

ANÁLISIS DE UNA UNIDAD PRODUCTIVA PARA LA FABRICACIÓN INDUSTRIALIZADA DE BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA

Cristian Benvenuto¹, Gonzalo Darras², Santiago Cabrera³, Ariel González⁴

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Santa Fe, Santa Fe, Argentina

¹crisbenvenuto@hotmail.com; ²gonzalo.darras@gmail.com; ³spcabrera@outlook.com; ⁴aagonzal@outlook.com

Palabras clave: industrialización del BTC, sistema de costeo, viabilidad

Resumen

En este trabajo de investigación se busca estudiar la implantación de una fábrica destinada a la producción industrializada de bloques de tierra comprimida en la provincia de Santa Fe, Argentina, con el objetivo de evaluar la viabilidad técnica y económica de este emprendimiento. Para ello, se estudió el modelo productivo de una empresa dedicada a la fabricación de un mampuesto similar producido mediante la compresión de áridos volcánicos y puzolana en lugar de tierra, pero con similares procedimientos; la cual trabaja con un alto grado de industrialización, produciendo un promedio aproximado de 3.000 bloques diarios. Para alcanzar esta meta, se desarrolló un sistema de costeo definido en base al tipo de producción y recursos utilizados, entre otros, realizándose las modificaciones operativas y estructurales necesarias para adaptarlo a la producción de BTC con el fin de analizar el impacto de estos cambios en los costos y beneficios del potencial emprendimiento. El análisis realizado, además de generar una herramienta vital para la toma de decisiones, demostró la viabilidad económica de este tipo de emprendimientos, la cual hasta el momento solo era estimada.

1. INTRODUCCIÓN

El bloque de tierra comprimida (BTC) es un mampuesto fabricado mediante la compresión de tierra con estabilizantes, que se encuentra alojada dentro de un molde, empleando un equipo de prensado manual para bajas demandas de producción o automático para sistemas industrializados (Bestraten; Homías; Altemir, 2011; Falceto, 2012)

Las ventajas del BTC en comparación con otros mampuestos de fábrica, como el ladrillo cerámico o bloque de hormigón pueden resumirse en su regularidad de forma, su adecuada resistencia y la posibilidad de ser reciclados prácticamente en su totalidad, además de sus propiedades térmicas e higroscópicas (Vázquez Espi, 2001). En cuanto a su producción, posee características que lo hacen económico y ambientalmente amigable: requieren mucho menos energía para su elaboración y no precisan de mano de obra altamente calificada para su elaboración (Rigassi, 1986).

Actualmente en el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Santa Fe (UTN FRSF) posee dos proyectos de investigación y desarrollo homologados (PID) vinculados al BTC:

- Análisis de las propiedades de BTC estabilizado con cal y otros aglomerantes no cementicios;
- Investigación y desarrollo para el mejoramiento de la producción de BTC; proyecto tutorado llevado delante de manera conjunta con la UTN Facultad Regional Venado Tuerto.

En lo que respecta a la vinculación tecnológica, desde hace más de 5 años el Grupo Tierra Firme, dependiente del Departamento de Ingeniería Civil de la UTN FRSF, realiza trabajos conjuntos con dos empresas productoras de BTC radicadas en la provincia de Santa Fe: MOBAK, en la comuna de Arroyo Leyes y BRAMARZ, en el municipio de Roldán.

En este contexto, en noviembre de 2017, se llevó a cabo en la Universidad el “Encuentro Nacional de BTCeros” el cual congregó a los diferentes actores involucrados en esta industria: fabricantes de prensas, productores de bloques y constructores.

Tras la realización de este evento, los fabricantes de bloques manifestaron la necesidad de generar un sistema de costeo que permita evaluar la rentabilidad y eficiencia de sus empresas, lo cual les posibilitaría planificar de manera adecuada su producción y evaluar la opción de realizar inversiones económicas que permitan aumentar sus niveles de producción.

2. OBJETIVO

Este trabajo de investigación pretende estudiar la implantación de una fábrica destinada a la producción industrializada de BTC en la provincia de Santa Fe, evaluando su viabilidad técnica y económica.

3. METODOLOGÍA

Para satisfacer la necesidad planteada por los productores de BTC, las cuales fueron manifestada durante el Encuentro Nacional de BTCeros, se propuso diseñar una herramienta de costeo que resulte útil para los procesos de toma de decisiones, en la cual puedan reflejarse datos relevantes tales como el beneficio total, la rentabilidad del proceso, los costos que incurren en la producción de bloques y la caracterización de los mismos en “fijos” y “variables”, entre otros. Además, esta herramienta permitiría una fácil visualización y evaluación de los procesos ante los cambios de ciertas variables, como pueden ser los costos de materia prima, salarios, precios de venta, o bien cambios en el sistema productivo, como el aumento de la contratación de mano de obra para aumentar el nivel de producción.

Para desarrollar esta herramienta de costeo fue necesario trabajar de manera conjunta con la empresa MOBAK, actualmente abocada a la producción de bloques de puzolana comprimida, distintos a los BTC tradicionales únicamente por tipo de suelo empleado como materia prima, como ya fue mencionado. Las tareas realizadas fueron:

- 1) Investigación exhaustiva del equipamiento y las instalaciones necesarias para este tipo de emprendimientos, como así también los recursos requeridos (materia prima, insumos y mano de obra).
- 2) Relevamiento del proceso de producción de la empresa Mobak, evaluando los consumos, rendimientos y desperdicios propios cada etapa.
- 3) Estudio de los distintos modelos de costeo aplicables a este tipo de empresa, definiendo el más adecuado en función del producto fabricado y su escala de producción.
- 4) Desarrollo de un modelo de costeo diseñado específicamente para este tipo emprendimientos (Vázquez, 1981; Raimondi, 1979).
- 5) Ajuste del modelo de costeo teórico desarrollado con las observaciones realizadas en planta.
- 6) Determinación del precio de venta y realizar un estado de resultados que refleje los beneficios obtenidos de acuerdo con el nivel de producción.
- 7) Generación de gráficos que permitan comprender diferentes aspectos del producto, entre ellos:
 - Cantidad de materia prima en el producto final.
 - Incidencia de los costos fijos y variables en el costo unitario total.
 - Incidencia de los bienes de uso sobre los costos fijos.
 - Incidencia de cada materia prima en el costo variable.
- 8) Desarrollo de un estudio de factibilidad de la producción de BTC en la ciudad de Santa Fe.

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Para desarrollar un análisis completo de la unidad productiva de BTC y el consiguiente estudio de factibilidad, fue necesario tener en cuenta todos los factores. Para ello, se realizó un relevamiento de la empresa MOBAK a partir del cual se elaboró una distribución en planta, partiendo del modelo estudiado, pero adaptada a la producción de BTC. Del mismo modo, se ajustó y conformo el sistema de costeo como herramienta fundamental para, entre otras funcionalidades, visualizar y analizar los resultados económicos a partir del Estado de Resultado, evaluar la composición de los costos del bloque, costos de amortizaciones de equipo; etc.

4.1. Proceso de producción y distribución en planta

En este apartado se define la distribución óptima del equipamiento dentro del espacio físico disponible en la potencial empresa junto con el flujo de material, desde el ingreso de materia prima hasta la concepción y almacenamiento del producto final. Además, se describe el proceso de producción identificando las distintas etapas como así también el nivel de producción con que se pretende trabajar.

a) Diagrama de procesos

El proceso de producción detallado con las diferentes etapas mencionadas, sus productos intermedios, insumos de producción y desperdicios se presenta en la figura 1. La descripción de las etapas del proceso productivo son:

- 1) Acopio I: la tierra ingresa a esta etapa en grandes cantidades hasta su posterior utilización. La misma debe almacenarse en un espacio cerrado, evitando así inconvenientes durante la etapa de molienda, generados por el exceso de humedad de la misma, disminuyendo además los desperdicios causados por la acción del viento.
- 2) Molienda: la tierra se muele empleando una “desterronadora”, ingresando luego al segundo acopio (tierra molida).
- 3) Acopio II: En este sector se almacena tanto la tierra procesada proveniente de la etapa anterior como así también los distintos tipos de arenas (común y de trituración).
- 4) Tamizado: Aquí se tamizan tanto la tierra molida como los áridos, eliminando así partículas de gran tamaño (grava, piedras, etc.) que pudieran dañar el equipo de prensado. El material retenido por la “zaranda” constituye el desperdicio de la etapa, como se observa en el diagrama de procesos de la figura 1.
- 5) Mezclado: esta etapa conlleva en sí misma 3 sub etapas, todas ellas desarrolladas dentro de la mezcladora:
 - Mezclado en seco: se mezcla de manera homogénea el material procedente de la etapa anterior, incorporando además los estabilizantes (cal y cemento).
 - Incorporación del agua: la humedad óptima de la mezcla es del 14% respecto al peso seco del material. Para alcanzar esta humedad, el operario encargado de esta tarea rocía el agua con un aspersor dentro de la mezcladora (con ésta funcionando) hasta identificar que se ha alcanzado el contenido óptimo de humedad mediante la realización de una prueba muy sencilla: se presiona con el puño una pequeña cantidad de mezcla y se la deja caer sobre el piso desde una altura de 1 m; si la humedad es la adecuada el terrón debe romperse en varios terrones más pequeños.
 - Homogenización. Una vez alcanzado el contenido de humedad requerido, se continúa mezclando hasta homogeneizar la mezcla. En este punto, las proporciones de los diferentes componentes de la mezcla (en peso seco) son los siguientes: tierra 68%, arena 8%, arena de trituración 10%, cemento 10% y cal 4 %. Luego de homogeneizada la mezcla se la lleva mediante una cinta transportadora a la tolva de la prensa.

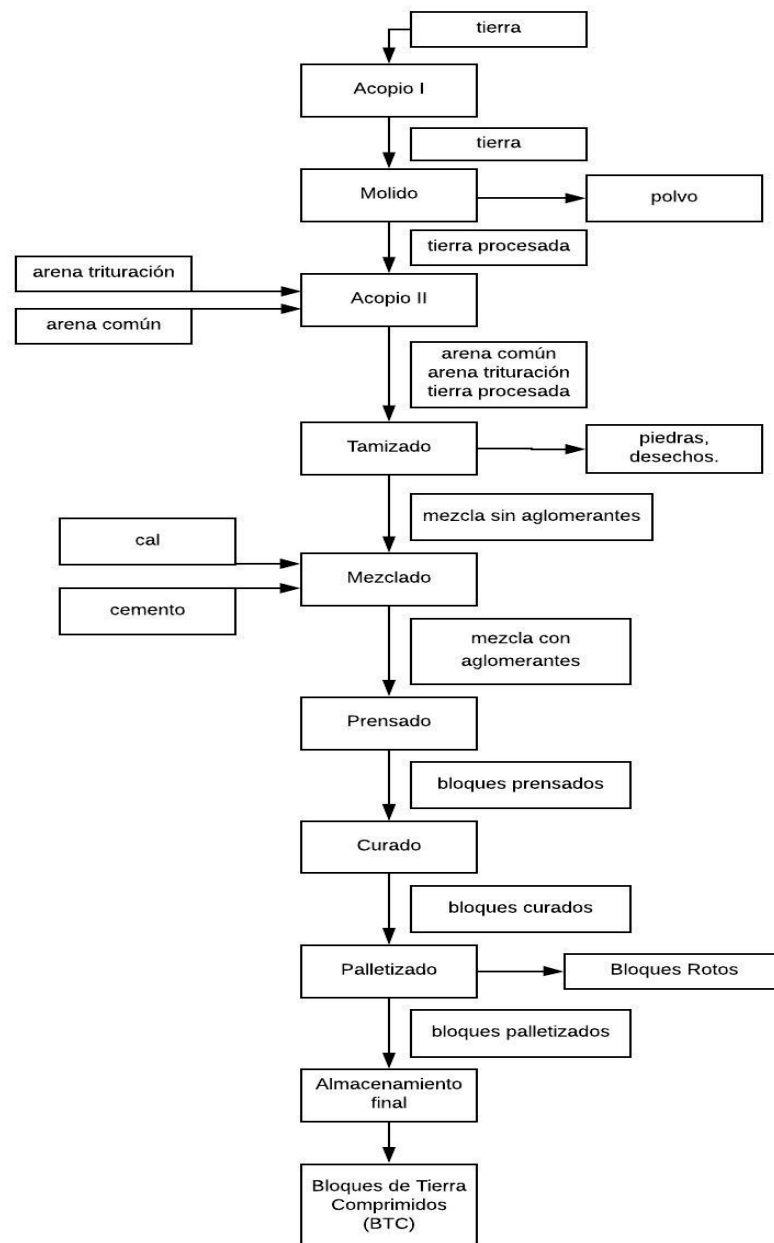


Figura 1: Diagrama de flujo de la producción del BTC

6) Prensado: aquí se transforma la mezcla proveniente de la etapa anterior en el BTC propiamente dicho, mediante la aplicación de elevadas fuerzas de compresión (aproximadamente 30 kgf/cm^2). El mampuesto obtenido es un prisma rectangular de $30 \times 15 \times 7,5 \text{ cm}$, y posee dos agujeros de 6 cm de diámetro.

7) Curado: el objetivo de esta etapa es el de favorecer el proceso de hidratación del cemento portland, garantizando así que los bloques alcancen su máxima resistencia. Para ello, inmediatamente después de ser expulsados de la prensa, los BTC “frescos” son apilados de manera cuidadosa en pallets (168 BTC por pallets) y llevados a una cámara de curado, una habitación de $9 \times 11 \text{ m}$ con un sistema de aspersores automatizados que rocían agua en intervalos de 20 minutos. En esta sala, los pallets son ubicados uno junto a otro, ya que no pueden ser apilados aún dada su baja resistencia, permaneciendo así por 24 h.

8) Palletizado: los bloques provenientes de la etapa de curado son reacomodados en nuevos pallets con el objetivo de aumentar la cantidad “apilada” llevándola de 168 bloques por pallet a 288, almacenándolos así de manera definitiva. El fin de esta etapa es el de optimizar espacio y debe llevarse a cabo luego del curado, cuando los BTC poseen mayor resistencia.

9) Almacenamiento final: los pallets con 288 bloques que llegan de la etapa anterior se ubican en el sector de almacenamiento final hasta su despacho.

b) Layout

En la figura 2 puede observarse el esquema de emplazamiento de los equipos dentro de cada sector de la planta, junto con el camino recorrido por el material durante las diferentes etapas del proceso.

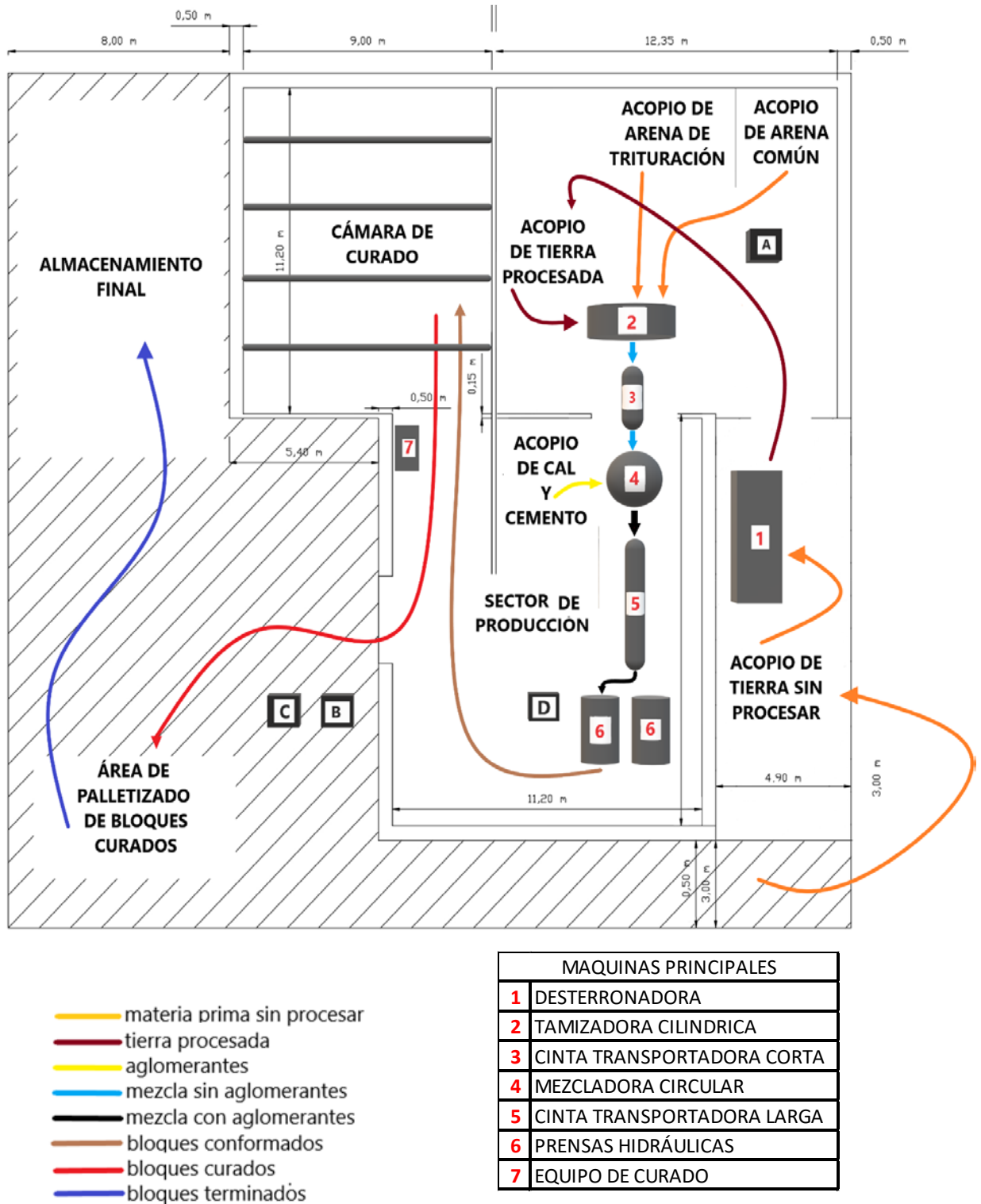


Figura 2: Distribución de equipos y flujo del material

c) Nivel de actividad

En lo que refiere al proceso, la producción se realiza por lotes, elaborándose 54 BTC por cada lote.

El nivel de actividad definido es de 54 lotes diarios, lo que equivale a 2916 unidades. Para los cálculos realizados se utilizan 2913 bloques diarios ya que se considera un desperdicio promedio de 3 bloques diarios por diversas causas (bloques fisurados, bloques deformados, bloques rotos), estas fallas ocurren y son identificadas una vez que el mampuesto ya pasó por la etapa de curado imposibilitando su reproceso, debiendo ser descartados.

Este nivel de producción alcanza a completar 18 pallets que se llevarán al curado, recordando que la capacidad del pallet para bloques prensados (168 BTC/pallets) no es la misma que para bloques terminados (288 BTC/pallets) cuando ya adquirieron mayor resistencia. Esto se debe a que en el palletizado de bloques “frescos” se apila menos bloques, dada su baja resistencia, dejándose además distancias mayores entre columnas de BTC para mejorar la manipulación durante el apilado.

Con una jornada laboral de 8 hs diarias y 22 días hábiles al mes, estimando los rendimientos y desperdicios nombrados anteriormente, se traduce en una producción mensual de 64094 bloques.

En esta etapa se consideraron los rendimientos por cada etapa para determinar exactamente el número de bloques resultantes (Osorio, 1991).

4.2. Costos fijos

En esta sección se visualiza la parte del sistema de costeo que incluye a los costos fijos, los cuales pueden definirse como aquellos que no varían con el nivel de actividad de la empresa.

En la tabla 1 se muestran los costos fijos por mano de obra (MO), donde se tienen en cuenta los salarios de todos los trabajadores, incluyendo los aportes patronales.

Tabla 1. Costos fijos de MO

Puesto	Cantidad	Remuneración [\$/mes]	Remuneración [USD/mes]
Gerente General	1	68.800	1463,86
Jefe de Producción	1	31.353	667,01
Operarios	4	115.636	2460,34
Total		215.790	4591,28

En la tabla 2 se observan los costos fijos mensuales relacionados a los servicios y al inmueble utilizado.

Tabla 2. Costos fijos insumos

Recurso	Costo [\$/mes]	Costo [USD/mes]
Energía eléctrica	566	12,04
Agua	148	3,15
Teléfono e internet	870	18,51
Inmueble	25.000	531,91
Total	26.584	565,61

En la tabla 3 se exponen los costos fijos referidos a los bienes de uso, donde se tiene en cuenta la amortización de cada equipo y herramientas de trabajo, utilizando como base de cálculo la vida útil de cada una.

Tabla 3: Bienes de uso

Maquinaria	Cantidad	Valor [\$]	Vida útil [año]	Amortización [\$ /mes]	Amortización [USD /mes]
Auto elevador	2	300.000	10	5.000,0	106,4
Baldes 10 kg	4	50	5	3,3	0,1
Palas	4	500	5	33,3	0,7
Tamizadora	1	60.000	10	500,0	10,6
Mezcladora	1	150.000	10	1.250,0	26,6
Carretilla	2	1.300	5	43,3	0,9
Cinta transportadora corta	1	100.000	10	833,3	17,7
Cinta transportadora larga	1	150.000	10	1.250,0	26,6
Prensa hidráulica	2	500.000	10	8.333,3	177,3
Mesa móvil	1	3.000	5	50,0	1,1
Pallets para curado	200	100	5	333,3	7,1
Pallets para almacenamiento	200	100	5	333,3	7,1
Zorra	1	10.000	5	166,7	3,5
Bomba eléctrica	1	3.000	5	50	1,1
Basureros	5	60	5	5	0,1
Equipo de curado	1	25.000	10	208,3	4,4
Baldes 20 kg	15	60	5	15	0,3
Cargadora frontal	1	400.000	10	3.333,3	70,9
Compresor	1	5.000	5	83,3	1,8
Teléfono (equipo)	1	800	5	13,3	0,3
Casco y protector auditivo	5	250	5	20,8	0,4
Gafas	5	60	5	5	0,1
Calzado de seguridad	5	2.000	5	166,7	3,5
Desterranadora	2	70.000	10	1.166,7	24,8
Total				23.197,5	493,6

4.3. Costos variables

En la siguiente sección se muestra la información sobre los costos variables de producción, es decir aquellos que dependen del nivel de actividad de la empresa.

En la tabla 4 se ven los costos variables, en los cuales se incluyen tanto los insumos utilizados para la producción como para la parte variable de los servicios necesarios (agua, energía eléctrica). Y, en la tabla 5 se muestran los consumos por lote de los insumos y

servicios utilizados en cada etapa del proceso de fabricación de los bloques, con su correspondiente costo.

Tabla 4. Costos variables

Recurso variable	Precio (\$)	Precio (USD)
Tierra	0,30 \$/kg	0,006 USD/kg
Arena común	0,41 \$/kg	0,0087 USD/kg
Arena de trituración	0,91 \$/kg	0,019 USD/kg
Cal hidráulica	6,80 \$/kg	0,145 USD/kg
Cemento	6,54 \$/kg	0,139 USD/kg
Agua	10,12 \$/m ³	0,215 USD/kg
Energía eléctrica	5,55 \$/kwh	0,118 USD/kg

Tabla 5. Consumos y costos variables por etapa

Proceso	Insumo	Consumo por lote	Costo por lote [\$/lote]	Costo por lote [USD/lote]
Acopio	Tierra sin procesar	195 kg	57,95	1,23
	Arena de trituración	29,49 kg	26,96	0,57
	Arena común	23,4 kg	9,63	0,20
Desterronado/Picado	Energía eléctrica	0,25 kwh	1,39	0,029
Tamizado	Energía eléctrica	0,25 kwh	1,37	0,027
Mezclado	Cemento	26,68 kg	174,49	3,71
	Cal hidráulica	11,43 kg	77,72	1,65
	Energía eléctrica	0,86 kwh	4,77	0,10
Prensado	Energía eléctrica	0,39 kwh	2,16	0,046
Curado	Agua	0,07 m ³	0,68	0,014
	Energía eléctrica	0,44 kwh	2,44	0,052
Total			359,57	7,65

4.4. Análisis económico

En este apartado se evalúan todas las variables con un sentido económico, mostrando en qué manera y proporción impactan en los costos del producto final (BTC) y en los beneficios del potencial emprendimiento.

La figura 3 muestra la distribución del costo total, incluyendo tanto los costos fijos como los variables totales mensuales.

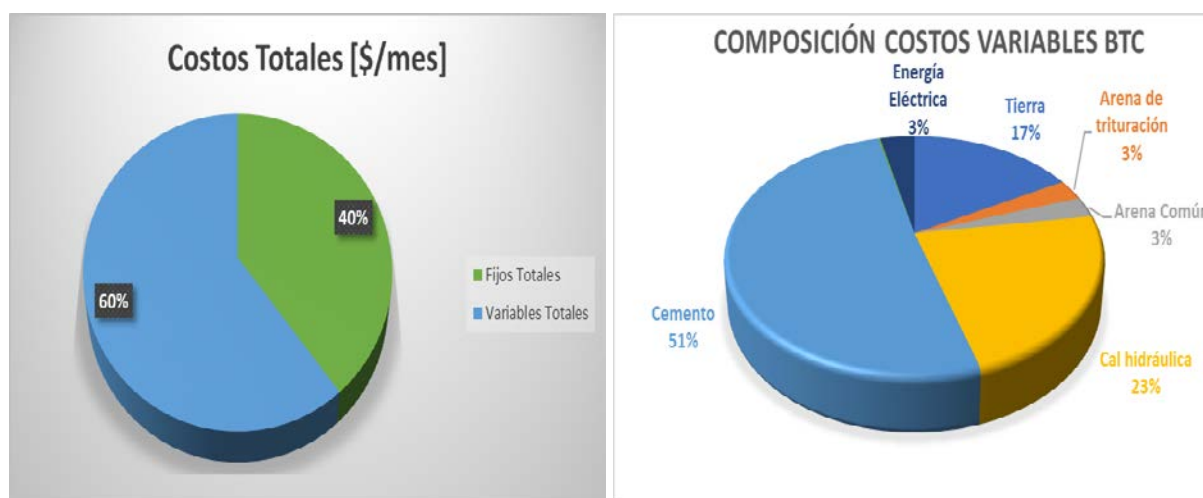


Figura 3: Distribución de los costos

Puede apreciarse como los costos variables tienen una mayor incidencia en los costos totales (60%), lo cual permite tener una mayor flexibilidad en los niveles de producción.

- Fijos totales: 265.571,07 \$/mes (5650,05 USD/mes)
- Variables totales: 406.583,13 \$/mes (8650,70 USD/mes)

Además, haciendo referencia a los costos variables, se evidencia como el cemento compone más de la mitad de ellos, y cómo la cal posee un porcentaje importante siendo que solo ocupa el 4% en peso del bloque. La tierra, sin embargo, que es la materia prima principal representando un 68% del peso total del bloque, tiene una influencia relativamente baja dentro de la composición de los costos variables.

Con esta herramienta se puede observar de manera detallada la composición de los costos del producto fabricado.

En la tabla 6 se indican los costos fijos y variables por unidad de producto (BTC). Estos datos determinan el costo unitario final del producto. Además, se muestra el precio de venta con el cual se estima comercializar el producto.

Tabla 6. Costos unitarios

BTC	CFU		CVU		Costo total unitario		PV	
	[\$/u]	[USD/u]	[\$/u]	[USD/u]	[\$/u]	[USD/u]	[\$/u]	[USD/u]
	4,14	0,088	6,34	0,135	10,49	0,223	14	0,298

El precio de venta del bloque fue definido de forma tal que se cubran los costos de elaboración, y que a la vez genere un producto competitivo (desde el punto de vista económico) frente a otros tipos de mampuestos de similares prestaciones. Para esto, vale mencionar algunos los precios de venta de algunos mampuestos en la Provincia de Santa Fe:

- Ladrillo Retak (15x25x50 cm): \$81,00 (1,752 USD) por unidad
- Ladrillo común: \$9,50 (0,20 USD) por unidad
- Air block (19x19x19 cm): \$42,00 (0,89 USD) por unidad
- Ladrillo cerámico hueco portante (18x19x33 cm): \$38,00 (0,81 USD) por unidad
- Block de hormigón: \$32,00 (0,68 USD) por unidad

En la tabla 7, se presente el estado de resultados de la producción de BTC de MOBAK, donde se pueden observar los ingresos obtenidos por mes, los costos totales incurridos por

mes, y por lo tanto los beneficios y la rentabilidad de la empresa para cierto nivel de producción.

Tabla 7. Estado de resultados

Ingreso por ventas	\$897.320,14 (19091,92 USD)
Costos totales	\$672.154,20 (14304,15 USD)
Beneficios totales	\$225.165,94 (4790,76 USD)
Rentabilidad según CT	33%

5. CONCLUSIONES

Se logró el objetivo de adaptar la planta de producción a la elaboración de bloques de tierra comprimidos a partir de cambios estructurales y operativos, demostrando que la fabricación a nivel industrial de este mampuesto es técnicamente posible.

Además, se generó una herramienta fundamental para la toma de decisiones de la empresa, que permite demostrar la viabilidad económica del emprendimiento, la cual hasta el momento simplemente era estimativa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bestraten S; Hormías E.; Altemir A. (2011). Construcción con tierra en el siglo XXI. Informe de la Construcción, v. 63, n 523, p.19 - 31.

Falceto, C. (2012). Durabilidad de los bloques de tierra comprimida. Evaluación y recomendaciones para la normalización de los ensayos de erosión y absorción. Tesis doctoral: Universidad Politécnica de Madrid.

Osorio, O. (1991). La capacidad de producción y los costos. Buenos Aires, Argentina: Ediciones Macchi

Raimondi, C. A. (1979). Costos. Buenos Aires: Ediciones Contabilidad Moderna

Rigassi, V. (1986). Compressed earth blocks: manual of production. v.1. France: CRATerre-EAG

Vázquez Espi, M. (2001). Construcción e impacto sobre el ambiente: El caso de la tierra y otros materiales. Informes de la construcción. v. 52, n 471, p. 29 – 43

Vázquez, J. C. (1981); Tratado de costos. Editorial Aguilar.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al empresario Alejandro Baker, dueño de la empresa Mobak por permitirnos desarrollar las tareas de campo en su fábrica y por brindarnos información sobre sus costos de producción.

AUTORES

Cristian Benvenuto, estudiante avanzado de ingeniería industrial y miembro y becario de Grupo de Investigadores TIERRA FIRME de la Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Santa Fe.

Gonzalo Darras, estudiante avanzado de ingeniería industrial y miembro y becario de Grupo Tierra de la Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Santa Fe.

Santiago Cabrera, Ing. Civil, doctorando en Ingeniería, mención Ing. Industrial. Becario CONICET. Docente investigador abocado a las técnicas constructivas en tierra, con énfasis en los bloques de tierra comprimida. Actualmente desempeña sus actividades laborales en el Laboratorio de Geotecnia del departamento de Ingeniería Civil en UTN – FRSF.

Ariel González, Ing. en Construcciones, Mg. en Metodología de la Investigación. Docente investigador de la UTN-FRSF. Integrante de equipos interdisciplinarios en ONGs que abordan el tema hábitat urbano y rural y técnicas constructivas con tierra; capacitado en investigación, desarrollo y transferencias de tecnologías para viviendas de bajo costo. Miembro de la Red Iberoamericana PROTERRA.