



Forjando talentos: el horno de inducción en los semilleros de investigación de la UPTC.

Entrevista a Fabio Raúl Pérez Villamil

POR: SALOME PUERTO RISCANEVO^A 

RESUMEN: Esta entrevista tiene como objetivo dar a conocer la producción técnica del profesor Fabio Raúl Pérez Villamil, enfocada en su trabajo en el semillero de investigación y su Grupo de Investigación en Materiales Siderúrgicos, a propósito del horno de inducción a alta frecuencia con atmósfera al vacío, con el cual se llevan procesos de fundición para la investigación y para las tareas académicas y formativas. Se reconocen sus aportes tanto a la formación, a la investigación y a la extensión de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia como a la innovación de un proceso tecnológico en Latinoamérica. Se evidencian, por un lado, la importancia de la relación simbiótica entre universidad y empresa, que permite el desarrollo y el progreso económico y tecnológico de las industrias regionales, y, por otro, los avances investigativos y los espacios de práctica para los profesores y estudiantes de la universidad.

PALABRAS CLAVE: horno de inducción, semilleros, fundición, metalurgia, aleaciones

CÓMO CITAR

Puerto-Riscanevo, S. .
(2022). Forjando talentos: el horno de inducción en los semilleros de investigación de la UPTC. Entrevista a Fabio Raúl Pérez Villamil. *Revista Habitus: Semilleros de investigación*, 2(4). <https://doi.org/10.19053/22158391.14622>

RECIBIDO: 05/03/2022 - **EVALUADO:** 10/03/2022

APROBADO: 12/04/2022 - **PUBLICADO:** 22/07/2022



Autor para correspondencia.
salome.puerto@uptc.edu.co

^A Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia
<https://orcid.org/0000-0002-1437-1414>

HOW TO CITE

Puerto Riscanevo, S. . (2022).
Forjando talentos: el horno de
inducción en los semilleros de
investigación de la UPTC. Entrevista
a Fabio Raúl Pérez Villamil.
*Revista Habitus: Semilleros de
investigación*, 2(4). [https://doi.
org/10.19053/22158391.14622](https://doi.org/10.19053/22158391.14622)

Forging Talents: The Induction Furnace in the Research Seedbeds of the UPTC

Interview with Engineer Fabio Raúl Pérez Villamil

ABSTRACT: This interview aims to publicize the technical production of Professor Fabio Raúl Pérez Villamil. It focuses on his work in the research seedbed and his Research Group in Steel Materials regarding the high frequency induction furnace with vacuum atmosphere, with which casting processes are carried out for research and for academic and training tasks. His contributions are recognized both in terms of the training, research, and extension of the Pedagogical and Technological University of Colombia as well as the innovation of a technological process in Latin America. On the one hand, the importance of the symbiotic relationship between university and business, which allows the development and economic and technological progress of regional industries, and on the other, research advances and practice spaces for professors and students of the university are made clear.

KEYWORDS: induction furnaces, seeders, smelting, metallurgy, alloys

Forjando talentos: o forno de indução nos grupos de jovens cientistas da UPTC

RESUMO: Esta entrevista tem como objetivo dar a conhecer a produção técnica do professor Fabio Raúl Pérez Villamil, enfocada em seu trabalho no grupo de jovens cientistas e seu Grupo de Pesquisa em Materiais Siderúrgicos, a propósito do forno de indução a alta frequência com atmosfera ao vácuo, com o qual se levam processos de fundição para a pesquisa e para as tarefas acadêmicas e formativas. Reconhecem-se seus aportes tanto à formação, à pesquisa e à extensão da Universidade Pedagógica e Tecnológica da Colômbia como à inovação de um processo tecnológico na América Latina. Evidenciam-se, por um lado, a importância da relação simbiótica entre universidade e empresa, que permite o desenvolvimento e o progresso econômico e tecnológico das indústrias regionais, e, por outro, os avanços de pesquisas e os espaços de prática para os professores e estudantes da universidade.

PALAVRAS-CHAVE: fornos de indução, moldes de sementes, fundição, metalurgia, ligas,

La formación académica e investigativa de Fabio Raúl Pérez se ha desarrollado por completo en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) —universidad donde ha hecho todos sus estudios, debido al aprecio que desde joven le ha tenido a la institución y al departamento de Boyacá—. En 1987 se graduó como ingeniero en Metalurgia con el trabajo de grado *Diseño, construcción y montaje de un módulo para destilación de mercurio y control de sus impurezas por espectroscopia*. Continuó sus estudios y se especializó en metalurgia, con énfasis en metalurgia secundaria, en 1997, donde presentó su trabajo acerca de la desulfuración en cuchara. Luego cursó la maestría en Metalurgia y Ciencia de los Materiales, de la cual se graduó en 2007 con su tesis *La viscosidad y la conductividad eléctrica de la escoria de Cerro Matoso S. A.* Actualmente está cursando sus estudios de doctorado en Ingeniería y Ciencia de los Materiales, específicamente en el control de reactores metalúrgicos por medición de conductividad eléctrica de escorias entre 1300 °C y 1600 °C. También es uno de los líderes del Grupo de Investigación en Materiales Siderúrgicos (GMS) en producción técnica de diseños innovadores en los contextos nacional e internacional.

Esta trayectoria académica le ha permitido ser autor de distintas publicaciones en revistas científicas, entre las cuáles se destaca *Viscosidad y conductividad de escorias típicas en la producción de ferroníquel* (Pérez, 2010), en el cual se explica el procesamiento de un mineral laterítico de níquel realizado por Cerro Matoso S. A. Su producción más reciente está enfocada en el *Efecto del tamaño de partícula en la reducción de mineral de Ni laterítico en un reactor de Linder* (Rojas *et al.*, 2018), donde se hace un estudio sobre las condiciones de extracción y producción de hierro y níquel en Córdoba, Colombia.

Uno de sus recientes desarrollos es un horno de inducción de alta frecuencia con atmósfera al vacío, adquirido por el GMS mediante recursos propios provenientes de sus actividades de extensión y con el apoyo económico de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión de la UPTC y el Instituto para la Investigación e Innovación en Ciencia y Tecnología de Materiales (Incitema). Este equipo consta de un horno de dos bobinas, con capacidad de 10 kg para materiales ferrosos, una potencia de 15 KVA y una capacidad máxima de vacío de 10^{-3} atmósferas.

Con la primera bobina se posibilita el estudio y el desarrollo investigativo de nuevas aleaciones tanto ferrosas como no ferrosas, en atmósferas especiales al vacío o en ambientes controlados inertes —como argón— o en nitrógeno con presiones atmosféricas negativas y positivas. Además, permite trabajar con crisoles de diferentes tipos de materiales, tanto de grafito como de carburo de silicio y alúmina. Este equipo está ubicado en un salón



adecuado para la ejecución de estas actividades en el costado posterior de los laboratorios de Ingeniería Metalúrgica.

La segunda bobina, instalada en el laboratorio de fundición de la universidad, permite, por un lado, las prácticas académicas de los estudiantes del programa de Ingeniería Metalúrgica y, por otro, la prestación y ejecución de servicios de extensión en el área de fusión de materiales ferrosos y no ferrosos, tanto para propios como para externos. Esta nueva adquisición permitió fortalecer la línea de investigación en aleaciones especiales, aceros inoxidables-dúplex, aceros de alta conformabilidad y aceros de alta resistencia cercanas a 1000 MPa.

A continuación, se presenta la entrevista completa realizada al profesor Pérez acompañada de fotografías con el fin de visualizar los procesos investigativos y formativos desarrollados por el GMS y su semillero de investigación de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica de la UPTC. Se reconoce que la creatividad y la disciplina llevan a la creación y a la innovación de herramientas y materiales para el uso en lo académico, en lo investigativo y en lo empresarial, en concordancia con la visión de la universidad contemporánea.

Salome Puerto Riscanevo (SPR): ¿Cómo fue el proceso formativo que lo llevó a consolidarse como investigador de la UPTC?

Fabio Raúl Pérez (FRP): Lo primero que nosotros encontramos en el programa de Ingeniería Metalúrgica de la UPTC es que hubo una época en que era muy difícil conseguir chatarra para los procesos siderúrgicos para obtener acero. Eso llevó a que buscáramos una manera alternativa para encontrar y sustituir la chatarra. De ahí nace el GMS. Nos reunimos un grupo de docentes y de auxiliares de investigación en 1997 para crear el grupo e iniciar un proyecto de investigación apoyado por Colciencias con el objetivo de seguir trabajando en prerreducidos de hierro. Entonces comenzamos a trabajar con Colciencias y con las empresas del sector metalúrgico. Para este proceso, necesitábamos personas que nos ayudaran, por lo que surge la idea de vincular semilleros de investigación y jóvenes investigadores.

SPR: En cuanto a su trayectoria académica, ¿cómo fueron sus estudios de pregrado y de posgrado? Además, ¿cómo ha sido el proceso de escritura de la tesis y de los proyectos que ha tenido en el GMS?

FRP: Me gradué en 1987 de Ingeniería Metalúrgica. Después viajé a Venezuela y me quedé allí alrededor de cinco años trabajando en empresas de fundición dedicadas a la producción de piezas por ese método. Luego llegué a la UPTC en 1995 y comencé a trabajar con el Instituto de Investigación y Formación Avanzada, que actualmente es la Dirección de Investigaciones. En ese momento también cursé una especialización en metalurgia con



Horno de inducción
Fotografía: Luis Miguel Venegas

énfasis en metalurgia secundaria. Realicé mi trabajo de investigación en desulfuración en cuchara, que era un proceso siderúrgico que estaba en auge y, por lo tanto, era necesario prepararse en esa área, pues todas las industrias siderúrgicas tenían que adoptar esos procesos.

Después, en la Escuela de Metalurgia se creó el programa de Maestría en Metalurgia y Ciencia de los Materiales, del cual hice parte en la primera cohorte. Así, pasé de ser asesor de la Dirección de Investigaciones a ser asesor de Vicerrectoría Académica. Este cargo me permitió conocer a fondo las relaciones entre universidad y empresa. En este marco tuve los primeros acercamientos con las cuestiones empresariales a partir de las capacitaciones, que, con el tiempo y con un trabajo investigativo, se convirtieron en relaciones estratégicas en la generación de procesos y materiales.

Posteriormente apareció una convocatoria para docente de planta en la Universidad Distrital y decidí presentarme. Fui nombrado del 2008 al 2013. Luego se abrió la convocatoria para docente de planta en Ingeniería Metalúrgica en la UPTC. Ingresé como docente al programa en el 2013. En ese momento se abrió el Doctorado en Ingeniería y Ciencia de los Materiales, al cual me presenté y en el que actualmente estoy desarrollando mi trabajo de grado. El tema que estoy trabajando es afín a lo que hacemos en el GMS.

En el GMS hemos trabajado con empresas, especialmente con Cerro Matoso, que produce ferroníquel y está ubicada en Montelíbano, Córdoba. También hemos trabajado con Acerías Paz del Río. Por ejemplo, Cerro Matoso necesitaba ensayos de conductividad eléctrica de las escorias para mejorar



el consumo energético y el consumo eléctrico. Esa es la problemática sobre la cual estoy desarrollando mi tesis doctoral. Tanto en la especialización como en la maestría trabajé las propiedades fisicoquímicas y termoquímicas de la escoria.

SPR: A partir de esta experiencia académica e investigativa, ¿cuál es su concepto sobre la formación de semilleros de investigación en el programa de Ingeniería Metalúrgica de la UPTC?

FRP: Los semilleros son muy importantes porque ellos son los verdaderos impulsores de las actividades al interior del GMS. Cuando un grupo de investigación ha tenido un desarrollo, tiene trabajos académicos, investigativos y de extensión. Nosotros en metalurgia trabajamos un caso específico donde desarrollamos y evaluamos minerales para varias empresas.

Para contextualizar, yo diría que hay tres escenarios importantes: el primero es la formación en investigación o extensión en el ámbito académico y práctico; el segundo es que los estudiantes están acercándose a lo que van a encontrar en la industria nacional, en las empresas, en el país, por medio de prácticas internas, lo que permite vincularlos desde muy jóvenes a este tipo de procesos; en tercer lugar, ellos están vinculados en el desarrollo del proyecto de investigación, en algunas de las líneas, actividades o dentro de los resultados que se tienen que obtener. Estos tres pilares son los objetivos de pertenecer a un grupo de investigación.

SPR: ¿Cómo pueden vincularse los estudiantes a este semillero? ¿Qué requisitos deben cumplir?

FRP: Nosotros tenemos en cuenta dos requisitos para hacer parte del semillero: el primero tiene relación con el plan de estudios. En el caso de la carrera de Ingeniería Metalúrgica, las materias prácticas de profundización empiezan a partir del cuarto semestre. Las primeras materias son de materiales, ciencias básicas y formación interdisciplinaria. Por este motivo, solo se reciben estudiantes que estén cursando del quinto semestre en adelante.

El segundo requisito es que el o la postulante debe tener habilidades afines a lo que se desarrolla en el GMS; por ejemplo, que no tenga inconveniente en trabajar bajo condiciones de exposición a temperatura y que tenga formación técnica en cortar, aplicar soldadura y trabajar con un torno o con una fresa, entre otros. Es muy común en el GMS, en especial con las mujeres, que se manejen habilidades en estadística para hacer control y organizar los procesos de pilotaje, lo cual también es muy importante en el proceso de investigación.

SPR: En el GMS hay, además de producción bibliográfica en libros y artículos, productos relacionados con la innovación de procesos, con el



Horno de inducción
Fotografía: Luis Miguel Venegas

diseño de plantas y con los diseños para la industria. ¿Cómo es este proceso de generación de productos y procesos innovadores?

FRP: Nosotros hemos ido evolucionando. Desde nuestros primeros proyectos de investigación desarrollados con financiación de Colciencias, que tuvieron gran alcance debido a que había bastantes recursos económicos, se pudo trabajar con libros y artículos en revistas de investigación. Luego, gracias a la experiencia y al reconocimiento que fue adquiriendo el GMS, trabajamos en extensión en el campo siderúrgico, proceso en el cual se diseñó una planta piloto que ya nos permitía evaluar minerales no solamente de la región, sino de todas las zonas del país. Esta planta piloto consta de un horno rotatorio y un horno de arco eléctrico. El horno rotatorio sirve para modificar las condiciones de los minerales y prepararlas para una posterior concentración del metal o del material que se va a tener allí. Estos metales se funden en el horno de arco eléctrico o se fusionan en otros dos hornos que también tenemos.

Después evolucionamos en algunos ensayos específicos. Dadas las condiciones de las empresas, estas nos empiezan a pedir el desarrollo de algunas pruebas de viscosidad para escorias con conductividad eléctrica a alta temperatura y la obtención de una muestra física que refleje el comportamiento real de solidificación de escorias en las paredes de un horno eléctrico. De esta forma se desarrollan botones por sonda refrigerada de escorias. Estos procesos son de gran importancia en Latinoamérica.



En un tercer momento, que comprende el año 2021, Acerías Paz del Río nos pide adaptar una norma brasileña para encontrar el índice de degradación térmica de minerales a baja y alta temperatura, del cual se obtuvieron muy buenos resultados al interior del grupo. Hemos articulado este tipo de procesos con datos e información teórica de libros u otras empresas, los cuales coinciden con nuestro desarrollo y nos permite tener una técnica ya normalizada.

SPR: De estos productos tecnológicos desarrollados por el GMS, nos llama la atención el horno de inducción de alta frecuencia con atmósfera al vacío. ¿Cómo fue el proceso de planeación, diseño y elaboración de este horno?

FRP: El grupo de investigación entre los años 2000 y 2006, dados los cambios en los docentes y en la investigación, no desarrolló proyectos que normalmente se deben hacer cada año o cada dos años para mantenerse clasificado en Colciencias. Después de una nueva integración de docentes, incluyéndome, se empezaron a revisar nuestras líneas de investigación, donde encontramos que no solamente debíamos dedicarnos a materiales, como minerales, sino que también teníamos la fortaleza para trabajar con materiales metálicos como los ferrosos, que son aceros de nuevas calidades y condiciones, que ya se empiezan a desarrollar a nivel mundial. También, en el caso de no ferrosos, podríamos desarrollar fusiones y obtener piezas de fundición en atmósferas controladas. Eso hizo que necesitáramos un reactor —el horno de inducción de alta frecuencia—, el cual, por la facilidad de su manejo y control, tiene costos muy elevados. Sin embargo, este equipo nos garantizaba la calidad de los productos que íbamos a obtener. Necesitábamos este reactor para fortalecer la línea. Esta herramienta ayuda asimismo a la investigación de dos doctores que se vincularon al grupo aproximadamente hace cinco años. Con dinero producto de los proyectos de extensión, en conjunto con la Dirección de Investigaciones de la UPTC y el Incitema, se logró tener este horno en 2019, que tuvo un costo de alrededor de setecientos millones de pesos.

SPR: ¿Cuáles fueron las condiciones teóricas y los avances investigativos del GMS que lo llevaron a la generación del producto tecnológico del horno de alta frecuencia?

FRP: Como lo requieren actualmente las investigaciones de punta en el campo de los aceros —que son nuevos aceros con características específicas, estructurales y microestructurales—, se quiere también desarrollar, por ejemplo, aleaciones de titanio, que deben someterse a atmósferas específicas con la ausencia de oxígeno, y otros materiales con atmósfera de nitrógeno o atmósfera de argón, condiciones que nos da el horno de alta frecuencia.

La vinculación directa con los procesos tecnológicos y con los desarrollos a nivel nacional e internacional es una herramienta fundamental para esta tarea. Para esto contamos tanto con el recurso humano como con programas de simulación, como Thermocalc, que nos permiten analizar, antes del diseño de las nuevas aleaciones, qué resultados vamos a obtener, ya sea en el campo ferroso o no ferroso.

SPR: Para este proceso, ¿se tuvo como base alguna teoría en específico, propia o de algún otro autor?

FRP: El horno como tal es una herramienta, es decir, la que facilita la fusión. Fundir un nuevo acero es algo novedoso. Además, intentar trabajar con materiales no ferrosos —como el titanio— es algo que no se ha hecho en el país. En Latinoamérica son muy pocos los trabajos sobre fusión de titanio. Nosotros logramos fundir una aleación con esas características gracias al horno con atmósfera al vacío, ya que nos permitía trabajar con ausencia total de oxígeno. Al ser el titanio muy reactivo con el oxígeno, tuvimos que consultar en la literatura cómo se debía desarrollar correctamente esta aleación y qué condiciones técnicas, ambientales, atmosféricas y tecnológicas se necesitaban para no presentar ningún tipo de inconveniente con la aleación. De igual manera, debimos equiparnos con los accesorios necesarios como un crisol de alúmina y pintura en circonio. No fue un proceso fácil: tuvimos que hacerlo cinco veces. También, se presentaron algunos percances que se pudieron controlar dentro del horno como la pérdida de algunos crisoles de alúmina.

En general el proceso trajo consigo innovación, desarrollo tecnológico y búsqueda teórica y de conocimiento mediante revisiones bibliográficas que nos permitieron desarrollar esta aleación satisfactoriamente.

SPR: ¿Cuál es la importancia del titanio? ¿Cuáles son sus usos?

FRP: El titanio es muy importante porque es uno de los elementos de la tabla periódica que tiene alto punto de fusión —1650 °C— y muy baja densidad —4,5 g/cm³—. Es un material con características de biocompatibilidad, por lo que se puede utilizar en la producción de implantes dentales. También tiene osteointegración y es usado en prótesis para el cuerpo humano. Tiene una dureza elevada, lo que permite que las aleaciones que se obtienen sean materiales con una alta resistencia al desgaste. El titanio es muy estable en diferentes temperaturas, condición que permite desarrollar procesos criogénicos o celdas combustibles, que son la base fundamental para obtener hidrógeno, el combustible del futuro. Lo ideal es que a partir del agua podamos obtener el combustible para nuestros vehículos, reactores u hornos.



SPR: ¿Cuál ha sido la vinculación de los semilleros de investigación a propósito del horno de alta frecuencia? ¿Se han creado espacios de formación de semilleros a partir de este desarrollo tecnológico?

FRP: Lo fundamental para el grupo de investigación son los semilleros. Los hemos entrenado para que manejen el horno de inducción. Les damos tareas fundamentales como saber controlar un reactor metalúrgico, donde pueden aprender a diseñar, a controlar, a organizar, a hacer un balance de carga y a tener en cuenta las actividades y condiciones que se deben desarrollar para llegar a fundir un material y obtener una pieza. Además, aprenden elementos de seguridad industrial. Los estudiantes deben saber organizar su equipo de protección personal, que debe tener elementos de calidad debido a que es importante no exponerse.

Nosotros vinculamos temas relacionados con la salud ocupacional, con el control de los hornos, con la organización de sus procesos y con todo el diseño de una actividad que involucre una herramienta tan importante y sofisticada. El horno de inducción de alta frecuencia, al ser tan sensible, no puede sobrepasar una temperatura estipulada. No se debe permitir que se perfora algún crisol. Se debe verificar que esté seco al momento de utilizarlo. Las atmósferas hay que adecuarlas a condiciones específicas. Todo esto hace que exista una formación integral en los semilleros de investigación de Ingeniería Metalúrgica que están directamente vinculados al uso del horno de inducción de alta frecuencia.

SPR: ¿Cuál es la relevancia para el sector económico regional y nacional del tratamiento de metales como el titanio con el horno de alta frecuencia?

FRP: El titanio es muy importante para las celdas combustibles. En este momento nosotros podríamos desarrollar cualquier tipo de aleación según las necesidades de las empresas y el uso tan específico y complejo que le van a dar. De la misma manera, en este momento se están desarrollando dos tesis doctorales que tienen como objetivo tener nuevos aceros con nuevas propiedades. Lo que buscamos es tener un acero con una resistencia muy elevada con determinadas características de ductilidad. Se han realizado diez o doce fusiones con diferentes ferroaleaciones, con distintas composiciones para comenzar a hacer tratamientos termomecánicos. Este desarrollo apunta a obtener nuevos aceros para herramientas, nuevos materiales con alta resistencia al desgaste y a la corrosión y nuevas piezas que serán muy útiles en el mecanizado, en los procesos metalmecánicos y en procesos de conformado de materiales. Todo esto necesariamente está vinculado al desarrollo que tenemos sobre todo en la región. En Boyacá y el centro oriente del país, tenemos muchas plantas metalmecánicas y otras integradas a las siderúrgicas que hacen laminación, que obtienen perfiles,



Horno de inducción
Fotografía: Luis Miguel Venegas

por ejemplo, en el caso de los cilindros de laminación que se desgastan muy rápidamente. Nosotros podríamos obtener esta nueva aleación con las condiciones requeridas por ellos y tendríamos un impacto bastante grande al solucionar esta problemática. Esta línea es muy importante y la herramienta fundamental es el horno de inducción.

SPR: ¿De qué manera desde el GMS se beneficia el desarrollo investigativo y la extensión de la UPTC por medio del diseño y la elaboración de un horno de este tipo?

FRP: En el campo investigativo veníamos hablando de los nuevos aceros, nuevos desarrollos y nuevas aleaciones. La ventaja que tenemos en el campo metalúrgico es que no tendríamos límite para poder obtener una nueva aleación, ni en el campo ferroso ni en el campo no ferroso. Por ejemplo, si alguien tiene una combinación con una calidad específica y bajo cualquier atmósfera, lo podríamos replicar. Esto significa que cualquier persona de la industria nacional o internacional, o un investigador de cualquier parte del mundo, podría venir y hacer su aleación en este equipo. El equipo está previsto para desarrollarla y para servir de apoyo a quien desee en ese campo. En la parte de extensión, el horno industrial también cumple un rol fundamental, no solamente en la parte investigativa. Nosotros, desde un comienzo, pensamos en la academia, para no separar ni desvincular estas dos cosas, con el fin de que los muchachos tengan acceso al equipo.

El equipo viene con dos bobinas: una instalada en un espacio para el desarrollo de algunas asignaturas de la UPTC; la otra está pensada para



el campo investigativo, en un laboratorio que se mantiene muy limpio. Allí la fusión se hace de manera muy pulcra y está en un sector en donde los investigadores pueden desarrollar sus aleaciones, las que quieran, y aportar al ámbito académico del programa de metalurgia. Por otro lado, como es un horno de inducción como tal, podemos fundir cualquier aleación. En este momento, estamos desarrollando un material, una escoria de la empresa Cerro Matoso. Ellos encontraron que probablemente había valores metálicos y, para hallarlos, nosotros utilizamos el horno de inducción.

De la misma manera, Acerías Paz del Río tiene problemas con una chatarra que al parecer no tiene buen rendimiento. Nosotros evaluaremos ese material en el horno porque es un equipo muy limpio y esto nos garantizará que lo colocado allí no se contamine y que habrá un resultado óptimo para este caso específico, en su rendimiento metálico.

SPR: ¿Qué impacto tiene el uso del horno a pequeña y gran escala en el medio ambiente?

FRP: Hay una línea de trabajo dentro del grupo que tiene que ver con el carbono y con las emisiones de CO₂ a la atmósfera. Una gran ventaja que tiene el horno de inducción es que, al trabajar al vacío, no producirá absolutamente ningún tipo de contaminante. Es decir, cualquier aleación y cualquier combinación que se trabaje no va a producir gases contaminantes porque está en ausencia de oxígeno. Esto también nos sirve en el campo porque tenemos una bobina atmosférica que nos permite revisar cuál será el efecto de producir una aleación con alto carbono. Sabríamos qué tanto de ese carbono participa en la aleación, o sea la cantidad de carbono que irá a la atmósfera. Esto permitirá estudiar dentro de poco, al tener un equipo analizador de gases, las emisiones que se tendrían con ciertas aleaciones o con ciertos materiales, para así tener datos precisos sobre CO₂ y CO, que sería lo más importante de controlar en el medio ambiente.

SPR: ¿Los desarrollos investigativos que contemplan el uso de este horno tendrían el alcance de vincular otras áreas de conocimiento?

FRP: Sería muy importante que un grupo de ingeniería ambiental se pudiera vincular para que nos ayude en el tema de la huella del carbono y las emisiones, con el objetivo de hacer procesos limpios y de tener un proceso que podamos cambiar específicamente en el horno rotatorio, donde se cambia el carbón por otro tipo de combustible que no tenga emisiones, o para disminuirlas.

En el caso de trabajar con un modelo operativo para cualquier entidad o cualquier empresa, se necesitan estadísticas muy robustas. Entonces allí necesitamos la presencia de los matemáticos para que nos ayuden en ese proceso. También necesitamos profesionales en sistemas, porque nosotros

trabajamos *diagramas ternarios*, donde ubicamos las composiciones de las escorias y hacemos los ensayos de conductividad, para lo que necesitamos manejar una *data* muy grande con programas visuales como el Visual Temp, el AutoCAD o el Inventor, por lo cual hay un gran campo para la inteligencia artificial. Un grupo de investigación que tenga esas fortalezas sería muy importante y útil para nosotros.

SPR: ¿Cómo podrían vincularse ese tipo de semilleros de otras áreas para favorecer proyectos o procesos investigativos?

FRP: Al interior del grupo nosotros nunca hemos experimentado tener estudiantes de otros programas. Pero lo ideal sería que los grupos de investigación que son afines a nuestro desarrollo investigativo vinculen sus semilleros. Nosotros estamos abiertos a esta posibilidad. No hemos hecho todavía la primera alianza con un grupo de otra área, pero sí hemos tenido apoyo de muchos programas. Ellos mandan auxiliares de investigación o jóvenes investigadores; o el mismo docente se encarga de hacer ese trabajo de apoyo que se requiere.

SPR: Para finalizar, ¿quisiera agregar algo más acerca del horno o del grupo de investigación que no hayamos tocado dentro de las preguntas?

FRP: En este campo de la ingeniería, todo es posible. Llegó alguien que necesitaba una nueva aleación especial. Nosotros contamos con la herramienta del horno de inducción y empezamos a explorar en la literatura si se podría hacer o no. Concluimos que se podría hacer según los conocimientos que tenemos en las diferentes áreas. Tenemos un doctor especializado en metalurgia física y en microscopía electrónica y otro doctor especializado en la simulación termoquímica —el Thermocalc—. En mi caso, tengo mucha experiencia en el proceso y ejecución del campo pirometalúrgico. Estas alianzas hicieron que fuéramos capaces de aventurarnos a obtener este tipo de aleaciones. Nosotros sabíamos a qué nos exponíamos trabajando con la reacción del titanio con el oxígeno —que es muy fuerte— y, por lo tanto, de alto riesgo. Lo fundamental es que se unan las fortalezas de cada una de las entidades, ya sean grupos de investigación o personas de la UPTC.

La universidad tiene una estructura interna bastante consolidada que nos permite no tener miedo a arriesgarnos en la parte investigativa y en la parte de herramienta tecnológica, ya que sabemos que podemos tener muy buenos resultados, como con el horno de inducción, que llegó a cubrir una falencia que teníamos: desarrollar aleaciones en condiciones especiales, muy importantes en los proyectos y procesos siderúrgicos en desarrollo y en las líneas de investigación que pretendíamos mantener —y las nuevas que podríamos crear al interior del grupo—.



Referencias

- Pérez, F. (1987). *Diseño, construcción y montaje de un módulo para destilación de mercurio y control de sus impurezas por espectroscopia* [Tesis de pregrado no publicada]. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Pérez, F. (2007). *La viscosidad y la conductividad eléctrica de la escoria de Cerro Matoso S. A.* [Tesis de Maestría no publicada]. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Pérez, F. (2010). Viscosidad y conductividad de escorias típicas en la producción de ferroníquel. *Revista Facultad de Ingeniería*, 18 (26), 17-28. <https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/1376>
- Rojas, N., Pérez, F., & Arango, H. (2018). Efecto del tamaño de partícula en la reducción de mineral de Ni laterítico en un reactor de Linder. *Revista ION*, 31(1), 97-104. <https://doi.org/10.18273/revion.v31n1-2018015>