

POLVOS DE MOLDE Y SU IMPACTO EN LA COLADA CONTINUA

MOLD POWDERS AND THEIR IMPACT ON CONTINUOUS CASTING

RESUMEN

Para hacer posible la redacción del presente se ha indagado en la literatura acerca de polvos de moldes que se utilizan durante el proceso de fabricación del acero, específicamente en la colada continua. Se investigaron sus principales composiciones y funciones, así como los efectos que tienen en estas aleaciones. La metodología consistió en recopilar y unificar conocimientos dispersos, hacer comparaciones con la información obtenida de distintas épocas y fuentes, y ofrecer una respuesta más actualizada a quienes comparten este mismo campo de estudio. Tomando en cuenta la información recopilada, se concluye que, para garantizar una mejor calidad superficial en el acero, es necesaria una adecuada selección de los polvos coladores, ya que la composición química de estos tiene gran influencia en la capa de escoria formada entre el acero y el molde, así como en la transferencia de calor de estos, lo cual repercute significativamente en el acabado del producto final. De igual forma, se aborda sobre la influencia del grado de acero (es decir, su contenido de carbono) en la adecuada selección de los polvos a utilizar. Es importante mencionar que la colada de planchones delgados de acero requiere ciertas especificaciones (composiciones) en cuanto a los fundentes que se han de añadir, lo cual se abordará más adelante. Una de las funciones más críticas de los polvos de molde es prevenir la reoxidación del menisco, la superficie donde el acero líquido interactúa con el ambiente, pues esto puede introducir impurezas y defectos en el producto final, afectando su integridad y calidad. Al formar una capa protectora sobre el menisco, los polvos de molde garantizan un proceso más limpio y estable.

Palabras clave: calidad superficial; composición química; capa de escoria.

ALMA CRISTAL ZAVALA VALLE

JOSÉ MANUEL GONZÁLEZ DE
LA CRUZ

MARÍA DE JESÚS SORIA
AGUILAR

Facultad de Metalurgia,
Unidad Norte, UAdeC.

Correspondencia
alma.zavala@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0009-0001-7470-4532>

Fecha de recepción
13 de noviembre de 2024.

Fecha de aceptación
20 de febrero de 2025.

ABSTRACT

To make it possible to write this article, literature has been investigated about the mold powders used during the steelmaking process, specifically in continuous casting. In the same way, the main compositions and functions of these powders were investigated, as well as the effects they have on these alloys. The methodology was based on collecting and unifying dispersed knowledge, making comparisons with information obtained from different periods and sources, and offering a more up-to-date response to those who share this same field of study. Regarding the results obtained, it is concluded that, in order to guarantee a better surface quality in the steel, an adequate selection of the strainer powders is necessary, since the chemical composition of these has a great influence on the slag layer formed between the steel and the mold, as well as on the heat transfer of these, which has a significant impact on the finish of the final product. Similarly, the influence of steel grade (its carbon content) on the appropriate selection of powders to be used is addressed. It is important to mention that casting thin steel slabs requires certain specifications (compositions) in terms of the fluxes to be added, which are further elaborated later. One of the most critical functions of mold powders is to prevent reoxidation of the meniscus, the surface where liquid steel interacts with the environment, as this can introduce impurities and defects into the final product, affecting its integrity and quality. By forming a protective layer over the meniscus, mold powders ensure a cleaner and more stable process.

Keywords: surface quality; chemical composition; slag layer.

1. INTRODUCCIÓN

Los polvos de colada continua, también conocidos como "polvos de molde", son una tecnología esencial en la industria siderúrgica, utilizada en la producción de aceros de alta calidad. Su uso se ha vuelto cada vez más común debido a la capacidad que estos poseen de otorgar una



alta eficiencia durante la fundición, así como en la calidad del producto terminado (Cruz y col., 2007).

La elección de los polvos de molde a menudo se ha realizado mediante prueba y error, o simplemente permitiendo que el proveedor ofrezca soluciones a los posibles problemas implementando cambios en las formulaciones sin especificar detalles al cliente (Cruz, 2000). En la actualidad, los principales proveedores de polvos los producen variando las proporciones de los materiales primarios para lograr cualidades específicas, sin dar detalles acerca de las características de estas combinaciones (Celaya, 1994). Esta dependencia evidente resalta la importancia de conocer las composiciones de los polvos, así como los efectos directos que estos tienen en el acero (Cruz, 2000).

Este análisis proporciona una visión detallada de los tipos de polvos de molde que se utilizan durante la etapa de colada continua, igualmente las consecuencias que estos representan a la hora de añadirlos en la fabricación del acero.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La redacción de este artículo está basada en la revisión exhaustiva en la literatura que comprende trabajos realizados en el área a la cual se enfoca este escrito. De manera general, se seleccionaron algunos de los trabajos relacionados más recientes (de la última década hasta la fecha) para sostener información más actualizada, pero sin dejar de lado algunos más antiguos cuya aportación a la ciencia es de gran impacto, por lo que no es ideal omitirlos.

Con ayuda de algunos buscadores académicos tales como ScienceResearch, Google Académico, Springer Link, Academia, así como la revisión a distintos sitios web de revistas enfocadas al área de estudio, se logró realizar la adecuada recolección de información necesaria para hacer este artículo posible.



La presente revisión resulta de gran utilidad para estudios en los campos relacionados con los factores que tienen gran influencia en los defectos que presentan los aceros. Además, cabe destacar que, a diferencia de la gran mayoría de artículos semejantes al presente, aquí se presentan elementos destacables tales como el cuadro comparativo con las patentes relacionadas al tema de revisión, estas se encontraron mediante la plataforma OMPI, de igual manera se añadió en el contenido una figura realizada con la herramienta LitMaps, en la cual se incluyeron algunas de las investigaciones realizadas acerca del tema de interés.

3. DISCUSIÓN

3.1 LA COLADA CONTINUA EN EL ACERO

La colada continua es una etapa fundamental en el proceso de fabricación del acero, utilizado para convertir acero fundido en productos sólidos mediante la solidificación continua. Este método ofrece numerosas ventajas, como la reducción de costos, incremento en la eficiencia y la mejora en la calidad del acero comparado con los métodos de colada tradicional (Romo, 2011).

Este proceso implica la solidificación del acero fundido mientras se mueve a través de un molde vertical (Zare y col., 2014). El acero fundido es vertido en un molde refrigerado donde comienza a solidificarse. Este proceso permite obtener lingotes de acero con formas variadas como placas, lingotes y barras, que luego pueden ser procesados en productos finales (Kumar, 1996).

En la Figura 1 se observan los elementos comprendidos en la colada continua.



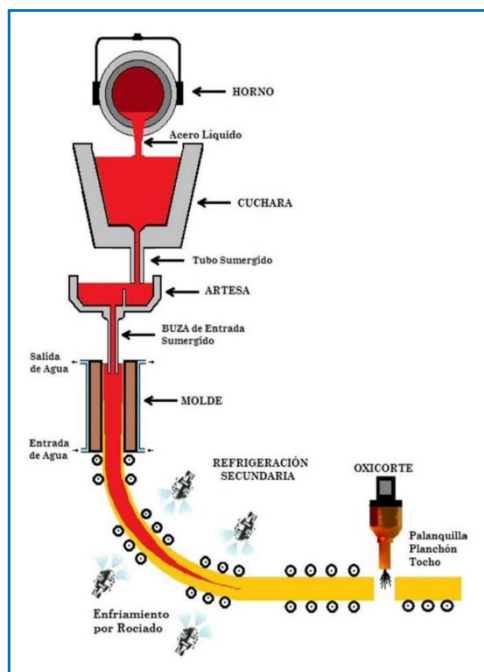


Figura 1. Proceso de colada del acero (González y Rengel, 2021).

El primer enfriamiento en la colada continua del acero tiene lugar en la zona del molde, donde el acero en estado líquido empieza a solidificar al entrar en contacto con los moldes de cobre, cuyas paredes se mantienen refrigeradas con agua (Saldaña y col., 2019). Esta etapa es crucial, ya que determina la formación de la capa sólida que recubre el acero líquido, protegiéndolo de posibles defectos durante su enfriamiento (Vynnycky, 2019).

Este enfriamiento primario de la colada conlleva una intensa transferencia de calor (Cicutti, 1977), en la que el acero pierde

rápidamente calor debido al contacto directo con el molde refrigerado (Ni y col., 2018). La eficiencia de esta transferencia de calor depende de algunos factores, tales como la composición química del acero, así como de los polvos coladores utilizados, la temperatura y velocidad de colada, y los parámetros de enfriamiento (temperatura y flujo) (Bai y col., 2016).

Además, este enfriamiento rápido en el molde genera una capa de escoria que es crítica para evitar defectos como la segregación o la formación de grietas (Mills y col., 2014).

3.2 CAPA DE ESCORIA ENTRE EL ACERO Y EL MOLDE

En el proceso de colada continua, es fundamental prestar atención a la composición mineralógica de la capa de escoria que se forma entre el acero fundido y el molde, ya que esta capa desempeña un papel esencial en varias facetas del proceso. Los minerales que componen la escoria influyen de manera directa en la transferencia de calor desde el



acero hacia el molde, lo cual es crucial para controlar la solidificación del acero y evitar defectos en el producto final. Además, la temperatura de fusión de la escoria, que está determinada por su composición mineralógica, tiene un impacto en la eficiencia del proceso, ya que debe mantenerse dentro de un rango adecuado para facilitar su formación y comportamiento (Cruz, 2008). Por último, las propiedades de lubricación de la escoria, que también dependen de su constitución, afectan el deslizamiento del acero dentro del molde, lo que puede influir en la calidad de la colada y en la durabilidad del proceso (Cruz y col., 2007). En conjunto, todos estos factores afectan de manera significativa el desempeño general del proceso de colada continua, por lo que comprender y controlar la constitución mineralógica de la escoria es esencial para lograr un proceso eficiente y de alta calidad.

3.3 POLVOS COLADORES

Los polvos de colada juegan un rol importante en este proceso, ya que influyen en la fricción, la transferencia de calor y la protección del molde (Wu y col., 2015).

Es necesario lubricar el molde de colada evitando la fricción entre este y la costra solidificada, ya que, de no hacerlo, podrían formarse grietas y fisuras en los productos finales de acero. Una manera de lograr esta lubricación es mediante el uso de polvos de moldes, los cuales consisten en escorias sintéticas empleadas para recubrir al acero cuando está en estado líquido en el molde (Cui y col., 2019). Estos polvos contienen principalmente SiO_2 , CaO y Al_2O_3 , junto con fundentes como óxidos alcalinos (Na_2O) y fluoruros (CaF_2), los cuales regulan la viscosidad y el rango de fusión de la escoria formada. Además, se les añade entre un 3% y un 6% de carbono, lo que les confiere propiedades de aislamiento de la temperatura y permite regular la velocidad de fusión (Cruz, 2000).

Los polvos de molde aportan grandes beneficios en este proceso, ya que disminuyen la fricción de manera más efectiva que los lubricantes a base de aceite (Yan y col., 2019). Además, proporcionan aislamiento químico y térmico al acero en estado líquido, permitiendo realizar la



colada a temperaturas más bajas (Cruz y col., 2004). Sin embargo, su función principal es evitar la reoxidación del menisco del acero líquido (Kong y col., 2019).

En la Figura 2 se observa la etapa del enfriamiento primario de la colada, en la cual se añaden los polvos coladores.

El acero se enfría al entrar en contacto con la pared del molde, y el planchón de acero, que aún tiene un núcleo líquido, es extraído constantemente del fondo del molde hacia la cámara de aspersión, donde se enfría mediante agua pulverizada a presión. A medida que desciende a lo largo de las paredes del molde, los polvos del molde actúan como lubricantes y facilitan la transferencia de calor entre el molde y el acero (Celaya y col., 1994).

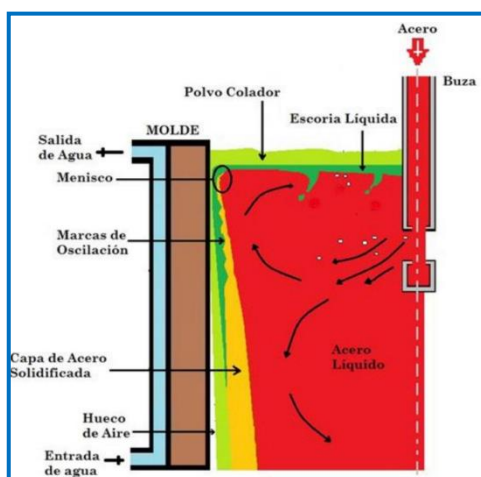


Figura 2. Elementos presentes en el enfriamiento primario de la colada (González y Rengel, 2021).

Lo que ocurre en esta etapa de la colada se puede subdividir en cuatro etapas:

- Una vez que el polvo colador se introduce en el molde, se calienta sin alterar su estructura y forma original.
- El carbono comienza a quemarse a medida que aumenta la temperatura. Al mismo tiempo, algunas partes del material base entran en contacto y se inicia el proceso de sinterización, que progresa conforme se calienta el polvo y se quema el carbono.
- El material base comienza a fundirse, formando gotas de fundente líquido alrededor de las partículas de carbono.
- Por último, se forma un baño de fundente completamente líquido (Rodríguez, 1995).



Después, el fundente líquido fluye sobre la superficie del acero e infiltra entre el molde y el acero durante el ciclo de oscilación. Parte del polvo fundido infiltrado se solidifica al entrar en contacto con la pared del molde de cobre, enfriada por agua, formando una capa sólida, mientras que una capa de polvo fundido sigue en contacto con la cáscara de acero solidificado (Sánchez, 2007).

En el proceso de formación de la capa solidificada de acero, la mayor extracción de calor en el molde ocurre en el menisco, el punto inicial de la solidificación. La principal resistencia al flujo de calor se encuentra en la interfaz entre el acero solidificado y el molde, debido a una brecha de aire que se forma como resultado de la contracción del acero y la deformación del molde (Shen y col., 2017). En esta brecha, se infiltra el polvo de colada y se va transformando en diferentes capas vítreas, cristalinas o líquidas al entrar en contacto con el molde enfriado y el acero fundido. Estas capas influyen en la transferencia de calor, y su impacto varía según su grosor y conductividad térmica (Jiang y col., 2019), los cuales están influenciados por la velocidad de colada, la temperatura de cristalización y la viscosidad (Zhang y col., 2019).

Los polvos fundentes tienen (además de reducir la fricción) otras funciones cruciales en la colada continua como son:

- Control de la temperatura: Los polvos regulan la transferencia de calor en el molde, ayudando a mantener una temperatura uniforme durante el proceso de solidificación (Wang y col., 2019).

En los procesos de fundición y moldeo, mantener un control preciso de la temperatura es crucial para asegurar tanto la calidad del producto final como la eficiencia del proceso (Niu y col., 2018). Los polvos de molde influyen directamente en el control de la temperatura durante la fundición, ya que son influyentes en la transferencia de calor entre el metal fundido y el molde (Peng y col., 2014).



- Protección del molde: Forman una capa protectora que minimiza la corrosión y el desgaste del molde, lo que prolonga su vida útil (Peterson, 2017).

La protección del molde es un aspecto crítico en los procesos de fundición y moldeo, ya que asegura la durabilidad y el rendimiento óptimo del molde, al mismo tiempo que minimiza defectos en el producto final (Sun y col., 2019). Los fundentes de moldes coladores son un elemento crucial en la protección del molde al proporcionar una barrera contra el desgaste, la corrosión, y la adherencia del metal fundido (Wu y col., 2015).

- Mejora de la calidad superficial: contribuyen a una superficie más uniforme del producto final, reduciendo defectos como el agrietamiento o las inclusiones (Guimarães y Vasconcellos, 2015).

En la industria siderúrgica, la calidad de la superficie del acero es de gran importancia, ya que afecta tanto la apariencia como las propiedades del producto final (Shen y col., 2019).

3.3.1 COMPOSICIÓN Y TIPOS DE POLVOS

Los polvos de molde suelen estar compuestos por una combinación de materiales que optimizan el proceso de colada continua (López y col., 2015) y cumplen con diferentes funciones. Estos se han descrito en la Tabla 1.

Tabla 1. Bases de polvos fundentes y sus efectos en la fabricación del acero.

Polvos	Efectos del acero
SiO ₂	Los polvos a base de óxido de silicio son una de las opciones más comunes en la colada continua. Se utilizan debido a su capacidad para formar una capa protectora en el molde.
CaO	Es un componente clave que aumenta la basicidad de la escoria. Una mayor basicidad favorece la absorción de impurezas, como



	el azufre y los óxidos no deseados, lo que ayuda a limpiar el acero líquido y mejorar su pureza.
Al_2O_3	El óxido aluminico como polvo colador es un importante compuesto ya que ayuda a ajustar la viscosidad de la escoria. Asegura que la escoria fluya adecuadamente por el molde, cubriendo y protegiendo el acero líquido, y evitando problemas de obstrucción o defectos en la solidificación.
Na_2O	El óxido de sodio es un potente fundente que ayuda en la disminución del punto de fusión de la escoria. Esto permite que la escoria permanezca en estado líquido a temperaturas más bajas, facilitando un proceso de colada más eficiente y controlado.
CaF_2	Los fluoruros disminuyen considerablemente la fricción entre el acero fundido y el molde, lo cual facilita la extracción del producto.

Fuentes: Cruz y col., 2004; González y Rengel, 2021.

3.4 IMPORTANCIA DE LA ADECUADA SELECCIÓN DE POLVOS

La elección de los polvos fundentes a utilizar durante el proceso de colada depende del tipo de acero que se desea producir, ya que diferentes grados de acero requieren características específicas en el material fundente. Para la colada de aceros con distintos contenidos de carbono, desde los de bajo carbono (que contienen entre un 0.015% y un 0.06% de carbono) hasta los de alto carbono (que tienen entre un 0.1% y un 0.25% de carbono), es necesario emplear diferentes tipos de polvos que faciliten el proceso de colado (Cruz y col., 2004). Estos polvos fundentes son esenciales para controlar factores como la temperatura y la formación de escoria. Además, al inicio de la colada, se utilizan polvos de arranque, que son compuestos específicamente diseñados para ser aplicados en las primeras etapas del proceso. En cuanto a los componentes que forman estos polvos, las principales especies presentes son materiales como arcillas, feldspatos, carbonatos y calcita, que proporcionan las propiedades necesarias para el buen desempeño del proceso, independientemente del tipo de acero que se esté colando (Cruz y col., 2007). Estos compuestos permiten lograr la fluidez requerida en la colada, así como ayudar en la estabilización de la temperatura y la protección del molde (Sánchez, 2007).



3.5 POLVOS DE MOLDE PARA PLANCHÓN DELGADO

En el caso de la colada de planchones delgados, los polvos de moldes desempeñan un papel aún más crucial debido a las mayores velocidades de colada, y sobre los cuales se dispone de menos información.

Debido a esto, se ha estado investigando sobre el comportamiento de los polvos de moldes durante su fusión en la producción de planchón delgado de acero.

Estudiar el comportamiento térmico de los fundentes para el molde de colada continua de planchón delgado permite controlar y mejorar los niveles de producción de acero con este proceso, además de optimizar la calidad superficial del producto colado (Brandaleze, 2012).

En términos generales, las diferencias más destacadas entre los fundentes utilizados en el proceso de colada continua de planchón convencional y el de planchón delgado se encuentran en los niveles de carbono y fluorita que contienen. En el caso de los fundentes empleados en el proceso convencional, su composición promedio incluye un 3 % de carbono (C) y un 12 % de fluorita (CaF_2). Este tipo de fundente está diseñado para adaptarse a las condiciones de la colada convencional, donde las temperaturas y velocidades de colada son relativamente más bajas.

Por otro lado, los fundentes utilizados en el proceso de planchón delgado presentan una composición significativamente diferente. Estos fundentes contienen un porcentaje mayor de carbono, generalmente entre un 8 % y un 9 %, lo que les permite manejar las mayores temperaturas y las rápidas tasas de colada características de este proceso avanzado. Además, el contenido de fluorita en estos fundentes varía entre el 15 % y el 23 %, lo que mejora sus propiedades de fluidez y capacidad de enfriamiento a las altas velocidades de producción del planchón delgado (Sánchez, 2007).



Estas diferencias en la composición son de gran importancia debido a las distintas demandas térmicas y mecánicas que impone cada proceso. En el caso del planchón delgado, el mayor contenido de carbono y fluorita es necesario para optimizar la lubricación y la transferencia de calor en condiciones de colada más exigentes, lo cual es esencial para obtener un producto final de alta calidad y para mantener la eficiencia en la producción (Cruz, 2008).

Hoy en día, el uso de polvos como lubricantes es fundamental por su efecto positivo en la calidad del acero (Yan y col., 2019). La introducción manual de estos polvos en el molde provoca variaciones de espesor e inestabilidad en el menisco; sin embargo, la incorporación de sistemas de alimentación automática ha permitido mejorar estas condiciones (Madias, 2018). A continuación, se presenta la Tabla 2 con las patentes registradas relacionadas con el proceso de colada continua.

Tabla 2. Patentes enfocadas al proceso de colada continua y polvos coladores.

Nombre	Inventor	Año	Descripción	País	Empresa
Sistema automatizado para la incorporación de polvos de colada en la producción de acero por colada continua	NIETO SANCHEZ FABIAN	2002	Este sistema utiliza dispositivos de alimentación controlados en cada línea de colada continua, divididos en tolvas con boquillas de descarga.	España	SIDENOR IND S L
Procedimiento de colada continua		2018	Una etapa de pulverización para pulverizar un polvo de colada de modo que el polvo cubra la superficie del metal fundido en la artesa.	España	NISSHIN STEEL CO., LTD.
Procedimiento para la optimización de la calidad de superficie de colada continua	FRITZ PETER PLESCHIUTSCHNIG G LOTHAR PARSCHEAT HANS GÜNTER THURM HANS UWE FRANZEN GERD-JOACHIM DEPPE	1999	El proceso consiste en cubrir el metal fundido con polvo de fundición que forma una escoria, creando una película lubricante entre la pared de la coquilla y la cuerda.	México	MANNESMAN N AG



Método y aparato para la colada continua de materiales de acero	MIGUEL ANGEL PEDROZA CONTRERAS	1996	La presente invención se refiere al método para la colada continua de placa o lámina de acero que comprende vaciar acero líquido en un molde de vaciado oscilante a través de una tobera refractaria sumergida.	México	HYLSA, S.A. DE C.V.
Procedimiento para mejorar el control de procesos de colada continua de metales		1978	Se observa el aspecto del metal al salir de la máquina, se registran los movimientos y aceleraciones de la lingotera, y se ajusta la composición del polvo hasta lograr una calidad óptima en la superficie del lingote.	España	CENTRE DE RECHERCHES METALLURGIQUES

Fuente: Organización mundial de la propiedad intelectual (OMPI).

3.6 TRABAJOS RELACIONADOS

En la Figura 3 se puede observar una red de citas con los autores de los trabajos (y su año de publicación) más relevantes a nivel mundial relacionados al tema de interés.

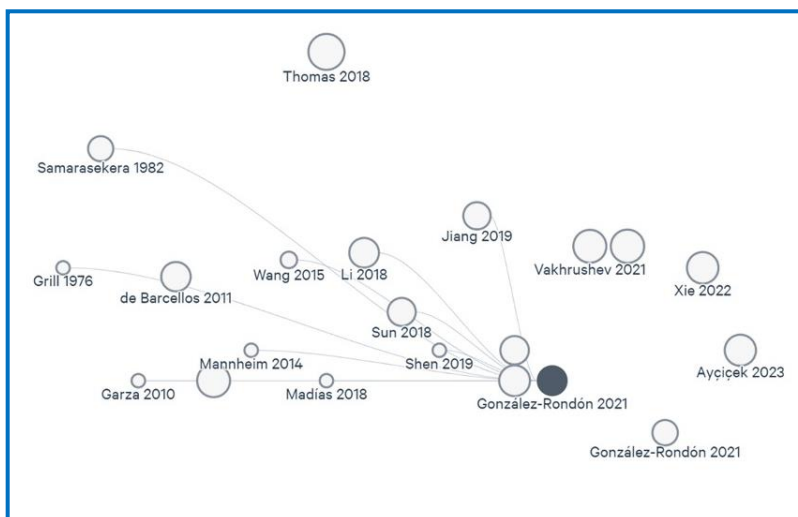


Figura 3. Trabajos con mayor relevancia de los polvos coladores.



4. CONCLUSIONES

La redacción de este artículo de revisión constituye una valiosa fuente de información condensada para la comunidad interesada en el ámbito de la siderurgia, particularmente en los procesos de colada continua y su relación con la calidad de los aceros.

Tras llevar a cabo un análisis exhaustivo de la literatura, se destacan los siguientes aspectos sobre el tema:

El molde es un componente complejo en el proceso de colada continua, debido a la interacción de diversos fenómenos físicos. En esta área se cruzan el transporte de calor, el flujo de fluidos y los cambios de estado del acero, todos los cuales deben ser controlados con precisión. El transporte de calor ocurre por medio de las paredes del molde, donde el acero fundido comienza a solidificarse rápidamente, formando una cáscara sólida. Al mismo tiempo, el acero líquido fluye de manera controlada dentro del molde, enfrentándose a variaciones de velocidad y turbulencias que pueden afectar la uniformidad del enfriamiento.

Además, el cambio de estado de líquido a sólido introduce tensiones térmicas en el material que, si no se controlan adecuadamente, pueden causar defectos en el producto final. Estos fenómenos interrelacionados tienen un impacto directo en la calidad del acero colado, y pueden dar lugar a defectos como grietas superficiales o internas, marcas en la superficie del lingote, segregación de elementos y la inclusión de impurezas no deseadas.

El uso de los polvos fundentes adecuados durante la colada reduce considerablemente la aparición de estos defectos y traen consigo algunos otros beneficios como la reducción de fricción en el molde, mejora de la escoria, formación de capas protectoras en el molde, entre otras, las cuales ya fueron mencionadas anteriormente.



Además de sus aplicaciones en fotocatalisis, el SnO₂ también muestra versatilidad en otras áreas tecnológicas, como en sensores de gases y dispositivos optoelectrónicos, debido a sus propiedades eléctricas y ópticas. Sin embargo, su mayor contribución actual está en la fotocatalisis heterogénea, que ofrece soluciones sostenibles para el tratamiento de aguas contaminadas.

REFERENCIAS

- Bai, L., Wang, B., Zhong, H., Ni, J., Zhai, Q. y Zhang, J. (2016). Experimental and numerical simulations of the solidification process in continuous casting of slab. *Metals*, 6 (3): 53. <https://doi.org/0.3390/met6030053>
- Bommaraju, R. (1991). Optimum Selection and Application of Mold Fluxes for Carbon Steels. *Steelmaking Proceedings*. 3(1): 108- 109. <https://www.dmlsteeltech.us/publications.html>
- Brandaleze, E., Di Gresia, G., Santini, L., Martín, A., & Benavidez, E. (2012). Mould fluxes in the steel continuous casting process. *Science and Technology of Casting Processes*, 4 (2): 12-16. <http://dx.doi.org/10.5772/50874>
- Celaya, A., Morales, R. y Tápia, V. (1994). Polvos de Molde de Colada Continua Análisis Preliminar. *Memorias del XVI Simposio Nacional de Siderurgia*. 16 (4): 17 [http://espartaco.azc.uam.mx/UAM/217996/files/assets/basic-html/ page 88.html](http://espartaco.azc.uam.mx/UAM/217996/files/assets/basic-html/page88.html)
- Cicutti, C. (1977). Transferencia de calor en la colada continua de aceros. *Revista Metalurgia*, 33 (5): 333-344. <https://doi.org/10.3989/revmetalm.1997.v33.i5.846>
- Cruz, A. (2000). Obtención de fundentes para molde de colada continua y su caracterización. *Memorias de resúmenes UAEH*. 1 (3): 5-8. https://www.uaeh.edu.mx/cncim2013/memorias_del_encuentro/resumenescncim2013



- Cruz, A., Chávez, J. y Romero, J. (2004). Diseño de polvos de molde para colada continua de slabs de aceros bajo carbono. *Revista de Metalurgia*, 40 (1): 39–45. <https://doi.org/10.3989/revmetalm.2004.v40.i1.241>
- Cruz, A., Nava, O., Aldama, A. y Ramírez, M. (2007). Caracterización de Fundentes para Molde de Colada Continua de Acero. *Redalyc*, 17 (1): 52-58. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41617105>
- Cruz, A. (2008). Formación de especies mineralógicas en escorias. *Instituto politécnico nacional*. 1 (1): 2-4. https://sappi.ipn.mx/cgpi/archivos_anexo/20070135_4699.pdf
- Cui, H., Zhang, K., Wang, Z., Chen, B., Liu, B., Qing, J. y Li, Z. (2019). Formation of Surface Depression during Continuous Casting of High-Al TRIP Steel. *Metals*, 9 (2): 204. <https://doi.org/10.3390/met9020204>
- González, Y. y Rengel, J. (2021). Comportamiento termo fluidodinámico del acero en un molde de colada continua: una revisión. *Tecnológicas*, 24 (51): 15-22. <https://doi.org/10.22430/22565337.1856>
- Guimarães, M. y Vasconcellos da Costa e Silva, A. (2015). Evaluating segregation in HSLA steels using computational thermodynamics. *Journal of Materials Research and Technology*, 4 (4): 353–358. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2015.06.002>
- Jiang, D., Zhu, M. y Zhang, L. (2019). Numerical Simulation of Solidification Behavior and Solute Transport in Slab Continuous Casting with S-EMS. *Metals*, 9 (4): 452. <https://doi.org/10.3390/met9040452>
- Kong, Y., Chen, D., Liu, Q. y Long, M. (2019). A Prediction Model for Internal Cracks during Slab Continuous Casting. *Metals*, 9 (5): 587. <https://doi.org/10.3390/met9050587>
- Kumar, S. (1996). Mould thermal response and formation of defects in the continuous casting of steel billets. *Department of Metals and Materials Engineering*, 3 (1): 5. <https://dx.doi.org/10.14288/1.0078578>
- López, R., Usart, J. y Cerutti, D. (2015). Medición de nivel en los moldes de colada continua. *46° Seminario de Acería Internacional*, 2 (46): 25-34. <https://doi.org/10.5151/1982-9345-26160>
- Madias, J. (2018). Innovaciones en la colada continua de semiproductos para laminados largos. *Acero Latinoamerican.*, 5 (567): 26- 37. <https://api.semanticscholar.org/Corpus>



- Mills, K., Ramírez, P., Lee, P., Santillana, B., Thomas, B. y Morales, R. (2014). Looking into continuous casting mould. *Ironmaking and Steelmaking*, 41 (4): 242-249. <https://doi.org/10.1179/0301923313Z.000000000255>
- Ni, P., Ersson, M., Ingemar, L., Zhang, T. y Jönsson, P. (2018). Numerical Study on the Influence of a Swirling Flow Tundish on Multiphase Flow and Heat Transfer in Mold. *Metals*, 8 (5): 368. <https://doi.org/10.3390/met8050368>
- Niu, R., Li, B., Liu, Z. y Li, X. (2018). Melting of Moving Strip during Steel Strip Feeding in Continuous Casting Process. *Steel research international*, 89 (5): 2-13. <https://doi.org/10.1002/srin.201700407>
- Peng, Z., Ping Bao, Y., Nan Chen, Y., Kang Yang, L., Xie, C. y Zhang, F. (2014). Effects of calculation approaches for thermal conductivity on the simulation accuracy of billet continuous casting. *Int. J. Miner. Metall. Mater*, 21 (3): 18-25. <https://doi.org/10.1007/s12613-014-0860-6>
- Peterson, E. (2017). Mold flux crystallization and mold thermal behavior. *Missouri University of Science and Technology*. 2 (12): 2-18. https://scholarsmine.mst.edu/masters_theses/7656
- Rodríguez, A. (1995). Propiedades Térmicas de Fundentes de Colada Continua. *Instituto politécnico nacional*. 1 (1): 10-14.
- Romo, J. (2011). Estudio de la formación de especies mineralógicas en el molde de colada continua de planchón delgado de acero, *Instituto politécnico nacional*. 4 (7): 17-32. <https://www.semanticscholar.org/paper/>
- Saldaña, F., Torres, E., Ramos, J., Solorio, G. y Hernández, C. (2019). Analysis of the Depth of Immersion of the Submerged Entry Nozzle on the Oscillations of the Meniscus in a Continuous Casting Mold. *Metals*, 9 (5): 596. <https://doi.org/10.3390/met9050596>
- Sánchez, A. (2007). Estudio del comportamiento de fusión de fundentes para molde de colada continua de planchón delgado. *Instituto politécnico nacional*. 1 (1): 2-12. <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/>
- Shen, M., Liu, Y., Zhu, X., Xiao, Z. y Liu, Y. (2019). Study on the influence of new riser structure on the quality of steel ingot. *Metalurgia*, 58 (1): 47-50. <https://www.bibliotecadigitaldebogota.gov.co/resources/3654445/>
- Shen, M., Zang, Z. y Shu, K. (2017). Mathematics simulation and experiments of continuous casting with strip feeding in mold. *Metalurgia*, 56 (3): 315-318. <https://hrcak.srce.hr/180971>



- Sun, X., Li, B., Lu, H., Zhong, Y., Ren, Z. y Lei, Z. (2019). Steel/Slag Interface Behavior under Multifunction Electromagnetic Driving in a Continuous Casting Slab Mold. *Metals*, 9 (9): 983. <https://doi.org/10.3390/met9090983>
- Vynnycky, M. (2019). Continuous Casting. *Metals*, 9 (6): 643. <https://doi.org/10.3390/met9060643>
- Wang, P., Zhang, Z., Zhan-peng, Z., Qi, M., Lan, P., Li, S., Yang, Z. y Zhang, J. (2019). Initial Transfer Behavior and Solidification Structure Evolution in a Large Continuously Cast Bloom with a Combination of Nozzle Injection Mode and M-EMS. *Metals*, 9 (10): 1083. <https://doi.org/10.3390/met9101083>
- Wu, H., Xu, Y., Huo, Z., Yue, F. y Lu, P. (2015). Physical modeling of oscillation Effect on fluid flow in mold. *Metalurgia*, 54 (3): 465-468. <https://www.researchgate.net/publication/282203075>
- Yan, X., Jia, B., Wang, Q., He, S. y Wang, Q. (2019). Mold nonsinusoidal oscillation mode and its effect on slag infiltration for lubrication and initial shell growth during steel continuous casting. *Metals*, 9 (4): 418. <https://doi.org/10.3390/met9040418>
- Zare, M., Meysami, A., Mahmoudi, S., Hajisafari, M. y MazarAtabaki, M. (2014). Simulation of fluid flow and solidification in the funnel type crystalizer of thin slab continuous cast. *Orient J Chem*, 29 (4): 2-6. <http://dx.doi.org/10.13005/ojc/290408>
- Zhang, W., Luo, S., Chen, Y., Wang, W. y Zhu, M. (2019). Numerical Simulation of Fluid Flow, Heat Transfer, Species Transfer, and Solidification in Billet Continuous Casting Mold with M-EMS. *Metals*, 9 (1): 66. <https://doi.org/10.3390/met9010066>
- Pinto, A. H., Nogueira, A. E., Dalmaschio, C. J., Frigini, I. N., de Almeida, J. C., Ferrer, M. M., Berengue, O. M., Gonçalves, R. A., & de Mendonça, V. R. (2022). Doped tin dioxide ($d\text{-SnO}_2$) and its nanostructures: Review of the theoretical aspects, photocatalytic and biomedical applications. *Solids*, 3(2): 327–360. <https://doi.org/10.3390/solids3020024>
- Saeed, M., Muneer, M., Haq, A. U., & Akram, N. (2022). Photocatalysis: An effective tool for photodegradation of dyes—a review. *Environmental Science and Pollution Research International*, 29(1): 293–311. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16389-7>



- Salih, E. Y. (2024). *Opto-electrical evaluation of visible blind fast-response nanostructured SnO₂/Si photodetector*. *RSC Advances*, 14(38): 27733–27740. <https://doi.org/10.1039/d4ra05303f>
- Shabna, S., Dhas, S. S. J., & Biju, C. S. (2023). *Potential progress in SnO₂ nanostructures for enhancing photocatalytic degradation of organic pollutants*. *Catalysis Communications*, 177: 106642. <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2023.106642>
- Sudapalli, A. M., & Shimpi, N. G. (2023). *Tetragonal SnO₂ Nanoparticles: An Efficient Photocatalyst for the Degradation of Hazardous Ionic Dyes*. *ChemistrySelect*, 8: e202203310. <https://doi.org/10.1002/slct.202203310>
- Yepseu, A. P., Isac, L., Nyamen, L. D., Cleymand, F., Duta, A., & Ndifon, P. T. (2021). *Optical and Photocatalytic Properties of Cu xS/ZnO Composite Thin Films Deposited by Robotic Spray Pyrolysis Deposition*. *Journal of Nanomaterials*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/9975600>
- Yıldırım, M. A., Akaltun, Y., & Ate, A. (2012). *Characteristics of SnO₂ thin films prepared by SILAR*. *Solid State Sciences*, 14(9): 1282–1288. <https://doi.org/10.1016/j.solidstatesciences.2012.07.012>