

Obtención de ferro-cromo-níquel a partir de materias primas de la Región de Moa, Cuba

Obtaining ferro-chrome-nickel from raw materials from the Moa region, Cuba



<https://cu-id.com/2144/v16e11>

^{id}José Alberto Pons Herrera^{1*}, ^{id}María Caridad Ramírez Pérez¹, ^{id}Lorenzo Perdomo González²,
^{id}Amado Cruz Crespo², ^{id}Hugo Javier Angulo Palma³, ^{id}Ángel Legrá Legrá³

RESUMEN: Se analizan en este trabajo, las características de los materiales que contienen los principales metales para la obtención de FeCrNi, a partir de minerales de la región de Moa: escombros lateríticos, colas de la producción de Níquel en Moa y cromitas de las antiguas Minas de cayo Guam. Por primera vez se utiliza el residuo del tratamiento del cieno carbonatado como fundente y mezcla de carbón bituminoso y antracita como reductores. Los resultados demuestran las posibilidades técnicas de utilizar los recursos minerales existentes en la región de Moa-Baracoa como materias primas principales para la elaboración de ferroaleaciones y otros semiproductos base hierro, de gran utilidad para la industria siderúrgica cubana. La mayoría de los materiales utilizados, son residuales de las industrias procesadoras de cromitas refractarias y de níquel en Moa, lo que permitirá la aplicación de la economía circular a recursos naturales en desuso. Se exponen los parámetros de operación de la tecnología empleada para la obtención de FeCrNi (Fusión-reductora), con contenidos promedio de Ni 1,5 % y Cr de 8,7 %, empleando diferentes mezclas metalúrgicas fundamentadas a través del diseño Marc Lean Anderson.

Palabras Clave: FeCrNi, Cromitas, Escombros, Colas.

ABSTRACT: In this work, the characteristics of the materials that contain the main metals for obtaining FeCrNi, from minerals of the Moa region are analyzed: lateritic rubble, tailings from the production of Nickel in Moa and chromites from the old mines of Cayo Guam. For the first time, the residue from the treatment of carbonated silt is used as a flux and a mixture of bituminous coal and anthracite as reductants. The results demonstrate the technical possibilities of using the existing mineral resources in the Moa-Baracoa region, as main raw materials for the production of ferroalloys and other iron-based semi-products, which are very useful for the Cuban steel industry. Most of the materials used are residual from the refractory chromite and nickel processing industries in Moa, which will allow the application of the circular economy to disused natural resources. The operating parameters of the technology used to obtain FeCrNi (Fusion-reducer) are presented, with average contents of Ni 1.5 % and Cr of 8.7 %, using different metallurgical mixtures based on the Marc Lean Anderson design.

Keywords: FeCrNi, Chromites, Low grade laterites, Tails.

INTRODUCCIÓN

La región de Moa posee importantes reservas de minerales cromitas y lateríticos. Esta última utilizada, principalmente, en las operaciones metalúrgicas de las dos tecnologías existentes, carbonato amoniacal basada en la lixiviación atmosférica, utilizada en la Empresa comandante Ernesto Che Guevara (ECG) y la tecnología de lixiviación ácida a alta presión, en la Empresa Moa Nickel S.A. Existen perspectivas de producción de FeNi, utilizando mezclas de minerales

lateríticos y serpentiniticos, lo que brindará la posibilidad de producir otras ferroaleaciones, tomando en cuenta la existencia de otros minerales importantes como las cromitas refractarias, las colas y los escombros lateríticos, 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 en la industria siderúrgica cubana.

Recibido: 25/08/2024

Aprobado en su forma original: 10/12/2024

¹Universidad de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez", Avenida Calixto García Iñiguez #15 entre Av.7 de Diciembre y Calle Reynaldo Laffita Rueda, Rpto Caribe, Moa, Holguín, Cuba. E-mail: mgarcia@ecg.moa.minem.cu

²Centro de Investigación de Soldadura (CIS). Universidad Central Martha Abreu de las Villas.

Carretera de Camajuani km 5.5, Las Antillas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba. E-mail: lorenzo@uclv.edu.cu

³Centro de Investigaciones del Níquel (CEDINIQU). Carretera Yagrumaje Km7, Municipio Moa, Holguín, Cuba.

E-mail: cediniq@cil.moa.minem.cu

*Correo electrónico: jpons@ismm.edu.cu

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](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) (CC BY-NC 4.0)

Los depósitos lateríticos de níquel se formaron por la meteorización prolongada y penetrante de las rocas ultramáficas que portan, básicamente, silicato de Ni, generalmente en climas tropicales o subtropicales. (García & Giselle, 2013)

A partir del tratamiento pirometalúrgico de las cromitas y lateritas se han obtenido semiproductos siderúrgicos, cuyas investigaciones demandan de una mayor profundidad científica, que permitan fundamentar la futura implementación de una planta metalúrgica para la obtención de ferroaleaciones en Moa.

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 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). A partir de estas insatisfacciones se diseñó metodológicamente esta investigación.

Como resultado del trabajo conjunto de especialistas de la Universidad de las Villas y de Moa, se han desarrollado diversas investigaciones, con los minerales de esta región del país, 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.

El siguiente problema científico es la necesidad obtener FeCrNi, a partir de materias primas minerales existentes en la región de Moa, con posibilidades de utilización en la producción de aceros en Cuba.

Antes esta situación problemática, se definió como objetivo principal, evaluar la tecnología más efectiva desde el punto de vista técnico-económico para la obtención de FeCrNi, a partir de materias primas existentes en la región de Moa, y su posible utilización para la obtención de materiales para la industria siderúrgica cubana.

Constituyen elementos de elevada motivación profesional, la posibilidad real de utilizar las colas de la producción de Níquel en Moa, las cromitas abandonadas de las antiguas minas de Cayo Guam y los escombros lateríticos, como materias primas fundamentales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Fueron caracterizadas física y químicamente las muestras de investigación: cromita, escombros diferenciado, cola del proceso CARON en Moa,

cieno carbonatado (fundente) y carbones bituminoso y antracita (reductores), se analizaron y conformaron las diversas mezclas a utilizar durante las pruebas de fusión reductora en hornos de arco eléctrico.

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 (FeCrNi), fueron analizados en los laboratorios de las empresas Acinox Las Tunas y mecánica del níquel (EMNI).

Las mezclas metalúrgicas fueron conformadas, utilizando los niveles de variación de las variables de entrada que se muestran en la **tabla 1**, y empleando el software estadístico profesional Statgraphics Centurion XV.

Tabla 1. Niveles de variación (%) de las variables principales

Variables de entrada	Código	Nivel Inferior	Nivel superior
Cromitas	X ₁	20	30
Escombros	X ₂	20	40
Colas	X ₃	30	50

Fuente: (Pons *et al.*, 2024)

Los ensayos de laboratorio y de banco se desarrollaron en el horno de arco eléctrico de C.D que se muestra a continuación, donde se obtuvieron los productos de la fusión reductora (metal, escoria y gases).



Figura 1. Horno de arco eléctrico de C.D, empleado en las pruebas de Fusión reductora. Fuente: (CIS, 2024)

Las mezclas de materiales principales (cromitas, colas y escombros), reductores y fundentes, se variaron para una masa promedio total de 500 gramos (laboratorio) y 1000 gramos (banco), teniendo en cuenta las pruebas experimentales desarrolladas con anterioridad entre 2018 y 2022, (Pons Herrera *et al.*, entre 2018) y (Pons Herrera *et al.*, 2022).

La proporción de reductores utilizados se definió en 80 % de carbón antracita y 20 % de carbón bituminoso, tomando en cuenta los trabajos de Angulo Palma (2024) y Pons Herrera, (2022).

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 CaCO_3 y CaO , utilizados por las empresas siderúrgicas cubanas, (Rosales Martín, 2022), con el objetivo de alcanzar basicidades entre 0,8 y 1,2.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las muestras de cromitas, con contenidos significativos de Cr_2O_3 ; Al_2O_3 ; SiO_2 , les dan un carácter refractario a las mezclas conformadas, lo que complejizó las determinaciones químicas y la toma de decisiones para la obtención adecuada de los tipos de FeCrNi previstos, durante las pruebas de fusión.

Los resultados de los análisis químicos de las mezclas conformadas, se muestran en la tabla 2. A partir de estos resultados, fueron determinadas las proporciones de fundente (cieno carbonatado) y reductores a utilizar (mezcla de carbón antracita y bituminoso).

Los parámetros técnicos resultantes de los análisis realizados se muestran en la tabla siguiente, con énfasis en la relación SiO_2/MgO para el control del comportamiento de la interfase escoria-metal durante el proceso de fusión.

Los resultados de las pruebas experimentales permitieron demostrar la posibilidad de obtener FeCrNi a partir de las cromitas refractarias de la región de Moa, las cuales siempre fueron comercializadas como materia prima refractaria. En este caso, al mezclarlas con escombros y colas del proceso CARON, se obtuvieron diferentes grados de esta ferroaleación, con valores promedio de Fe

Tabla 3. Parámetros controlados durante el desarrollo de las pruebas de fusión-reducción

Muestras	Fe/Ni	FeCr	Cr/Ni	SiO_2/MgO
MM-1	0.81	3.48	11.63	2.16
MM-2	0.75	3.85	9.85	1.90
MM-3	0.83	3.09	13.37	2.04
MM-4	0.91	3.98	11.47	1.89
MM-5	0.89	2.43	18.57	2.07
MM-6	0.76	4.18	9.03	1.75
MM-7	0.73	5.45	6.75	2.10
MM-8	0.68	5.53	6.19	1.60
MM-9	0.74	6.26	5.95	2.09
MM-10	0.70	5.47	6.38	1.68
MM-11	0.75	3.90	9.60	2.06
MM-12	0.71	5.46	6.57	1.97
MM-13	0.70	3.97	8.88	2.20
MM-14	0.73	4.44	8.35	2.01
MM-15	0.69	3.40	10.33	2.17
MM-16	0.76	4.11	9.39	1.97
MM-17	0.76	4.26	8.87	2.03
Promedio	0.76	4.31	9.48	1.98

(84,42 %), Cr = 8,69% y Ni = 1,5 %, como se muestra en la tabla siguiente.

Los FeCrNi obtenidos alcanzaron valores de Ni que oscilaron entre 1, 2 y 2,3 %, acorde con los contenidos de este elemento en las materias primas utilizadas, mientras que los valores de cromo fluctuaron entre 3,8-11,3 %, lo que permitirá ajustar posteriormente, las mezclas adecuadas para la obtención de esta ferroaleación en un rango entre 2 % de Níquel y 10 % de Cromo.

Tabla 2. Composición química de las mezclas conformadas con las variables X_1 , X_2 y X_3

Código	Ni	Co	Fe	Mn	MgO	Al_2O_3	Cr	SiO_2
MM-1	0.79	0.11	31.98	0.599	10.55	6.105	9.19	22.84
MM-2	0.936	0.114	35.54	0.685	12.34	6.673	9.22	23.41
MM-3	0.588	0.089	24.28	0.466	9.524	4.572	7.86	19.4
MM-4	0.773	0.121	35.34	0.676	12.45	6.676	8.87	23.54
MM-5	0.481	0.086	21.66	0.394	9.161	4.087	8.93	18.98
MM-6	0.842	0.109	31.78	0.599	13.58	5.971	7.6	23.77
MM-7	1.082	0.129	39.76	0.747	9.452	7.527	7.3	19.82
MM-8	0.834	0.101	28.53	0.535	8.051	5.365	5.16	12.87
MM-9	0.999	0.126	37.16	0.709	10.98	7.045	5.94	22.92
MM-10	0.796	0.093	27.79	0.513	7.657	5.26	5.08	12.84
MM-11	0.782	0.08	29.28	0.541	11.3	5.49	7.51	23.28
MM-12	1.044	0.139	37.46	0.706	12.05	7.038	6.86	23.74
MM-13	0.981	0.115	34.55	0.659	10.24	6.105	8.71	22.49
MM-14	0.96	0.121	35.6	0.661	11.45	6.675	8.02	23
MM-15	0.688	0.106	24.18	0.459	9.348	4.57	7.11	20.33
MM-16	0.938	0.132	36.18	0.681	11.85	6.788	8.81	23.31
MM-17	0.933	0.125	35.28	0.671	11.61	6.674	8.28	23.56

Fuente: Laboratorio de análisis químico CEDINIQ, 2024

Tabla 4. Composición química (%) de los metales obtenidos

Muestras	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Co	Ti	V	Fe
MM-1	4.045	0.422	0.009	0.010	0.447	2.266	8.136	0.097	0.568	0.089	83.910
MM-2	3.838	0.482	0.010	0.014	0.408	1.557	8.961	0.108	0.674	0.098	83.852
MM-3	2.964	0.505	0.018	0.205	0.696	1.361	11.042	0.193	0.003	0.051	82.962
MM-4	4.352	0.766	0.017	0.009	0.548	0.840	9.140	0.133	0.221	0.161	83.812
MM-5	4.042	0.284	0.015	0.247	3.070	1.475	8.452	0.187	0.005	0.052	82.172
MM-6	4.740	0.579	0.014	0.034	0.666	1.049	10.398	0.144	0.068	0.089	82.219
MM-7	3.310	0.757	0.015	0.162	0.564	1.501	7.840	0.201	0.003	0.025	85.622
MM-8	4.881	0.417	0.015	0.057	0.499	1.033	11.353	0.139	0.023	0.107	81.476
MM-9	4.684	0.245	0.020	0.077	0.551	1.358	9.711	0.163	0.002	0.043	83.147
MM-10	4.661	0.611	0.014	0.005	0.756	1.324	4.721	0.057	0.328	0.051	87.473
MM-11	1.923	0.729	0.013	0.321	0.591	1.831	8.220	0.236	0.003	0.026	86.108
MM-12	5.009	0.411	0.022	0.034	0.425	1.200	10.282	0.156	0.007	0.078	82.378
MM-13	3.896	0.293	0.021	0.260	0.451	1.323	8.986	0.173	0.004	0.054	84.539
MM-14	4.229	0.242	0.022	0.114	0.310	1.495	10.321	0.173	0.003	0.047	83.045
MM-15	1.920	0.413	0.017	0.297	0.512	1.719	7.982	0.213	0.002	0.024	86.902
MM-16	4.798	0.263	0.020	0.082	0.331	1.241	10.916	0.168	0.003	0.074	82.104
MM-17	3.549	0.506	0.013	0.355	0.002	2.342	3.823	0.286	0.002	0.012	89.110
Promedios	3.848	0.469	0.016	0.127	0.584	1.504	8.689	0.164	0.124	0.062	84.423

Los contenidos de carbono poseen un promedio de 3,84 %, con variaciones entre 1,9 - 5,0 %, apropiado para este tipo de ferroaleación, ya que constituye un elemento de sacrificio, para evitar la oxidación del cromo durante la elaboración de aceros. La comercialización de este tipo de ferroaleación, se realiza en dependencia del contenido de carbono, el cual varía entre 0,03 % hasta aproximadamente, 8 %. Por tanto, para el FeCrNi obtenido, el contenido promedio de 4 %, es adecuado para su uso en la industria siderúrgica como materia prima para la elaboración de aceros especiales, como los previstos a obtener en Acinox Las Tunas, en los próximos años.

Por su parte, los contenidos promedio de los restantes elementos fundamentales para este tipo de materia prima son adecuados para su uso siderúrgico, principalmente, Mn (0,47 %); Si (0,58 %) e Fe (84,4 %), que unido a los bajos valores de azufre (0,12 %) y fósforo (0,016 %), principales, impurezas de la industria siderúrgica, convierten a este producto, en una importante materia prima a evaluar para su utilización en este sector de la economía cubana, con posibilidades de ser comercializada internacionalmente luego del completamiento del estudio de factibilidad, previsto para las próximas etapas de esta investigación.

Adicionalmente, se aprecian contenidos pequeños, pero importantes de Co, Ti y V, elementos de gran importancia para la elaboración de aceros aleados en Cuba, y que aportan valor agregado al FeCrNi obtenido.

De forma general, los resultados de los parámetros de calidad de los FeCrNi obtenidos, están dentro de los rangos establecidos, para garantizar la obtención a mayor escala de este tipo de ferroaleación, usando horno de arco eléctrico de corriente directa, como operación unitaria fundamental, de la tecnología empleada.

Las escorias obtenidas tienen un comportamiento ácido, expresada en los contenidos promedio de SiO_2 (14,22%); Al_2O_3 (18,76%). En la tabla siguiente se muestran los resultados de los análisis químicos de este residuales, el cual será sometido al estudio correspondiente para su reutilización industrial.

La presencia de contenidos promedios significativos de Fe, Ni y Cr en las escorias, indican la necesidad de ajustar el proceso tecnológico para reducir estas pérdidas y la posibilidad de recuperarlos a partir de las escorias. Se comprobó, además, el carácter ácido de las escorias obtenidas como se aprecia en el gráfico siguiente.

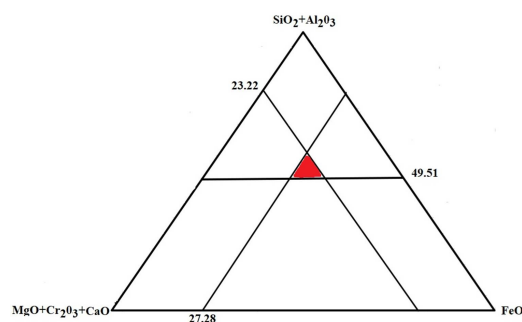
**Figura 2.** Diagrama de escoria del sistema $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{MgO}+\text{Cr}_2\text{O}_3+\text{CaO} - \text{FeO}$.

Tabla 5. Composición química (%) de las escorias obtenidas

Codigo	Ni	Co	FeO	MnO	Al ₂ O ₃	MgO	Cr ₂ O ₃	CaO	SiO ₂
MM-1	3.89	0.051	22.38	0.38	10.28	9.27	2.20	1.28	10.63
MM-2	4.03	0.051	26.56	0.39	20.41	5.28	6.54	1.25	13.94
MM-3	3.09	0.054	14.46	0.40	21.43	14.19	5.64	1.25	15.10
MM-4	2.26	0.056	18.27	0.43	18.16	10.57	4.29	1.26	17.61
MM-5	3.83	0.055	24.29	0.42	20.57	11.53	5.55	1.17	14.02
MM-6	1.78	0.052	17.75	0.42	22.50	17.62	3.97	1.14	15.45
MM-7	4.17	0.060	31.23	0.40	16.85	4.44	5.92	1.11	13.72
MM-8	2.99	0.059	11.39	0.42	25.29	9.45	5.50	1.15	12.15
MM-9	3.76	0.047	12.71	0.43	22.57	3.58	5.60	1.52	11.86
MM-10	3.31	0.047	14.49	0.42	13.73	5.69	5.89	1.29	13.36
MM-11	3.45	0.052	15.38	0.40	20.57	13.36	5.82	1.12	14.56
MM-12	3.38	0.05	13.20	0.38	20.89	10.16	5.44	1.03	14.28
MM-13	4.85	0.051	18.62	0.36	18.76	13.88	5.85	1.11	16.71
MM-14	3.99	0.040	14.85	0.37	17.91	12.69	6.14	1.24	16.34
MM-15	4.30	0.056	28.58	0.37	16.96	6.75	6.55	1.23	12.88
MM-16	3.74	0.049	21.11	0.38	19.39	6.44	7.43	1.12	14.91
MM-17	4.56	0.052	18.74	0.35	13.64	5.50	2.97	1.02	11.45
Promedio	3.65	0.05	18.66	0.39	18.97	9.65	5.39	1.20	14.22

CONCLUSIONES

1. Las características químicas de las materias primas principales utilizadas (cromitas, colas y escombros lateríticos), del fundente (cieno carbonatado) y reductores (carbón antracita +bituminoso), permitieron conformar mezclas metalúrgicas que cumplieron la condición de normalidad y obtener a partir de ellas diferentes tipos de FeCrNi, según el diseño experimental realizado.
2. A partir de las mezclas de conformadas, fue posible la obtención de FeCrNi, con contenidos promedio de los elementos fundamentales, cromo (8,68 %), níquel (1,5%), Fe (84,2%), Mn (0,47%), Si (0,58%), C (3,84%), bajos contenidos de impurezas, S (0,13%) y P (0,016%), empleando una tecnología de fusión-reductora en horno de arco eléctrico de corriente directa. El producto obtenido es apropiado para su utilización como materia prima para la elaboración de aceros especiales en Cuba.
3. La obtención de FeCrNi a partir de materias primas residuales de las industrias del níquel y el cromo en Moa, abren nuevas posibilidades para la aplicación de la economía circular en esta región del país; resultado de gran transcendencia ambiental y social para Moa.
4. Los contenidos de los principales elementos de uso siderúrgico (Fe, Si, Mn, C, Cr y Ni), presentes en la ferroaleación obtenida, garantizan la futura obtención de una materia prima siderúrgica necesaria para la producción de aceros aleados en Cuba.

5. Las escorias resultantes de este proceso de fusión reductora en H.AE de corriente directa, tiene un carácter ácido, con contenidos significativos de SiO₂, FeO y MgO, posibles de reutilizar, principalmente, como material de construcción, a partir de las experiencias nacionales e internacionales.
6. Los contenidos de metales valiosos en las escorias, como Ni, y Cr, indican la necesidad de ajustar y mejorar la recuperación de estos elementos a partir del perfeccionamiento de la tecnología probada en esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Angulo Palma, H. 2024. Sustitución del Petroleo Aditivo por Carbón Bituminoso en el Proceso de Tostación/Reducción de la Tecnología CARON. Santiago de Cuba: Universidad de Oriente. Tesis Doctoral.
- CIS. 2024. Características de la Instalación Experimental para la Fusión de Materias Primas de la Región de Moa. Santa Clara: Centro de Investigaciones de Soldadura. UCLV.
- 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.
- Garcia, V. & Giselle, et al. 2013. Actualización del Conocimiento Mineralógico de Menas Lateríticas y Residuos Solidos de las Industrias Niquelíferas Cubanas. La Habana: V Congreso Cubano de Minería. Geociencias 2013.

- Laboratorio de análisis químico. CEDINIQ. 2024 Resultado de análisis químico de mezclas de minerales. PS104HO001-015. "Obtención de FeCrNi a partir de materias primas de la región de Moa". Moa: CEDINIQ.
- 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.
- Pons Herrera, J. A. 2010. Evaluación de Materias Primas locales para la Producción de FeNi en Moa. Moa: Ferroniquel Minera S.A.
- Pons Herrera, J., & et al. 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. & et al. 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., & 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., Angulo Palma, H., & Ramírez Pérez, M. 2024. Informe de Avance del Proyecto PS104HO001-015. Etapa 02: Caracterización de muestras de materias primas de la Región de Moa. Moa: CEDINIQ.
- Pons Herrera, J., Perdomo, L. C., & et al. 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.
- 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