

Proyecto para Implementación de una Planta para Conformado de Láminas Metálicas con una Capacidad de 500 Toneladas por Mes

Carlos Glenn Yoong Ormaza ⁽¹⁾, Federico Camacho Brausendorff, M. Sc. ⁽²⁾
Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción ^{(1), (2)}
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador
M. Sc. Mechanical Engineering ⁽²⁾
University of Illinois, Profesor de ESPOL ⁽²⁾
cargyoon@espol.edu.ec ⁽¹⁾, fcamacho@espol.edu.ec ⁽²⁾

Resumen

El presente artículo presenta un proyecto para la implementación de una planta para el conformado de láminas metálicas con una capacidad de 500 toneladas por mes. El objetivo de este estudio es analizar la teoría para el diseño de máquinas para el conformado, realizar la ingeniería del proyecto y analizar los costos para la implementación local. En la teoría para el diseño de máquinas se presentan métodos prácticos para calcular el número de pasos necesarios para el conformado en frío. En la ingeniería del proyecto se hace un estudio para la implementación de la planta con la selección de equipos mediante análisis técnico-económico, se presenta una distribución de planta y analiza la ubicación de la planta. Finalmente, en el análisis económico se estudia la inversión necesaria y se evalúa la inversión teniendo como resultado un retorno de 2 años de inversión con un TIR de 45%. La planta se diseña para la una producción de 1000 toneladas por mes, considerando un futuro aumento de producción.

Palabras Claves: *Roll Forming Machine, laminas metálicas, laminas corrugadas, acero galvanizado, planta*

Abstract

This article presents a project for the implementation of a plant for forming metal sheets with a capacity of 500 tons per month. The aim of this study is to analyze the theory for the design of the forming machines, to study the engineering of the project and to analyze the costs for local implementation. For the theory of machine design we present practical methods to calculate the number of steps necessary to cold form the metal. In the project engineering we make a study for the implementation of the plant with the selection of the equipments by technical-economical analysis, a plant distribution is designed and the plant location is analyzed. Finally, in the economical analysis the investment is analyzed and evaluated, with a result of return of 2 years and with an IRR of 45%. The plant is designed for 1000 tons per month production, considering a future increase in production

Keywords: *Roll Forming Machine, metal sheet, corrugated sheet, galvanized steel, plant*

1. Introducción

La Industria Manufacturera en el Ecuador constituye el 25% de los sectores industriales más importantes del país. El Conformado Metálico por Rodillos es una industria en desarrollo con mucha flexibilidad e innovación, permitiendo el desarrollo de nuevos productos para abastecer las demandas del creciente mercado actual.

El desarrollo industrial en el país ha permitido un crecimiento económico notable, generando empleo, creando oportunidades de negocio y

disminuyendo las importaciones de productos elaborados. Ecuador posee la materia prima necesaria para producir acero, y esta situación debe ser aprovechada. Esta tesis proyecta un estudio sobre la implementación de una planta para el conformado de láminas metálicas, enfocándose en el desarrollo social y económico del país.

Este estudio incluye primero un análisis sobre la teoría del conformado por rodillos. Exponiendo temas sobre el material de los rodillos, determinación de etapas de conformado y

programas computacionales que faciliten el diseño de estos equipos para el conformado.

La ingeniería del proyecto de este estudio presenta la base técnica para la implementación de la planta, estudiando la ubicación, el proceso y los equipos necesarios para una producción conforme a los requerimientos. El análisis de la automatización del proceso que se presenta en este estudio expone el beneficio de la implementación de puntos automatizados y control que permiten un mejor manejo del proceso.

2. Conformado con Rodillos

El Conformado con Rodillos o Roll Forming en inglés, es un proceso de formado en frío de laminas metálicas a través de estaciones de rodillos contorneados sin cambiar el espesor del material. Cada estación puede tener más de dos rodillo.

Se puede clasificar el Conformado con Rodillos en dos grandes grupos: un proceso que usando laminas cortadas a medida para procesarlas (método del pre-corte) y un proceso usando bobinas metálicas que son cortadas luego de ser formadas (método de post-corte).

Para entender el proceso de Conformado con Rodillos, se debe conocer la base teórica que lo fundamenta. En el Conformado con Rodillos se utiliza como materia prima, laminas metálicas de espesores típicos entre 0.4 mm (1/64 in) y 6 mm (1/4 in). Cuando el espesor es mayor a 6 mm se llama placa. Las piezas de láminas metálicas se caracterizan por su alta resistencia, buena precisión dimensional, buen acabado superficial y bajo costo relativo.

2.1. Variables del Proceso

El conformado con rodillos es un proceso progresivo, en donde el material fluye de una sección a otra. Los parámetros variables en el Conformado con Rodillos son: Requerimiento de Potencia, Velocidad de Conformado y el Tipo de Lubricante [7].

Requerimiento de potencia. La potencia que el proceso requiere depende la pérdida de torque en el conjunto mecánico y la fricción existente entre el material y los rodillos. La aleación del material y el espesor deben considerarse para el requerimiento de potencia.

Velocidad de conformado. Las velocidades usadas en el conformado con rodillos pueden variar de 0.5 a 245 m/min. Las velocidades entre 25 y 30 m/min son las más usadas. Los siguientes requerimientos pueden influenciar en la velocidad óptima de conformado: Composición del metal a trabajar, Esfuerzo de fluencia y dureza del metal, Espesor del metal, Severidad de la operación de formado, Cortar, Numero de estaciones de rodillos, Operaciones auxiliares y el Uso de lubricantes.

Tipo de lubricante. Como se explico anteriormente la correcta lubricación permite un correcto conformado de las piezas, disminuyendo la fricción en los rodillos y disminuyendo también la temperatura. Cuando los rodillos son sobrecalentados, el tiempo de vida se ve disminuido. Aceites solubles son los más usados, con una mezcla de 1/12 de agua. A pesar de que la lubricación es de gran ayuda y necesaria para el conformado, significan costos que deben ser asumidos.

2.2. Equipos

Existen muchos tipos de maquinas para el conformado con rodillos. Estas se pueden clasificar según el apoyo del eje, configuración de la estación y el sistema de transmisión de potencia.

Según el apoyo del eje. Generalmente, existen dos tipos: maquinas con eje interior y maquinas con eje exterior, ver figura 1.

Eje interior. Estas maquinas tienen el eje soportado en cantiléver. El eje tiene diámetros de 25 a 38 mm y longitudes hasta 102 mm. Son usadas comúnmente para conformado de pequeño espesor y formas simples. El cambio del rodillos es más rápido que el maquina con eje exterior.

Eje exterior. En estos equipos existen dos bancadas soportando los extremos del eje. Las bancadas generalmente son ajustables para el conformado de materiales con mayor espesor. El eje tiene diámetros entre 38 y 102 mm y pueden conformar hasta 1830 mm de ancho.

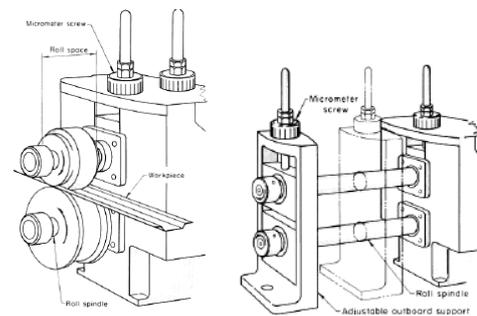


Figura 1. Según el apoyo del eje

Según la configuración de estaciones. La manera en que las unidades de conformado se encuentran montadas determinan el tipo de forma que puede conformar la maquina.

Maquina de trabajo único. Son diseñados para conformar un solo tipo de perfil. Son generalmente usadas para producción altas y su costo es bajo en comparación con las otras maquinas.

Maquinas convencionales. Son maquinas más versátiles, ya que permite el cambio de rodillos, porque la bancada se puede extraer. Esto permite cumplir diferentes requerimientos de producción.

Maquinas de lado y lado. Estas maquinas proveen la flexibilidad de tener más de un conjunto de rodillos montados en el eje al mismo

tiempo. Una de las ventajas es bajo costo de inversión y poco uso de espacio físico.

Maquinas de doble altura. Esta configuración consiste en un conjunto de rodillos montados en su propio eje y cojinetes en un nivel, con otro conjunto de rodillos montados en otro nivel, pero sobre la misma bancada. Este tipo de maquinas son usadas para conformar paneles metálicos para la construcción.

Maquinas removibles. Su configuración es parecida a las maquinas convencionales, sin embargo, en esta configuración tiene unidades de conformación con rodillos montadas sobre bancadas removibles de la base del equipo.

Maquinas de doble cabezal. Son diseñadas y construidas con dos sets de cojinetes separados y ejes de rodillos montados cara a cara. Cada cojinete es montado en un mecanismo que permite al cojinete ser movido para modificar el ancho del producto, al mismo tiempo manteniendo el mismo perfil.

Según el sistema de transmisión de potencia.
Cadenas (Fig. 2). Consiste en un piñón unido a la unidad de conformado y conectado con la unidad de transmisión con cadena. Se usa una cadena entre estación, en conjunto con una larga cadena transmitiendo a cada estación. Este sistema no es costoso y permite flexibilidad en la construcción de la maquina.

Engranajes de rueda dentada. Consiste en un tren de ruedas dentadas montadas en el extremo de cada eje. Un piñón loco es colocada entre cada unidad para transmitir la misma potencia equitativamente.

Tornillo sin fin. Es similar al sistema de ruedas dentadas pero en vez de usar un engranaje loco para transmitir la potencia, se usa un tornillo sin fin montado al extremo del eje de cada unidad. El diseñador del equipo tiene la facilidad de alinear el centro de los ejes.

Engranajes cuadros. Posee ruedas dentadas y tornillos sin fin. Este tipo de engranaje permite un ajuste vertical de los ejes superiores y permite un mayor rango en los diámetros de los rodillos.

Acoplamiento universal. Elimina la necesidad de ruedas dentadas o cadenas y piñones. Consiste en una serie de conjuntos de tornillos sin fin con 2 salidas que transfieren la potencia de la fuente a cada eje individual a través de un acoplamiento con doble articulación universal.

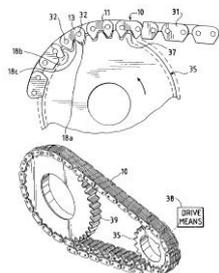


Figura 2. Cadenas de transmisión

3. Diseño del Conformado con Rodillos

Los rodillos de la maquina son costosos de fabricar. Si se decide usar muchos pasos puede resultar un proceso muy costoso y el producto no será competitivo. Por otro lado, si se tiene menos del número óptimo de pasos puede resultar en volver a procesar la pieza, adquirir otro rodillo o reemplazar los existentes, desperdicio de material, pérdida de tiempo en puesta a punto de equipo o tener que descartar por completo todo el conjunto de rodillos.

Actualmente, el cálculo del número de pasos y los esfuerzos creados por el conformado se hacen mediante programas computacionales. Para una mejor visualización estos programas muestran las secciones transversales que se realiza en cada pasada del conformado, este diagrama se llama "diagrama de flor". En la figura 3 podemos observar un "Diagrama de Flor".

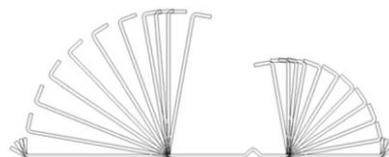


Figura 3. Diagrama de Flor

Los factores de influencia para la determinación del número de pasos necesarios para la conformación de una lámina son: perfil del conformado, orientación del producto, material de lamina, máquina para conformar, espesor de material y agujeros o muescas.

Una ecuación empírica ha sido desarrollada por Halmos para el cálculo de número de pasos por medio de software [6].

$$n_{\text{imperial}} = \left[3.16h^{0.8} + \frac{0.05}{t^{0.87}} + \frac{\alpha}{90} \right] \left[\frac{Y^{2.1}}{40U} \right]^{0.15} s(1 + 0.5z) + e + f + 5zs$$

$$n_{\text{met}} = \left[0.237h^{0.8} + \frac{0.834}{t^{0.87}} + \frac{\alpha}{90} \right] \left[\frac{Y^{2.1}}{0.003U} \right]^{0.15} s(1 + 0.5z) + e + f + 5zs$$

Donde las variables son: n (numero de etapas), h (altura máxima del perfil), t (espesor del material), α (ángulo total del perfil conformado), Y (esfuerzo de fluencia en ksi(MPa)), U (resistencia a la tracción en ksi(MPa)), z (agujeros/muecas preparados), s (factor de forma [1-1.6]), e (numero de pasos extras) y f (factor de tolerancia).

4. Ingeniería del Proyecto

Se recomienda un área para la construcción de la planta. El terreno se encuentra ubicado en el Parque Industrial Inmaconsa, con coordenadas -2°

6' 47.63" S, -79° 56' 25.08" W, en Guayaquil, Ecuador.

4.1. Producto a Elaborar

El producto que se va a manufacturar en esta planta son planchas corrugadas de tipo económico, con las siguientes características:

Material	Acero galvanizado
Longitud	8' - 10' - 12'
Espesor	0.18 mm. - 0.23 mm.
Ancho total	800 mm
Ancho útil	755 mm

El perfil de corrugación a manufacturar se muestra en la figura 4.



Figura 4. Perfil de corrugación. [18]

Se desea tener una producción de 500 toneladas por mes de láminas corrugadas. Las planchas van a ser empacadas en pacas de 672 unidades colocadas sobre pallets de madera, con tres formatos distintos que varían según la longitud de la plancha: 2440 mm, 3048 mm y 3660 mm.

4.2. Materia Prima

La materia prima que se ha de procesar posee las siguientes características en base a la norma JIS G 3302 SGCH Full Hard, equivalente a ASTM A653/A653M. Debe ser un acero galvanizado de grado SS [13], con recubrimiento regular Z120 o Z180, cromado seco y acabado brillante.

El ancho de la materia prima (bobinas) debe ser aproximadamente de 900 mm, para conseguir un ancho final aproximado de 816 mm. El peso de la bobina se encuentra en función del ancho y el espesor requerido, para este proyecto el peso es máximo de 7 toneladas. El diámetro interior oscila entre 500 y 600 mm. Y el diámetro exterior es máximo de 1300 mm.

4.3. Proceso de producción

El flujo de proceso para el conformado de láminas metálicas se muestra en la figura 5. Se muestran 3 pasos básicos para el conformado de cubiertas corrugadas.

El proceso detallado para el conformado de láminas corrugadas, consta de 6 pasos, que se muestran a continuación:

- Manipulación de Materia Prima

- Debobinado
- Conformado por Rodillos
- Corte por Cizalla
- Apilamiento (Stacker)
- Empacado y Almacenaje

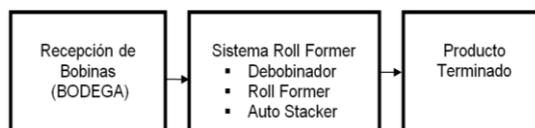


Figura 5. Proceso de Producción

4.4. Selección de Equipos

Para la selección de estos equipos se hace una investigación de proveedores y un análisis técnico de las máquinas que ofertan. Para finalmente seleccionar la que cumpla con los requerimientos del proyecto.

Espesor de lámina. El equipo para la producción debe tener la capacidad de conformar laminas de espesor entre 0.18 mm a 0.23 mm.

Velocidad de equipo. La velocidad del equipo define la capacidad de producción que tiene el equipo. Conociendo la producción: 500 toneladas por mes, podemos estimar la velocidad necesaria del equipo.

Espesor	Peso Unitario	Velocidad de Equipo
0.18 mm	1.27 kg/m	41.01 m/min
0.23 mm	1.62 kg/m	32.15 m/min

Perfil de corrugación. Para la selección de los equipos se definió el perfil de corrugación, que cada equipo debe cumplirlo. La figura 4 muestra el perfil de corrugación, que se define como 15-68-800.

Capacidad de peso de debobinador. El debobinador debe tener la capacidad de manejar mínimo 6 toneladas de peso de bobinas a 10 toneladas.

Potencia del equipo. La potencia del equipo es necesario conocerlo para estudiar la cantidad de energía consumida. Con la cantidad de energía consumida se puede diseñar el sistema eléctrico para la planta.

4.5. Índices económicos para selección

Precio de equipo/Toneladas por mes. Con este índice es posible comparar la rentabilidad del equipo. Es decir saber si el precio justifica la capacidad de producción. En la tabla 3.10 se puede observar datos promedio para cada grupo de fabricantes.

Presupuesto Implementación. Permite conocer la inversión necesaria para la implementación del proyecto.

4.6. Equipo seleccionado

En función del análisis correspondiente se selecciona la compañía Yunsing Industrial Co. y la opción corte con parada.

TABLA 3. DESCRIPCION TECNICA DEBOBINADOR	
Tipo	Eje extendido
Tamaño	2.4 m L x 1.15 m W x 1.70 H
Diámetro interior	400 mm a 620 mm
Diámetro exterior	1700 mm
Ancho	940 mm max
Capacidad de carga	5000 kg max
Peso del equipo	1500 kg
Potencia del motor	3 hp
Velocidad de salida de material	20 m/min max

TABLA 4. DESCRIPCION TECNICA CONFORMADOR	
Tamaño	9.0 m L x 1.65 m W x 1.05 H
Espesor de lamina	0.18 mm a 0.25 mm (G550)
Velocidad de conformado	20 m/min max
Diámetro eje rodillo	75 mm a 95 mm
Material de rodillo	JIS S45C, cromado SK2
Numero de pasos	26 pasos
Potencia del motor	15 hp
Velocidad de salida de material	20 m/min max.

TABLA 5. DESCRIPCION TECNICA CIZALLA	
Material cizalla	SKD-11
Automatización	Corte controlado por computadora

4.7. Distribución de planta

Para cumplir con los requerimientos de producción, se decide la implementación de 2 líneas de conformado con rodillos, con opción a la implementación futura de 2 líneas adicionales. El flujo de proceso es rectilíneo.

Las dimensiones del terreno donde estará construida la planta son de 171 x 48,6 metros. El galpón de la planta será construido dentro de esta área.

Para la construcción del galpón se considera un área de 21 m. x 143 m, y una altura de 7 m. Dentro de esta área se considera espacios para almacén de bobinas, equipos de producción, oficinas administrativas, taller, vestidores y almacén de producto terminado.

La materia prima es transportada, movilizada y organizada dentro del galpón por medio de montacargas. Se considera la separación adecuada de las líneas de producción para que el

montacargas traslade el producto terminado con facilidad al espacio de pre-almacenamiento.

El área administrativa cuenta con 2 plantas donde se encuentran las oficinas de jefe de planta, vestidores, taller mecánico -eléctrico y bodega.

En el almacén de bobinas se deja un espacio suficiente para permitir el libre acceso de los montacargas a las bobinas así como a la recepción del camión con la materia prima.

Se deja como alternativa la futura implementación de puente grúa para el almacenamiento y traslado de bobinas.

Se establece almacenar las bobinas en estanterías para capacidad de bobinas de 7 toneladas, las bodegas tienen capacidades de almacenamiento 216 bobinas con 3 niveles que almacenan 1512 toneladas. Esto presume la ampliación de la planta para producción de 1000 ton/mes, dándonos un rango de medio mes de stock de bobinas para la producción. Referirse al plano 4 para mayor detalle.

Se dispone un área de 3 m x 10 m, para el almacenamiento de pallets consumibles. Donde todos los pallets serán colocados según el tamaño. El producto terminado puede ser temporalmente situado cerca de la puerta que accede al almacén de producto terminado.

Para la producción de 1000 ton/mes, es necesario el diseño de un almacén para 480 pacas por mes. Hemos diseñado un almacén para los productos terminados con capacidad de almacenar 240 pacas con producto terminado, es decir la mitad del máximo a producir por la planta. Este valor asume un tiempo máximo de 15 días desde que el producto terminado ingresa a almacenaje hasta que se despacha para la venta.

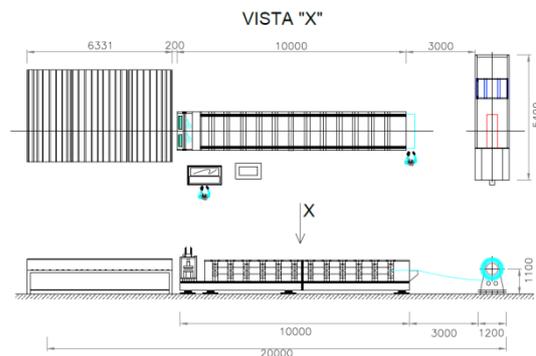


Figura 5. Roll Forming Machine

5. Análisis Económico

En la tabla 6 se hace un desglose para la inversión fija necesaria para la implementación de la planta, sus valores se basan en costos de maquinarias y equipos, sistemas informáticos y lo que se refiere a terrenos y construcciones. Los valores que se muestran en esta tabla son valores definitivos de inversión fija. Para la implementación de la planta se necesita \$ 913.750, esto es la inversión fija.

El costo de operación anual se muestra en la tabla 7, mostrando el capital anual necesario para la operación de la planta. Se desglosa insumos, servicios básicos, mantenimiento de equipos, sistemas informáticos y gastos administrativos. El capital de operación anual es de \$ 7.135.953.

TABLA 6 INVERSION FIJA	
Maquinarias y Equipos	\$ 240.600,00
Sistemas Informáticos	\$ 3.150,00
Terreno y Construcciones	\$ 620.000,00
Varios*	\$ 50.000,00
TOTAL	\$ 913.750,00

TABLA 7 CAPITAL DE OPERACIÓN ANUAL	
Insumos	\$ 7.019.760,00
Servicios Básicos	\$ 37.953,00
Mantenimiento Equipos	\$ 27.000,00
Administrativos	\$ 51.240,00
TOTAL	\$ 7.135.953,00

Evaluando el proyecto se obtiene un valor del VAN de \$ 13.668.496, aceptando el proyecto por ser mayor que cero. Por otro lado el TIR de 45%, es mayor a la TMAR (Tasa Mínima de Aceptable de Rendimiento) de 40% para este proyecto, y el proyecto es aceptado. La inversión se recupera en aproximadamente 2 años, a pesar de tener una fuerte inversión inicial.

6. Conclusiones

Este proyecto representaría un impulso puntual para la economía del país, ya que las importaciones de productos a partir de acero galvanizado se van a suplir por las 1000 toneladas al mes que se proyectan con la planta. Las importaciones de materia prima seguirán pero el valor agregado del producto se realizara localmente. Además existirá aumento de plazas de trabajo (13 puestos de trabajo directo, y alrededor de 100 puestos de trabajo indirecto).

El conformado de láminas metálicas en Ecuador tiene un desarrollo en su mayoría experimental. Es una importante área que debe ser desarrollada y estudiada para mejorar la competitividad de las empresas a nivel local. Entender la teoría de la plasticidad permite un mejor control del proceso y mejor costo-beneficio por toneladas producidas.

Localmente se puede iniciar con el diseño de productos nuevos de lámina de acero. Conocer la teoría y la práctica es esencial para el desarrollo. Actualmente existen numerosos programas computacionales que permiten el desarrollo e innovación en esta área de la ingeniería.

Según el estudio de mercado existe un mercado potencial para la venta de láminas corrugadas para aplicaciones de construcción. Proyectando las ventas para 10 años se observa que anualmente se pueden vender 4100 toneladas al año solo en techos para casa nuevas a nivel nacional. Esto

constituye el 60% de nuestra producción anual. El otro 40% constituye lo que son aplicaciones para la construcción tales como cerramientos, puertas, galpones, criaderos, bodegas, etc. que es parte del mercado de la construcción.

La planta tiene un consumo de 82 kW para los equipos de producción. El almacén de materias primas tiene una carga civil de 9000 kg/m² y el almacén de producto terminado una carga de 2000 kg/m². El diseño del área de transformación de materias primas se realiza en función del peso de los equipos.

7. Referencias

- [1] P. Ludwik, "Elemente der technologischen Mechanik", Springer-Verlag OHG, Berlin, 1909
- [2] R. Hill, "Proc. R. Soc. London", Ser. B, Vol 193, pp. 281-297, 1948.
- [3] D. Lee y W. A. Backofen, "Transactions of Metallurgic Society" AIME, vol. 236, p. 1083, 1966.
- [4] W. Hans-Wilfried, "New developments in sheet metal forming: sheet materials, tools and machinery, Elsevier-JMPT, Kassel, 1996
- [5] G. Dieter, "Mechanical Metallurgy", pp. 89, Maryland, 1988
- [6] G. Halmos, "Roll Forming Handbook", Boca Raton, 2006
- [7] ASM Handbook, "Forming and Forging", Vol. 14, pp. 1378-1379, 1993
- [8] NEC 2010, Superintendencia de Compañías del Ecuador.
- [9] Censo Nacional de Población y Vivienda 2001, INEC, 2001.
- [10] Rooftec, [<http://www.rooftec.com.ec>]
- [11] Novacero S.A. [<http://www.novacero.com>]
- [12] Kubiec S.A. [<http://www.kubiec.com>]
- [13] ASTM 653/653M. Standard Specification for Steel Sheet, Zinc Coated (Galvanized) or Zinc-Iron Alloy-Coated (Galvannealed) by Hot-Dip Process.
- [14] Protección de corrosión blanca. Galvainfo Note.
- [15] Censo Nacional de Población y Vivienda 2010. Resultados sobre las viviendas.
- [16] Selección del Espesor de Recubrimiento para Producto de Planchas de Acero Galvanizadas. GalvaInfo Note 1.6
- [17] Tasa Mínima de Aceptación de Proyectos. Blog de Evaluación de Proyectos. Apuntes. 2009
- [18] Ficha Técnica de Producto. Lamina Corrugada Teja. Corpacero. FP 410-002. 2008.