

ESTRATEGIA PARA LA EVALUACIÓN TECNOLÓGICA EN LA ETAPA EXPLORATORIA DEL ANÁLISIS COMPLEJO DE PROCESOS EN PLANTAS DE GASES INDUSTRIALES

Juan Pedro Hernández Touset, Agustín García Rodríguez, Erenio González Suárez
Universidad Central de Las Villas

El objetivo del trabajo ha sido establecer una estrategia que asegure la evaluación tecnológica y contribuya a fortalecer la etapa exploratoria del Análisis Complejo de Procesos, con vista a la intensificación de plantas de gases industriales, de modo que permita contribuir, ya en esa etapa del análisis, a superar las limitaciones de eficiencia que prevalecen en las instalaciones en producción.

Se estiman las pérdidas de recursos financieros y se realiza la evaluación económica de las modificaciones propuestas como resultado de la aplicación de los métodos de control de la operación y el diseño.

Mediante la validación y generalización de la estrategia en cuatro plantas, se identifican y corrigen las deficiencias tecnológicas y las pérdidas de recursos financieros asociados a éstas; se determina el grado de asimilación tecnológica, a través de los resultados de la aplicación de métodos de control de la operación y del diseño en cada una de las etapas, el ciclo de circulación de aire y la red de intercambio térmico, y se definen los parámetros, variables e indicadores, que se deben considerar en la evaluación de estas tecnologías.

La estrategia aporta soluciones a limitaciones que aún prevalecen en las metodologías aplicadas, favorece la reducción de los plazos en una estrategia de intensificación y, por consiguiente, los costos de investigación y desarrollo, consolidando la excelencia, la innovación y la anticipación en la Gestión Tecnológica de las Empresas.

Palabras clave: *evaluación tecnológica, fraccionamiento de aire, gestión tecnológica.*

The objective of the work has been to set a strategy that assures the technology assessment and contributes to strengthen the exploratory stage of the Complex Analysis of Processes for the intensification of industrial gases plants, so that it allows to contribute, already in that stage of the analysis, to overcome the limitations of efficiency that prevail in the facilities in operation.

Losses of financial resources are considered and the economic evaluation of the modifications proposed as a result of the application of methods for operation and design control is carried out. By means of the validation and generalization of the strategy in four plants, technology deficiencies and losses of financial resources associated to these are identified and corrected; the degree of technological assimilation is determined, by means of the results of the application of methods for control the operation and design in each stage, air circulation cycle and heat exchanger network and the parameters, variables and indicators that should be considered in the assessment of these technologies are defined.

The strategy offers solutions to limitations that still prevail in the applied methodologies, favours the reduction of the terms in an intensification strategy and consequently the researching and development cost, consolidating the excellence, the innovation and the anticipation in the Technology Management of Companies.

Key words: *technology assessment, air fractionating, technology management.*

Introducción

Varias instalaciones de procesos químicos introducidos en el país a través de los diversos mecanismos de transferencia tecnológica, han operado ineficientemente, desde el propio inicio de sus operaciones, con comportamientos anó-

malos, sin la adecuada proyección de las innovaciones tecnológicas y con significativas pérdidas de recursos materiales y financieros, siendo necesario que se puedan elaborar decisiones para su intensificación en el menor tiempo posible, por lo

que lograr recomendaciones útiles al proceso, ya desde la etapa de profundización científica y ordenamiento de la documentación (exploratoria) en el Análisis Complejo de Procesos /1/, es un problema cardinal para la economía del país.

La aplicación de la estrategia contribuye a fortalecer la etapa exploratoria del Análisis Complejo de Procesos (ACP) y a la mejor definición de los objetivos de intensificación a través de la caracterización de las instalaciones, la aplicación de procedimientos de control de la operación y el diseño para la identificación de las deficiencias tecnológicas de las plantas, la estimación de los perjuicios económicos asociados y la definición de las modificaciones necesarias mediante un análisis integral de la tecnología; aspectos que contribuyen a la minimización de los gastos en el ciclo de vida de las plantas y al incremento de la eficiencia de los procesos industriales.

En correspondencia con lo expresado anteriormente, el objetivo de la investigación consistió en establecer una estrategia, que asegure la evaluación tecnológica y contribuya a fortalecer la etapa exploratoria del Análisis Complejo de Procesos con vista a la intensificación de plantas de gases industriales, de modo que permita contribuir ya en esa etapa del análisis, a superar las limitaciones de eficiencia de las instalaciones en producción. Reducir los índices de consumo energético, con el consiguiente aumento de la eficiencia térmica del proceso, constituye el objetivo fundamental de intensificación de una planta de fraccionamiento de aire.

La estrategia se valida y generaliza en las plantas de fraccionamiento de aire localizadas en Santa Clara, Camaguey, Palmira y Guanabacoa.

Fundamentación teórica

Con la incorporación de procedimientos de evaluación de la tecnología como una herramienta más en la etapa del proceso de dirección estratégica de la tecnología se consolida el conocimiento acerca del estado de la tecnología y se definen los objetivos de intensificación del proceso contribuyendo con ello al análisis de la competitividad y el potencial de la tecnología./2/

En correspondencia con las consultas a las metodologías de evaluación tecnológica, se puede afirmar que las estrategias van dirigidas a evaluar los impactos potenciales y probabilidades de éxito de las tecnologías, tanto por los suministradores como por los receptores, pero es insuficiente la información al alcance de estos últimos, en cuanto a estrategias que permitan definir el estadio en que se encuentra la gestión tecnológica, y a métodos o procedimientos particulares que se puedan aplicar a diversas instalaciones y que permitan definir medidas correctivas para pasar de un estadio a otro superior en la asimilación tecnológica.

En proyectos de evaluación reportados /3/, se alcanza la intensificación de los procesos a través de estudios completos, generalmente extensos y costosos que culminan con la renovación o sustitución de equipos; sin embargo, no se reporta la ejecución de procedimientos previos de control operacional de equipos y etapas, con sus respectivos análisis económicos para identificar deficiencias tecnológicas, cuyos resultados son de gran valor para definir los objetivos de intensificación.

La estrategia se sustenta en el análisis de la información en cuanto a tecnologías de producción, estudios, investigaciones y procesos de innovación realizados por las industrias, elementos conceptuales del tema, herramientas de ingeniería, opcionalmente adecuadas para la evaluación técnica, datos de proceso y la documentación de diseño y de operación.

En la etapa exploratoria del ACP se requiere estudiar el objeto que se quiere analizar, donde se definen los parámetros, procesos, elementos que lo integran y caracterizan, se actualiza la información científica y documentación técnica, se analizan los trabajos de investigación existentes y se elabora en un plazo breve el informe inicial de la estrategia del ACP y en la cual se puede recomendar la ejecución de tareas adicionales de profundización científica; aquí deben resolverse un grupo de insuficiencias del método, por lo que se ha recomendado:

1. Reforzar los análisis en cuanto a las particularidades del mecanismo de transferencia tecnológica por el cual fue adquirida la instalación.

2. Incorporar la tarea de localización y análisis de las modificaciones tecnológicas (innovaciones) ejecutadas por la industria desde su puesta en marcha.

3. Incorporar la aplicación de los métodos del análisis termodinámico en la evaluación de las etapas independientes, las redes de intercambio térmico y del proceso en su totalidad en las plantas de fraccionamiento de aire.

4. Reforzar la aplicación de procedimientos para el control de la operación y del diseño de equipos y sistemas auxiliares.

5. Incorporar, como parte del análisis económico, la estimación de las pérdidas de recursos financieros por deficiencias de la tecnología y el análisis del efecto económico y de la rentabilidad de las modificaciones.

Los resultados obtenidos en esta etapa del ACP con la incorporación de estos aspectos, contribuyen a elaborar una estrategia con mayor definición en los objetivos y objetos para la intensificación del proceso.

Métodos utilizados y condiciones experimentales

Como se observan en el diagrama heurístico (anexo 1), la estrategia comienza con la definición del contexto de evaluación que puede ser un equipo, una sección del proceso, un sistema auxiliar o la planta en su totalidad.

Atendiendo a la concepción de la estrategia, esta comprende las fases de diagnóstico, diseño de acciones técnico - organizativas y evaluación.

La caracterización de la instalación y la tecnología y la identificación de las deficiencias tecnológicas es un paso que incluye varias tareas y se corresponde con la fase de diagnóstico de la estrategia. El análisis de los parámetros de operación, la localización de modificaciones realizadas

desde la puesta en marcha, el análisis de las particularidades del mecanismo de transferencia de la tecnología, son los elementos que más contribuyen a la identificación de las deficiencias de la tecnología. Las deficiencias operacionales se pueden identificar, superar y mejorar, mediante el análisis de la documentación que rige la operación y la aplicación de métodos para la intensificación del proceso (modelación, simulación, etcétera). Las deficiencias de la tecnología y del equipamiento se definen y corrigen mediante la aplicación de métodos de control de la operación y el diseño. En esta etapa se confirman los resultados de la caracterización de la instalación y de la tecnología.

La evaluación técnica se realiza en tres módulos, es decir, equipos independientes, ciclo de circulación de aire y red de intercambio térmico. Primero en las etapas independientes, equipos y sistemas del proceso principal y de los sistemas auxiliares, mediante el uso de los métodos más adecuados, de acuerdo con las características de los mismos. Cada resultado de la evaluación se confronta con la documentación de la planta y la literatura. Atendiendo a la falta de correspondencia entre estos, se definen las modificaciones que requiere el esquema tecnológico.

Una vez obtenidos los resultados esperados, se realiza la evaluación del ciclo de circulación de aire (ciclo de refrigeración) mediante la aplicación del análisis termodinámico que incluye el análisis de pérdidas o distribución de la energía. En esta etapa de la estrategia se realiza la confrontación de los valores de los parámetros de operación y de eficiencia del proceso calculados con los valores reportados por la documentación de la planta o la literatura. De igual forma que en la evaluación de las etapas o equipos, se definen las modificaciones necesarias de manera que permitan acercar los resultados calculados a los reportados.

La evaluación de la red de intercambio térmico (RIT) se realiza mediante la utilización del Análisis del Pellizco (Linnhoff, 1996)/4/; método de integración de energía que en este caso se aplica con el

objetivo de conocer el comportamiento termodinámico del proceso, la estructura de la red en cuanto a cantidad y ubicación del equipamiento, los requerimientos mínimos de energía en cada nivel de temperatura y de realizar las modificaciones que permitan reducir los costos de servicios y de inversión, objetivos que se cumplen con la interpretación de los resultados que ofrece el procedimiento.

La RIT puede requerir o no de ajustes, en correspondencia con los resultados de la aplicación del método, tales como el diagrama de rejillas y las curvas compuestas.

Con resultados obtenidos en los tres módulos de evaluación se definen y corrigen las deficiencias tecnológicas, se estiman las pérdidas de recursos financieros y se realiza la evaluación económica de las modificaciones propuestas como resultado de la evaluación. En un paso de toma de decisiones se puede optar por modificar el esquema tecnológico a través de un proyecto de inversión. A partir de aquí, se continúa la aplicación del análisis complejo de procesos para la intensificación del proceso.

Es importante llevar a cabo acciones técnico-organizativas en cuanto a sensibilización y reenfoque; cambios del cuadro mental de las empresas y estrategias de anzuelo, incluyendo

estas últimas la promoción de innovaciones tecnológicas y realización de diagnósticos y la realización de proyectos pilotos y demostración para difundir resultados.

Es a través del diagnóstico que se logra definir el estadio en que se encuentra una planta de fraccionamiento de aire; con ello se evita el estancamiento por no asimilar o apropiar la tecnología en correspondencia con el grado de conocimiento del personal acerca de la tecnología.

Resultados y discusión

A modo de ejemplo se muestran algunos de los resultados de la evaluación de dos de las plantas.

En la evaluación de la turbina de expansión de la planta de oxígeno de Santa Clara se determina una eficiencia termodinámica de 27 %, muy inferior a lo que define el proyecto y reporta la literatura. La turbina alcanzaría un 80 % de rendimiento termodinámico cuando el aire de entrada adquiriera una temperatura de - 90 °C (mínima definida por proyecto).

En la tabla 1 se muestran los valores reportados y calculados de algunos de los principales indicadores de eficiencia en la planta de oxígeno de Santa Clara.

Tabla 1
Resultados de la evaluación del ciclo de circulación de aire en la planta de oxígeno de Santa Clara

Indicador	Valor reportado	Valor calculado
Trabajo mínimo reversible (kWh/kmol de aire)	1,54 (Perry, 1959)	5,91
Índice energético de eficiencia (kWh/m ³ de oxígeno)	2 (Documentación técnica)	6,12
Rendimiento termodinámico (%)	15 - 20 (Perry, 1973)	11,68

La evaluación de la red de intercambio térmico (RIT) mediante la aplicación del método de Análisis del Pellizco Térmico permitió definir el requerimiento mínimo de enfriamiento y las modificaciones al esquema actual, que consistieron

en instalar un equipo de intercambio de calor antes del licuador con el objetivo de mejorar la transferencia de calor y evitar un cruce térmico del punto de pellizco, y en instalar un equipo de refrigeración después del licuador, con el objetivo

de disminuir el tiempo comprendido entre la compresión y el fraccionamiento del aire.

Las pérdidas de recurso financieros por deficiencias de la tecnología, han provocado reducciones considerables de producción de oxígeno. Operando 25 años con la deficiencia, las pérdidas han sido de \$ 378950,00 (MLC). La

incorporación de un sistema de enfriamiento al esquema tecnológico original aportaría el 48 % de los ingresos por la eliminación de las pérdidas, con un período de recuperación de la inversión de 9 años.

En la tabla 2 se muestran los resultados de la aplicación del análisis termodinámico para la

Tabla 2
Resultados del análisis de pérdidas

Wst = Wmin + Wperd	kW	% de Wst
Wmin	823,63	53,26
Pérdidas compresión	76	4,91
Intercambiador principal	275,73	17,83
Columna	370,87	23,98
Trabajo real (W _{ST})	154,23	100

determinación de requerimientos de energía y distribución de pérdidas en la planta de fraccionamiento de aire de Guanabacoa. En esta instalación las principales pérdidas de

disponibilidad de trabajo se concentran en el intercambiador principal y columna de fraccionamiento, por lo que constituyen objetos de intensificación.

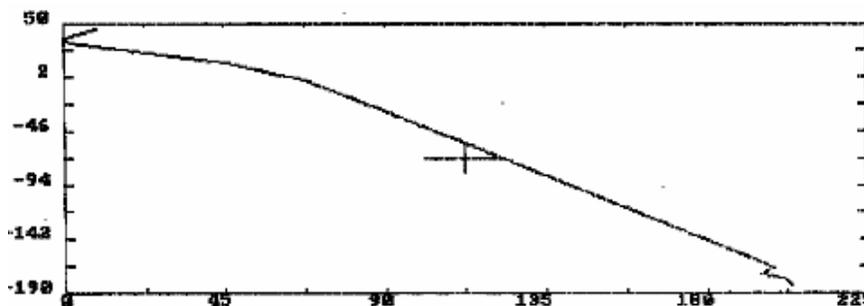


Fig 2 Gran curva compuesta de la RIT de la planta de Guanabacoa.

Como resultado de la aplicación del análisis del pellizco se caracteriza térmicamente el proceso. En la figura 2 se muestran los niveles de temperatura en que se obtienen los requerimientos mínimos de enfriamiento y calentamiento para un $D T_{min}$ de 10 °C.

El proceso requiere mayormente servicios de enfriamiento (figura 2). Solo aparece una zona en un intervalo de temperatura mas estrecho (-160 a -183 °C) donde se realiza el intercambio entre corrientes de proceso y donde el requeri-

miento mínimo energía no debe ser mayor de 195 kW.

El servicio de enfriamiento menos costoso se debe realizar en el intervalo de 35 y 10 °C donde se maximiza el uso del servicio frío más caliente. El uso del servicio caliente más frío y por tanto menos costoso se encuentra en el intervalo de 35 a 45 °C aproximadamente.

La tabla 3 muestra los principales parámetros de evaluación en dos de las etapas evaluadas y en el proceso de la planta de fraccionamiento de aire de Guanabacoa.

Tabla 3
Aspectos a considerar en la evaluación de las etapas y proceso de la planta de fraccionamiento de aire de Guanabacoa

Etapas/Proceso	Aspectos a considerar en la evaluación
Compresión de nitrógeno de recirculación.	eficiencia de compresión, consumo de agua en enfriadores, calor absorbido por el nitrógeno en las etapas de compresión
Unidad de enfriamiento de nitrógeno.	eficiencia del compresor, consumo de agua de enfriamiento en el condensador de freón, potencia frigorífica
Turbina de expansión de nitrógeno.	eficiencia, flujo de nitrógeno
Proceso (ciclo de circulación de aire)	eficiencia, consumo específico de energía, pérdidas de disponibilidad de trabajo
Red de intercambio térmico.	niveles y cargas de enfriamiento y calentamiento(demanda mínima teórica de energía)

Las características específicas de cada instalación de fraccionamiento de aire demanda adecuaciones y extensiones a la aplicación de la estrategia propuesta para incrementar el impacto técnico económico inmediato de la etapa exploratoria del Análisis Complejo de Procesos, siendo las siguientes:

- Tipo de ciclo en cuanto a presión (baja, media o alta).
- Modo de producción(tipo y estado de agregación del producto final)
- Sistemas de enfriamiento de aire o nitrógeno.
- Comportamiento de los requerimientos de servicios con respecto a la diferencia global mínima de temperatura.

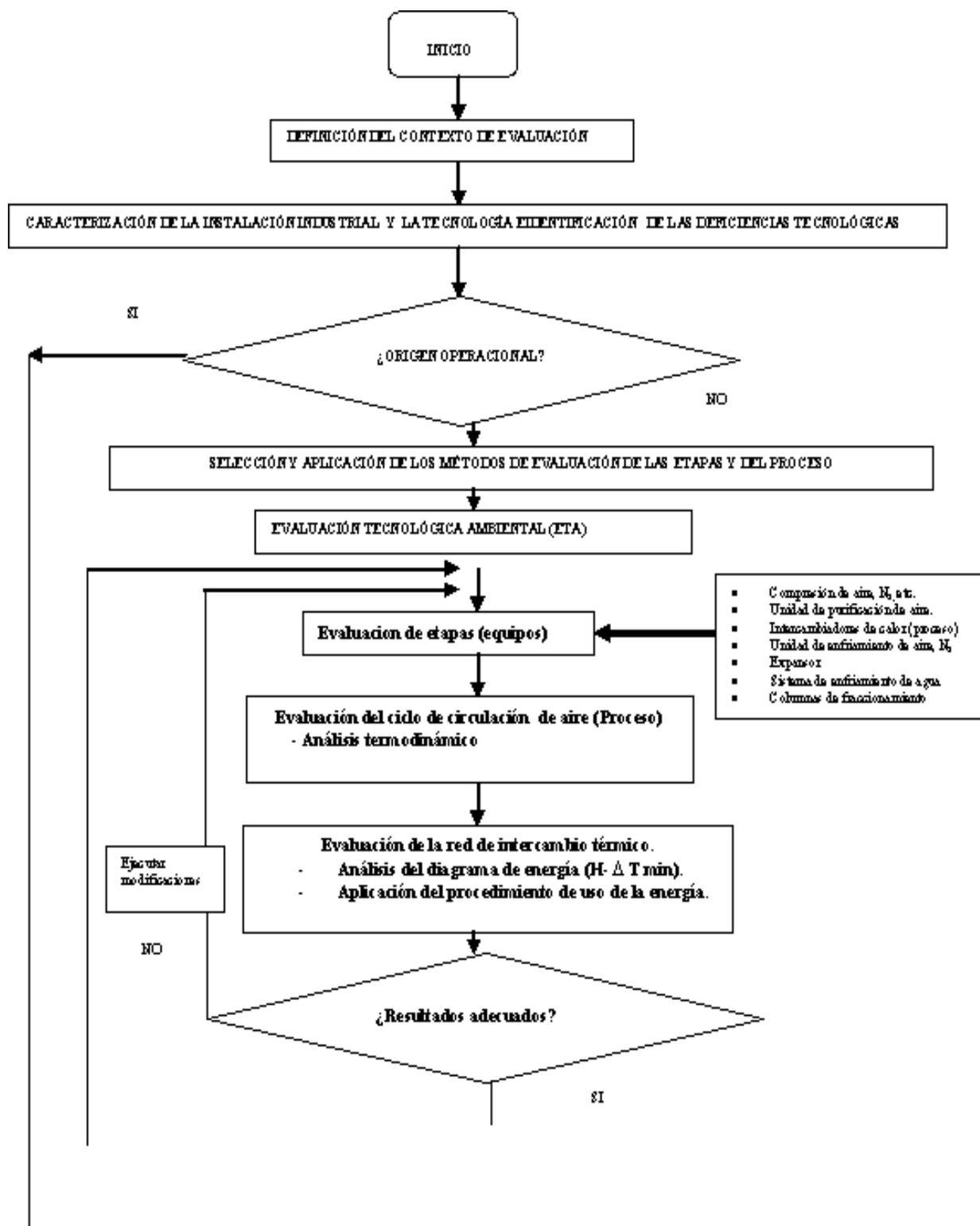
Conclusiones

1. La estrategia desarrollada asegura la evaluación de las tecnologías a través del diagnóstico, acciones técnico - organizativas y evaluación técnico – económica en la etapa de profundización científica y ordenamiento de la documentación, a la vez que aporta soluciones, informaciones útiles para la intensificación del los procesos y consolida la excelencia, la innovación y la anticipación en la Gestión Tecnológica de las Empresas.
2. Mediante la incorporación de la Estrategia para la evaluación tecnológica en la etapa de exploratoria del Análisis Complejo de Procesos se da solución a limitaciones que aun prevalen en las metodologías aplicadas.
3. La incorporación de la evaluación de la red de intercambio térmico y del análisis termodinámico en los estudios exploratorios de un análisis de procesos, permiten determinar, ya en esta temprana etapa del estudio, los requerimientos mínimos de energía, los niveles adecuados de temperatura y energía en cada parte del proceso y ubicación de equipos, lo cual favorece la reducción de los plazos en una estrategia de intensificación y por consiguiente los costos de investigación y desarrollo.

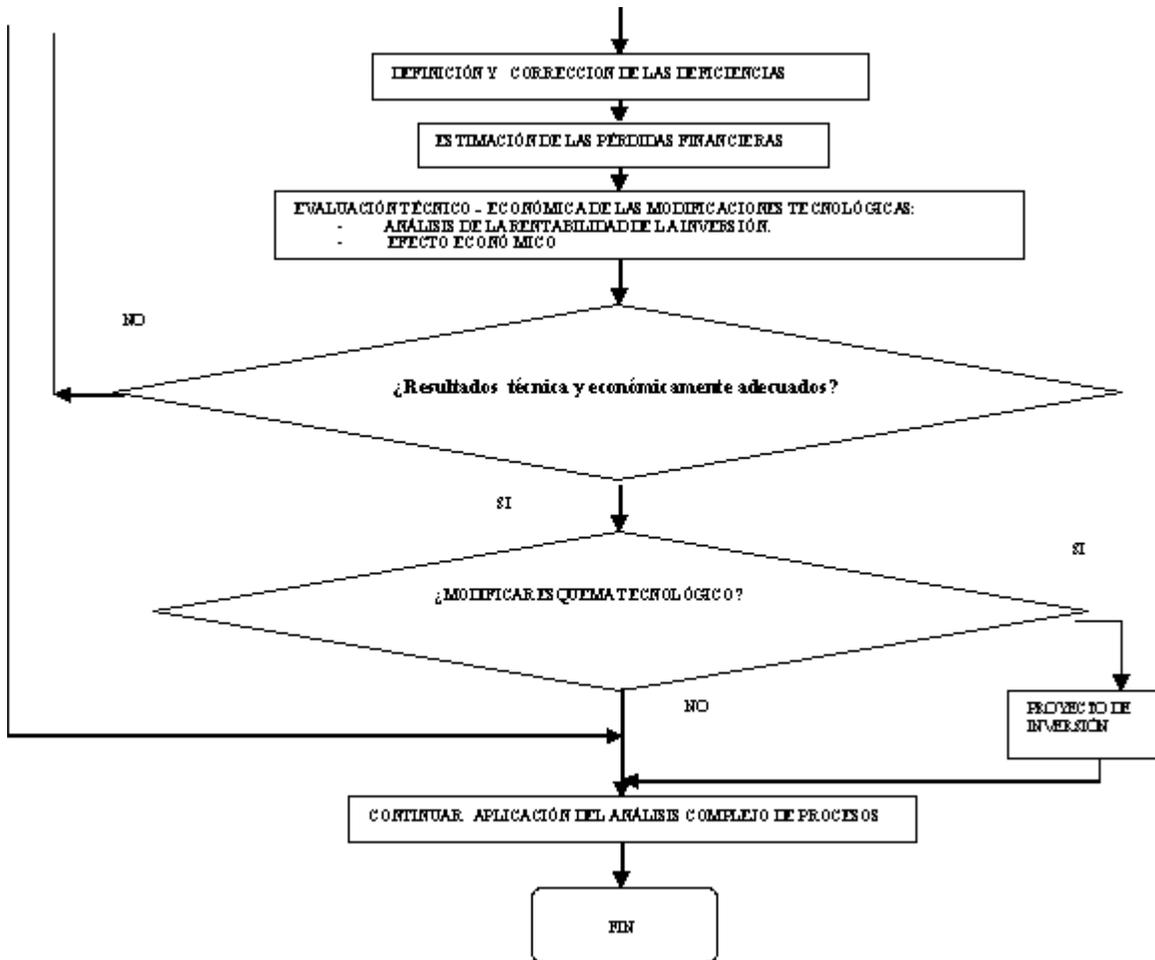
Bibliografía

1. González S., E.: “Utilización del análisis de procesos en la intensificación de la producción en distintas industrias de Cuba”, Tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias, UCLV, Cuba, 1991, pp. 10 -18.
2. Hernández T., J. P.: “Estrategia para la evaluación tecnológica en la etapa exploratoria del Análisis Complejo de Procesos en plantas de gases industriales”, Tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias, UCLV, Cuba, 2008, pp. 5.
3. Expertos de Appleton Papers, Inc.: “Appleton Papers Plant – Wide Energy Assessment Save Energy and Reduces Water”, U.S. DOE, Washington, D.C., March 2002. <http://www.oit.doe.gov>.
4. Linnhoff, B.: “A User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy”, Warwick Printing Company Ltd, 1996, 247 p.
5. Linnhoff, B.: “Introduction to Pinch Technology”, Ed. Linnhoff March, 1998. <http://www.linnhoffmarch.com>.

ANEXO I



(continuación anexo 1)



Graf. 1 Estrategia para la evaluación tecnológica de plantas de fraccionamiento de aire