

# Obtención de arrabio enriquecido con níquel-cromo a partir de las colas de la producción de níquel en Cuba



<https://cu-id.com/2144/v17e16>

## Obtaining nickel-chrome pig iron from the tails of nickel production in Cuba

✉ José Alberto Pons Herrera<sup>1\*</sup>, ✉ María Caridad Ramírez Pérez<sup>1</sup>, ✉ Lorenzo Perdomo González<sup>2</sup>,  
✉ Amado Cruz Crespo<sup>2</sup>, ✉ Hugo Javier Angulo Palma<sup>3</sup>, ✉ Gualberto Rosales Martín<sup>4</sup>

**RESUMEN:** Las tecnologías de producción de Níquel y Cobalto existentes en Cuba, lixiviación carbonato amoniacal (CARON) y ácida a presión (HPAL), generan gran cantidad de desechos sólidos (colas), caracterizadas por poseer importantes contenidos de hierro, silicio, manganeso y otros metales de amplio uso en la industria siderúrgica. Se exponen los resultados de la utilización de la tecnología de fusión reductora para la obtención de arrabio con contenido de hierro de 89 %, enriquecido con níquel y cromo (NCPI), que lo convierten en una carga metalizada para la producción de aceros. Se exponen y analizan los resultados de más de cinco años de investigación de las colas de las plantas de Níquel en Moa. Se muestran las características físico, químicas, de esta materia prima, así como de los metales y escorias obtenidas, como resultados de la tecnología aplicada. Se exhiben las características de los materiales e insumos utilizados (reductores, fundentes) durante el desarrollo de las pruebas a escala de laboratorio y de banco. Los resultados demuestran la posibilidad de aprovechar integralmente a nuestros recursos minerales, específicamente, el principal residual de la producción de Níquel en Cuba, obteniendo productos metalizados de gran utilidad para el sector siderúrgico cubano e internacional.

**Palabras clave:** colas, arrabio con níquel-cromo, CARON, HPAL.

**ABSTRACT:** The existing Nickel and Cobalt production technologies in Cuba, ammonia carbonate leaching (CARON) and pressurized acid leaching (HPAL), generate a large amount of solid waste (tailings), characterized by having significant contents of iron, silicon, manganese and other metals widely used in the steel industry. This paper presents the results of the use of reducing melting technology to obtain pig iron with iron content the 89%, enriched with nickel and chromium (NCPI), which convert it into a metallized filler for the production of steels. The results of more than five years of research on the tailings of Nickel plants in Moa are presented and analyzed. The physical and chemical characteristics of this raw material are shown, as well as the metals and slags obtained, as a result of the applied technology. The characteristics of the materials and supplies used (reducers, fluxes) during the development of the tests at laboratory and bench scale are exhibited. The results demonstrate the possibility of fully utilizing our mineral resources, specifically the main residual from nickel production in Cuba, obtaining metallized products of great utility for the Cuban and international steel sector.

**Keywords:** Tails, pig iron with nickel-chromium, CARON, HPAL.

### INTRODUCCIÓN

Las colas de la producción de níquel en Moa, generadas anualmente contienen importantes contenidos de elementos químicos valiosos para la industria siderúrgica. Las mismas son generadas como resultado de las operaciones metalúrgicas de las dos tecnologías existentes, tostación reductora-lixiviación carbonato amoniacal (CARON) y la tecnología de lixiviación ácida a alta presión, (HPAL). A partir del

tratamiento de estos pasivos ambientales, existen perspectivas de producción de semiproductos metalúrgicos, lo que brindará la posibilidad de obtener productos metalizados base hierro, tomando en cuenta las características de estos residuales, que a pesar de haber sido investigados sus características, (Pons Herrera J. A., 2010); (Pons Herrera & Ramírez Pérez, 2022), aún son insuficientes los estudios científicos, que fundamenten su utilización industrial.

Recibido: 27/08/2024

Aprobado en su forma original: 19/02/2025

<sup>1</sup>Universidad de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, Moa, Holguín, Cuba. E-mail: [mariacaridad.drc@gmail.com](mailto:mariacaridad.drc@gmail.com)

<sup>2</sup>Centro de Investigación de Soldadura (CIS). Universidad Central Martha Abreu de las Villas. Carretera de Camajuaní km 5.5, Las Antillas, Santa Clara, Villa Clara. E-mail: [lorenzo@uclv.edu.cu](mailto:lorenzo@uclv.edu.cu)

<sup>3</sup>Centro de Investigaciones del Níquel (CEDINIQ), Municipio Moa, Holguín, Cuba. E-mail: [hangulo@cil.moa.minem.cu](mailto:hangulo@cil.moa.minem.cu)

<sup>4</sup>Empresa Siderúrgica Acinox Las Tunas. E-mail: [gualberto@acinoxlas.tunas.co.cu](mailto:gualberto@acinoxlas.tunas.co.cu)

\*Correo electrónico: [josealbertoponsdr@gmail.com](mailto:josealbertoponsdr@gmail.com)

**Conflicto de Intereses:** Los autores de este trabajo declaran que no existe conflicto de intereses.

**Contribución de los autores: Investigación:** José Alberto Pons Herrera, María Caridad Ramírez Pérez, Lorenzo Perdomo González, Amado Cruz Crespo, Hugo Javier Angulo Palma, Ángel Legrá Legrá. **Redacción-revisión y edición:** José Alberto Pons Herrera.

Artículo bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

A partir del tratamiento pirometalúrgico de las colas, se han obtenido semiproductos siderúrgicos, (Cruz Crespo & Pons Herrera, 2023), cuyas investigaciones demandan de una mayor profundidad científica, que permitan fundamentar la futura implementación de una planta metalúrgica para la obtención de materias primas metalizadas para la industria siderúrgica cubana.

En los últimos años se han realizado diferentes investigaciones sobre el tratamiento y uso integral de nuestros recursos minerales, sin embargo, los resultados sobre la obtención de productos siderúrgicos a partir de recursos minerales fuera del balance de la Oficina Nacional de Recursos Minerales (ONRM), aún son insuficientes, a pesar de los intentos por obtener semiproductos metalizados base hierro para la industria siderúrgica cubana, (Pons Herrera & Ramírez Pérez, 2022).

Como resultado del trabajo conjunto de especialistas de diferentes universidades, centros de investigaciones y entidades productivas del país, se han desarrollado diversas investigaciones, con los minerales de la región de Mayarí-Moa, para la obtención de productos siderúrgicos. Destacan en este sentido la obtención de arrabio enriquecido con Níquel, llamado internacionalmente como Nickel Pig Iron (NPI), (Ortiz, 2015), lupias de hierro, (Ferreiro Guerreiro, 2013), oxidantes para el proceso de descarburización del acero HK-40, (Ramírez Pérez, 2010), producto metalizado base hierro a partir de las colas rojas de Moa, (Pons Herrera, Perdomo, & al, 2023), entre otros.

Así, durante los últimos años se han desarrollado pruebas de laboratorio y de banco, empleando a tecnología de fusión reductora, con hornos de corriente directa y el uso de diferentes materias primas nacionales y residuales (colas de la producción de níquel, cieno carbonatado y reductores), que permitieron obtener un producto metalizado con un promedio de 92% de Fe metálico, enriquecido con níquel y cromo, que constituyen una motivación y justificación para el desarrollo de este proyecto de investigación, financiado por el programa sectorial del níquel en Moa, en función de garantizar el aprovechamiento integral de los recursos minerales en la Industria Cubana del Níquel.

La composición sustancial de las lateritas niquelíferas cubanas es compleja, con peculiaridades mineralógicas específicas entre sus minerales constituyentes, (García & Giselle, 2013). Mientras, que los residuales sólidos de la industria niquelífera cubana se almacenan en presas de colas que requieren capacidades cada vez mayores y donde los impactos ambientales que produce esta ampliación se han identificado y valorado a través de varios métodos, (Hernández Columbie & Ulloa-Carcasés, 2014), sin embargo, su uso definitivo aún no se concreta.

Una de las principales variantes de utilización es como materia prima siderúrgica, y en este sentido, Cruz Crespo; Perdomo y Pons, (2023), demostraron

la viabilidad en la obtención de arrabio aleado con Ni y Cr mediante la reducción carbotérmica en horno de arco de corriente continua de colas sin beneficiar de la producción de Ni en Nicaro, empleando carbón antracita como reductor, para la sustitución de chatarra en la obtención de aceros aleados. Los autores comprobaron que, el recobrado de los elementos fue adecuado, principalmente, Ni y Cr como elementos de aleación, además que, los contenidos de Mn y Si en el arrabio son favorables para su empleo en la obtención de aceros aleados, ya que actúan como desoxidantes.

Teniendo en cuenta estos elementos, es una gran motivación y justificación el tratamiento y uso de las colas de la producción de níquel en Moa, con vistas a prolongar la vida de esta industria, reducir la contaminación ambiental y generar nuevos productos, como resultado de la obtención de metales y productos siderúrgicos, a partir de ellas, aplicando de esta forma la economía circular a estos pasivos ambientales, (Roche Lobaina, 2024).

Las materias primas metalizadas, base hierro, son de gran importancia para las plantas siderúrgicas, pues aportan elementos aleantes sin impurezas que puedan contaminar los baños metálicos. Estos materiales están definidos como sistemas con gran desorden molecular o atómico, significa que entre mayor es el número de elementos, mayor será la entropía, (Ruiz-Esparza Rodríguez, Gamaliel Garay, & Martínez Sánchez, 2023).

El incremento de los volúmenes de colas, generados como resultado de las operaciones minero metalúrgicas de la industria cubana del níquel durante más de setenta años, constituyen un gran problema ambiental a resolver, que unido al conocimiento sus características físico-químicas y mineralógicas, fundamentan el objetivo de esta investigación, obtener productos metalizados base hierro enriquecido con níquel y cromo (NCPI), a partir de estos residuales, de gran demanda para la industria siderúrgica cubana e internacional.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras de investigación: colas del proceso CARON en Moa (figura 1) portadoras de los elementos principales, utilizadas en las pruebas experimentales, fundente (cieno carbonatado) y reductores empleados (carbones bituminoso y antracita), fueron caracterizadas física y químicamente, y a partir de estos resultados y las reacciones químicas, se conformaron mezclas metalúrgicas.

Se emplearon los laboratorios de análisis químicos y mineralógicos del Centro de Investigaciones del níquel (CEDINIQ), para la caracterización de las muestras de investigación y las escorias del proceso de fundición; mientras que los metales obtenidos (NCPI), fueron analizados en los laboratorios de las empresas Acinox Las Tunas y mecánica del níquel (EMNI).

Se empleó una mezcla de reductores (80 % carbón antracita y 20 % carbón bituminoso), a partir de los resultados de los trabajos de Angulo Palma, Hugo, (2024) y Pons Herrera, (2022). Mientras que la cantidad de fundente utilizado, se fundamentó a partir de las características del refractario del horno y la experiencia de trabajos precedentes, Pons Herrera, et al (2018); (2022), empleando  $\text{CaCO}_3$  y  $\text{CaO}$ , utilizados por las empresas siderúrgicas cubanas, (Rosales Martín, 2022), estableciendo una basicidad entre 0,8 y 1,2, como base experimental, de las pruebas de fusión desarrolladas en el Centro de Investigación de Soldadura (CIS), de la Universidad Central Martha Abreu de las Villas (UCLV). La instalación experimental se muestra en la figura 2.

Los principales rangos de variaciones técnicas del horno de arco eléctrico (HAE) empleado y las condiciones experimentales de las pruebas realizadas, se reflejan en la tabla 1.

**Tabla 1.** Principales características técnicas del HAE empleado y condiciones experimentales.

Características	Unidad de Medida	Valores
Corriente	Ampere	350-400
Voltaje	Volt	25-28
Tiempo de colada	minutos	15-20
Temperatura de fusión	°C	1550-1600

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las colas granulométricamente son finas, con tamaño de partículas propias de arena fina, limo y/o arcilla, la fracción principal es la menor de 0,063 mm, en donde se acumula el 81 % del mineral. Los elementos mayoritarios son el hierro, sílice y aluminio con 44.6%, 12.27% y 9.54 % respectivamente. Las características químicas de los reductores y fundente empleado se muestran en las tablas 2 y 3.

**Tabla 2.** Características de los reductores (base seca), utilizados en la investigación.

Características	Carbones reductores		
	Unidad de medida	Bituminoso	Antracita
Humedad total	%	3,37	10,1
Cenizas	%	4,68	11,8
Material volátil	%	6,87	32,6
Carbón total	%	77,96	69,95
Carbón fijo	%	85,08	55,4
Azufre	%	0,46	0,55
$\text{H}_2$	%	3,22	4,58
Capacidad calorífica (gruesa)	kJ/kg	33654,4	29088
	kcal/kg	8090	6948
Capacidad calorífica (neta)	kJ/kg	35776,0	28145
	kcal/kg	8600	6722

Fuente: (Pons Herrera & al, 2024); (Angulo Palma H. J., 2023).



**Figura 1.** Proceso de extracción y procesamiento de las colas de las tecnologías CARON y HPAL. Fuente: (Pérez Matos, 2023); (Reve, 2023)



**Figura 2.** Horno de arco eléctrico empleado en las pruebas experimentales de fusión-reducción.

Las colas de las tecnologías CARON en Moa, se caracterizan por la presencia de elementos fundamentales para la elaboración de aceros, principalmente, hierro, cromo, silicio y manganeso, como se muestra en la tabla siguiente.

Los resultados de los análisis químicos de las mezclas conformadas con colas del proceso CARON en Moa, se caracterizaron por contenidos significativos de Fe y Cr, elementos fundamentales para la obtención de los arrabios planificados, como se aprecian en la tabla siguiente.

**Tabla 3.** Composición química (%) del fundente (cieno carbonatado) empleado en la investigación.

Muestra	Fe	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Cr	Mn	CaCO <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>
Cieno Carbonatado	0,63	1,26	1,22	0,3	0,01	0,01	88,9	7,67

Fuente: (Pons Herrera & al, 2023).

**Tabla 4.** Composición química (%) de las colas del proceso CARON en Moa.

Elementos	Contenidos (%)
Al	4,20
Co	0,07
Ca	0,13
Cr	1,36
Cu	0,009
Fe	42,23
Mg	2,17
Mn	0,68
Mo	0,0001
Ni	0,32
P	0,043
S	0,21
Sc	0,008
Si	5,74
Sm	0,00021
Ti	0,12
V	0,03

## CONCLUSIONES

1. Las colas de la producción de níquel generadas por la tecnología CARON en Moa se caracterizan por contenidos promedio significativos de Fe (45 %), Ni (0.45 %), así como de otros elementos químicos que normalmente están presentes en los arrabios, carbono, manganeso y silicio, que garantizan la obtención de una materia prima metalizada, posible de emplear en la producción de aceros en Cuba.
2. Se obtuvieron arrabios enriquecidos con Ni (0.87 %) y Cr (1.89), a partir de las colas de la tecnología CARON en Moa, lo que constituye una gran oportunidad de reaprovechar los contenidos significativos de Fe, Si, Mn, C, que poseen estos residuales, para la elaboración de aceros en Cuba.
3. La utilización de residuales (Finos de carbón reductor, Cieno carbonatado y Colas), para la obtención de materia prima metalizada base hierro, brindan las posibilidades de aplicar la economía circular para la obtención de productos siderúrgicos al país, actualmente demandas para la obtención de aceros aleados.

**Tabla 5.** Composición química (%) de los arrabios obtenidos a partir de las colas del proceso CARON en Moa.

Muestras	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Al	Co	Ti	V	Fe
M-1	2,67	0,40	0,010	0,051	4,24	0,85	1,75	0,100	0,170	0,043	0,022	89,77
M-2	2,51	0,46	0,008	0,010	4,80	0,91	1,92	0,612	0,130	0,104	0,040	88,62
M-3	2,37	0,42	0,010	0,033	4,41	0,80	1,925	0,055	0,132	0,087	0,040	89,90
M-4	2,51	0,42	0,010	0,008	4,60	0,84	1,901	0,275	0,140	0,081	0,036	89,40
<b>Promedio</b>	<b>2,51</b>	<b>0,43</b>	<b>0,01</b>	<b>0,03</b>	<b>4,55</b>	<b>0,87</b>	<b>1,89</b>	<b>0,26</b>	<b>0,15</b>	<b>0,08</b>	<b>0,04</b>	<b>89,42</b>

Como se observa en la tabla anterior, fue posible la obtención de un producto metalizado base hierro, con 89.42 % de hierro y con presencia de elementos que deben estar presente en este tipo de materia prima siderúrgica (C, Si y Mn). Se agregan como valores agregados los contenidos promedio de Níquel (0.87 %) y Cr (1.89 %), que le dan mayor significación a esta materia prima siderúrgica.

La obtención de arrabio enriquecido con níquel y cromo, a partir de las colas de las industrias del níquel en Moa, abren nuevas posibilidades para la aplicación de la economía circular en esta región del país y reducir la contaminación que estas provocan al ambiente. Mientras, que unido a los contenidos de Fe, Si, Mn, C, en el producto obtenido, garantizan la obtención de una materia prima siderúrgica, con posibilidades reales de ser utilizada como alternativa para la producción de aceros en Cuba.

4. La reutilización de las colas de la producción de níquel en Moa, permitirá la reducción de la contaminación ambiental que estas generan actualmente y que ocupan grandes espacios de esta región del país.

## BIBLIOGRAFÍA

- Angulo Palma, H. 2024. *Sustitución del Petróleo Aditivo por Carbón Bituminoso en el Proceso de Tostación/Reducción de la Tecnología CARON*. Santiago de Cuba: Universidad de Oriente. Tesis Doctoral.
- Angulo Palma, H. J. 2023. *Sustitución del Petróleo Aditivo por Carbón Bituminoso en el Proceso de Tostación/Reducción de la Tecnología CARON*. Santiago de Cuba: Tesis Doctoral. Universidad de Oriente.

- Cruz Crespo, A. P., & Pons Herrera, J. e. (2023). Obtención de Arrabio Aleado con Ni y Cr por Reducción Carbotérmica en un Horno de Arco de Corriente Continua de Colas de Nicaro de la Producción de Níquel. *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*, Vol. 46, 1-13.
- Ferreiro Guerreiro, Y. (2013). *Obtención de Lupias para la Industria Siderúrgica a partir de las Colas del Proceso CARON en Nicaro*. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Tesis Doctoral.
- García, V., & Giselle, e. a. (2013). *Actualización del Conocimiento Mineralógico de Menas Lateríticas y Residuos Sólidos de las Industrias Niquelíferas Cubanas*. La Habana: V Congreso Cubano de Minería. Geociencias 2013.
- Hernández Columbie, T., & Ulloa-Carcasés, M. 2014. Impacto Ambiental de la Ampliación de una Presa de Colas de la industria Cubana del Níquel. *Minería y Geología / v.30 n. 3 /julio-septiembre*, 33-48.
- Ortiz, B. J. (2015). *Obtención de un producto prerreducido para la producción de arrabio con níquel (nickel pig iron) a partir del tratamiento de los escombros lateríticos de Mina Martí de Nicaro*. Moa: Tesis Doctoral. Universidad de Moa.
- Pérez Matos, E. 2023. *Caracterización Integral de los Depósitos de Cola de la Tecnología CARON en Moa*. Moa: Universidad de Moa.
- Pons Herrera, J. A. 2010. *Evaluación de Materias Primas locales para la Producción de FeNi en Moa*. Moa: Ferroníquel Minera S.A.
- Pons Herrera, J., & otros. 2018. *Obtención de Productos Metalizados Base Hierro a Partir de Colas de la Producción de Níquel en Moa*. Moa: Universidad de Moa.
- Pons Herrera, J., & otros. 2022. *Obtención de Arrabio Enriquecido con Cromo y Níquel a Partir de Materias Primas de la Región de Moa*. Moa: Universidad de Moa.
- Pons Herrera, J., & otros 2023. *Informe de Avance de Proyecto, PS104HO001-015: "Obtención de FeCrNi a partir de materias primas de la región de Moa"*. Moa: CEDINIQ.
- Pons Herrera, J., & aotros. 2024. *Caracterización de las Colas de las Tecnologías CARON y HPAL en Moa. Proyecto PS104HO001-27: "Obtención de metales y productos siderúrgicos a partir de las colas de la producción de Níquel en Moa"*. Moa: CEDINIQ.
- Pons Herrera, J., & Ramírez Pérez, M. 2022. *Obtención de Materias Primas Metalizadas Base Hierro a partir de las Colas de las Tecnologías CARON y HPAL*. Moa: Universidad de Moa.
- Pons Herrera, J., Perdomo, L. C., & otros. 2023. *Obtención de Prdocutos Siderúrgicos a partir de las Colas de la Producción de Níquel en Moa*. Moa: Universidad de Moa.
- Ramírez Pérez, M. 2010. *Utilización de los Escombros Lateríticos de la zona A, Yacimiento Moa Occidental en el Proceso de Descrburización del Acero ACI HR-40*. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- Reve, A. 2023. *Caracterización Integral de los Depósitos de Colas de la Tecnología HPAL de Moa*. Moa: Universidad de Moa.
- Roche Lobaina, D. 2024. *Estudio de Prefactibilidad de una Planta para la Obtención de Arrabios a partir de las Colas de la Tecnología CARON en Moa*. Moa: Universidad de Moa.
- Rosales Martín, G. 2022. *Características de los Fundentes Empleados por las Empresas Siderúrgicas Cubanas. Caso de Estudio Acinox Las Tunas*. Las Tunas: Acinox Las Tunas.
- Ruiz-Esparza Rodríguez, M., Gamaliel Garay, C., & Martínez Sánchez, R. 2023. *Aleaciones de Alta Entropía: Una Mirada hacia el Futuro. Universitarios Potosinos*, 19-21.