

*Artículo Científico*DOI: <https://doi.org/10.52428/20758944.v11i33.717>**ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO DE UNA PLANTA FABRICADORA DE PAPEL DE PIEDRA****TECHNICAL AND ECONOMIC STUDY OF A STONE PAPER PLANT**


---

Graciela Roelríguez Sáenz (1)  
Martha Mendez Lecler (2)

---

**RESUMEN**

El papel es una delgada hoja elaborada mediante pasta de fibras vegetales que son molidas, lavadas, blanqueadas, secadas y endurecidas posteriormente. La materia prima principal para su fabricación son los árboles de donde es obtenida la celulosa, es por esto que, cada año se cortan aproximadamente veinte millones de árboles contribuyendo al calentamiento global y reduciendo la biodiversidad.

Para la fabricación del papel es necesario el uso de agua y de blanqueadores. La industria del papel consume el 27% del total de agua para uso industrial; para el blanqueado se utiliza cloro, los subproductos del cloro (como las dioxinas) son nocivos para la salud humana y son catalogados como cancerígenos.

El papel de piedra es un papel de origen mineral fabricado a base de carbonato de calcio y como aglomerante se utiliza resina de polietileno no tóxica. El proceso de fabricación del papel de piedra es limpio, no utiliza árboles ni agua y no genera emisiones tóxicas, es libre de cloro, ácidos y muy seguro para el medio ambiente.

**Palabras clave:** Fabricación de papel. Carbonato de calcio. Resina de polietileno. Medio ambiente.

**ABSTRACT**

Paper is a thin sheet prepared by paste plant fibers which are crushed, washed, bleached, dried and hardened later. The main raw material for manufacturing are trees where cellulose is obtained, which is why, each year approximately twenty million trees are cut, contributing to global warming and reducing biodiversity.

Papermaking requires the use of water and bleaches. The paper industry consumes 27% of water for industrial use; chlorine for bleaching is used, chlorine byproducts (such as dioxins) are harmful to human health and are classified as carcinogenic.

Stone paper is a paper manufactured by mineral base as calcium carbonate and non-toxic and polyethylene as a binder resin. The process of stone papermaking is clean, no trees or water are used and generates no toxic emissions, is free of chlorine, acids and very safe for the environment.

- 
1. Ing. Industrial. Titulada de la Universidad del Valle - La Paz. [rodriguezsaenzgraciela@gmail.com](mailto:rodriguezsaenzgraciela@gmail.com)
  2. Ing. Química. docente de la Facultad de Informática y Electrónica de la Universidad del Valle - La Paz. [mml.12395@gmail.com](mailto:mml.12395@gmail.com)

*Páginas 40 a 46*  
*Fecha de recepción: 18/03/15*  
*Fecha de aprobación: 08/04/15*

Keywords: Papermaking. Calcium carbonate. Polyethylene resin. Environment.

**INTRODUCCIÓN**

Actualmente Bolivia no tiene una fábrica de producción de papel, solo contamos con fábricas de reciclaje de papel; el mercado interno se abastece con la provisión de más de 70 países del mundo (1). Brasil envía el 33% al mercado interno; Perú y Argentina, 14%; Chile, 11%; Estados Unidos, 6%, y China, 4%, entre otros. (2). Las importaciones de papeles con peso entre 40 y 150 g/m<sup>2</sup> fueron hasta el 2011 con 14 533 toneladas (2) (3). Estas importaciones demandan al estado una erogación anual de millones de dólares.

Por otra parte, una planta de papel de celulosa utiliza en su proceso de producción para 1 tonelada de papel: al menos 20 árboles, 31 toneladas de agua, cloro y utiliza una energía aproximada de 36 000 BTU (4).

Debido a que no se necesita la pasta de madera para el papel de piedra, ningún árbol estará condenado a morir, ya que éste utiliza como materia prima principal la piedra caliza (carbonato de calcio). Además, la industria del papel tradicional consume importantes cantidades de agua pura, mientras que para fabricar el papel de piedra no se usa ni una gota de agua.

El departamento de Chuquisaca en particular, y en general Bolivia, tienen el privilegio de contar con el mayor yacimiento de carbonato de calcio (caliza) de América Latina, con aproximadamente 5 000 hectáreas de este material (5).

**FACTIBILIDAD DEL PROYECTO**

Bolivia cuenta con los recursos necesarios para producir papel de piedra, siendo Chuquisaca y Potosí los yacimientos de piedra caliza más grandes de Latino América (6). Es por eso que es importante proponer la creación de una fábrica de papel de piedra en Bolivia, la cual también creará fuentes de trabajo y ayudará al desarrollo social y económico del país.

**ASPECTO SOCIAL**

En la fabricación industrial del papel se utilizan muchos productos y, éstos, una vez que son procesado, resultan en una pasta de celulosa que da diferentes grados de calidad y durabilidad. Entre los productos básicos para la fabricación tradicional de papel se emplean árboles, agua y blanqueadores.

La deforestación acelerada de nuestros bosques causa que se tengan que buscar alternativas para la producción de papel. Asimismo, el agua es un recurso

limitado, y también tomando en cuenta que el cloro y el dióxido de carbono son contaminantes nocivos.

**PROPUESTA**

El papel de piedra es un producto innovador que para su fabricación no requiere talar ni un solo árbol, ni necesita agua para su producción. Igualmente, su color blanco se consigue sin utilizar cloros ni ácidos de ningún tipo.

Es infinitamente reutilizable y 100% degradable; es un producto fotodegradable y comienza a degradarse al ser expuesto a la luz solar directa en aproximadamente 12 meses; en caso de necesitar resistencia a la luz solar, se le pueden agregar agentes anti UV (Tabla Nº 1).

Tabla Nº 1. Propiedades del papel de piedra

| Peso (g/m <sup>2</sup> ) | Grosor (micras) | Densidad (g/m <sup>3</sup> ) | Resma (cm) | Ancho de bobina (cm) | Diámetro de bobina (cm) | Diámetro eje (cm) |
|--------------------------|-----------------|------------------------------|------------|----------------------|-------------------------|-------------------|
| 75-80                    | 67              | 1,2                          | 70 x 100   | 100                  | 80                      | 7,6               |
| 120                      | 100             | 1,2                          | 70 x 100   | 100                  | 80                      | 7,6               |
| 144                      | 120             | 1,2                          | 70 x 100   | 100                  | 80                      | 7,6               |
| 267                      | 300             | 1,4                          | 70 x 100   | 100                  | 80                      | 7,6               |
| 560                      | 400             | 1,4                          | 70 x 100   | 100                  | 80                      | 7,6               |

Fuente: (4).

Las calizas son rocas sedimentarias de origen químico y orgánico formadas en ambientes marinos y/o lacustres, constituidas esencialmente por carbonato de calcio CaCO<sub>3</sub>; que tienen como impurezas Mg, Si, Al, K, P, generalmente en forma de óxidos.

Se ha podido establecer la existencia aproximada de 92 depósitos de caliza en todo el territorio de Bolivia. Las calizas no pueden resistir los altos costos de transporte a distancias muy grandes de los centros de consumo, por lo que su utilización estará en razón directa a la infraestructura caminera de los diversos departamentos.

Los estudios realizados en las últimas 4 décadas señalan a 208 sitios de afloramiento de calizas (6) (Tabla Nº 2).

Tabla Nº 2. Reservas de piedra caliza en Bolivia

| DEPARTAMENTO  | RESERVA     |
|---------------|-------------|
|               | TOTAL (TM)  |
| Potosí        | 336 298,813 |
| Oruro         | 57 866,875  |
| Chuquisaca    | 252 082,500 |
| Por definirse | 29 326,500  |
| Total         | 675 574,688 |

Fuente: (7).

#### DEMANDA ACTUAL DE PAPEL

El Papel Bond es un producto de fibras vegetales tratadas químicamente que son afieltradas, es decir, unidas entre sí después de un amplio proceso industrial. La demanda de papel en el mercado boliviano alcanza a unos US\$40 millones, que se importa en diferentes tipos como: cartones, papeles blancos o papel higiénico según datos del Instituto Nacional de Estadística (2), elaborados por el Instituto Boliviano de Comercio Exterior (3).

#### PROCESO DE FABRICACIÓN DEL PAPEL DE PIEDRA

La formación de granulados a partir de una combinación de polvos minerales inorgánicos presentes en la combinación, en una cantidad de aproximadamente 70 a 80% en peso basado en el peso total de la combinación; polietileno en una cantidad de aproximadamente de 18 a 29% en peso basado en el peso total de la combinación, y alrededor de 1 % a 2% en peso de aditivos. Todos éstos pasan por las etapas de mezcla, extrusión y la molienda para la formación de los granulados del papel de piedra.

Estos granulados son alimentados a un extrusor para producir una película de papel. Un molde de matriz circular tiene una entrada en su superficie. La entrada define un paso interior en el molde de formación y el paso interior se comunica con la puerta del molde de formación.

Cuando la temperatura de la extrusora está ajustada a una temperatura por encima del punto de fusión de los granulados (150°C a 220°C), los granulados fundidos se transportan a la entrada de conformación del molde

a través del paso interior individual, por la fuerza que viene directamente desde dos tornillos giratorios del extrusor.

Los granulados se moldean como un tubo de película de papel que tiene una forma circular hueca de lamina de molde de formación. El tubo de película de papel moldeado se enfría por un viento de refrigeración. Preferiblemente, este es un viento que sopla verticalmente desde un medio de refrigeración previsto por encima de la puerta del molde de formación. Manteniendo el viento de refrigeración que sopla verticalmente, puede asegurarse que la forma del tubo de película de papel se mantenga como el de la puerta del molde de formación. La temperatura del tubo de película de papel se debe enfriar a aproximadamente de 80 °Ca 120 °C.

A continuación, el tubo de película de papel se infla mediante aire a presión a través de un pasaje en el molde de formación. Al mismo tiempo, un extremo del moldeado inicial del tubo de película de papel es arrastrado por un rodillo principal. La velocidad de rotación del rodillo se controla de modo que el tubo de película de papel es substancialmente hermético al aire. La velocidad de rotación del rodillo principal, la cantidad de materiales extruidos y el espesor requerido del tubo de película de papel se controlan de manera adecuada para que el tubo de película de papel se infle de 3 a 8 veces. El propósito del inflado es estirar simultáneamente el tubo de película de papel en dos direcciones, es decir, latitudinal y longitudinal, lo que resulta en un papel de piedra con una estructura y resistencia de dos dimensiones.

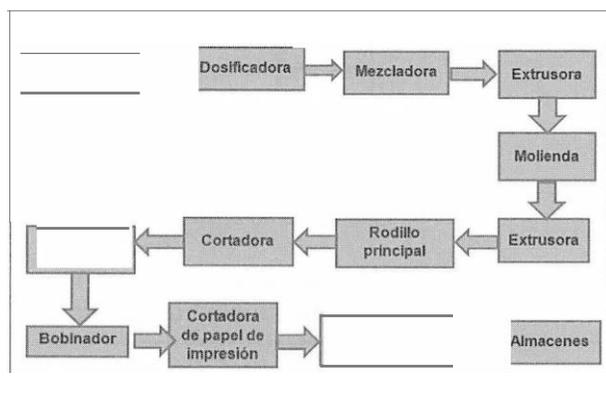
Por otra parte, debido a la fuerza de estirado, el papel es introducido en un medio de plegado previsto entre el rodillo principal y los medios de enfriamiento, de manera que el papel es plegado simétricamente.

Los propósitos del rodillo principal incluyen una baja velocidad de rotación para que el viento de enfriamiento sople uniformemente a la misma, estabilizar el tubo de película de papel y mantener el tubo de película de papel apretado para que éste se infle uniformemente. Además, la velocidad de rotación del rodillo principal es un factor esencial para el estiramiento longitudinal y el espesor requerido de la película de papel. Entonces el papel plegado pasa por un medio de corte para que éste sea cortado en dos hojas de papel.

Las dos láminas resultantes del papel son sometidas a un tratamiento de superficie de corona, de manera que

se forman numerosos microhuecos en las dos superficies de cada papel para conseguir una mejor adhesión. El papel se recoge en una bobinadora. Posteriormente, éste es transportado a la cortadora donde se producirá el papel de impresión. Por último, el papel ya cortado es empaquetado y almacenado (Gráfico N° 1).

**Gráfico N° 1. Diagrama de Flujo del Proceso de fabricación propuesto del Papel de Piedra**



Fuente: Elaboración propia. 2014.

## DEFINICIÓN DEL PROCESO Y TECNOLOGÍA A UTILIZAR PARA LA PRODUCCIÓN DEL PAPEL DE PIEDRA

A continuación se describe el proceso propuesto:

- **Molienda de la piedra Caliza:** La piedra caliza seleccionada es transportada a la molienda donde se busca una finura del mineral de 0,5 a 5  $\mu\text{m}$ .
- **Dosificadora:** la dosificadora se encarga de entregar al siguiente proceso 80% de piedra caliza fina, 18% de polietileno de alta densidad y 2% de aditivos.
- **Mezcladora:** se trata de una extrusora de doble tornillo, ésta mezcla los materiales anteriormente mencionados hasta formar una composición pastosa; el ajuste de temperatura del cilindro del tornillo del extrusor es de 160°C-185°C.
- **Extrusión:** La mezcla entra al proceso de extrusión en donde se forman los pellets del papel de piedra; la temperatura en este proceso de extrusión es de 160°C-185°C.
- **Molienda:** en este proceso los pellets que salieron del proceso de extrusión mencionado anteriormente pasan a la molienda para conseguir los granulados del papel de piedra.

• **Extrusión:** los granulados son alimentados a un extrusor para producir una película de papel. Cuando la temperatura de la extrusora está ajustada a una temperatura por encima del punto de fusión de los granulados, 150 ° C a 220 ° C, los granulados fundidos son moldeados como un tubo de película de papel que tiene una forma hueca desde la puerta del molde de formación. El tubo de película de papel moldeado desde la puerta del molde de formación, se enfría por un viento de refrigeración y se debe enfriar a aproximadamente 80°C a 120°C, a una distancia dentro de aproximadamente 700 mm desde la puerta del molde de formación, por lo que se puede continuar con el siguiente paso.

• **Inflado:** a continuación, el tubo de película de papel se infla mediante aire a presión a través de un pasaje en el molde de formación. El propósito de este proceso es estirar simultáneamente el tubo de película de papel en dos direcciones, es decir, latitudinal y longitudinal, lo que resulta un papel que tiene una estructura y resistencia con dos dimensiones.

• **Rodillo principal:** cuando la película de papel es inflada, un extremo del tubo de película de papel es arrastrado por un rodillo principal, la velocidad de rotación del rodillo principal se controla de modo que el tubo de película de papel es substancialmente hermético al aire. La velocidad de rotación del rodillo principal, la cantidad de los materiales extruidos, y el espesor requerido del tubo de película de papel se controla de manera adecuada para que el tubo de película de papel se infle de tres a ocho veces, en una distancia de aproximadamente 200 mm a aproximadamente 700 mm desde la puerta del molde de formación.

• **Cortadora:** el papel plegado pasa un medio de corte, de manera que el papel plegado es cortado en dos hojas de papel.

• **Tratamiento de corona:** las dos láminas resultantes del papel son cada uno sometido a un tratamiento de superficie de corona, esto se realiza empleando un dispositivo de descargado de ondas de alta frecuencia, con una potencia de 20 a 150 Kw, para obtener una tensión de humectación superficial de 36 a 45 dinas/cm<sup>2</sup>.

• **Bobinadora:** después de ser tratado el papel pasa a las bobinadoras.

• **Cortadora:** una vez tratado el papel pasa a la máquina de cortado donde se obtiene el papel de impresión (21,6cm x 27,9cm).

• Empaquetadora: una vez cortadas las hojas de impresión son transportadas a la empaquetadora, cada paquete contiene 500 hojas de papel de piedra.

DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA (Imágenes N° 1 y 2)

PROYECCIÓN DE LA DEMANDA (Tablas N° 3 y 4)

Tabla N° 3  
Cantidad consumida de papel imprenta según volumen gestiones 2003 - 2012 (en toneladas)

| Años | Chile | México | EE.UU | Brasil | Bolivia |
|------|-------|--------|-------|--------|---------|
| 2003 | 229   | 1110   | 19617 | 1645   | 45      |
| 2004 | 200   | 1231   | 20765 | 1705   | 45      |
| 2005 | 252   | 1206   | 19628 | 1821   | 48      |
| 2006 | 237   | 1320   | 24496 | 1942   | 50      |
| 2007 | 313   | 1289   | 27071 | 2049   | 50      |
| 2008 | 334   | 1592   | 27708 | 2130   | 69      |
| 2009 | 347   | 1597   | 27588 | 2135   | 87      |
| 2010 | 280   | 1564   | 28173 | 2070   | 79      |
| 2011 | 313   | 1650   | 26296 | 2101   | 86      |
| 2012 | 310   | 1707   | 29297 | 2102   | 90      |

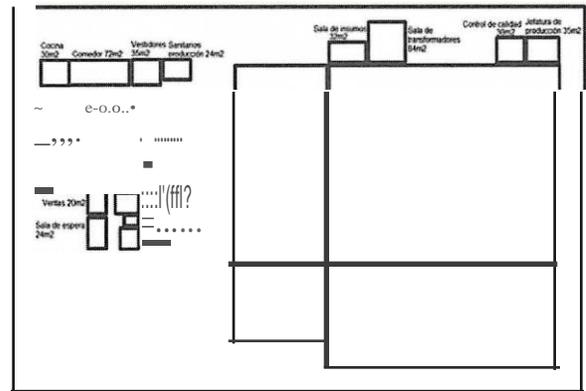
Fuente: FAO

Tabla N° 4  
Pronóstico de la demanda para los próximos 10 años (en toneladas)

| Año   | Chile  | México  | EEUU     | Brasil | Bolivia |
|-------|--------|---------|----------|--------|---------|
| 2014  | 372,8  | 1936,78 | 33176,31 | 70928  | 109,29  |
| 2015  | 384,98 | 2004,84 | 34257,97 | 76255  | 115,21  |
| 2016  | 397,16 | 2072,9  | 35339,63 | 81582  | 121,13  |
| 2017  | 409,34 | 2140,96 | 36421,29 | 86909  | 127,05  |
| 2018  | 421,52 | 2209,02 | 37502,95 | 92236  | 132,97  |
| 2019  | 433,7  | 2277,08 | 38584,61 | 97563  | 138,89  |
| 2020  | 445,88 | 2345,14 | 39666,27 | 102890 | 144,81  |
| 2021  | 458,06 | 2413,2  | 40747,93 | 108217 | 150,73  |
| 2022  | 470,24 | 2481,26 | 41829,59 | 113544 | 156,65  |
| 2023  | 482,42 | 2549,32 | 42911,25 | 118871 | 162,57  |
| TOTAL | 4276,1 | 22430,6 | 380437,8 | 948996 | 1369,3  |

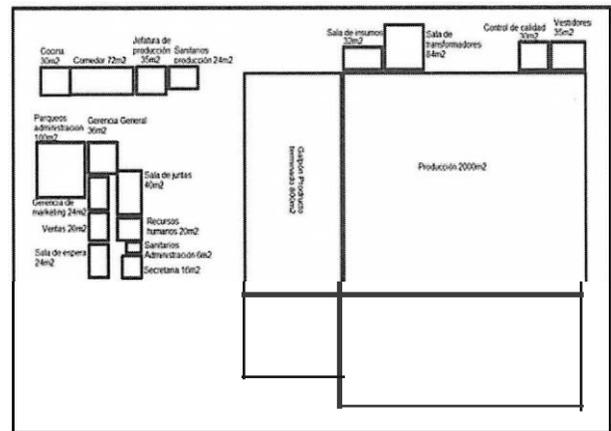
Fuente: Elaboración propia. 2014

Imagen N° 1  
Alternativa 1 de distribución de planta



Fuente: Elaboración propia. 2014

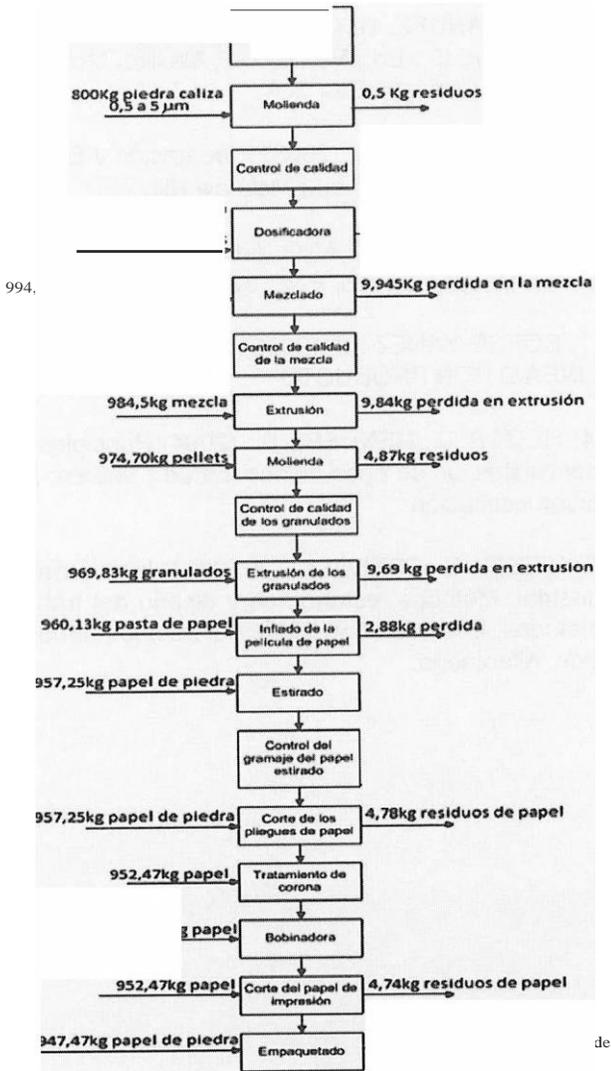
Imagen N° 2  
Alternativa 1 de distribución de planta



Fuente: Elaboración propia. 2014

**BALANCE MÁSICO (Gráfico Nº 2)**

**Gráfico Nº 2. Diagrama de flujo del Balance Másico**



Fuente: Elaboración propia. 2014.

**CONCLUSIONES**

Para la planeación de las instalaciones se realizó el estudio preliminar considerando diferentes factores para poder determinar los sitios viales para la ubicación de la infraestructura, siendo éstos la materia prima, el terreno, el mercado de consumo, los servicios básicos, la mano de obra, la infraestructura vial y la aceptación de la comunidad.

Se pudo observar que existen dos tipos de distribución de planta: la distribución por línea o producto y la distribución por procesos o funcional. La distribución que se utilizó para el presente proyecto fue la distribución por línea o producto, siendo ésta más eficiente que la distribución por procesos o funcional.

Para realizar la distribución de la planta se utilizó el método de la planeación sistemática de la distribución de Muther, para lograr una comercialización más eficiente entre las áreas de la planta del papel de piedra. Se investigó que Bolivia cuenta con el mayor yacimiento de carbonato de calcio de América Latina, que alcanza a un total de 675 574,688 TM de reservas encontradas. Por lo tanto, se tiene garantizada la materia prima para la producción del papel de piedra durante, aproximadamente, los próximos 120 años.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- (1) MENESES, F. (2013) <http://www.laprensa.com.bo>
- (2) Instituto Nacional de Estadística INE.
- (3) Instituto Boliviano de comercio exterior IBCE.
- (4) Emanagreen., (2013) Papel de piedra, recuperado el viernes 1 de febrero de 2013 de <http://emana-green.com/es/faq/>.
- (5) DONOSO, G. (22 de abril de 2012) Maragua, el mayor yacimiento de caliza en América Latina, recuperado el viernes 8 de febrero de 2013 de <http://www.correodelsur.com>
- (6) AEMP, Autoridad de Fiscalización y Control Social de Empresas (2012) CADENA PRODUCTIVA DEL CEMENTO. La Paz, Bolivia.
- (7) Servicio Nacional de Geología y Técnico de Minas SERGEOTECMIN
- (8) Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO.
- (9) MIRANDA, J. (2005) Gestión de proyectos: evaluación financiera económica social ambiental (5ª ed.) Colombia: MM editores
- (10) HERNÁNDEZ R. (2010). Metodología de la Investigación. (5ª. Ed.) México D.F, México: Mc. Graw Hill/ Interamericana Eds. S.A.
- (11) SAPAGCHAIN, R., (2003) Preparación y Evaluación de Proyectos (4ª ed.) McGraw Hill.
- (12) CHAESE Y AQUILANO, Administración de producción y operaciones, Pág., 374.
- (13) COFRE YÁNEZ, J. (2009) DISTRIBUCIÓN EN LÍNEA POR PRODUCTO
- (14) HEIZER, J., RENDER, B. (2004) Principios de administración de operaciones (5a ed.) México: Pearson educación
- (15) NIEBEL, B., FREIVALDS, A. (2004) Ingeniería Industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo métodos, Estándares y diseño del trabajo: Introducción. Alfaomega.

**Fuentes de financiamiento:** Esta investigación fue financiada con fondos de los autores.

**Declaración de conflicto de intereses:** Los autores declaran que no tiene ningún conflicto de interés.

Copyright (c) 2015 Graciela Rodríguez Sáenz; Martha Méndez Lecler



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

**Atribución:** Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumendelicencia](#) - [Textocompletodelalicencia](#)