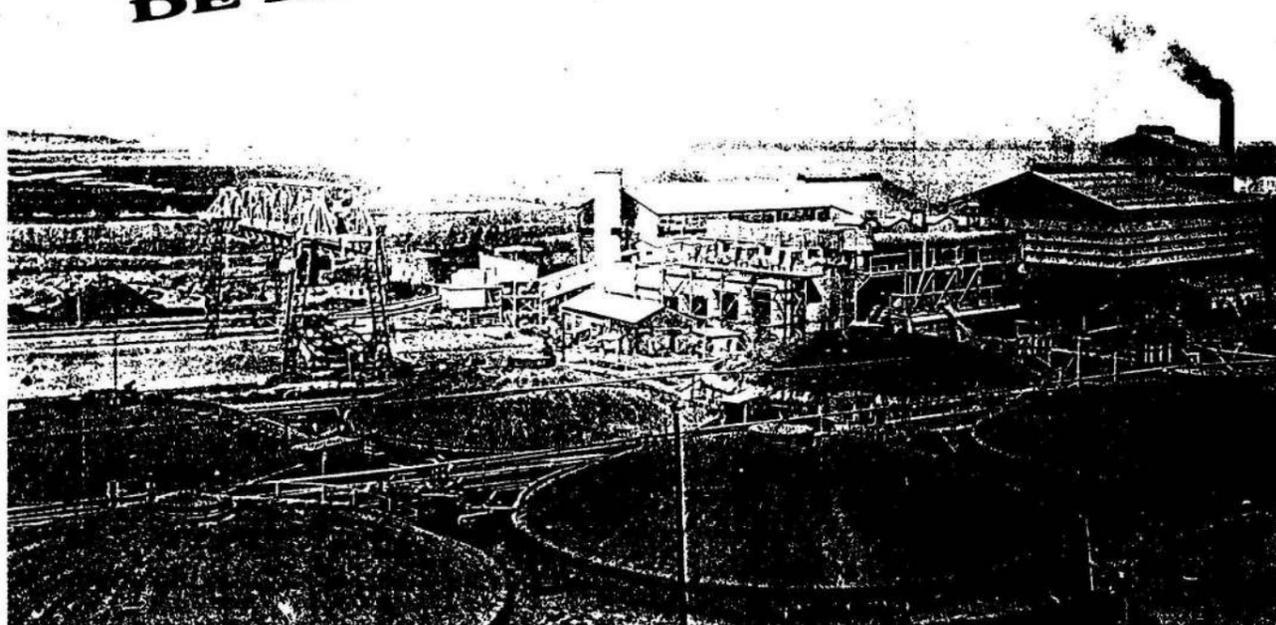


- Los resultados de la caracterización química de los depósitos de las uniones soldadas por termita, aseguran un posible campo de aplicación en la soldadura de aceros.
- Al optimizar el diseño de experimentos, la ecuación de regresión obtenida, demuestra que la variable que más influye sobre el desarrollo de la reacción aluminotérmica es la relación másica aluminio:cascarilla.
- Al analizar los resultados del diseño de experimento podemos decir que el segundo es el que presenta las mejores características para ser utilizado en la soldadura de aceros con un tamaño de granos de la cascarilla de 0,65 mm máxima compactibilidad y relación másica aluminio-cascarilla 1:3.
- Según la valoración económica, la obtención de un kilogramo de metal depositado tiene un costo bajo, lo que demuestra la factibilidad de la utilización de estas materias primas en la formulación de termitas para la soldadura.

## BIBLIOGRAFÍA

- GARCÍA ZAYAS, JESÚS: *Metalurgia y Electricidad*, no. 612, pp. 92-99, junio, 1989.
- : *Metalurgia y Electricidad*, no. 624, pp. 133-141, julio-agosto, 1990.
- O'BRIEN, R.L.: *Welding Handbook*, vol. 2, Ed. Miami American Welding Society, 1992.
- LORENZO PÉREZ, CELIA ROSA: *Alternativas de obtención de termitas para soldar aceros al carbono*, Trabajo de Diploma, 1994.
- LÓPEZ PLANES, REINALDO: *Diseño estadístico de experimentos*, pp. 203, Ed. Científico-Técnica, 1988.
- Análisis espectral cualitativo y semicuantitativo visual de muestras metálicas. Procedimiento analítico del Centro de Investigaciones de Soldadura*, Villa Clara.
- NC 04-56 1983: *Determinación gravimétrica de silicio*.
- NC 04-20 1979: *Determinación del contenido de carbono por el método gasovolumétrico en hierro fundido y aceros*.
- NC 04-74 1985: *Determinación del contenido de azufre por el método gasovolumétrico en hierro fundido y aceros*.

## APROVECHAMIENTO DE RECURSOS MINERALES



## Metodología integral para evaluar la efectividad de utilización del volumen de trabajo del equipamiento bioquímico, químico e hidrometalúrgico

Dr. Ing. José I. Rodríguez Domínguez  
Lic. Javier Barriel Creagh  
Lic. Oris Silva Dieguez  
Lic. Alfonso Fuentes Martín  
Dr. Académico I.N. Beloglasov\*

Instituto Superior Minero Metalúrgico  
\* Instituto de Minas de San Petersburgo, Universidad técnica,  
San Petersburgo, Rusia

**RESUMEN:** Debido a la gran importancia que reviste la utilización eficiente del volumen útil de trabajo de los agregados hidrometalúrgicos de acción continua, se propone una metodología que permita determinar con gran facilidad los índices de efectividad de trabajo de los reactores. Los valores de estos índices reflejan los diferentes aspectos operacionales del equipamiento hidrometalúrgico, permitiendo su utilización en la práctica del cómputo ingenieril asociado con la estimación de la eficiencia de utilización de estos equipos.

**ABSTRACT:** In connection with the special importance of the problem of estimating the utilization efficiency of the working volume of continuous action hydrometallurgical apparatus, methods for determining the values of the indexes are proposed. The system of indexes reflects the different aspects of operation of continuous action hydrometallurgical equipment, in consequence of which they can be widely used in the practice of engineering calculations, associated with the estimation of efficiency of utilization of technological facilities of different type.

Para elevar los indicadores técnico-económicos del equipamiento bioquímico, químico e hidrometalúrgico, es necesario periódicamente evaluar el estado técnico de funcionamiento de los mismos, no sólo para medir el nivel de productividad, sino además para lograr el perfeccionamiento ulterior de estos agregados.

El sistema de indicadores que se utilice para medir la efectividad de trabajo del equipamiento debe reflejar el conjunto de fenómenos que tienen lugar en el equipo investigado.

La efectividad de trabajo del equipamiento bioquímico, químico e hidrometalúrgico con régimen periódico, semicontinuo o continuo donde es necesario lograr el grado exigido de conversión de los componentes deseados a la salida del reactor investigado; en la gran mayoría de los casos depende sólo del tiempo de retención de interacción de las fases reaccionantes bajo condiciones pre-establecidas de realización del proceso en el volumen útil de trabajo del reactor. Consecuentemente para alcanzar los parámetros óptimos de funcionamiento del equipo es imprescindible lograr que la magnitud de la función de distribución del tiempo de retención de las partículas en el mismo y la magnitud de la función cinética (o grado de transformación de los componentes objetivos) en el intervalo de tiempo  $\Delta\tau$ , adquieran valores máximos bajo la condición de que la magnitud del mismo intervalo tienda al mínimo. [6]

Este efecto en la práctica usualmente se logra de diferentes formas:

Por ejemplo, para disminuir la no homogeneidad del tiempo de retención de las partículas, se aumenta el número de peldaños en la cascada de reactores hidrometalúrgicos; se incrementa la altura de la capa hirviente con el mezclado del flujo con los agentes gaseosos; se utiliza también la recirculación del flujo de salida, etcétera. Con el objetivo de disminuir la prolongación de las curvas cinéticas es necesaria la intensificación de este proceso a través de la correcta elección de los valores óptimos de temperatura, concentración, pH de la disolución, etcétera. [4] Es importante señalar que independientemente de que se optimice o no el régimen hidrodinámico, o el proceso cinético, en cada uno de los casos considerados, existe una tendencia a alcanzar los valores máximos en los cambios de la función de distribución del tiempo de retención de las partículas en el equipo, o en la función cinética en un intervalo mínimo  $\Delta\tau = \tau_R - \tau_r$ . De lo expuesto anteriormente se infiere que para cualquier intervalo ( $\Delta t$ ) podemos plantear:

- Para la función de distribución del tiempo de retención de las partículas en la instalación (equipo o cascada)

$$\beta F = F(\tau_r) - F(\tau_r) = F(\tau_r) - F(\kappa\tau_r) \quad (1)$$

donde:  $\beta_F$  es el coeficiente de utilización del volumen de trabajo del equipo.

Para definir la magnitud óptima del tiempo  $\tau_R$  o  $\tau_r$ , correspondiente a la condición bajo la cual se alcanzan los valores máximos del coeficiente  $\beta F$ , la magnitud de la

primera derivada  $\frac{d\beta F}{d\tau_R}$  se iguala a cero:

$$\frac{d\beta F}{d\tau_R} = \frac{dF(\tau_R)}{d\tau_R} - K \frac{dF(k\tau_R)}{d\tau_R} = F'(\tau_R) - KF'(k\tau_R) = 0 \quad (2)$$

de donde:

$$K = \frac{\tau_r}{\tau_R} = \frac{F(\tau_R)}{F(\tau_r)} = \frac{n_R/n_o}{n_r/n_o} = \frac{n_R}{n_r} = Sn \quad (3)$$

donde:  $n_r, n_R, n_o$  son las cantidades de partículas que se encuentran en el equipo en los momentos de tiempo  $\tau_r, \tau_R$  y  $\Delta\tau$  (en caso de introducción del indicador en forma de impulso en el equipo investigado).

$Sn$ : es el simplex de semejanza de concentración determinado en el intervalo  $\Delta\tau = \tau_R - \tau_r$ ;  $k$ : coeficiente del proceso ( $k = \tau_r/\tau_R$ ) y  $\tau_r$  y  $\tau_R$  son los tiempos mínimos y máximos necesarios respectivamente para la culminación del proceso con la intensidad requerida.

La metodología de determinación de las magnitudes de tiempo  $\tau_r$  y  $\tau_R$  se describen en los trabajos [1,2].

2. Para la función cinética

$$\beta x = X(\tau_R) - X(\tau_r) = X(\tau_R) - X(k\tau_R) \quad (4)$$

donde:  $\beta x$  es el coeficiente de eficiencia del proceso químico.

Los valores óptimos de los parámetros  $\tau_r, \tau_R$  y  $\Delta\tau$  se definen a través de la investigación de la ecuación (4), maximizando dicha expresión tendremos:

$$d\beta x = \frac{dx(\tau_R)}{d\tau_R} - K \frac{dx(k\tau_R)}{d\tau_R} = x'(\tau_R) - Kx'(k\tau_R) = 0 \quad (5)$$

de donde:

$$K = \frac{\tau_r}{\tau_R} = \frac{x(\tau_R)}{x(\tau_r)} = \frac{mR/m_o}{mr/m_o} = \frac{mR}{mr} = Sm \quad (6)$$

donde:  $m_r, m_R, m_o$  son la cantidad de partículas que no interactúan en el momento  $\tau_r, \tau_R$  y  $\tau = 0$ .

$Sm$ : es el simplex de semejanza de concentración. La solución de los sistemas (1) y (2) y (4) y (6) permite determinar los valores  $\tau_r, \tau_R, \Delta\tau, K$ , etc. donde se alcanzan los valores máximos de los índices  $\beta F_o$  y  $\beta x_o$ .

3. En general para buscar los valores óptimos de los parámetros  $\tau_r, \tau_R, \Delta\tau$  y  $k$  que corresponden con los valores óptimos de  $\beta F_o$  y  $\beta x_o$ , se usa la expresión que define la magnitud media del grado de transformación

de las sustancias a la salida del reactor investigado, y en el intervalo analizado  $\Delta\tau$  obtendremos:

$$\bar{X}_{R,r} = \frac{\int_{\tau_r}^{\tau_R} X(\tau)F'(\tau)d\tau}{\int_{\tau_r}^{\tau_R} F'(\tau)d\tau} = \frac{\int_{\tau_r}^{\tau_R} X(\tau)F(\tau)d\tau}{F_R(\tau) - F(\tau)} = \frac{\int_{\tau_r}^{\tau_R} X(\tau)F'(\tau)d\tau}{\beta F} \quad (7)$$

Integrando por partes:

$$X(\tau_R)F(\tau_R) - X(\tau_r)F(\tau_r) = \beta F \int_{\tau_r}^{\tau_R} X(\tau)dF(\tau) + \beta x \int_{\tau_r}^{\tau_R} F(\tau)dx(\tau) = \beta F \bar{X} - \beta x \bar{F} \quad (8)$$

Es necesario señalar que la diferencia de los productos  $X(\tau) \cdot F(\tau)$  en la parte derecha, con  $F(\tau) = 1 - f(\tau)$  y  $X(\tau) = 1 - \varphi(\tau)$  puede ser transformada de la siguiente forma:

$$[X(\tau_R)F(\tau_R) - X(\tau_r)F(\tau_r)] + [\varphi(\tau_r)f(\tau_r) - \varphi(\tau_R)f(\tau_R)] =$$

$$\sqrt{H} + \sqrt{h} = \beta F + \beta x$$

donde:

$$\sqrt{H} = X(\tau_R)F(\tau_R) - X(\tau_r)F(\tau_r)$$

$$\sqrt{h} = \varphi(\tau_r)f(\tau_r) - \varphi(\tau_R)f(\tau_R)$$

De la ecuación (8) se infiere que  $\beta F$  y  $\beta x$  están estrechamente relacionadas con los índices de eficiencia  $\sqrt{H}$  y  $\sqrt{h}$ ; que a su vez son equivalentes a  $\varphi(\tau) = x(\tau)F(\tau)$  ó  $\varphi(\tau) = \varphi(\tau)f(\tau)$  determinados para diferentes momentos de tiempo  $\tau_r$  y  $\tau_R$ .

$$\sqrt{H} = H(\tau_R) - H(\tau_r); \quad \sqrt{h} = h(\tau_R) - h(\tau_r)$$

La forma que toman las funciones  $H(\tau)$  y  $h(\tau)$ , y  $F(\tau)$  o  $f(\tau)$ , puede ser obtenida a través de un cambio escalonado de la magnitud de la señal de entrada. De igual forma:  $H'(\tau) = dH(\tau)/d\tau$  y  $h'(\tau) = dh(\tau)/d\tau$ , así como  $F(\tau)$  cuando se utiliza una señal de entrada con carácter de impulso.

De lo antes planteado se infiere que para obtener la información completa sobre la forma de trabajo de la instalación con régimen continuo, también es necesario, no sólo determinar la forma de la función  $F(\tau)$  o  $X(\tau)$ , sino además de  $H(\tau)$  y  $h(\tau)$ , ya que estas reflejan con mayor exactitud todas las facetas de trabajo de la instalación.

Los valores óptimos de los parámetros de trabajo pueden ser determinados a través de la optimización de los índices de eficiencia  $\sqrt{H}$  y  $\sqrt{h}$ .

$$\frac{d\sqrt{H}}{d\tau_R} = [x'(\tau_R)F(\tau_R) + X(\tau_R)F'(\tau_R)] - k[x'(k\tau_R)F(k\tau_R) + X(k\tau_R)F'(k\tau_R)] = 0 \quad (10)$$

de donde:

$$k = \frac{x'(\tau_R)F(\tau_R) + X(\tau_R)F'(\tau_R)}{x'(k\tau_R)F(k\tau_R) + X(k\tau_R)F'(k\tau_R)} \quad (11)$$

De la solución conjunta de las ecuaciones (10) y (11) se puede determinar el valor óptimo del indicador  $\sqrt{H_o}$ .

CONCLUSIONES

La metodología expuesta se puede aplicar para la investigación del principio de funcionamiento de cualquier tipo de reactor no sólo para evaluar la función de distribución del tiempo de retención y la función cinética; sino cualquier tipo de función sobre la base de la maximización de su eficiencia y posteriormente tomar los parámetros óptimos a partir de las condiciones de determinación de las magnitudes máximas.

La solución de las ecuaciones (1) y (2) pueden ser utilizadas para la construcción del diagrama triple  $\alpha, \beta, \gamma$  cuya metodología y aplicación práctica se exponen en los trabajos [1 y 2]; el cual permite valorar las particularidades del proceso químico o el funcionamiento del equipo investigado.

El empleo de los indicadores  $\beta F, \beta x, \sqrt{H}, \sqrt{h}$  y otros, nos ofrece la posibilidad de utilizar indicadores cuantitativos de valoración de las etapas limitantes del proceso químico y químico-tecnológico respectivamente; siendo aplicable esta metodología para analizar el trabajo del reactor en régimen periódico, semicontinuo y continuo. Al utilizar la misma, la fase limitante del proceso es aquella en la cual en el intervalo de tiempo utilizado  $\Delta\tau$ , se

logran las variaciones mínimas de la magnitud del coeficiente de efectividad.

Para llevar a cabo la investigación utilizando esta metodología, en primer lugar es necesario el análisis de las curvas construidas mediante los indicadores (1) y (4) en el diagrama triple  $\gamma, \beta, \gamma$  (ver Figura 1). Posteriormente se efectúa la comparación de las magnitudes de los indicadores  $\beta F$  y  $\beta x$  obtenidos del diagrama triple y que responden a iguales magnitudes de tiempo  $\tau_r, \tau_R$  y  $\Delta\tau$ .

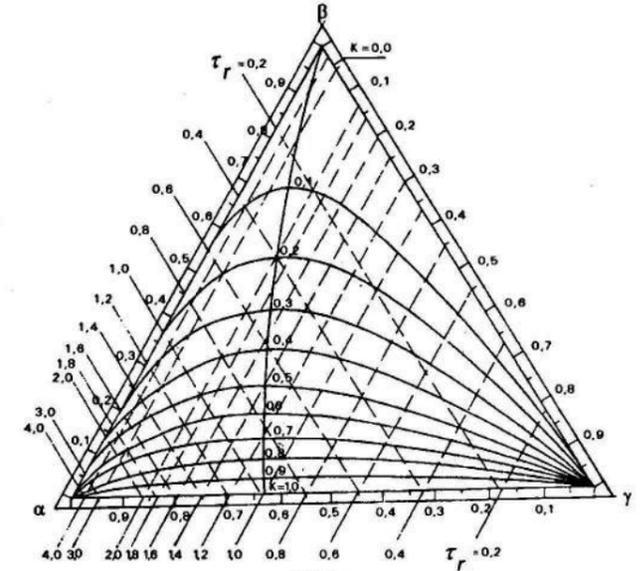


FIGURA 1. Diagrama  $\alpha, \beta, \gamma$ .

Así, por ejemplo: Si  $\beta F > \beta x$  la efectividad del proceso tecnológico depende fundamentalmente de las particularidades del proceso químico; si  $\beta x < \beta F$ ; depende del régimen hidrodinámico del flujo de las fases.

En general para cualquier reactor con agitación, el fenómeno más característico es que  $\beta x < \beta F$ , es por esta razón que desde el punto de vista práctico es imprescindible crear las condiciones para evitar la influencia de la no uniformidad del tiempo de retención de las partículas en el reactor con el objetivo de elevar el coeficiente  $\beta F$ .

BIBLIOGRAFÍA

1. BELOGLASOV, I.N.: *Efektivnoct isnolsovanie ravochera obema rexnologicheskii apparatob neprerivnovo desvia*. Cherkaci, no. 1041, 135c, XP-D-83, 1983.
2. ———: *Troinaia diagramma dlia otcenka efectivnocti raboti edinichnovo rectora idealnovo peremechivanie*, c. 1170, Youmal Prikladnaia Ximia, 1979.
3. BELOGLASOV, N. K.: *Otcenka efectivnocti isnolsovanie rabochevo obema ximicotecnologicheskix apparatob pri cozganie informacionnovo banca clannix*. Chornie Trudi Sant Peterburgskoi

Mechdunarodnaia konferenci «Regionalnaia informatica», R.I.-93, 11-14, maia, 1993.  
 4. DENICOB, E.T.: *Kinetica Gomogenix ximicheskix peaksi*, 367 c., Bicchaia echkola, Mockba, 1978.

5. RODRÍGUEZ DOMÍNGUEZ, J.L.: «Perfeccionamiento de la tecnología de lixiviación carbonato amoniaco de los minerales oxidados de níquel en la Empresa Comandante René Ramos Latour», Tesis doctoral, 263 pp., CIC, ISMM, Nicaro, Cuba, 1996.  
 6. VIGDORCHIK, B.M. & A.I. CHEININ: *Matematicheskoe modelirovania prerivnix procesob rasvarenia*, 235 c., D. Ximia, 1971.

## EL INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO Y LA EMPRESA CROMO MOA

LE OFRECE:

# ARENAS DE OLIVINA

**Es una arena con alta refractariedad a base de olivino, especial para la preparación de mezclas de moldeo que garantiza la obtención de piezas de calidad.**

**Posee una elevada temperatura de fusión (1800°C) y evita la penetración metálica.**

ISMM Las Coloradas s/n CP: 383 329 Moa, Holguín, Cuba  
 Tel.: 6 4476 Fax: (53) (24) 6-2290  
 E-mail: ACARBALLO @ ISMM.ISPJAM.cu

## Logística industrial, ¿moda o necesidad... ?

**Dr. Ing. José I. Rodríguez Domínguez**  
**Ing. Maritza Hernández Torres\***  
**Dr. Ing. José Acevedo Suárez\*\***

Departamento de Metalurgia, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa  
 \* Facultad Ingeniería Industrial, Instituto Superior Politécnico «José Antonio Echeverría» (ISPJAE)  
 \*\* Dirección de Economía, Instituto Superior Politécnico «José Antonio Echeverría» (ISPJAE)

### INTRODUCCIÓN

En los últimos años ha tenido un gran auge en el mundo la aplicación de la Logística en la organización y funcionamiento empresarial, porque constituye un reto y una oportunidad para la dirección de las empresas competitivas. Su objetivo consiste en producir el producto correcto, para enviarlo al lugar apropiado en el momento oportuno, con la calidad necesaria y a un precio aceptable por el cliente.

Quedan atrás los tiempos de los esfuerzos operacionales fragmentados de áreas tales como: Compras, Producción y Distribución, y se da paso a una filosofía integrada: la Logística como función, que va más allá de las fronteras de la empresa, regulando el flujo material e informativo en relación con el mercado, desde el mercado de proveedores hasta el mercado de clientes sin inventarios y justo en tiempo. Desarrollos recientes como Justo en tiempo (JIT), Teoría de las limitaciones (TOC) y Planeación de los requerimientos materiales (MRP) son afines con esta filosofía que propicia un mejor servicio al cliente, costos reducidos y mejoramiento en la dirección de los procesos.

Pero... ¿ofrece esta filosofía algún sentido práctico para nuestra problemática empresarial actual?

### 1. Marco conceptual

La Logística industrial comprende el conjunto de actividades encaminadas a gestionar y dirigir la producción desde una óptica que incluye los aprovisionamientos, la producción y la distribución con el apoyo de la informática, desde un punto de vista integrado y con una perspectiva total de proceso: la Logística desde el proveedor al cliente. (1,5)

El sistema logístico visto como el conjunto de actividades que se agrupan en torno al flujo material, es la integración de los flujos material, informativo y financiero de la empresa, que a través de las funciones de aprovisionamiento, producción, distribución física y gestión integrada del proceso logístico tiene como objetivo producir el producto correcto en el momento oportuno, en el lugar adecuado, con la calidad necesaria y a un precio aceptable medido en costos totales. (2,4)

En la Figura 1 se muestran los tres niveles de significación de la Logística: el producto, la información y la organización. La organización como una cadena no más fuerte que su eslabón más débil, como una red de tuberías (el flujo limitado por la parte más estrecha). Para mejorar el flujo, debemos identificar el elemento limitante y corregirlo. (1,3)

La Logística se separa de los principios tradicionales de administración y se orienta hacia una gestión de operaciones integrada en la empresa sobre la base de los principios siguientes:

- Orientación hacia el flujo del proceso más que a orientación funcional clásica.
- Atención al flujo más que a los procesos individuales de trabajo.
- Responsabilidad sobre el proceso más que sobre las tareas especializadas por ramas. (5,6,7)

**RESUMEN:** A través de un ejemplo simplificado tomado de un caso real, se muestra que la proyección de las estrategias de marketing, logística y financiera requieren de un enfoque integral en la empresa, o de lo contrario, unas se convierten en freno de las otras. A partir de aquí se subraya la significación de la Logística para las empresas cubanas que se encuentran ante el reto de sobrevivir y desarrollarse en un entorno económico adverso caracterizado por la escasez de recursos financieros.

**ABSTRACT:** Through a simplified example taken from a real case, it is showed that the projection of the marketing, logistics and financial strategies need an integral drawing in the enterprise, or they would be a restrain to each other. From here, it is underline the Logistics meaning for the cuban enterprises which face the challenge to survive and develop in an adverse economic environment characterized by the lack of cash flow.