fabricacion del acero.....	Pag. 9
Figura 2.-Esquema de la ruta no integrada del acero.....	Pag. 10
Figura 3.-Esquema del Horno Olla.....	Pag. 11
Figura 4.-Fotografía de la instalación del modelo.....	Pag. 23
Figura 5.-Fotografía de vista superior del modelo.....	Pag.24
Figura 6.-Fotografía de la instalación con descripción.....	Pag. 26
Figura 7.-Esquema de la parte inferior del reactor.....	Pag. 31
Figura 8.-Tiempo de mezclado contra posición	Pag. 38
Figura 9.- Concentracion adimencional contra tiempo.....	Pag. 39
Figura 10.- Tiempo de mezclado al 95% contra espesor de aceite rojo a 2/3 de radio de la olla, con un tapón, a flujo 7 l/min.....	Pag. 40
Figura 11.- Tiempo de mezclado al 95% contra espesor de aceite azul a 2/3 de radio de la olla, con un tapón, a flujo 7 l/min.....	Pag. 41

Figura 12.- Tiempo de mezclado al 95% contra espesor de aceite cocina a 2/3 de radio de la olla, con un tapón, a flujo 7 l/min..... Pag. 42

Figura 13.- Tiempo de mezclado al 95% contra viscosidad del aceite con un espesor de 0.4cm, a 2/3 de radio de la olla, con un tapón, a flujo 7 l/min..... Pag. 43

Figura 14.- Tiempo de mezclado al 95% contra viscosidad del aceite con un espesor de 0.7cm, a 2/3 de radio de la olla, con un tapón, a flujo 7 l/min..... Pag. 44

Figura 15.- Tiempo de mezclado al 95% contra viscosidad del aceite con un espesor de 1cm, a 2/3 de radio de la olla, con un tapón, a flujo 7 l/min..... Pag. 45

Figura 16.- Fotografías de los ojos de las plumas de cada tipo de aceite..... Pag. 46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.-Principales minerales para la producción de Fe.....	Pag. 7
Tabla 2.-Datos de densidad y viscosidad, tanto dinámica como cinemática.....	Pag. 14
Tabla 3.- Datos de producción de acero en el mundo	Pag. 16
Tabla 4.-Datos de escalamiento dimensional del modelo físico.....	Pag. 28
Tabla 5.-Escalamiento dinámico usado.....	Pag. 29
Tabla 6.-Condiciones de operación y diseño de experimentos....	Pag. 30
Tabla 7.-Tiempos de mezclado máximo con aceite y mínimo sin aceite.....	Pag. 38
Tabla 8.-Tiempo de mezclado en función del espesor de la capa de aceite.....	Pag. 42
Tabla 9.-% de apertura del ojo para cada tipo de aceite y para cada espesor.....	Pag. 45

ABREVIATURA Y SUBÍNDICES

BOF: Horno Básico de oxígeno

LF: Ladle Furnace

EAF: Electric Arc Furnace

N: Newton

η : Viscosidad estática

ν : Viscosidad cinemática

ρ : Densidad

τ_{mez} : Tiempo de mezclado

Q_{mod} : razón de flujo de gas del modelo

Q_{fs} : razón de flujo de gas en el sistema real

ε_m : Potencia de mezclado

λ : Factor de escala geométrico

τ_{mix} : Tiempo de mezclado

f_s : sistema real

Q: Flujo de gas inyectado

Q.S: Aceite Quaker State

l/min: Litros por minuto

R: radio del modelo de la olla

M: Molaridad

BIBLIOGRAFÍA

1. D. Mazumdar and J.W. Evans. Macroscopic models for gas stirred ladles. ISIJ International 2004 pp. 447- 461.
2. Dipak Mazumdar and Roderick I. L. Guthrie. The physical and mathematical modeling of gas stirred ladle systems. ISIJ International 1995 pp. 1 – 20.
3. D. Mazumdar, H. B.Kim and R. I L.Guthrie. Modelling criteria for flow simulation in gas stirred ladles: experimental study. 2000 pp.302 – 309.
4. Jayanta Mandal, Swoy Patil, M. Madan and Dipak Mazumdar. Mixing time and correlation for ladles stirred with dual porous plugs. ProQuest science journals. 2005 pp.479 – 487.
5. Jeong whan Han, Seung Hwan Heo, Dong Heun Kam, Byung Don You, Jong Jin Pak and Hyo Suk Song. Transient fluid flow phenomena in a gas stirred liquid bath with top oil layer - Approach by numerical simulation and water model experiments. ISIJ International 2001 pp. 1165-1173.
6. Shintaro Yamashita, Ken – Ichiro Miyamoto, Manabu Iguchi and Masafumi Zeze. Model experiments on the mixing time in a bottom blown bath covered with top slag. ISIJ International, 2003 pp.1858 - 1860.

7. Krishnakumar Krishnapisharody and Gordon A. Irons. Modeling of slag eye formation over a metal bath due to gas bubbling. 2006 pp763 – 772.
8. P. Dayal, K. Beskow, J. Bjorkvall and du sichen. Study of slag /metal interface in ladle treatment. 2006 pp.454 – 464.
9. M. Thunman, S. Eckert. O. Hennig, J. Bjorkvall, and Du Sichen. Study on the formation of open – eye and slag entrainment in gas stirred ladle. 2007 pp.849 – 856.
10. Par G. Jonsson and Lage T. I. Jonsson. The use of fundamental process models in studying ladle refining operations. ISIJ International 2001 pp.1289 – 1302.
11. Miguel Ángel Morua Ramírez. Tesis licenciatura: Estudio experimental de mezclado en ollas agitadas con gas asistido por modelación. Facultad de química. UNAM, 2010.
12. Orta Sánchez Israel. Tesis licenciatura: Construcción de un modelo físico de horno olla para la refinación secundaria de acero. Facultad de química. UNAM, 2008.
13. Y. Takatsuka y M. Iguchi. Effect of swirl motion on mixing time in Water bath agitated by upward gas injection. ISIJ int, 2001, 41 (2), 124-127.

PAGINAS DE INTERNET

14. <http://www.ipac.es/acero/fabricación.asp> (consulta 12-nov-11)
15. <http://es.wikipedia.org/wiki/Acero> (9-febr-12)
16. <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3319/7/55868-7.pdf> (12-nov-11)
17. http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/080/htm/sec_7.htm (9-febr-12)
18. http://es.wikibooks.org/wiki/Impactos_ambientales/Fabricaci%C3%B3n_de_hierro_y_acero#Producci.C3.B3n_de_acero (12-dic-11)
19. <http://www.infoacero.cl/procesos/siderur.htm> (9-febr-12)