

## RESEÑA HISTÓRICA DE LA SUSTITUCION DEL GAS DE CARBÓN ANTRACITA COMO REDUCTOR POR PETRÓLEO AÑADIDO DIRECTAMENTE AL MINERAL

Héctor Alepuz Llansana, Elvira Leyva Navarro, Ibette María Ramírez Pérez  
Centro de Investigaciones del Níquel, “Capitán Alberto Fernández Montes de Oca”

*En el presente trabajo se realizó un análisis de la evolución histórica en Cuba de la sustitución del gas de carbón antracita como reductor por petróleo añadido directamente al mineral (aditivo) en el proceso de reducción de la tecnología carbonato amoniacal de obtención de níquel y cobalto. El petróleo aditivo fue totalmente eliminado como variante del proceso a finales de la década de los 80 producto a anomalías en el proceso atribuidas en ese momento a la adición de petróleo, pero en 1993 empezó a aplicarse gradualmente, actualmente es el único reductor que se utiliza y las plantas de gasificar carbón han sido desmanteladas.*

*Se describen los distintos trabajos que se han realizado con petróleo aditivo desde su comienzo en 1968, tanto a escala de laboratorio, banco, planta piloto y aplicación industrial. Se explican las causas que motivaron que esta tecnología desarrollada en Cuba fuera completamente abandonada considerada como perjudicial al proceso, los trabajos y métodos de aplicación que permitieron su introducción, desplazando totalmente al reductor tradicional, el gas obtenido de carbón antracita. Se explican los distintos métodos de adición de petróleo aditivo que se emplearon, sus ventajas y desventajas. La sustitución en la tecnología de reducción con gas por la de petróleo añadido en los molinos de bola, permitió estabilizar la operación de los hornos de reducción, manteniendo la producción de níquel y cobalto en el país.*

**Palabras clave:** petróleo, aditivo, molinos de bolas, hornos de reducción.

*In the present work realizes an analysis of the historical evolution in Cuba of the substitution of the fumes of coal anthracite like reducer by oil added directly to the mineral (additive) in the process of reduction of the technology ammonia carbonate of obtaining nickel and cobalt. The oil additive was totally eliminated as variant of the process at the end of the decade of 80 product to anomalies in the process attributed in this moment to the addition of oil, but in 1993 it started being applied gradually, nowadays it is the unique reducer that is in use and the plants of fumes have been dismantled.*

*There are described the different works that have realized with oil additive from 1968, so much to level of laboratory, bank, pilot plant and industrial application. Are explained the reasons that motivated that this technology developed in Cuba out completely left considered like harmful to the process, the works and methods of application that allowed his introduction, displacing totally to the traditional reducer, the fumes obtained of coal anthracite. Explain to them the different methods of addition of oil additive that they used advantages and disadvantages. The substitution in the technology of reduction with gas for that of oil added in the ball mills, allowed to stabilize the operation of the reduction furnace, which supported the production of nickel and cobalt in the country.*

**Key words:** Oil, additive, ball mills, reduction furnace.

### Introducción

En el proceso carbonato amoniacal de procesamiento de minerales lateríticos el níquel y el cobalto necesitan reducirse a metal antes de ponerse en contacto con las soluciones carbonato amoniacales lixiviadoras. En este proceso de reducción se calienta el mineral con gases obtenidos de combustión incompleta del petróleo, que aportan reductores, pero es necesario añadir mayor

cantidad de los mismos, en Cuba se empleó gas obtenido de carbón antracita en la Empresa Comandante René Ramos Latour (ECRRL), y a partir de 1968, se empleó también petróleo sin combustionar, conocido como petróleo aditivo, añadido directamente al mineral para sustituir parcialmente el gas. En 1990 se obtenían muy malos resultados del proceso en los hornos de la Empresa Comandante Ernesto Guevara (ECECG), debido en gran parte a que la planta de gas de

---

carbón antracita, montada después del fracaso de la planta de gasificación del petróleo, y de añadir petróleo al mineral por dos tipos distintos de equipos, había fracasado. En el proyecto de intensificación de la reducción se definió profundizar en el estudio del uso del petróleo aditivo, pudiéndose definir que las condiciones que permitieron operar con éxito en la ECRRL, y en Yabulu (Greenvale) no se podían aplicar en la Empresa Comandante Ernesto Guevara.

Estudios a nivel de banco, permitieron fijar las condiciones necesarias para poder añadir el petróleo a los molinos. El pilotaje y en dos instalaciones experimentales industriales, montadas a partir de octubre de 1992, permitieron definir el efecto favorable del petróleo y se montó la instalación definitiva con recursos propios en la correa de alimentación a los molinos de bolas. En Junio del 1993, al acabarse el carbón antracita, la instalación permitió la operación exitosa de los hornos. En 1996, se aceptó definitivamente la sustitución del gas por petróleo.

## Metodología de trabajo

Se recopiló, organizó y analizó todos los trabajos realizados a escala de laboratorio, banco e industria realizados en las fábricas del proceso carbonato amoniacal o en el Centro de Investigaciones del Níquel referentes a la sustitución del gas de carbón antracita como reductor por petróleo añadido directamente al mineral en el proceso de reducción.

## Investigaciones preliminares y su aplicación en la Empresa Comandante René Ramos Latour (ECRRL)

La utilización de petróleo añadido directamente al mineral (aditivo) fue investigado a nivel de laboratorio y banco en el Departamento de Investigaciones, en 1968 y 1969. Los buenos resultados/1/ basados en el criterio de incrementar el índice de reducción del níquel, motivaron que los productores comenzaran la introducción del 4 % de petróleo en los hornos industriales a partir de las pruebas en los hornos industriales experimen-

tales. La instalación fue concebida por el personal de la Planta de Hornos utilizando los recursos existentes, introduciéndose el petróleo por la zona intermedia del horno mediante un atomizador. El control de la adición se realizaba por medio de un integrador, y el petróleo se tomaba de la línea de retorno. A pesar de la sencillez y pocas condiciones de la instalación, los resultados industriales provocaron el entusiasmo general y a medida que fue posible la introducción se generalizó. La aparición de afectaciones a la sedimentación motivó que se abandonara la operación. Se aclaró que los problemas de sedimentación se debían a sobrerreducción del mineral por exceso de reductores y se desarrolló mediante pruebas industriales la sustitución de parte del gas obtenido del carbón con petróleo /2/. Con este criterio se llega a definir la adición de petróleo de 7 – 9 kg/t (0,7-0,9 %) de mineral y flujos de gas de 90 m<sup>3</sup>/t en lugar de los 145 m<sup>3</sup>/t usados anteriormente. Este régimen permitía sustituir 1t de carbón a hornos por 0,8 de petróleo. El uso de petróleo aditivo significó un gran aporte económico y simplificación de la operación. Los índices de extracción fueron semejantes aunque muchos defendían el aumento de extracción.

Posteriormente a la introducción industrial, se realizaron experimentos de reducción con petróleo en planta piloto, tanto con mineral mezclado como con la fracción serpentínica del mineral /3, 4/, se utilizó un inyector en la parte media del horno y una prueba corta añadiéndolo en el molino de bolas. No se logró controlar bien la adición y no se pudo definir una tecnología con equipos a nivel industrial, luego se realizaron, a través de temas de tesis de grado y trabajos de experimentación normales muchos trabajos. Todos estos trabajos se hicieron en base de adicionar petróleo y gas, incrementando la cantidad de reductores.

En 1971 se realizó una prueba industrial, en la que se evaluó en una línea de dos hornos la sustitución total del gas por petróleo, demostrándose la operabilidad de los hornos, necesidad de dos inyectores para garantizar la estabilidad de la operación y que el extractable era muy cercano al de la operación con gas, pero la falta de medios para instalar la cantidad de inyectores necesario, la inestabilidad de los equipos de inyección, y sobre todo el aumento de temperatura del enfriador de mineral

---

definieron la interrupción de los intentos de usar petróleo solamente como reductor.

A partir del año 1975 el petróleo subió verticalmente debido a la acción de la OPEP, pero el MINBAS tenía un contrato con la URSS de suministro de una cuota de petróleo a precio fijo anterior a la subida durante el quinquenio. Vender el petróleo no consumido representaba un ingreso apreciable en divisa convertible y por lo tanto la sustitución de carbón por petróleo dejó de ser atractiva económicamente, pues el carbón mantenía el precio de \$30/t y se garantizaba el suministro. La comparación de períodos con y sin uso de petróleo aditivo definió que la extracción en hornos y lixiviación eran muy semejantes y por lo tanto que la reducción con gas no disminuía la producción apreciablemente /5/. A partir de ese momento el petróleo empezó a usarse solamente para compensar el déficit de producción de gas, sobre todo cuando era necesario bajar carga en la Planta de Gas para garantizar la calidad del mismo.

Al arrancar la década del 80, la necesidad de suministrar reductor para altos tonelajes fue desapareciendo debido a la disminución del tonelaje procesado por la planta. Esto junto con la ampliación de la planta de gas, fue disminuyendo la necesidad de uso de petróleo aditivo para compensar déficit de reductores. Con la aparición frecuente de problemas de sedimentación, el deficiente control sobre la adición de petróleo aditivo debido a las deficiencias en las instalaciones de adición del mismo como reductor su uso fue totalmente abandonado en el quinquenio 85 - 90.

Aplicación del petróleo aditivo en la Empresa Comandante Ernesto Guevara (ECECG) durante su arranque

Cuando se decidió la construcción de la actual Empresa Comandante Ernesto Guevara, estaban definidas las deficiencias de la producción de gas y aunque se habían realizado todas las pruebas a nivel de banco, planta piloto y estaba implantado el petróleo como reductor, la decisión fue utilizar gas obtenido de petróleo en lugar de carbón antracita y la reducción con petróleo aditivo no fue evaluada.

La planta de gas de petróleo no pudo arrancar-se y cuando ésta quedó definida había un atraso notable en el cronograma de arranque y puesta en marcha. La reducción con petróleo aditivo quedó como única variante posible aplicable con rapidez, pero el uso de inyectores o atomizadores produjo serias alteraciones del proceso de reducción, afectándose a rangos inaceptables la eficiencia de utilización de equipos y la extracción. Los soviéticos que eran responsables del suministro de equipos plantearon el uso de mezcladoras, como operaba Greenvale. Se fabricaron en la URSS mezcladoras, se reforzó con gran cantidad de científicos y técnicos soviéticos el montaje y arranque de las mismas, y el resultado fue peor que con los inyectores o atomizadores. Bajo el criterio de que el mineral de la Empresa Comandante Ernesto Guevara no podía reducirse con petróleo se decidió la construcción de una planta de gas con carbón antracita. Las instalaciones de adición de petróleo fueron desmontadas.

## Resurgimiento del petróleo aditivo

Al crearse el Centro de Investigaciones de la Laterita, actual Centro de Investigaciones del Níquel (CEINNIQ), como unidad de Ciencia y Técnica empezó a trabajarse con el método de proyectos. En el curso de la tarea de intensificación, se decidió profundizar en el estudio del aditivo, teniendo en cuenta los éxitos de Greenvale y Nicaro en la década del 70 y principios del 80, pues las ventajas del petróleo eran evidentes.

Se realizó una recopilación de la información existente, no solo el uso de petróleo aditivo, sino de los procesos de reducción, lixiviación y sedimentación, y de los cambios sufridos por el mineral en el curso de los mismos. /6 y 7/.

Se realizaron experimentos a nivel de banco sobre el comportamiento del mineral al ser mezclado con el petróleo en los molinos y al cambio de fluidez por las posibles afectaciones en el transporte y almacenaje /8/.

Quedó definido que en el curso de la introducción de la reducción con petróleo aditivo en la ECECG no se habían cumplido los requisitos tecnológicos para garantizar el comportamiento

---

normal del mineral en el curso de la reducción y lixiviación.

El análisis de la producción de gas con carbón demostró que los problemas de suministro, deficiencias de las instalaciones existentes y factores de organización del trabajo, no garantizaría los altos consumos que exigirían las empresas.

El petróleo aditivo comenzó a adicionarse en la parte media del horno mediante atomizadores o lanzas que estaban ubicadas en la parte media del horno, luego se utilizaron las mezcladoras en la alimentación de cada horno y finalmente este se comenzó a adicionar en los molinos de bolas. El análisis detallado de los diferentes métodos de adición para el petróleo aditivo se presenta a continuación.

#### **Atomizador (conocido en la industria como lanza)**

El primer método en aplicarse fue el llamado atomizador, introducido en 1968, debido a la iniciativa de los técnicos y dirigentes de la planta de hornos, en que usando un atomizador o dado, introdujeron petróleo en el hogar 9 (H-9) del horno de reducción, (el horno tiene 17 hogares o pisos, numerados desde H-0 el superior a H-16 el inferior), basándose en el criterio de introducir el reductor en la zona en que ocurre un desprendimiento de H<sub>2</sub>O de composición, que es oxidante. Por problemas del régimen de temperaturas al poco tiempo de trabajo se trasladó al hogar 7 (H-7). Se utilizaron los recursos existentes, y no fue precedido por una investigación con definición de punto de inyección o un proyecto por especialistas. Fue la primera vez que se utilizó petróleo como reductor en una planta industrial y se tomó como objetivo añadir el petróleo al gas como forma de elevar el extractable con buenos resultados, pero provocando la sobrerreducción del mineral, alterando así su comportamiento en lixiviación.

La instalación se realizó de la forma más sencilla y empleando los mínimos recursos. Se montaron para medir el petróleo contadores sin indicación o registro y se tomó el petróleo de la línea más cercana, la de retorno de los quemadores.

Para facilitar la regulación del petróleo se instaló un manómetro a la entrada del petróleo al horno. Estas primitivas condiciones se extendieron a toda la planta y se mantuvieron sin mejoras.

A pesar de que con estos métodos, por falta de flujómetros y recibir la alimentación de una línea de presión variable, era imposible controlar bien el flujo de petróleo al horno, los resultados fueron muy buenos. Pronto quedó evidente que con los mismos o mejores extractables era posible sustituir 1 t de carbón por 0,7 - 0,8 t de petróleo aditivo con amplio resultado económico, pues el carbón valía \$ 30/t y el petróleo 15,40 y se disminuía a un 60 % los generadores de gas en operación, ahorrándose personal y recursos de mantenimiento. Usando dos atomizadores en los hornos 17 y 18, se evaluó la sustitución total del gas con resultados aceptables en extractable y velocidad de sedimentación. En 1976 se evaluó, mediante períodos alternativos de procesamiento con o sin petróleo, la operación con atomizadores, alcanzándose mejores resultados en todos los índices de reducción y sedimentación.

Este éxito fue facilitado por las siguientes causas:

- Existían bombas de petróleo por horno que garantizaban una alimentación estable y continua de petróleo caliente.
- Las líneas de petróleo conservaban condiciones de aislamiento.
- Las plantas de hornos eran muy compactas y con grandes condiciones para supervisar
- Había en cada unidad un operador auxiliar del operador, el pizarrero, que anotaba los datos de la pizarra local, la única que había, y se encargaba de la atención a los atomizadores, pues tenía tiempo libre.

Estas condiciones se perdieron con el tiempo. Las bombas por horno se desgastaron, y fueron sustituidas por bombas para cada unidad, el revestimiento de las líneas de petróleo perdiéndose y al instalarse el panel central, dejó de haber un pizarrero por unidad. El deterioro de los metrocontadores, falta de manómetros y las deficiencias en la operación continuaron. A partir de 1977 el uso de petróleo aditivo fue abandonándose debido al interés del país de ahorrar el petróleo

---

suministrado por la URSS para venderlo en el mercado mundial, conservándose el uso de petróleo para bajar carga y resolver las alteraciones de planta de gas. Se siguió añadiendo ocasionalmente petróleo por atomizadores hasta 1986, en que la construcción de un generador más y el procesamiento de tonelajes más bajos permitieron la reducción con gas solamente.

### **Introducción del petróleo aditivo en el arranque de la ECG**

Al arrancar en la ECECG adicionando el petróleo con atomizadores no existía ninguna condición para el éxito, no había estabilidad de presión y temperatura del petróleo, este se recibía calentado en la casa de petróleo y llegaba con frecuencia por debajo de 60 oC. La línea desde la tubería general al inyector era muy larga, el petróleo se enfriaba, no tenía un personal confiable atendiéndola y no existía la posibilidad a añadir gas para reducir, como en Nicaro, en caso de dificultades insalvables para mantener el petróleo aditivo. El personal de operación, en su interés de resolver el problema, alteraba los atomizadores, provocando la alimentación de petróleo al horno sin atomizar, con daños notables a la operación por formación de nódulos y falta de actividad del petróleo nodulizado. La atención a los atomizadores se convirtió en un problema serio para el Jefe de Brigada y de Turno, convirtiéndose en uno de sus primeros objetivos y se decidió añadirlo con mezcladoras, comprometiéndose la URSS a suministrarlas.

### **Mezcladora**

La mezcladora fue desarrollada en Greenvale cuando decidieron usar petróleo como reductor, debido al éxito en Cuba, primero en Planta Piloto y después a escala industrial. La mezcladora en la planta piloto fue suministrada y arrancada por una casa especializada, la que suministró la industrial. Se sabe que tienen buenos resultados, pero en Cuba los resultados han sido malos. En la Planta Piloto de Nicaro se trató de mezclar en sinfines, sin resultados por dos aspectos: el petróleo se pegaba a los álabes del sinfín que se iban cubrien-

do con una mezcla de mineral y petróleo que crecía hasta varios centímetros y después se desprendía parcialmente formando un terrón bastante consistente. El otro es que los terrones o aglomeraciones que se formaban al caer el petróleo en el mineral no se rompían.

Calentar el petróleo no dio resultado. En el CEINNIQ se instaló una mezcladora de paletas pero no se lograron éxitos. Posteriormente, debido a la facilidad del proceso de cambiar la cantidad de petróleo a añadir al mineral, haciéndose modificaciones en las mismas mezcladoras se logró poner en marcha la instalación. Mezcladoras, diseñadas y construidas en la URSS, fueron instaladas en la Empresa Comandante Ernesto Guevara. No se ha localizado informe, pero en encuestas a 3 de los 4 ingenieros que estuvieron de turno en su arranque, quedó establecido que trabajaron mal desde su arranque.

Hay aclaraciones del personal de operación de que en ocasiones el petróleo líquido llegó al hogar 0 (H-0). Con esta cantidad de petróleo, prácticamente sin mezclar, es inevitable la formación de terrones de gran tamaño, varios centímetros, que al calentarse en atmósfera reductora o neutra forman nódulos que provocan tranques de brazos y dientes, tupiciones en el jacoboy y de los carros de los enfriadores. Debido a las dificultades que presentó el método de adición en las mezcladoras se decidió adicionar el petróleo en los molinos de bolas debido a que la adición en estos permite tener un sólo punto de adición para toda la empresa mientras que los otros métodos exigían un punto de adición en cada horno, la estabilidad de alimentación del mineral a los hornos era muy baja y esto afectaba la adición de petróleo y que la adición en los molinos se realiza en equipos que trabajan continuamente sin interrupción.

### **Alimentación a los Molinos**

La alimentación a los molinos fue probada por primera vez en la Planta Piloto de Nicaro en el curso de las pruebas de reducción con petróleo destinadas a estudiar la posibilidad de incrementar la reducción añadiendo petróleo al mineral reducido con gas. La corrida, una de las 7 efectuadas en 1969, fue la más corta. No se pudo

---

obtener una evaluación sobre el sistema de lixiviación, el contenido de petróleo fue evaluado por cálculo del resultado de calibración de mineral y petróleo añadido y viciado por el hecho de que el molino se incrustó con mezcla de petróleo y mineral sin poderse determinar cuánto del petróleo alimentado se quedó en el molino. En el informe no se recomendó el uso de este método.

Posteriormente, en 1975, se realizó otra prueba con mejores resultados, tomando precauciones para evitar la sobredosis de petróleo y no hubo dificultades con el molino, pero sí en el horno, por lo que fue corta. El contenido de petróleo se evaluó igual que la anterior, por calibraciones del mineral alimentado al molino y del petróleo suministrado. En ambas pruebas se utilizó el gas normal, añadiendo petróleo.

Estas pruebas no permitieron extraer conclusiones claras y el uso de alimentación a los molinos fue rechazado, entre otras cosas, por dudarse de la posibilidad de manejar el mineral con petróleo en el transporte y equipos.

Cuando se decidió revivir el petróleo como reductor, después de que su uso fue abandonado en la Empresa Comandante Ernesto Guevara por la utilización de gas, se realizaron evaluaciones de los métodos conocidos de adición. El análisis de las condiciones de equipos y características de las instalaciones demostró que los métodos de el atomizador y mezcladora exigían muchas condiciones que no existieron en la Empresa Comandante Ernesto Guevara, y que los fracasos de ambos métodos eran inevitables por las razones antes expuestas. El método de adición de petróleo en los molinos tenía grandes ventajas, pero eran necesarias premisas para garantizar el éxito, como eran:

- 1- Montar un método de análisis de petróleo en el mineral.
- 2- Prever el punto de adición y estudiar las exigencias que conllevaba.
- 3- Definir el comportamiento del mineral con petróleo en los distintos pasos, desde el punto de adición hasta el horno.

Al cumplirse estos puntos, previsto el punto de adición en la correa caliente que transporta el

mineral secado a los molinos, efectuados los estudios del efecto del comportamiento del mineral con petróleo en correas, tolva de almacenaje, molinos, transporte, etcétera, y definido que para que surgieran dificultades era necesario añadir más del 8 % de petróleo, se planificó y realizó la prueba en la Planta Piloto del CEINNIQ, añadiendo petróleo en el molino, confirmándose con la estabilidad de la operación del horno y lixiviación que el mineral reducido con petróleo solamente, sin gas, que se operaba perfectamente y se podían obtener extracciones comparables con la reducción con gas, con valores de petróleo menores de 2,5 %.

Se planificó y ejecutó la prueba piloto /8/. Al concluirse la prueba piloto, la producción de gas en la ECECG estaba en crisis constante y se definió la introducción en la misma. Lo que se logró en el curso de finales del 92 /9/ y primer semestre del 93 /10 y 11/. A partir de entonces se empleó alternativamente la reducción mixta de gas y petróleo o petróleo solo, mientras se consolidaba la aplicación industrial hasta que en 1996 se dejó de usar el gas definitivamente /12/.

En 1994 se realizó el trabajo que demostraba que la reducción con petróleo sería más económica que con gas en las Camariocas y se decidió cancelar los trabajos de construcción de la planta de gas proyectada.

En la ECRRL la adición de petróleo fue demorada por el concepto de que afectaba la sedimentación y en la planta las afectaciones por esta causa eran constantes. Al ocurrir una avería en la Planta de Gas se operó con petróleo solamente /13/ y no solo no ocurrieron afectaciones, sino que la situación de la sedimentación mejoró notablemente y en el año 1996 se paró definitivamente la Planta de Gas.

De esta forma una tecnología de reducción, declarada inoperante por atribuirle fenómenos colaterales al método y no a la calidad de aplicación, quedó totalmente implantada, debido a un correcto trabajo de desarrollo, basado en la utilización de la información existente, profundización en el estudio de los procesos, trabajos de banco, pilotajes e introducción siguiendo un proyecto con una dirección técnica, rompiendo esquemas basados en criterios generalizados.

---

En cuanto a los diferentes métodos de adición, su comparación se resume en la tabla siguiente,

definiendo que la adición en los molinos era la variante a desarrollar.

Tabla 1  
Comparación de los diferentes métodos de adición del petróleo aditivo

	Inyector	Mezcladora	molino
1. Puntos de inyección	24	24	1
2. Consumo de energía eléctrica Mwh/año	0	3000	0
3. Coste de inversión	Regular	Alto	Bajo
4. Exigencia en calidad de petróleo	Alto	Alto	Bajo
5. Cantidad de trabajadores	58	20	5
6. Coste de mantenimiento	Bajo	Alto	Muy bajo
7. Dependencia de la estabilidad de alimentación al horno	Alto	Alto	Ninguno
8. Necesidad de almacenar y transportar mineral con petróleo	No	No	Si

### **Cronograma de introducción del petróleo aditivo como reductor**

A continuación se presentan las acciones que se fueron realizando, el objetivo de cada

una de ellas y los métodos de adición del petróleo que permitieron la sustitución total del gas de carbón antracita por el petróleo aditivo en el proceso de reducción en la industria del níquel en Cuba.

Tabla 2  
Cronograma de introducción del petróleo aditivo como reductor

Año	Acción	Objetivo	Método de adición
1968	Experimento en laboratorio, prueba deficiente en Planta Piloto y arranque industrial añadiendo petróleo además de la totalidad del gas.	Incrementar el grado de reducción, petróleo más 100 % de gas.	Atomizador
1969	Dificultades en la sedimentación y eliminación del petróleo como reductor.	Disminuir coste, 50 % más 50 % de gas	Atomizador
1970 - 1975	Generalización con cantidades limitadas de petróleo y gas.	Disminuir coste, 50 % más 50 % de gas	Atomizador
1975 - 1986	Uso eventual ECRRL, Nicaro para compensar falta de gas.	Compensar deficiencia de suministro de gas, uso en algunos hornos	Atomizador en la parte media del horno
1985 - 1986	Puesta en marcha ECECG. Uso de petróleo como reductor con malos resultados. Decisión de construir planta de gas de carbón antracita.	Sustituir completamente el gas por petróleo	Atomizador en la parte media del horno y mezcladora
1987	Construcción de Planta de Gas en la ECECG, Punta Gorda. Se deja de usar en ECRRL, Nicaro. Se decide construir Planta de Gas en Camariocas.		
1990	Análisis de causas de alteraciones del proceso por el uso de petróleo, Centro de Investigaciones de la Laterita.		
1991	Definición de posibilidad de uso de petróleo como reductor. Prueba exitosas en Planta Piloto previos trabajos de banco.	Sustituir completamente el gas por petróleo	En los molinos de bolas
1992	Comienzo de prueba industrial en la ECECG.		En los molinos de bolas
1993	Puesta en marcha de la instalación de adición de petróleo, ECECG.	Incrementar el grado de reducción. Disminuir coste, 50 % más 50 % de gas.	En los molinos de bolas
1994	Comienzo de experimentación en ECRRL.		En los molinos de bolas
1995	Introducción paulatina en la ECECG y ECRRL para disminuir el gas.		En los molinos de bolas
1996	Se implanta totalmente el petróleo como reductor. Las Plantas de Gas se desmantelan y el carbón existente se pone a la venta.		

## Conclusiones

Como resultado del análisis de la evolución histórica del uso de diferentes reductores en la Industria del Níquel en Cuba, se pudo establecer que mediante la aplicación de un correcto proceso de investigación y desarrollo, fue posible implementar la tecnología de reducción con petróleo (aditivo) eliminando completamente la reducción con gas, lo que permitió eliminar una tecnología difícil de operar, por ser el gas explosivo y venenoso, disminución del esfuerzo físico por parte de los trabajadores y eliminar los límites de capacidad de producción provocados por la planta de gas.

## Bibliografía

1. Alepuz. H., Enrich A., *Recopilación de parámetros variables en las etapas con y sin petróleo aditivo. Informe proyecto de investigación*, 1976.
2. Alepuz H., *Estudio de factibilidad del uso de petróleo como reductor*, 1990.
3. Alepuz H., *Comportamiento del mineral laterítico al mezclarse con el petróleo*, Reporte Técnico 1991.
4. \_\_\_\_\_, Rodríguez V., Aldana E., *Reducción de mineral de la ECECG con petróleo, Reducción, Lixiviación y Sedimentación, Informe proyecto de investigaciones*, 1992.
5. Alepuz H., *Efecto de la adición de petróleo en los molinos sobre el comportamiento en los equipos*

- 
- de transporte, almacenaje y operación, Informe de progreso, 1992.*
6. \_\_\_\_\_, *Tarea técnica para la adición de petróleo en la correa caliente de secaderos, 1993.*
  7. \_\_\_\_\_, Rodríguez V., Tamayo P., *Introducción de la tecnología de reducción con petróleo en la ECECG. Informe final, 1993.*
  8. \_\_\_\_\_, Majendíe R., Ramírez I., *Informe final, Proyecto perfeccionamiento de la adición de petróleo aditivo, Etapas 01 a 08, 1996.*
  9. \_\_\_\_\_, Rodríguez V., *Arranque de la reducción con petróleo aditivo en la ECECG, 1995.*
  10. Onishin B.I., *Reducción con petróleo de minerales lateríticos, Etapa de laboratorio y banco, Reporte Técnico, 1969.*
  11. \_\_\_\_\_, *Reducción de serpentina con petróleo en Planta Piloto, Reporte Técnico, 1970.*
  12. \_\_\_\_\_, *Reducción con petróleo de minerales lateríticos, Planta Piloto, Reporte Técnico, 1970.*
  13. Saavedra C., *Aplicación industrial de la adición de petróleo en la reducción de las lateritas níquelíferas en los hornos Herreshoff de Nicaro. Reporte Técnico, 1971.*