



*II CAIM 2010  
Segundo Congreso Argentino  
de Ingeniería Mecánica  
San Juan - Noviembre 2010*

## **LABORATORIO DE CAPACITACIÓN PARA LA REPRESENTACIÓN DEL FLUJO DE ACERO LÍQUIDO**

Raúl D. López\*, Wadi P. Chiapparoli, José A. Focaraccio, Marta G. Caligaris,  
Luis A. Farías, Lucas Bordone, Leandro Salotti, Damian Carnevale y Nadia Trejo

*Facultad Regional San Nicolás  
Universidad Tecnológica Nacional  
Colon 332 – San Nicolás – Buenos Aires*

*Tel/Fax: +54-03461-420830 – E-mail: [rdlopez@frsn.utn.edu.ar](mailto:rdlopez@frsn.utn.edu.ar)*

### **RESUMEN**

Por estar inserta la Facultad Regional San Nicolás (FRSN) en el centro geográfico de la producción del acero en la República Argentina, y por ser el comportamiento del flujo del acero líquido un parámetro vital para las condiciones de colado y por ende de gran importancia en la calidad del acero obtenido, es que se estudia este fenómeno en la región.

Considerando que las exigencias de calidad y costos del colado del acero se han ido acentuando con el correr de los años, y que las empresas siderúrgicas de la región y los laboratorios del Instituto Argentino de Siderurgia (IAS) requieren cada vez más estudios e investigaciones sobre el tema [1-3], se decide en la FRSN adaptar su laboratorio de fluidos para la formación de los estudiantes de ingeniería mecánica y metalúrgica. Su personal docente está capacitado en el tema. El director de la cátedra Mecánica de los Fluidos, quien además es ingeniero de proyectos de acería ha acumulado experiencias prácticas con sus alumnos, quienes han realizado diversas pasantías en SIDERAR y en el IAS, trabajando en temas vinculados con el flujo del acero líquido.

Dentro de un convenio vigente de cooperación entre la FRSN y el IAS, este último cede una maqueta dinámica de colada continua, en comodato. Esto posibilita a la cátedra efectuar la capacitación de los estudiantes, proponiendo el estudio del acero como fluido a través de las diferentes formas de representación del mismo.

En este trabajo se describen las distintas maneras de llevar a cabo el estudio del flujo del acero líquido. También se muestran las primeras actividades de simulación numérica aplicada a la propia maqueta de colada continua, donde el estudiante en forma simultánea puede verificar los resultados de aproximación que logre con sus primeras herramientas de representación.

**Palabras Clave:** Acero, colada continua, flujo de fluido, representación física, simulación numérica.

## 1. INTRODUCCION

La mecánica de los fluidos, es una de las ramas más antiguas de la física. Ya estaba Arquímedes 200 años AC estudiando los aspectos de la flotación. Desde entonces aparecen investigadores que realizan grandes aportes en este campo, hasta que en 1904 Prandtl inicia el desarrollo de la teoría moderna del comportamiento de la capa límite. Durante el siglo XX los avances en la mecánica de fluidos son continuos. Muchos años antes de nuestra era ya se obtenían metales a partir de la fusión de minerales. En la producción actual del arrabio líquido se emplean altos hornos que son modelos perfeccionados de los usados antiguamente. En 1855 Bessemer ideó la colada continua con molde vertical y alcanzó a realizar sus propias coladas en forma experimental. Algunos de los últimos desarrollos de la aceración comienzan después de la segunda guerra mundial con el uso intensivo del oxígeno. La futura producción del acero se realizaría fundamentalmente por medio de los procesos LD o BOF y su colado por vía de la colada continua. En la producción del acero es más reciente la identificación del "flujo del acero líquido" como un parámetro del proceso, tan importante como lo eran la temperatura y la composición química, en la obtención de un acero de acuerdo a la calidad requerida con el adecuado control de su costo.

En este trabajo se muestra como la asignatura Mecánica de los Fluidos en la FRSN se fue adaptando a los avances que se iban produciendo en el manejo y estudio del flujo del acero líquido.

## 2. PRESENCIA DEL FLUJO DEL ACERO LÍQUIDO EN EL PROCESO REAL

El transporte del arrabio líquido, su trasvase, su tratamiento de desulfuración, la carga del líquido en el convertidor, el proceso del soplo de oxígeno, la formación de la escoria, su control en el pasaje a la cuchara durante el colado, el traslado del acero, su tratamiento secundario, la etapa de limpieza y flotación de inclusiones, el colado en la colada continua pasando de cuchara a repartidor y finalmente al molde y la agitación del líquido mediante campo magnético variable, son actividades donde el parámetro flujo de fluido es decisivo para obtener acero de calidad y costo apropiado. En las fotos de la Figura 1 se observan algunas de las etapas del proceso antes mencionadas.

## 3. EL ESTUDIO DEL FLUJO DEL ACERO LÍQUIDO EN LABORATORIO DE CAPACITACION

La asignatura Mecánica de los Fluidos en la FRSN está organizada de tal manera que el estudiante tenga una clara visión y distinción sobre las distintas maneras de llevar a cabo el estudio del flujo de un fluido. Se hace especial referencia al acero en estado líquido, a aquellas sustancias relacionadas, con vinculación interfacial, como las escorias y los polvos coladores en estado líquido, y a los gases originados y/o atrapados como el  $N_2$ ,  $H_2$ , Ar, aire, CO,  $CO_2$ , etc.

Dentro de un convenio de cooperación celebrado entre la FRSN y el IAS, este último cede en comodato una maqueta dinámica de colada continua, lo cual posibilita a la cátedra efectuar la capacitación de los estudiantes en los temas de modelización y que se analicen las distintas modalidades para llevar adelante el estudio del flujo de los fluidos, así como las posibilidades y limitaciones en cada caso. Estas son: los 3 enfoques teóricos que se disponen: estudio sobre una línea de corriente, ecuaciones integradas y ecuaciones diferenciales; y las diferentes representaciones: simple observación, modelización física y simulación numérica.

El director de la cátedra ha acumulado experiencias prácticas con sus alumnos quienes, además, han realizado diversas pasantías, trabajando en temas vinculados con el flujo del acero líquido.



Figura 1 - Flujo de fluido presente en la elaboración y colado del acero

### 3.1. El estudio a través de una línea de corriente

En la Figura 2 (a), que presenta la maqueta en cuestión, se muestra el conjunto de circulación del acero líquido que va desde la cuchara hacia el repartidor y de éste hacia los moldes de colado.

La Figura 2 (b) muestra ejemplos de trayectorias de partículas en el repartidor real (SIDERAR) calculadas numéricamente [4].

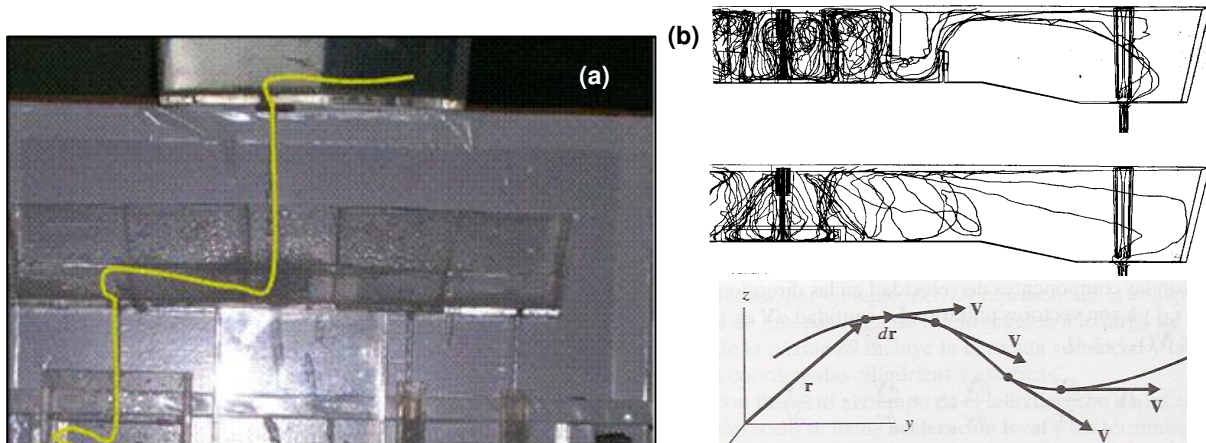


Figura 2 - Trazado de una Línea de Corriente

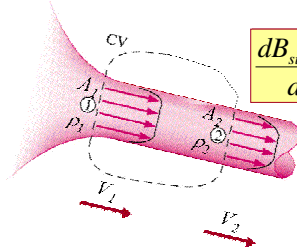
El alumno aprende el primer paso: individualizar el trazado de una "línea de corriente". Se discute además lo que significan los principios de conservación de la masa (ecuación de continuidad) y de conservación de la energía (ecuación de Bernoulli).

También se alerta que las ecuaciones conocidas no deberían generalizarse a tubo de corriente y menos aún a conducciones reales tal cual se menciona en los antiguos libros tradicionales.

### 3.2. El estudio mediante ecuaciones integradas

Mediante el teorema de transporte de Reynolds el estudiante puede transformar un sistema en volumen de control en los espacios de interés a estudiar (la cuchara, el tubo sumergido, el repartidor, la buza de colado, el molde) y así calcular datos macroscópicos que también son de interés en el proceso de la colada. Por ejemplo puede calcular presiones estáticas en puntos estratégicos, calcular diámetros de tubos de colado y de orificios de salida, determinar las alturas de nivel, etc. Aquí es donde puede aplicar los conceptos de los cuatro principios de conservación (masa, energía, cantidad de movimiento y momento de la cantidad de movimiento).

	Masa	Cantidad de Movimiento	Energía	Momento de la Cantidad de Movimiento
<b>B</b> (Propiedad Extensiva)	m	$m\vec{V}$	E	$\vec{H}$
<b>b</b> (Propiedad Intensiva)	1	$\vec{V}$	e	$(\vec{r} \times \vec{V})$



$$\frac{dB_{sistema}}{dt} = \rho_2 \cdot b \cdot V_2 \cdot A_2 - \rho_1 \cdot b \cdot V_1 \cdot A_1$$

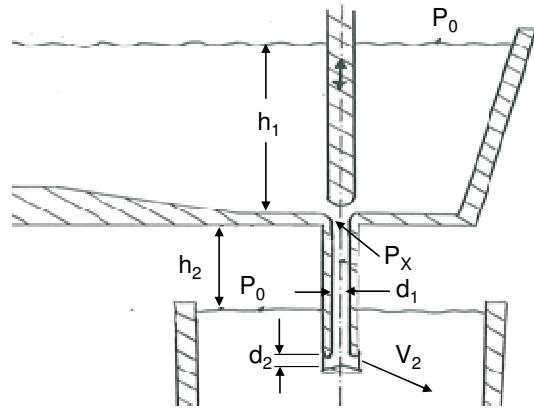


Figura 3 - Estudio Macroscópico con Ecuaciones Integradas [5]

### 3.3. El estudio mediante ecuaciones diferenciales

Ni las ecuaciones aplicadas a una línea de corriente ni las ecuaciones integradas, que son enfoques macroscópicos, permiten conocer en forma detallada cual sería el comportamiento de zonas particulares ni de cada partícula en forma individual sabiendo su interés metalúrgico. Para el proceso se requiere también conocer los resultados de arrastre y flotación de las impurezas, el desarrollo y comportamiento de las burbujas de gases, la formación de los vórtices, etc.

El paso siguiente es entonces hacer el correspondiente planteo infinitesimal mediante el empleo de la Mecánica Racional y arribar a las ecuaciones diferenciales, aplicables como siempre a los mismos principios de conservación.

Como ejemplo en la Figura 4 se muestra cual es el criterio de aplicación para un estudio integral, para un estudio detallado y como se inicia el planteamiento a nivel de un elemento infinitesimal.

Es así como se obtuvieron las ecuaciones más utilizadas en la mecánica de fluidos: las ecuaciones diferenciales de continuidad, de Euler, de Cauchy, de Navier-Stokes, etc.

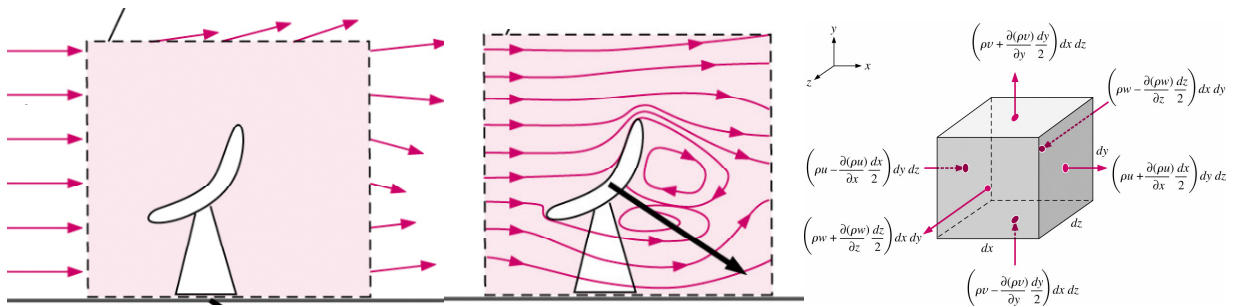


Figura 4 – Esquema planteamiento integral, planteamiento detallado y alrededor de un elemento infinitesimal [5]

El comportamiento del flujo del acero líquido con el arrastre de sus impurezas no metálicas y gases es tan aleatorio y en zonas con efectos de formas sumamente complejos, que el estudiante comprende que los modelos del tipo “Flujo Potencial” utilizados en otras ramas de la fluidodinámica, no le son aplicables. Este planteo se realiza solamente como una mención teórica sobre cual sería su correcta evaluación desde el punto de vista teórico-analítico.

### 3.4. El estudio mediante la simple observación

Este método de estudio fue el más primitivo, pero es de carácter invaluable para el análisis del flujo del acero líquido. No solamente se trata de aquellas observaciones del proceso realizada por los pasantes estudiantes de ingeniería en SIDERAR, por los técnicos del IAS en sus trabajos de seguimientos e investigaciones sino que es fundamental y decisivo escuchar las vivencias de los propios operadores e inspectores de procesos. Ellos aportan datos estadísticos mentales desde una óptica diferente de aquella de quienes estudian el tema.

De ahí que las conversaciones con los operadores en las propias plataformas operativas, Figura 5, aportan un material al conocimiento que es un complemento importante para el estudio teórico y/o las determinaciones por métodos de representación y simulación del proceso, tanto sea físico como numérico.

De aquí que los estudiantes de ingeniería de la FRSN pueden contar con un banco de datos de cosas prácticas, transmitidas año tras año aunque sean muy simples y que sería casi imposible adquirirlas por simple lectura de material específico.



Figura 5 – Ejemplos prácticos de desarrollo por simple observación

Este conjunto de conocimientos muchas veces se aparta de la simple intuición que una persona no dedicada hubiera tenido en cierto sentido. Además se cuenta con la posibilidad de descubrir ciertas particularidades físicas que al momento de poder percibir las personalmente no dejan de ser apasionantes. Tal es el caso de la observación de turbulencias en el menisco de un molde de colada continua, del atrape de burbujas de aire, de los vórtices generados durante el fin de colado por la piquera de un convertidor LD, o del pasaje de escoria al final del colado de una cuchara, también por el efecto vórtice, del desprendimiento de un tubo sumergido de cuchara por efecto de golpe de ariete cuando al inicio de la colada el flujo de acero líquido se encuentra con una obstrucción, etc.

### 3.5. El estudio a través de modelizaciones físicas

El acero en estado líquido cumple las condiciones de fluido newtoniano y por ello es que se le aplican todos los principios de la mecánica de los fluidos. Esta es la razón por lo cual ya en el año 1986 la Cátedra de Mecánica de los Fluidos de la FRSN en conjunto con SOMISA (hoy SIDERAR) participaron en el estudio, cálculo y construcción del primer modelo físico de agua para la representación del flujo del acero líquido en un sistema buza-molde de una colada continua de desbastes. En la Figura 6 (a) se ve a docentes, estudiantes y técnicos de SOMISA hacia fines de 1986 en la puesta en marcha del primer modelo de agua. Para llevar a cabo el estudio y construcción de un modelo físico es fundamental tener presente en primer lugar cuales son los fenómenos preponderantes que se pretende estudiar y cuales aquellos que pudieran tener efectos sobre los mismos y no se debieran descuidar en su análisis.

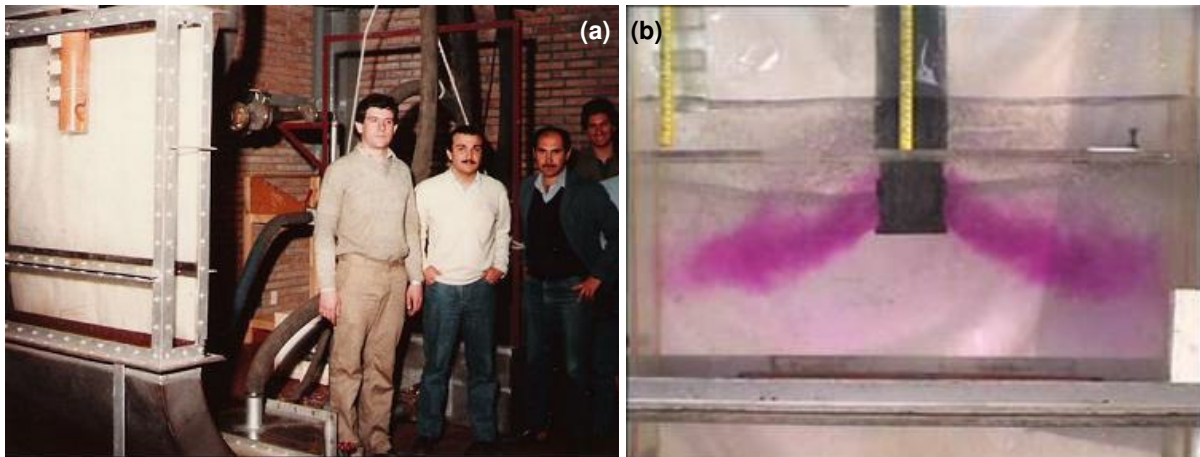


Figura 6 – Puesta en marcha del primer modelo de agua escala 1:1 en el año 1986

Con los modelos de representación del proceso del flujo del acero líquido lo que en realidad más interesa observar son los efectos cinemáticos del movimiento del fluido: campos de velocidades, configuraciones de las líneas de corriente, efectos particulares como zonas de desprendimientos de capas límites y apariciones de los efectos vórtices, etc.

Se debe relacionar el modelo a escala con el prototipo real, de algún modo; para poder predecir el comportamiento de éste a partir de los resultados obtenidos experimentalmente en el modelo a escala.

El objetivo debe ser obtener la semejanza dinámica entre el prototipo a estudiar y el modelo de representación. Es por ello que en el estudio previo para la modelización física, es necesario lograr primero la semejanza geométrica (factor de escala) y luego la semejanza dinámica, es decir, la similitud en el comportamiento de las fuerzas intervinientes. Esto es razonable si se tiene en cuenta que las zonas de flujo de acero líquido donde se aplican estos estudios se refieren en zonas de turbulencias donde los efectos térmicos convectivos son despreciables y alejados de zonas donde pudieran presentarse fuertes reacciones químicas.

La semejanza dinámica se obtiene por la igualdad de los parámetros adimensionales en que participen fuerzas preponderantes en el estudio en comparación con las fuerzas de inercia, ésta última resulta ser la fuerza resultante definitiva aplicada a cada una de las partículas y determina la aceleración aplicada y de ahí las continuas modificaciones a las trayectorias y de sus módulos de velocidad.

En los casos estudiados son la viscosidad cinemática ( $\nu$ ), tensión superficial ( $\sigma$ ) y la aceleración de la gravedad ( $g$ ) las propiedades tenidas en cuenta al momento de seleccionar la escala del modelo utilizando las siguientes relaciones que determinan los parámetros adimensionales considerados: el número de Reynolds, el de Froude y el de Weber.

El número de Reynolds es el cociente entre las fuerzas de inercia y las de fricción producidas por la viscosidad:

$$\frac{Q_m \cdot L_m}{A_m \nu_m} = \frac{V_m \cdot L_m}{\nu_m} = Re_m = Re_p = \frac{V_p \cdot L_p}{\nu_p} = \frac{Q_p \cdot L_p}{A_p \nu_p} \quad (1)$$

El número de Froude es la raíz cuadrada del cociente entre las fuerzas de inercia y las de gravedad

$$\frac{\left(\frac{Q_m}{A_m}\right)}{\sqrt{g \cdot L_m}} = Fr_m = Fr_p = \frac{\left(\frac{Q_p}{A_p}\right)}{\sqrt{g \cdot L_p}} \quad (2)$$

El número de Weber es la raíz cuadrada del cociente entre las fuerzas de inercia y las debidas a la tensión superficial.

$$\frac{\rho_m \cdot V_m^2 \cdot L_m}{\sigma_{sm}} = We_m = We_p = \frac{\rho_p \cdot V_p^2 \cdot L_p}{\sigma_{sp}} \quad (3)$$

En las ecuaciones anteriores los subíndices m y p se refieren al modelo y al prototipo, respectivamente, Q es el caudal, A es el área del flujo, V es la velocidad fluido, L es una longitud característica,  $\nu$  es la viscosidad cinemática,  $\rho$  es la densidad del fluido y  $\sigma$  es la tensión superficial.

Debido que a la temperatura del tratamiento y colado del acero líquido, éste posee casi la misma viscosidad cinemática que el agua a temperatura ambiente (en el orden de 1 cst), resulta muy ventajoso diseñar y construir modelos en escala 1:1. Los efectos de la viscosidad se pueden representar simultáneamente con los efectos gravitatorios: empuje y flotación. Por esta razón su uso ha sido generalizado desde los comienzos de las modelizaciones físicas.

### **3.6. El estudio a través modelizaciones numéricas**

En general, los problemas de flujo de fluidos con interés práctico no tienen solución analítica o, cuando pueden resolverse, el procedimiento de solución es tan complejo que no vale la pena todo ese esfuerzo. Haciendo uso de la dinámica de fluidos computacional (CFD, por sus siglas en inglés) es posible obtener soluciones numéricas para estos problemas.

Los métodos más usados en la actualidad para resolver los problemas de flujo de fluidos son el método de diferencias finitas y el método de elementos finitos.

La aproximación por medio de diferencias finitas es el método más antiguo aplicado para obtener la solución numérica de ecuaciones diferenciales, y ha sido utilizado con éxito para resolver problemas de flujo de fluidos. Su mayor desventaja consiste en su incapacidad para tratar efectivamente la solución de problemas sobre formas geométricas irregulares o con condiciones de frontera complejas. El método de elementos finitos ofrece mejores posibilidades para tratar geometrías complejas y brinda la posibilidad de utilizar aproximaciones de orden superior.

Independientemente del método que se utilice, una solución numérica aceptable requiere una gran cantidad de cálculos. Además, las cuestiones vinculadas con la estabilidad y la convergencia deben analizarse cuando se trabaja con cualquiera de estos métodos.

En la cátedra Mecánica de los Fluidos de la Facultad Regional San Nicolás, desde el año lectivo 2006, se analiza la forma en que se aplica el método de diferencias finitas para obtener una solución aproximada de las ecuaciones de convección y de transporte que se necesitan para resolver los problemas de flujo de fluidos [6, 7] y que no se han estudiado en el curso de Cálculo Avanzado, que se dicta en el nivel anterior. En esta última asignatura sólo se estudian la ecuación de Poisson, la ecuación de difusión y la ecuación de onda. También se realiza una breve introducción al método de elementos finitos: sólo se tratan problemas estacionarios de conducción del calor en sólidos.

En el último nivel de la carrera se ofrece a los alumnos, como asignaturas electivas, Introducción al Método de Elementos Finitos y Software de aplicación en problemas mecánicos, en las que podrán profundizar el análisis de estos temas.

## **4. PRIMEROS TRABAJOS REALIZADOS A PARTIR DEL LABORATORIO DE CAPACITACIÓN**

Se describirán aquí las primeras actividades que se desarrollaron en el laboratorio de capacitación para la representación del flujo de acero líquido.

### **4.1. Primeros Trabajos sobre el modelo físico (Maqueta de Colada Continua)**

La maqueta en acrílico de la colada continua de acero (conjunto cuchara – repartidor – moldes), cedida en comodato por el IAS e instalada en el Laboratorio de Mecánica de Fluidos, constituye una herramienta importante de uso didáctico para la interpretación y representación del flujo de fluidos. Una imagen general de dicha maqueta se observa en la Figura 7 (a).

Se realizaron pruebas con inyección de colorantes, para visualizar el comportamiento fluidodinámico desde un punto de vista cualitativo (Figura 7 (b)). Este comportamiento, relevado fotográficamente y mediante filmaciones, se contrasta con primeros pasos de simulación numérica para validar comportamientos. Se realizó la práctica de evaluar si esta maqueta podría comportarse como un modelo físico, cumpliendo con la semejanza dinámica mediante la igualdad de números adimensionales.

Para ello se trabajó con los dos sistemas: cuchara – repartidor y repartidor – moldes, igualando en forma individual los números de Reynolds, Froude y Weber. Se encontraron resultados del orden de los valores reales, para el caso de igualar el número de Froude aplicado a las coladas continuas que hay en Argentina.

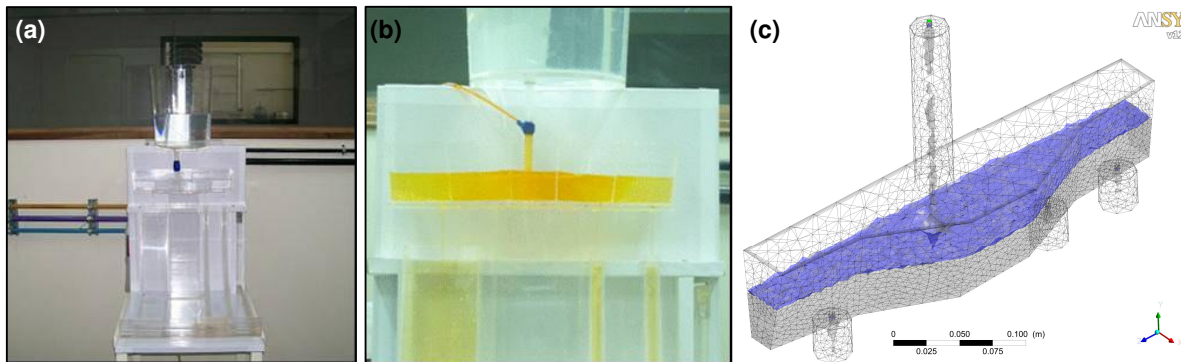


Figura 7 – Maqueta de Colada, inyección de colorante para observar el flujo y mallado del conjunto

## 4.2. Primeros Trabajos sobre modelizaciones numéricas

Con el objeto de introducir a los alumnos en el mundo de la dinámica de fluidos computacional, se discuten los resultados obtenidos al simular la maqueta de colada continua con el software comercial CFX [8] de la empresa Ansys y se comparan los datos numéricos con las observaciones físicas.

### 4.2.1 Alcance de la modelización numérica

En una primera aproximación del problema se decidió modelar la maqueta completa en su estado original. Dada la complejidad del problema y la capacidad de cálculo disponible, solo pudo realizarse este trabajo empleando baja resolución de malla y se observó que este caso particular del modelizado de la cuchara y de los moldes no presentaba zonas de gran vorticidad o fenómenos fluidodinámicos de gran interés, como los que sí ocurren en los casos reales.

Luego se decidió concentrar el análisis en la parte media de la maqueta, la que representaría un repartidor de una colada continua mixta, con 2 líneas de palanquilla y una de planchones. Esta zona presenta mayor interés ingenieril, dado que en ella se produce la mayor cantidad de fenómenos fluidodinámicos.

Una discretización de la maqueta se muestra en la Figura 7 (c).

El principal objetivo en esta etapa es comparar las líneas de corriente obtenidas en forma numérica con las fotografías y filmaciones obtenidas durante la inyección de trazador.

### 4.2.2 Consideraciones acerca del modelo numérico

El modelo final consta de un dominio bifásico, aire-agua, en el que se determinan las fracciones de volumen, los campos de velocidad y la turbulencia generada.

Las ecuaciones resueltas por el programa son las de continuidad, momento, energía total, flotabilidad, turbulencia y fracción de volumen (todas para fluido multifásico) [9].

Las fronteras, tomadas todas isotérmicas, se consideraron sin rugosidad y estáticas en todo el dominio en contacto con las paredes de la maqueta. Las fronteras del dominio son del tipo abierto, sometidas a una condición de presión (presión atmosférica) tomando como campo de velocidades el resultante de considerar

las velocidades adyacentes, además de que todo fluido entrante sea compuesto puramente por aire. Se denota la completa ausencia de frontera de salida, lo que es debido a que la expulsión del líquido se considera a una distancia de la salida del repartidor, donde fluye siendo un chorro abierto. Tal consideración es debida al efecto de los agujeros (buza de salida libre) en la parte inferior de la maqueta sobre el campo de presiones y por ende el de velocidades.

La frontera de entrada esta acotada por el caudal másico suministrado por la bomba, el cual por ley de conservación no varía respecto al entregado por la cuchara de la maqueta.

Se supuso un perfil de velocidad plano, ya que el chorro en sí no es parte de este análisis, además de despreciar su efecto ante la gran turbulencia que genera éste al impactar en el seno del líquido.

El modelo de turbulencia usado es un modelo de dos ecuaciones k-epsilon provisto por el software.

La condición inicial impuesta en el primer planteo pertenecía a un dominio ausente de agua, siendo necesario entonces el cálculo de todos los instantes de tiempo anteriores a que se llegase a un nivel estable y se entrase en régimen. En una segunda etapa se sugirió partir desde un dominio ya ocupado con un volumen de agua desde la cara inferior del repartidor hasta el nivel obtenido en forma experimental, con velocidad nula en todos sus puntos.

Si bien la condición inicial con un dominio parcialmente conformado por agua no fue reproducida en la maqueta real, numéricamente se llegó a régimen simulando tan solo tres minutos de proceso contra los siete necesarios para el caso de un dominio inicialmente conformado por aire en su totalidad.

Al comparar las imágenes capturadas durante las diversas inyecciones de colorante con los diferentes cortes frontales del campo de velocidades, obtenidos mediante la simulación numérica, se logra distinguir vórtices a primera vista. Los mismos concuerdan perfectamente en posición y orientación de giro, así como el trazado de las líneas de corrientes.

Al solicitar al software una superficie conformada solo por puntos en los cuales la fracción de volumen sea de 0,5 se logró distinguir una superficie en concordancia con la superficie libre del agua, estando situadas ambas a idéntica altura respecto del fondo de la maqueta.

Si bien aún queda mucho camino por recorrer, los resultados observados hasta el momento son muy satisfactorios al momento de la formación de los estudiantes que se inician en esta incursión.

En la figura 8 se muestran las primeras aproximaciones numéricas obtenidas.

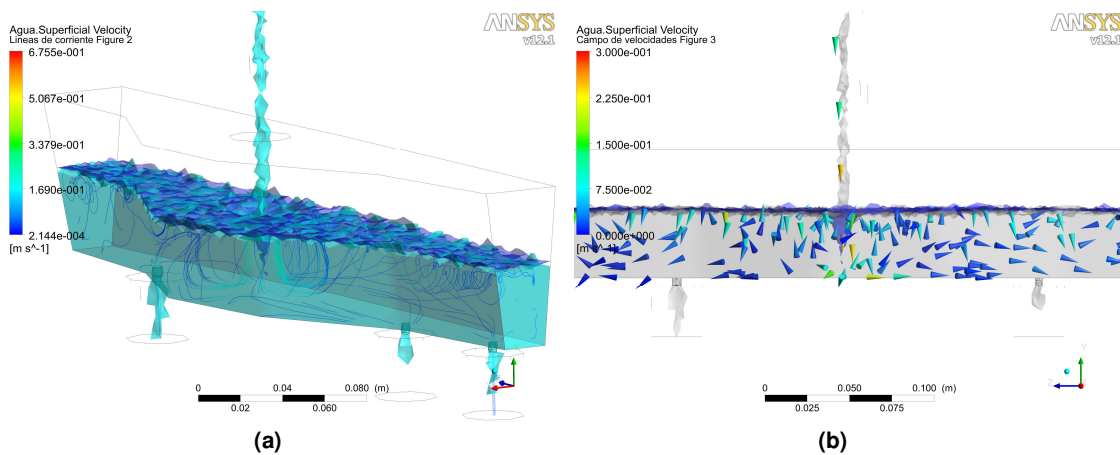


Figura 8 – Líneas de corriente y campos de velocidades: primeros resultados obtenidos en forma numérica

## 5. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha presentado el nuevo Laboratorio de Fluidos de la Facultad Regional San Nicolás, destinado a capacitar a los futuros profesionales en temas de representación del flujo de acero líquido. Mediante una maqueta dinámica de la colada continua de acero, se realizaron ensayos con inyección de colorantes, para visualizar el comportamiento fluidodinámico desde un punto de vista cualitativo. Se presentaron, además, las primeras actividades de simulación numérica aplicada a dicha maqueta.

Sobre la base de los resultados obtenidos hasta el momento, se continuará con el análisis de estos temas que son fundamentales para la capacitación de los alumnos en los aspectos vinculados al comportamiento del acero como fluido

## 6. REFERENCIAS

- [1] R. López y C. Cicutti, "Fundamentos Básicos para la construcción de modelos de agua en colada continua", Convenio Somisa-Instituto Argentino de Siderurgia, San Nicolás, Buenos Aires, Argentina, Diciembre 1990. Páginas 1-10.
- [2] W. Chiapparoli, S. Sylvestre, J. Madías y G. Di Gresia, "Estudio en modelo de agua del efecto del ancho de molde, velocidad de colada y profundidad de inmersión de buza", Actas del XXXI Seminario de Fusión, Refino y Solidificación de metales, Vitória, ES, Brasil, Mayo .de 2000. Páginas 589 - 598 .
- [3] R. López y M. Aguirre, S. Sylvestre, "Modelización del comportamiento fluidodinámico de alternativas de diseño para un futuro horno al vacío RH", Actas del 17 Seminario de Acería IAS, Campana, Buenos Aires, Argentina, Noviembre de 2009. Páginas 146 - 156
- [4] A. Boemen and S. Rödl, "Investigations on the flow conditions in the tundish of a slab caster at the SIDERAR San Nicolás steelplant", BFI Technical Report, 1998.
- [5] Y.A. Cengel y J.M. Cimbala, "Mecánica de fluidos", Mc Graw Hill, México, 2006
- [6] J.D. Hoffman, "Numerical Methods for Engineers and Scientists", Mc. Graw Hill, 1992.
- [7] C.A.J. Fletcher, "Computational Techniques for Fluid Dynamics". Volume 1 Fundamentals and General Techniques. 2<sup>o</sup> Edition, Springer-Verlag, 1991.
- [8] <http://www.ansys.com/products/ansys12-new-features.asp>
- [9] ANSYS CFX – Solver Theory Guide, ANSYS CFX Release 11.0, 2006

## AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo desean agradecer al Instituto Argentino de Siderurgia por los resultados efectivos dentro del convenio de cooperación vigente y por ceder la maqueta dinámica que representa el flujo de acero de la colada continua y a SIDERAR por haber convocado a pasantes en trabajos de investigación sobre flujo del acero líquido y balances térmicos en numerosas ocasiones desde el año 1996. Los autores quieren agradecer también a Rodrigo Paz, investigador del CONICET, por haber facilitado el uso del software en cuestión en el clúster "Coyote" de CIMEC-CONICET.