

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ENCOFRADO DE ALTA
EFICIENCIA: APLICANDO EL MODELO DE DISEÑO Y
DESARROLLO DE UN PRODUCTO**

Julián Alejandro Escobar Hidrobo

Tesis de grado presentada como requisito para la obtención del título de Ingeniería Civil

Quito

Mayo de 2007

**Universidad San Francisco de Quito
Colegio Politécnico**

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ENCOFRADO DE ALTA
EFICIENCIA: APLICANDO EL MODELO DE DISEÑO Y
DESARROLLO DE UN PRODUCTO**

Julián Escobar Hidrobo

Vinicio Ayala
Ingeniero Civil; MSc; PhD (c)
Director de la Tesis

.....

Enrique Villacreses
Ingeniero Civil, MSc. en Estructuras
Profesor de la Facultad de Ingeniería Civil

.....

Fernando Romo, Ingeniero Civil
Decano del Colegio Politécnico

.....

Quito, mayo 2007

© Derechos de autor:

Julián Alejandro Escobar Hidrobo

2007

DEDICATORIA

Este proyecto esta dedicado a mis padres Daniel Escobar y Rosario Hidrobo, por todo su amor, apoyo y paciencia brindada a lo largo de mi carrera y principalmente mi vida.

A mi hermana Daniela Escobar, quien con su ejemplo me ha dejado sus huellas en el camino para poderlas seguir.

A mis abuelitos, que me han enseñado a ser una persona de bien y a salir adelante, sin importar la situación.

A mi familia, que me ha apoyado y empujado siempre a conquistar mis metas para triunfar en la vida.

Y a mis amigos, quienes siempre han estado cerca de mí como un soporte; completando mi vida y mi felicidad.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a los Directivos, personal y en general, todas aquellas personas quienes conforman la Universidad San Francisco de Quito, por otorgarme la posibilidad de estudiar esta carrera, proporcionándome la mejor educación y la oportunidad de aprehender de excelentes maestros.

A Vinicio Ayala por su apoyo incondicional, quien con su perseverancia me impulsó a realizar el mejor de los esfuerzos en este proyecto; y sobre todo, me aleccionó al hacerlo siempre durante mi vida profesional.

Agradezco a mis padres, por su amor incondicional. Gracias a su esfuerzo y dedicación, reflejan hoy en mí su afán de verme realizado un profesional. De quiénes aprendí que hay mirar la vida con positivismo y luchar para alcanzar mis objetivos y cumplir mis sueños.

A mi hermana María Daniela por darme la fuerza para culminar esta carrera. Quien por su ejemplo, ha sido y sigue siendo para mí un modelo a seguir; un aliciente para mejorar cada día.

De igual manera agradezco a mi tío Fausto Hidrobo, quien con su anhelo de verme convertido en un gran ingeniero, me ha brindado todo su apoyo y confianza, instruyéndome y motivándome a forjarme como gran profesional.

Un especial agradecimiento a todos quienes conforman la Constructora Hidrobo Estrada, pues me han recibido siempre con los brazos abiertos. Muy en particular, a los ingenieros, quienes me han compartido bondadosamente su conocimiento y experiencia permitiéndome así mi enriquecimiento profesional.

RESUMEN

Encofrado es el conjunto de materiales que forman un molde capaz de resistir, retener y dar la forma necesaria al hormigón. Al determinar los campos en dónde sea factible su aplicación, a través de un estudio de los elementos que existen en el mercado y el análisis de los problemas que se pudieran presentar; nos llevará a las conclusiones necesarias para establecer las cualidades que se requieran para la elaboración del diseño y desarrollo del nuevo producto. La investigación de estas cualidades, los costos y formas de materiales principales y secundarios, son esenciales para garantizar el éxito de la fabricación y comercialización del encofrado. Enfocados en propósito de dar como resultado un producto final de alta calidad, es indispensable desarrollar un sistema de alta eficiencia (que el producto sea altamente reutilizable y tenga un bajo costo); de alta eficacia (que tenga gran facilidad de manipulación y operación); y, que sea ambientalmente viable; todo ésto previamente canalizado concordantemente con el método de “Diseño y Desarrollo” de la ISO 9001:2000. Previo a la elaboración del producto final, mediante un análisis detallado realizado en base a un marco de normas relativas a ésta materia; a las características requeridas por el cliente y las adicionales aportadas por el emprendedor; a las especificaciones técnicas de las características; al diseño estructural y un control de calidad empleado sobre cada una de las etapas del proyecto; a la estandarización del producto; y, a la fabricación del mismo; se llegan a los resultados deseados. De ésta forma se cumple con los objetivos, principal y específicos del proyecto, entregando un nuevo producto de alta calidad listo para ser introducido al mercado nacional.

ABSTRACT

Concrete form is the joint of materials that create a matrix capable of resisting, retaining and giving the shape desired to concrete. The necessary qualities for the design and development of the new product, will be achieved by the determination of the fields in which the product could be applied on. Also, it's essential to establish the elements existing on the market and the problems this item might show for the elaboration and trading of the concrete final form. The investigation of quality, costs and shapes of principle and secondary essential materials for concrete forms, will allow us to guarantee a successful process of elaboration and trading of the final product., Focused on need to develop a high quality product by applying an efficient system (a highly reusable and low price product), high efficacy (that has a manipulation and operation facility) and environmental viability; all canalized by the principles of "design and development" method of the ISO 9001:2000. By means of a product relevant analysis, with standards and laws; also requiring the characteristics preferred by the consumer and extras from the enterprising; the technical specifications of the characteristics of the structural design and quality control that the project phases; and finally, the product standardization and fabrication, the desire results will be achieved. The principal and specific objectives and goals will therefore be achieved, and the final product will be ready to be released into the nacional market.

TABLA DE CONTENIDO

Capítulo 1: Problema	1
1.1. Caracterización del sector de la construcción	2
1.2. Caracterización del subsector de la construcción	8
1.3. El problema central	22
1.4. Método del Árbol	28
1.4.1. Árbol del problema	31
1.4.2. Árbol de la solución	34
1.5. Justificación	38
1.6. Objetivo	40
Capítulo 2: Fundamentos teóricos	43
2.1. Materiales para encofrados	45
2.1.1. Características generales y físicas	45
2.1.2. Propiedades mecánicas	73
2.1.3. Costo de materiales	81
2.1.4. Formas de materiales	87
2.2. Compatibilidad de materiales	91
2.2.1. Tornillos y clavos	91
2.2.2. Pernos	92
2.2.3. Remaches	94
2.2.4. Soldadura	95
2.3. Manipulación y transporte	98
2.4. Modelo de Diseño y Desarrollo del producto	99

Capítulo 3: Métodos	104
3.1. Generalidades	105
3.2. Proceso Metodológico	105
3.2.1. Planificación de Diseño y Desarrollo	108
3.2.2. Calidad Normativa de Entrada	108
3.2.3. Calidad de Cliente de Entrada	109
3.2.4. Calidad Atractiva de Entrada	110
3.2.5. Calidad Normativa de Salida	110
3.2.6. Calidad de Cliente de Salida	110
3.2.7. Calidad Atractiva de Salida	111
3.2.8. Especificaciones técnicas (Estandarización)	111
3.2.9. Algoritmo de Diseño	112
3.2.9.1. Banco de materiales posibles	112
3.2.9.2. Banco de materiales por costo	113
3.2.9.3. Diseño Estructural	113
3.2.10. Control de Etapas	120
3.2.11. Verificación	120
3.2.12. Desarrollo del prototipo	121
3.2.13. Control: Validación	121

Capítulo 4: Aplicación	122
4.1. Planificación de Diseño y Desarrollo	123
4.2. Calidad Normativa de Entrada	123
4.3. Calidad de Cliente de Entrada	133
4.4. Calidad Atractiva de Entrada	135
4.5. Calidad Normativa de Salida	136
4.6. Calidad de Cliente de Salida	136
4.7. Calidad Atractiva de Salida	137
4.8. Especificaciones técnicas (Estandarización)	138
4.9. Algoritmo de Diseño	143
4.9.1. Banco de materiales posibles	143
4.9.2. Banco de materiales por costo	145
4.9.3. Diseño Estructural	147
4.10. Control de Etapas	164
4.11. Verificación	165
4.12. Desarrollo del prototipo	167
4.13. Control: Validación	173
Capítulo 5: Conclusiones	175
Bibliografía	184
Anexos	188

ÍNDICE DE TABLAS

2.1. Coeficiente de dilatación lineal para distintos campos de temperatura	61
2.2. Peso de los perfiles L según su longitud	64
2.3. Peso de los perfiles tubo cuadrado según su longitud	64
2.4. Composición química de los aluminios 6063 y 6061, expresado en %	66
2.5. Protección del acero por galvanizado	71
2.6. Peso específico, densidad, módulo de elasticidad y resistencia de la madera	74
2.7. Propiedades del eucalipto	74
2.8. Flexión de tableros contrachapados	75
2.9. Compresión y tracción de tableros contrachapados	75
2.10. Especificaciones técnicas del acoplac RH	76
2.11. Características físico-mecánicas del acoplac RH	76
2.12. Costo de triplex industrial	82
2.13. Costo de triplex corriente	82
2.14. Costo de triplex marino	82
2.15. Costo de duratriplex	82
2.16. Costo de acoplac RH	83
2.17. Costo del acero laminado en caliente	83
2.18. Costo del tol galvanizado de acero de 0,40mm	83
2.19. Costo del aluminio	84
2.20. Costo de los perfiles L de acero	84
2.21. Costo de los perfiles T de acero	84
2.22. Costo de los perfiles tubo cuadrado de acero	85
2.23. Costo de los perfiles L de acero, para tableros con solo perfiles L	85
2.24. Costo de los perfiles L y T de acero para el producto	85

2.25. Costo de los perfiles L de aluminio	86
2.26. Costo de los perfiles T de aluminio	86
2.27. Costo de los perfiles L y T de aluminio para el producto	86
2.28. Costo de los perfiles L necesarios para un tablero estándar	86
2.29. Costo de la fibra de vidrio como recubrimiento	87
2.30. Propiedades mecánicas de los pernos según su clase	93
2.31. Grados de resistencia de pernos	93
3.1. Valores para cálculo de deflexiones, momentos y reacciones	116
4.1. Calidad normativa de salida	136
4.2. Calidad de cliente de salida	137
4.3. Calidad atractiva de salida	137
4.4. Requisitos para uso corriente de chapas	139
4.5. Costo de perfiles tubo por 6 metros y por tablero estándar 1.2x0.6m	158
4.6. Peso de perfiles tubo por 6 metros y por tablero estándar 1.2x0.6m	158
4.7. Control de etapas del proyecto	164
4.8. Control de verificación de especificaciones técnicas	165
4.9. Control de validación opción 1	173
4.10. Control de validación opción 2	174

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1. Secciones normales en perfiles de acero	57
2.2. Perfiles I o H	88
2.3. Perfiles C	88
2.4. Perfiles L	89
2.5. Perfiles T	89
2.6. Placas	89
2.7. Tubos estructurales	89
2.8. Perfiles U laminados en frío	90
2.9. Perfiles G laminados en frío	90
2.10. Perfiles L laminados en frío	90
2.11. Perfiles Z laminados en frío	90
2.12. Perfiles 2U laminados en frío	90
2.13. Perfiles 2G laminados en frío	90
2.14. Tipos de cabeza de tornillo (aplicable en pernos)	91
2.15. Tipos de remaches	95
2.16. Método WIG	96
2.17. Método MIG	96
3.1. Proceso metodológico	106
4.1. Corte de la madera	167
4.2. Corte de los perfiles de acero	169
4.3. Suelda vista frontal (Izquierda: Perimetral; Derecha: Travesaño)	169
4.4. Suelda vista en planta (Izquierda: Perimetral; Derecha: Travesaño)	170

ÍNDICE DE GRÁFICOS

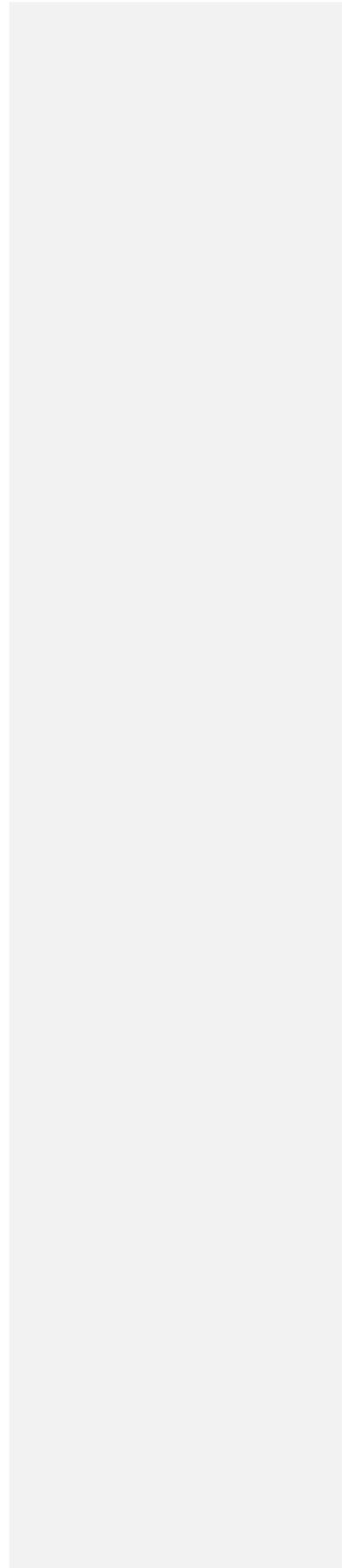
1.1. Encofrado de gradadas	11
1.2. Secciones transversales de canales abiertos	13
1.3. Secciones transversales de canales embaulados	14
1.4. Secciones transversales de túneles	14
1.5. Encofrado de canal tipo cajón y con chorizo	15
1.6. Encofrado de gradadas de disipación	16

ÍNDICE DE FOTOS

1.1a. Encofrado de columnas rectangulares	9
1.1b. Encofrado de columnas rectangulares	10
1.2. Encofrado de losas de cimentación	10
1.3a. Encofrado de losa	10
1.3b. Encofrado de losa	11
1.4. Encofrado de un muro curvo	12
1.5. Encofrado de cunetas	12
1.6. Encofrado trepador para pilas y torres	17
1.7. Encofrado deslizante para pilas y torres	17
1.8. Encofrado deslizante	18
1.9. Encofrado telescópico autoportante para túnel	19
1.10. Encofrado de túnel y carro porta hierros	19
1.11. Encofrado de losa de API	20
1.12. Encofrado de paredes de API	21
1.13. Encofrado de tanques	22
1.14. Encofrado de piscinas	22
2.1. Bauxita, la materia prima para la fabricación de aluminio	57
2.2. Manija en un tablero de encofrado de la empresa INTACO S.A.	99
4.1. Corte de madera sección transversal	168
4.2. Corte de perfiles de acero a 45° y rectos	169
4.3. Suelda de los perfiles	170
4.4. Marco soldado	170
4.5. Perno de 30 x 6mm	171
4.6. Perforaciones para empernar	171

4.7. Estructura galvanizada

172



CAPÍTULO 1. PROBLEMA

En este capítulo nos introduciremos en el campo de la Ingeniería Civil, determinando los principales sectores y subsectores de la construcción, donde se aplica el producto del encofrado para propósitos específicos o totales en trabajos con hormigón; observando la importancia de este elemento. Así también, se realizará el análisis de los mecanismos que existen en el medio y los materiales que lo componen, a fin de determinar sus posibles problemas y llegar a la solución. Esto nos permitirá plantear el objetivo general y las metas esenciales que enfoca este proyecto, obteniendo así un nuevo producto. Los resultados y la información obtenida se encuentran basados en una investigación teórica bibliográfica, de Internet, y de la adquirida en base a experiencias personales de trabajo.

El encofrado es una actividad que se desarrolla en el área de la construcción, prácticamente viene a ser un producto necesario en los campos más importantes de la Ingeniería Civil, por lo tanto, su presencia ha marcado mucha importancia en el sector de la construcción.

1.1 Caracterización del sector de la construcción.-

En el sector de la construcción existe una gran diversidad de especializaciones de todo lo correspondiente a la Ingeniería Civil. Este campo se encuentra dividido por cuatro grandes especializaciones, mismas que son consideradas como las más importantes dentro de la construcción. El encofrado es una actividad que se enmarca dentro cualquiera de estas cuatro especializaciones, las mismas que son:

- a) Ingeniería Estructural;
- b) Ingeniería en Vías;
- c) Ingeniería Hidráulica; y,
- d) Ingeniería Sanitaria.

Dentro de estas especializaciones existe una gran variedad de campos complementarios dentro de la Ingeniería Civil. Estos también son muy importantes y necesarios. Unos son complementos a las especializaciones principales y otros son campos que requieren de más de una de estas especializaciones. El encofrado es un tema relativo a algunos de estos campos complementarios, entre los cuales podemos encontrar la:

- e) Ingeniería de Puentes; y
- f) Ingeniería de Túneles.

También podemos encontrarlo en un área de gran importancia para nuestra economía nacional:

- g) Plataformas Petroleras

1.1.1 Ingeniería Estructural.- La Ingeniería Estructural es un campo amplio dentro de la construcción, donde el uso del encofrado es muy importante y se emplea en porcentajes muy altos. Esta área ha incrementado su productividad con el paso de los años, debido a la considerablemente reducción de espacio geográfico habitable para el ser humano. El mundo crece hacia arriba. Por esta razón, actualmente los edificios resultan de gran trascendencia y practicidad para las tendencias de organización demográfica del mundo moderno. Esto implica que la demanda en el uso del encofrado va en aumento, puesto que resulta favorable invertir en un producto viable y efectivo en cuanto a la reducción de costos.

Está comprendida de todo lo que se refiere a edificaciones. Entre las edificaciones más importantes encontramos edificios, casas, conjuntos habitacionales, hospitales, hangares, torres, fábricas, estadios y otros. Dentro de toda esta variedad existen estructuras de hormigón armado, acero, madera y hormigón pretensado. Para la edificación de todos estos tipos de levantamientos, es muy comúnmente solicitado el encofrado, debido a que el hormigón en este tipo de construcciones, necesita un molde para poder obtener la forma requerida de acuerdo al diseño.

La construcción en hormigón armado es la más común en nuestro medio. La mayoría de edificaciones en el Ecuador se las construye de hormigón armado, principalmente desde los años 70, cuando se desató una ola de construcción masiva de viviendas y edificios. Debido al costo y la experiencia de los constructores del país, utilizar este tipo de estructuras se ha convertido en una costumbre muy frecuente, sin embargo, el desarrollo y perfeccionamiento del encofrado no se ha conseguido. En estructuras de este tipo el uso de este material es constantemente empleado en una amplia gama de actividades estructurales, sin importar la dimensión del proyecto de edificación (sea casas, conjuntos habitacionales, edificios y otros). El encofrado se maneja también en la cimentación, las columnas vigas y losas, entre otras actividades adicionales a estas.

Para la elaboración de estructuras de acero, el uso del encofrado puede ser pobre o casi nulo, debido a que el hormigón no tiene mucha aplicación en este campo. Lo mismo sucede en estructuras de madera, en las cuales el hormigón es aprovechado sólo en la cimentación, donde no es requerido el encofrado. No obstante, para unir una estructura de acero o madera a la zapata de cimentación, se levanta una pequeña columna de hormigón, la cual es formada con un molde.

El sector más complicado es el de hormigón pretensado, pues a pesar de ser éste una solución ideal para estructuras grandes, la colocación de encofrado resulta más compleja ya que el proceso de construcción tiene que avanzar a un ritmo adecuado.

En este tipo de edificaciones se utiliza generalmente encofrados deslizantes. Los encofrados deslizantes son un producto más elaborado, en vista de que requiere de estructuras propias que faciliten su montaje y desplazamiento. El encofrado deslizante es muy útil para fundir puentes de hormigón pretensado en sitio, así como también para torres de gran altura o columnas de gran espesor y altura.

1.1.2 Ingeniería en Vías.- El campo de las vías es mucho más amplio, no obstante las actividades realizadas con hormigón no pierden importancia en su empleo para la conservación de las vías. Al contrario, su uso es un requerimiento indispensable para satisfacer las exigencias legales de carácter nacional y metropolitano. Este tipo de actividades exige el uso de encofrado como moldeador del hormigón, de acuerdo a los requerimientos del

diseño vial. Este es un campo de desarrollo interesante para el encofrado en vista del vasto mercado que demanda la estructura vial del país.

1.1.3 Ingeniería Hidráulica.- La Ingeniería Hidráulica es un área muy extensa que abarca varias ramas de la Ingeniería Civil. En ella existen obras de gran magnitud, como presas de captación de agua para riego y presas hidroeléctricas. Las obras de riego consisten en un azud de captación de agua, compuestas por un sistema de canales que sirven para transportar el agua hacia los lugares donde se utilizara en riego. Mientras que las obras hidroeléctricas tienen un azud y canales de transporte de agua (igual que en el riego), pero los canales de conducción pueden ser de hormigón, embaulados o abiertos, o con tubería de PVC; incluso alternando entre estas dos, con el objeto de trasladar el agua a una casa de máquinas con estructuras generalmente de hormigón armado, donde se encuentran las turbinas que generaran la electricidad. Los azudes empleados en ambos casos pueden ser de tierra, gaviones u hormigón armado según la magnitud y el diseño de la obra.

La cantidad de uso del encofrado en este campo se ve alterada con la presencia de factores como el diseño y los procesos de construcción optados para el proyecto. El uso del encofrado varía de mayor a menor, dependiendo del material del que esté compuesta la obra. El campo hidráulico comprende proyectos de dimensión a gran escala, y si el encofrado resulta de gran utilidad, los porcentajes de demanda de un mejor producto aumentarán, especialmente si es muy importante la durabilidad del material por el campo donde se desarrolla.

1.1.4 Ingeniería Sanitaria.- Esta ingeniería tiene características similares a la hidráulica en el sentido de que se desarrollan varias obras para formar una. Así, por ejemplo, tenemos el alcantarillado y agua potable el cual se lo puede realizar con tubos de hormigón prefabricados o tubería de PVC. Los colectores se los puede realizar como cajones de hormigón o como túneles revestidos con hormigón lanzado, masillado o fundido. Incluso se pueden realizar obras de desemboque al río por medio de azudes o gradas que pueden ser de tierra, gaviones u hormigón. Dentro de este campo el encofrado se vuelve un tema más complejo, esto depende del diseño con el que se realice y los procesos constructivos del proyecto. Muchas veces se requiere encofrados fabricados exclusivamente para este tipo de proyectos y que son diferentes a los de otros sectores.

1.1.5 Ingeniería de Puentes.- Dentro de este ámbito la variedad es muy amplia. Existen puentes de mampostería, de madera, de hormigón armado, de acero, hormigón pretensado y mixtos. Con respecto al uso, existen puentes peatonales, para ferrovías, para carreteras, acueductos, viaductos y para aeropuertos. Por su longitud se clasifican en pequeños (*hasta 6m*), medianos (*de 6m a 50m*), y grandes (*desde 50m en adelante*).

Los puentes peatonales más comunes en el país son los de hormigón armado, las estructuras de acero, o los conocidos puentes de “Tony el Suizo”, que son de tubería de petróleo SCH 40 clase B. Estos últimos son más utilizados en el Oriente ecuatoriano y últimamente se han popularizado en Quito. También podemos encontrar puentes de madera en el área rural.

En los puentes ferroviarios, se utiliza mayormente la estructura metálica, ya que se los hace con celosías y sus cimentaciones pueden estar compuestas de hormigón armado o estructuras mixtas (*acero y hormigón*).

En el área de construcción de puentes de carretera, existen varios tipos de puentes que pueden clasificarse según las distancias necesarias, las condiciones del terreno y las exigencias del diseño para este tipo proyectos. Los puentes de hormigón armado son simplemente apoyados, puentes losa, losa aligerada y viga. Existe también puentes de viga continua y pórticos de este material, si la distancia entre columnas es corta. Los puentes de acero pueden ser colgantes, atirantados, en celosías y arcos. Los puentes de hormigón pretensado pueden estar formados por vigas continuas, pórticos, arcos, colgantes y atirantados.

Los puentes para tubería o viaductos se asemejan a los de carretera, con estructuras más pequeñas para sujetar la tubería.

Los puentes para aeropuertos son de longitudes pequeñas y en sus características son muy parecidas a los puentes para carreteras.

Empleando el encofrado para moldear el hormigón, debe tomarse en cuenta para su magnitud, primeramente si es puente peatonal o para carretera, posteriormente si son puentes pequeños o grandes, y por último si sus partes son prefabricadas y ensambladas en obra pero no en sitio o si son fundidas in situ. Dependiendo de estos puntos, los encofrados pueden variar de diseño, forma y calidades.

1.1.6 Ingeniería de Túneles.- La Ingeniería de Túneles es un campo muy complejo, donde luego de formar el hueco en la tierra se aplica un revestimiento de hormigón, de acuerdo a los materiales disponibles para generar el proyecto. Por lo general en suelos rocosos solo se cubre con un hormigón lanzado, en suelos más blandos se utiliza hormigón fundido. También existen varios tipos de túneles, dependiendo de cual vaya a ser su uso, pueden existir túneles para carreteras, ferroviarios, sanitarios, para paso de agua y de seguridad.

De acuerdo a la magnitud del proyecto también se determinan el tipo de revestimiento. Es en este campo donde entra el encofrado a formar parte de la construcción del proyecto.

1.1.7 Plataformas Petroleras.- El campo del petróleo posee sus propias especificaciones y exigencias distintas a los de la Ingeniería Civil, sin embargo necesita de ella en forma auxiliar en algunos aspectos relativos a la construcción civil de plataformas. En el área petrolera la construcción civil se desarrolla en las plataformas petroleras y en el oleoducto. Todo lo referente a oleoducto escondiste en el desbroce y movimiento de tierras, creando paso para instalar la tubería de conducción del crudo, mientras que el levantamiento de plataformas implica varias obras.

En las plataformas se realizan varias obras tales como losas de cimentación (*losas cellar*) donde se asienta el taladro, cunetas, trampas de grasa, API, piscinas Mud Pit, vías de acceso y circulación y otros. Todas estas obras sirven para el tratamiento del agua, las grasas y otros fluidos provenientes del crudo, puesto que si no se toma las medidas de precaución adecuadas pueden ocasionar daños indeseables.

Los encofrados son sistemas muy influyentes en estos tipos de obra porque se trabaja mucho en hormigón.

Dentro del sector de la construcción existen otros tipos de obra de menor escala donde el uso del encofrado es importante. Entre éstas tenemos los tanques y piscinas de varias formas y tamaños; también en la construcción de veredas, pasamanos y otros; en parques y centros recreativos; graderíos en canchas barriales, y en áreas deportivas; entre otros.

El sector de la construcción es muy amplio y abarca grandes actividades a realizar, por lo tanto el encofrado disminuye en base al proyecto o al área de la construcción donde esta actividad se encuentre; así se puede observar la magnitud, la importancia y los diferentes sistemas que se utilizan en el campo petrolero.

1.2 Caracterización del subsector de la construcción

Dentro de todas las especialidades de la construcción, hemos observado que existen muchas áreas donde se practica el uso del encofrado. Dentro de estas áreas, se profundizará más sobre cada una de ellas de manera más puntual y específica.

En la Ingeniería Estructural el uso del encofrado es máximo, en sentido de que va de pies a cabeza dentro de la estructura de la edificación. Básicamente las estructuras como casas, edificios, conjuntos habitacionales, hospitales y otros, se componen de las mismas partes importantes en la estructura; tales como cimentación, columnas, vigas, paredes (*algunas veces*), losas y gradas.

Para la cimentación no se utiliza encofrado, ya que el mismo suelo sirve de molde. No obstante, la base de las columnas que nacen de la cimentación, dependiendo del proceso constructivo, requieren de encofrado. Aunque

puede ser en menor y hasta mayor cantidad, como un edificio o un conjunto habitacional, hotel, club y otros, en los que la cantidad de columnas es grande y el encofrado aumenta para poder cubrir toda la actividad.

Es muy importante para el levantamiento de columnas y vigas. El tipo de encofrado de las columnas depende de forma que se les desea dar ya que pueden ser cuadradas, rectangulares o redondas. El sistema de encofrado de columnas es sencillo y rápido, sin embargo la cantidad de encofrados que se necesitan, es igual al total de las columnas que existan en un piso, debido a que deben fundirse juntas.



Foto 1.1a.- Encofrado de columnas rectangulares



Foto 1.1b.- Encofrado de columnas rectangulares

Las vigas son un poco más complejas, ya que se debe armar el encofrado de acuerdo al tipo de viga, el mismo que puede variar de formas y tamaños a lo largo de la luz.

Existen dos tipos de losas, las de cimentación y las de piso o techo, en cada una se aplica sistemas diferentes de encofrado. Para la losa de cimentación el encofrado se lo realiza perimetralmente como se observa en las figuras siguientes:



Foto 1.2.- Encofrado de losas de cimentación

Las losas de piso y techo se encofran perimetralmente y en la parte de abajo. Para este tipo de actividad la cantidad de encofrado es grande.



Foto 1.3a.- Encofrado de losa



Foto 1.3b.- Encofrado de losa

Las vigas y losas pueden en muchos casos, encofrarse simultáneamente y formar parte de un solo elemento de encofrado.

Para la fundición de gradas el encofrado es indispensable, ya que éste le da la forma exacta. El encofrado se coloca en la parte de abajo como un rampa y encima se coloca la armadura. Luego con el molde se le da la forma de gradas cubriendo toda la superficie, y finalmente fundir de la forma que expresa la figura siguiente:

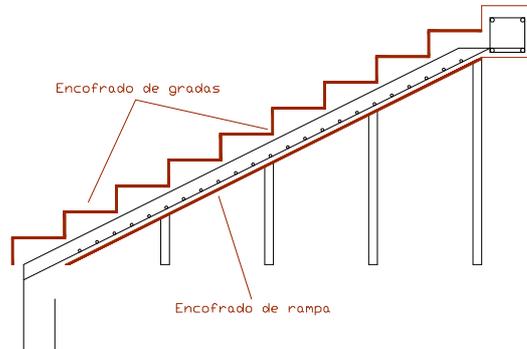


Gráfico 1.1.- Encofrado de gradas

El encofrado de paredes o muros de contención consiste en formar el molde de acuerdo a las dimensiones del muro, dependiendo del tipo de encofrado. Para la estabilidad se puede utilizar apuntalamiento exterior o templadores, que quedarán embebidos en la estructura. Este tipo de encofrado es muy parecido al de una losa pero en sentido vertical. De igual forma dependiendo de donde se vaya a construir el muro, puede tener dos caras o simplemente una (*en esta solo se utiliza apuntalamiento exterior*).



Foto 1.4.- Encofrado de un muro curvo

En la "Ingeniería en Vías" el uso de encofrado se reduce a dos actividades: cunetas y veredas. Las cunetas existen de dos formas normales y de coronación, ambas comúnmente empleados en carreteras. Las cunetas generalmente son en V y las cunetas de coronación pueden variar entre V y |_|. Para encofrar una cuneta primero se funde la solera que es el piso y luego se encofra apoyada en ésta, con el molde en V, empleando un apuntalamiento interno, como se observa en la figura:



Foto 1.5.- Encofrado de cunetas

Si la cuneta tiene terreno a los dos lados, el sistema superior es el habitual, mientras que si a uno o ambos lados se encuentran sobre el terreno, se debe encofrar por fuera y por dentro con un sistema más complicado que el anterior.

Las veredas y parterres requieren de un sistema de encofrado más sencillo, ya que son de pequeñas alturas y perimetrales.

En la Ingeniería Hidráulica se realiza encofrado en varias actividades de la construcción. Como es el caso de la obra de captación de agua, si es de hormigón armado o ciclópeo; y en los canales de transportación de agua, los cuales exigen la creación de un sistema de encofrado que permita un mayor avance del proyecto, debido a las grandes longitudes de los canales.

Los canales pueden ser de cuatro tipos: canales abiertos, canales embaulados (*de hormigón armado*), túneles (*con revestimiento de hormigón simple u hormigón armado*); y, canales de tubería de PVC. También pueden existir sistemas mixtos entre canales abiertos y embaulados, o con variación de las secciones transversales a lo largo del canal. Estos tipos se presentan a continuación, con sus diferentes secciones transversales:

CANALES ABIERTOS

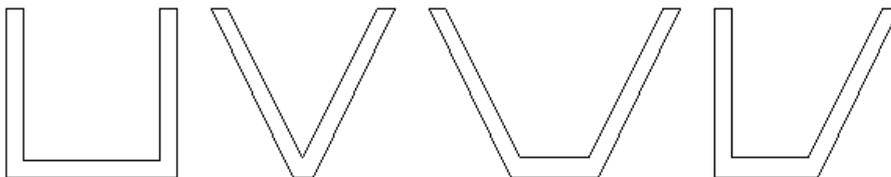


Gráfico 1.2.- Secciones transversales de canales abiertos

CANALES EMBAULADOS

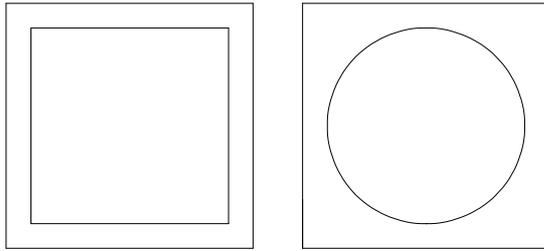


Gráfico 1.3.- Secciones transversales de canales embaulados

TÚNELES

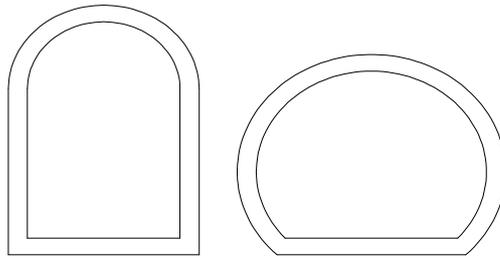


Gráfico 1.4.- Secciones transversales de túneles

Para realizar la fundición de los canales en primer lugar se encofra la parte baja para crear una solera (*esto se realiza en todo tipo de canal*), y luego se encofra la parte superior sobre la solera para cerrar el canal. Si es canal abierto, se encofra y funden las paredes; si es embaulado, se crea un encofrado tipo cajón (*ver figura*); o con un método utilizando un encofrado vulgarmente conocido como "chorizo", que es de poliuretano, el cual funciona llenándolo de aire (*ver figura*). Para la construcción de túneles, después de la solera o piso, se funde el revestimiento dependiendo de las características que se deba cumplir, ya sea hormigón lanzado, o fundido in situ entre otros.

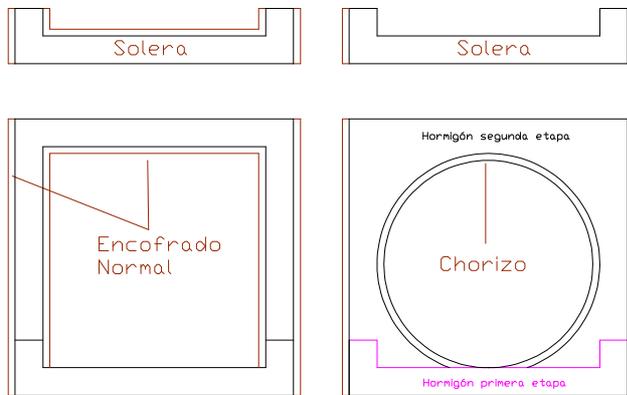


Gráfico 1.5.- Encofrado de canal tipo cajón y con "chorizo"

En la Ingeniería Sanitaria el uso del encofrado es muy parecido al de la hidráulica ya que las obras que se realizan son muy similares. Sólo la parte de transporte de aguas servidas necesita de encofrado. Como estas obras se clasifican en túneles y/o canales embaulados de hormigón, los procesos de encofrado y las secciones son prácticamente las mismas que los canales de la Ingeniería Hidráulica, entonces el encofrado sirve de la misma forma. También se aplica en caso de que los proyectos sanitarios posean azudes. En estos dos campos el encofrado es el mismo para las diferentes obras.

En el caso de gradas cuando son de hormigón armado o ciclópeo y si la obra es de gran altura, el encofrado se lo realiza por partes. Primero se coloca un molde por cada grada y luego se procede a fundirlas una por una, o si bien a su vez si se desea pueden fundirse por tramos, donde se moldea el encofrado en forma de gradas, en cuyo caso se deberá fundirlas por juegos. Si la altura no es mayor, se coloca el encofrado para todas las gradas y se funde en su totalidad, a medida que se va fundiendo el material, se coloca una tabla sobre la grada de tal forma que no empuje el hormigón al encofrado. Los tres tipos diferentes de encofrado se los puede apreciar a continuación:

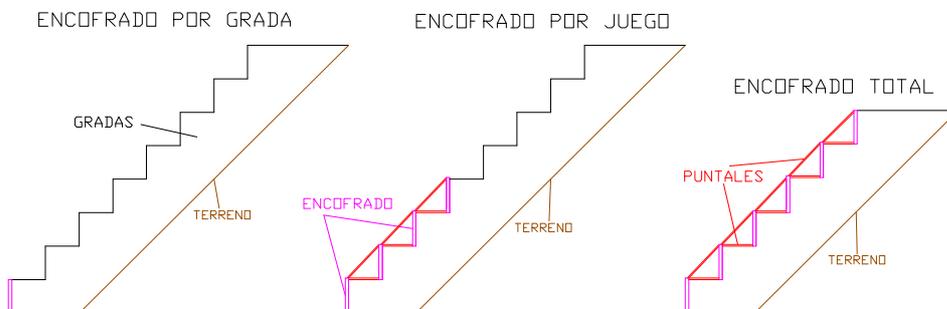


Gráfico 1.6.- Encofrado de gradas de disipación

En la Ingeniería de Puentes los encofrados pasan a ser sistemas muy complejos. Estas técnicas varían de acuerdo al tipo de puente que se ha determinado, ya que pueden ser de hormigón armado o de hormigón pretensado.

Para los puentes peatonales los sistemas de encofrado son sencillos, en vista de que estas obras son pequeñas, y porque es necesario fundir las columnas y vigas que se encuentran empotradas en el suelo. Adicionalmente, se pueden utilizar sistemas de encofrado de columnas y vigas como una simple estructura de edificación.

El sistema de puentes de carretera es más complejo porque las estructuras son más grandes y las condiciones del terreno son muy complicadas. Entre éstos existen puentes de viga continua y pórticos de este material, si la distancia entre columnas es corta; y puentes de viga continua, colgantes y atirantados para grandes luces.

Para puentes de hormigón armado generalmente se utiliza un encofrado calculado en forma de arco, que se sujeta a los extremos del puente; en caso de que éste sea de vigas continuas, se sujeta a las columnas. Se realiza este sistema ya que generalmente en nuestro medio, los puentes se los levanta sobre ríos y quebradas. Si son pasos a desnivel, generalmente pueden ser muy altos para apuntalar al suelo, si las condiciones permiten, en algunos casos el apuntalamiento en el suelo es posible.

Los puentes colgantes, atirantados y de vigas continuas, así como también las pilas o torres utilizan un sistema de encofrado trepador, este funciona como un encofrado deslizante pero en sentido vertical. Sin embargo también se puede utilizar un encofrado deslizante. El encofrado trepador funciona colocándolo en la base y conforme se va fundiendo éste (*como indica su nombre*), trepa hacia el siguiente nivel de fundición.



Foto 1.6.- Encofrado trepador para pilas y torres



Foto 1.7.- Encofrado deslizante para pilas y torres

Los puentes de hormigón pretensados utilizan el sistema de encofrado deslizante. Es una técnica muy ágil y conveniente, ideal para este tipo de obras. Consiste en fundir las dobelas una por una, comenzando en la torre hacia el centro en un sentido; y hacia el extremo en el sentido contrario, siempre manteniendo una simetría con

respecto a la columna que funciona como eje central. Para este tipo de estructuras se necesita siempre dos juegos de encofrado por torre, mientras que para puentes colgantes y atirantados se necesitarían cuatro juegos en total. Ésta es una metodología muy importante y sus encofrados son de características excepcionales, cuyo propósito es el de mantener la simetría de la estructura y obtener un avance rápido de construcción por factores del hormigón.



Foto 1.8.- Encofrado deslizante

En la Ingeniería de Túneles el encofrado puede variar de acuerdo al tamaño de la sección transversal del túnel. Los túneles pueden cambiar de acuerdo a sus necesidades, por ejemplo los túneles ya analizados de transporte de agua y aguas servidas son pequeños a comparación de los túneles de transporte ferroviario, y hasta más grandes como por ejemplo los túneles de caminos y autopistas. La utilización del encofrado para los túneles más pequeños ya se explico anteriormente. Para túneles grandes esta actividad se realiza utilizando diferentes tipos de molde, considerados como armatostes por su tamaño. Entre esta especie de encofrados existen de varios tipos y poseen diferentes procesos de armado y fundido, como los encofrados telescópicos autoportantes; y, los de túnel y carro porta hierro.

El encofrado telescópico autoportante está compuesto por un carro que se transporta mediante rieles dentro del túnel y sirve para encofrar, desencofrar y trasladar el material. Cada carro consta de 2 a 4 tableros, el mismo que los transporta y los deposita en el lugar determinado. También pueden desprenderse para cumplir cualquier otra función. Este sistema está diseñado para soportar el peso y el empuje del hormigón el mismo que funciona apoyándose con sus patas en el terreno, las mismas actúan como bases que absorben los esfuerzos verticales y también horizontales mediante fajas pegadas a los muros guía. Los módulos tienen un elemento que funciona como hombros y cuerpo al mismo tiempo; y, dos que se encuentran articulados a éste como brazos. Este sistema trabaja como un encofrado deslizante, por lo que agiliza el proceso de hormigonado.



Foto 1.9.- Encofrado telescópico autoportante para túnel

Los encofrados de túnel y carro porta hierro forman un armatoste de acero, compuesto por un sistema hidráulico, un tablero de comando, boguies conductores con ruedas, y un sistema neumático para accionar los vibradores de hormigón (así funciona como encofrado). Para su movilización se utiliza un carro porta hierro con sistema hidráulico, un tablero de comando, boguies conductores de traslación, y ruedas que se conducen sobre rieles. Todos éstos son instrumentos que se encuentran separados, a los cuales se les acopla para que funcionen como uno solo. Una vez terminado, se lo une al topo de excavación para avanzar y fundir conforme se va excavando el túnel. Este sistema funciona con bombas que sirven para impulsar el hormigón en las paredes del túnel y posteriormente se activan los vibradores para su fundición.

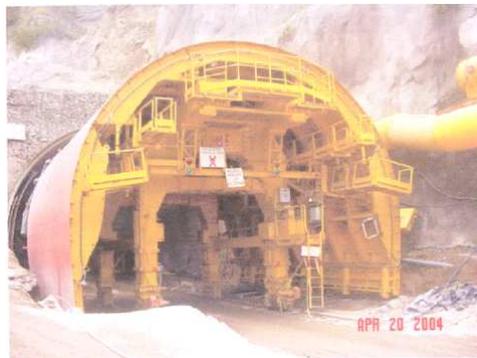


Foto 1.10.- Encofrado de túnel y carro porta hierros (Construcción del túnel Oswaldo Guayasamín)

En las plataformas petroleras el encofrado es un elemento muy empleado en obras de hormigón. Dentro de las obras de plataformas petroleras, las principales obras de hormigón son cuatro: las losas celular de cimentación, los tanques API, las trampas de grasa y las cunetas.

Las losas celular son estructuras de hormigón armado de gran dimensión, que van sobre el suelo en donde se apoya el taladro. Siempre se construyen dos, una frente a la otra porque la perforación se la realiza entre éstas. Para su conformación se coloca un encofrado perimetral muy sencillo haciendo uso de un sistema de tableros simples, de la misma forma que una losa de cimentación, como la mencionada anteriormente.

Los tanques API y las trampas de grasa tienen estructuras muy similares, con la diferencia que el tanque tiene tres compartimentos y las trampas sólo dos. Estos se denominan tanques de hormigón armado que poseen una losa y paredes estructurales. Para la losa se realiza un encofrado perimetral, luego se funde con la armadura total colocada, y por último se coloca el encofrado de todas las paredes con un solo juego. Las fotos siguientes muestran el encofrado de la losa:



Foto 1.11.- Encofrado de losa de API



Foto 1.12.- Encofrado de paredes de API

Finalmente el trabajo de cunetas es similar a la parte vial, pero en una estructura independiente con forma de canal abierto. Sus dimensiones son generalmente pequeñas y para su conformación se realiza la excavación según la forma que les desee dar. A continuación se funde la solera y luego se coloca el encofrado superior, en la misma forma que se lo aplica para una cuneta vial, en ciertos casos con paredes en los lados cuando éstas van sobre el terreno.

Otros tipos de construcción menores como tanques, piscinas, veredas, parterres, pasamanos y barreras, requieren de encofrados sencillos de acuerdo a las distintas necesidades.

Para tanques y piscinas se utiliza el procedimiento de los tanques API, en muchos casos los tanques quedan sobre el terreno, lo que facilita el armado del encofrado, ya que se lo monta en el mismo lugar, juntando toda la estructura como una sola, mejorando así la estabilidad. Para las piscinas se puede realizar de dos formas, dependiendo del tipo de excavación que se requiera. Si el detalle de excavación es perfecto, el encofrado solo se debe colocar en la parte interna ya que el mismo terreno pasa a ser el encofrado exterior; mientras que si la excavación es abierta por problemas de estabilidad de suelo, entonces el procedimiento es el mismo que el de un tanque sin los compartimentos internos.



Foto 1.13.- Encofrado de tanques



Foto 1.14.- Encofrado de piscinas

El encofrado de veredas y parterres es el más sencillo, debido a que solo se utiliza un encofrado muy pequeño en altura, al cual se lo arma de forma perimetral. Son obras muy pequeñas en las que el uso del encofrado es de menor importancia, generalmente se utiliza pedazos de madera sujeta con pequeños pingos hacia los lados.

Los pasamanos muchas veces pueden ser paredes de bloque unidas a pequeñas columnas de hormigón armado. En estos casos el encofrado es similar a una columna, pero en pequeñas dimensiones. Si las paredes son de hormigón armado, el encofrado es similar al de un muro en pequeñas dimensiones. Se utiliza la madera sobrante de las construcciones lo que permite optimizar su uso.

Las barreras pueden ser prefabricadas o fundidas in situ. Para las primeras se las realiza en un molde, mientras que en las segundas, el encofrado se lo hace en el campo de trabajo de acuerdo al diseño.

El subsector de la construcción es un área muy amplia donde dependiendo del proyecto, los sistemas de encofrado pueden variar. Sin embargo, todos estos sistemas o la mayoría, se basan en materiales muy parecidos a los de los campos más simples.

1.3 El problema central

La evolución de la técnica del encofrado en el país, con el pasar de los años se ha visto obstaculizada, en razón del escaso avance tecnológico interno. Desde hace varios años, con el auge del petróleo nació la industria de la

construcción en el Ecuador. Desde entonces se ha mantenido prácticamente el mismo encofrado artesanal que utilizamos hoy en día. Hace más de 35 años el progreso en esta actividad se ha seguido manteniendo un desempeño mínimo en relación al avance de la construcción.

Desde un principio, la madera ha sido el material que predomina en la práctica del encofrado, comenzando por los elementos elaborados con madera de campo, utilizaban duelas de madera con comportamiento ortotrópico de pino o eucalipto. Estos carecían de métodos de protección ante el contacto con el hormigón, perdiendo así su capacidad de reutilización y por lo tanto elevaba el costo de la construcción y el daño ambiental por destrucción de bosques. El método de fabricación en sitio todavía se aplica actualmente aunque en menor cantidad, habiendo sido levemente desplazada por otra técnica que consiste en tableros industrializados triplex, junto con una estructura de soporte formada por tableros de pino, que debido al material la duración es muy corta. Estos encofrados son los más tradicionales y pueden desarrollarse en cualquier carpintería de acuerdo a las necesidades de obra.

Al entrar el Ecuador a la dinámica del intercambio en el comercio exterior, se abrió las puertas al campo del uso de encofrados prefabricados, con tableros de madera y perfiles metálicos de importación. Este material tuvo un mejor progreso debido la calidad que era muy superior al de la anterior, lo que aumentaba su duración. Así mismo, se desarrollaron los tableros metálicos compuestos por una plancha muy delgada y un perfil estructural de soporte. Así variaron las posibilidades en el mercado, ofreciendo un material con menor destrucción por uso o humedad, de mayor durabilidad frente a factores como el maltrato, los golpes y la mala utilización en campo, cuestiones que siempre van a existir en el medio de la construcción.

La industria nacional se ha estancado al limitarse principalmente a la producción de este tipo de producto, marcando una gran distancia en relación a un nivel de progreso internacional superior. A pesar de ello, conjuntamente con estos métodos se desarrollaron alternativas complementarias, como el uso de aceite quemado (ambientalmente no viable), o desencofrantes para la madera, con el objeto de aumentar la vida útil del material en un pequeño porcentaje y además producir un hormigón estéticamente mejorado .

El encofrado se puede clasificar según algunos factores como: el método, el tiempo, el número de usos, sus materiales y el tipo de hormigón a utilizar. Todos estos factores pueden funcionar en forma conjunta o individual, dependiendo de la calidad del producto o del tipo de proyecto. No obstante, la independencia y falta de articulación de estas clasificaciones, ha dado lugar al estancamiento en el perfeccionamiento de esta tecnología.

Para determinar el problema general se realizará primeramente un estudio detenido de los problemas específicos que lo conciernen, e inmediatamente se procederá a un análisis completo basándose en el método del “Árbol del Problema”.

Comenzaremos por reunir los hechos que se relacionan con el problema general, clasificando los elementos existentes en el mercado. Los tipos de encofrados podemos clasificarlos en cuatro principales con sus respectivas derivaciones. Existe el encofrado tradicional de madera, que generalmente se lo hace en la misma construcción, utilizando los tableros provenientes de fábrica. Las estructuras se arman con madera de poca calidad en base a la experiencia. El segundo grupo es de los moldes de madera con perfiles metálicos, estos varían sus características de acuerdo al tipo de madera que se utilice para el tablero. El tercer tipo es un encofrado completamente metálico. Y finalmente tenemos el chorizo de poliuretano. La problemática de estos encofrados surge de la estructura y de los tableros, dependiendo del material del que se formen:

Encofrado tradicional de madera:

- Generalmente se lo arma en campo, utilizando una estructura de madera.
- La estructura de madera se la pega con clavos y se calcula en base a la experiencia.
- Si los cálculos al ojo fallan, puede crear panzas o soplar el encofrado.
- Los tableros con panzas deben ser reemplazados.
- Si se lo reemplaza, se absorbe un costo adicional de material.
- El mal trato en el campo los rompen y trizan, perdiendo su resistencia y características de calidad.
- La poca reutilización genera gastos innecesarios en mano de obra, tiempo y materiales, pudiendo ser evitados.
- Requiere de mucho tiempo para su instalación.
- Debe tenerse cuidado en el acabado final del hormigón.

Encofrado de perfil metálico y tablero de madera:

- Sufre de pandeos.
- Se resquebraja después de su reutilización.
- Debe tenerse cuidado en el acabado final del hormigón.

Encofrado metálico:

- No se puede modificar su forma ni tamaño.
- Es un producto pesado.

Encofrado de poliuretano:

- No funciona como encofrado exterior.
- Su resistencia y rigidez depende de que sea un solo cuerpo.
- No se puede modificar su forma ni tamaño.
- No es posible regularlo a las dimensiones del proyecto.

Los tableros de madera varían de acuerdo a su fabricación, entre los cuales tenemos: de madera de monte, triplex industrial, triplex marino y duratriplex; y, los tableros metálicos que son de acero de 2mm de espesor. De estos tipos de tableros, para encofrado tradicional, se usa madera de monte o triplex industrial (en raros casos triplex marina), para encofrados de estructura metálica se usan triplex marino o duratriplex; y tableros de acero.

Los problemas de los tableros son:

Tablero de madera de eucalipto:

- Se forma de un cortado rústico que contiene muchas líneas.
- La forma de corte genera tablas torcidas en uno o varios sentidos.
- Las torceduras y líneas forman un hormigón visto de mal aspecto de superficie no lisa que se debe resanar y retocar.
- El resanado y retoque genera más mano de obra y mayor tiempo de construcción.
- No tiene grandes dimensiones de tablero y se los conoce como tablas.
- Algunas poseen grandes huecos o fallas propias del material, que intensifican a consecuencia de los cortes rústicos empleados en ellas, y consecuentemente con simplemente tocarlos se rompen y desquebrajan.
- Absorben la humedad del hormigón y requieren de mucho cuidado al contacto con el agua porque se pudre.
- Sus formas y tamaños no siempre coinciden. Muchas veces la punta viene redondeada y esto crea dificultades en el trabajo.
- Se astilla y apolilla.

Tablero triplex industrial:

- Tiene orificios que dañan la estética del hormigón.
- Los orificios crean labores extras de remoción de hormigón y corrección de fallas.
- Las correcciones generan más mano de obra y mayor tiempo de construcción.

- Se lo puede reutilizar hasta máximo cuatro veces.
- Necesita protección contra el agua, ya que con esta se pudre.
- No tiene buena resistencia al maltrato físico y se desquebraja, triza o rompe con el trato generado en campo.
- Se pega al hormigón y al desencofrar se raja, triza y otros.
- Con la humedad que absorbe del hormigón se pudre después de poco tiempo.
- Se astilla y apolilla.

Tablero triplex marino:

- No tiene buena resistencia al maltrato físico y se desquebraja, triza o rompe al manipularlo en campo.
- Su reutilización puede alcanzar entre 10 a 20 repeticiones.
- Al desencofrar, si no es con cuidado se lastima la madera y se debe reponer.
- Puede tener orificios que dañan la estética del hormigón.
- Se astilla y apolilla

Tablero duratriplex:

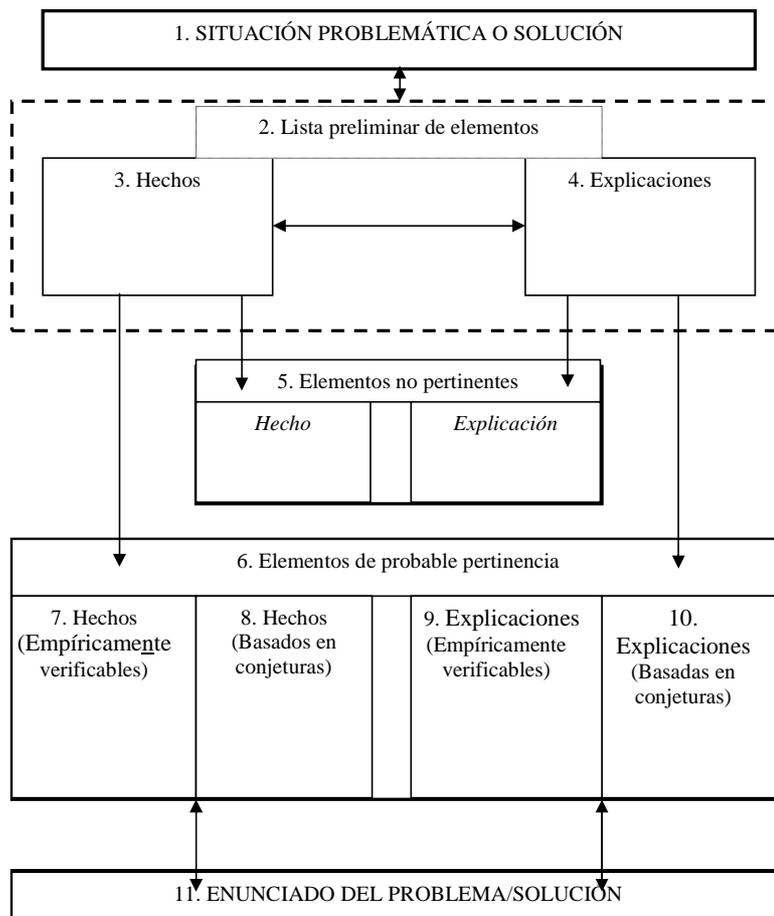
- No tiene buena resistencia al maltrato físico y se desquebraja, triza o rompe con el trato generado en campo.
- Dura hasta 120 reutilizaciones si se lo manipula con cuidado.

Tablero de acero:

- Se raya.
- Se golpea y se forman pequeños o grandes hundidos
- Se dobla o pandea.
- Todo esto causa una pérdida de la superficie lisa y se debe realizar trabajos de mano de obra adicionales para corregir las fallas del hormigón.

1.4 Método del Árbol

Para determinar el problema general, nos valemos del método “Árbol del problema”, sirve para determinar, en base a una hipótesis o situación problemática, el inconveniente del producto. Éste es el método de Deobold Van Dalen (de su libro: “Manual de técnica de la investigación educativa” -1978,) y funciona de la siguiente forma:



1. Situación problemática.- Se define la hipótesis (base para precisar el problema).
2. Lista preliminar de elementos.- Se divide en dos: hechos y explicaciones.
3. Hechos.- Se enlistan los problemas y defectos que presentan los productos actualmente existentes.
4. Explicaciones.- Es la explicación del porqué de cada hecho.
5. Elementos no pertinentes.- Se eligen los elementos de la lista preliminar que no implican un verdadero problema para el producto y se los divide en hechos y explicaciones. Los hechos considerados no

pertinentes se colocan en el casillero *Hechos* y sus respectivas explicaciones en la casilla *Explicaciones*.

6. Elementos de probable pertinencia.- Se divide en cuatro listas derivadas de los puntos 3 y 4. Consisten en hechos empíricamente verificables basados en conjeturas, y en explicaciones empíricamente verificables, basadas en conjeturas.
7. Hechos (empíricamente verificables).- De la lista 3 se seleccionan los hechos que se pueden demostrar.
8. Hechos (basados en conjeturas).- De la lista 3 se seleccionan los hechos basados en una opinión o una sospecha.
9. Explicaciones (empíricamente verificables).- Son las explicaciones de los hechos que se pueden demostrar.
10. Explicaciones (basados en conjeturas).- Son las explicaciones de los hechos basados en una opinión o una sospecha.
11. Enunciado del problema.- Se determina el problema del producto en virtud de los hechos pertinentes y sus explicaciones.

Como resultado se obtiene el enunciado del problema con el cual se procede a buscar la solución a éste. Para ello se realizará un “Árbol de la solución”, empleando el mismo método del “Árbol del problema”, donde los significados de la tabla variarán, debido a que ahora la hipótesis consiste en solucionar el problema descubierto anteriormente. El árbol de la solución se obtuvo de un concepto investigado en Internet¹, pero el concepto adquirido se lo fusionó al método de Van Dalen, para obtener un resultado más completo.

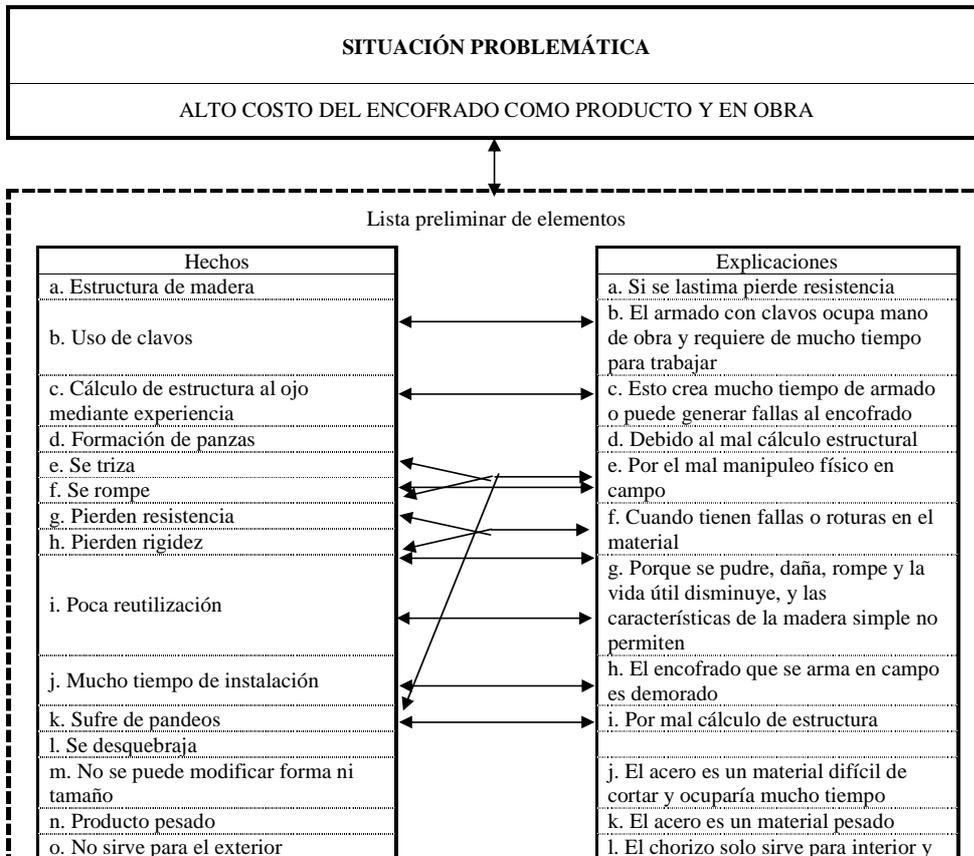
Los puntos de la tabla en la solución significan lo siguiente:

1. Solución.- Se define la hipótesis de la mejor solución ante el problema.
2. Lista preliminar de elementos.- Se divide en dos, hechos y explicaciones.
3. Hechos.- Es una lista sobre las características principales que debe tener el producto de la solución.
4. Explicaciones.- Es la explicación del porqué de cada hecho.
5. Elementos no pertinentes.- Se eligen los elementos que no implican un verdadero cambio en la solución con respecto al problema y se los divide en hechos y explicaciones. (Se los selecciona de la misma forma que en “Árbol del Problema”).

¹ [www.participa.cl/archivos/o%20Proyectos %20de%20Incidencia.pdf](http://www.participa.cl/archivos/o%20Proyectos%20de%20Incidencia.pdf)
www.magfor.gob.ni/servicios/descargas/prorural/ANEXO_I.pdf

6. Elementos de probable pertinencia.- Se divide en cuatro listas derivadas de los puntos 3 y 4. Se trata de hechos empíricamente verificables, basados en conjeturas, y explicaciones empíricamente verificables, basadas en conjeturas.
7. Hechos (empíricamente verificables).- De la lista 3 se seleccionan los hechos que se pueden demostrar.
8. Hechos (basados en conjeturas).- De la lista 3 se seleccionan los hechos basados en una opinión o sospecha.
9. Explicaciones (empíricamente verificables).- Son las explicaciones de los hechos que se pueden demostrar.
10. Explicaciones (basados en conjeturas).- Son las explicaciones de los hechos basados en una opinión o sospecha.
11. Enunciado de la solución.- Se obtiene la solución en base a los hechos pertinentes y a sus respectivas explicaciones.

1.4.1 Árbol del problema:





Elementos no pertinentes	
Hechos	Explic.
a	a
c	c
m	j
o	l
p	l
ab	

Elementos de probable pertinencia				
Hechos (Empíricamente verificables)	Hechos (Basados en conjeturas)		Explicaciones (Empíricamente verificables)	Explicaciones (Basados en conjeturas)
b. Uso de clavos	g. Pierden resistencia	↔	b. El armaje con clavos ocupa mano de obra y requiere de mucho tiempo para trabajar	f. Cuando tienen fallas o roturas en el material
d. Formación de panzas	h. Pierden rigidez		d. Debido al mal cálculo estructural	
e. Se triza	k. Sufre de pandeos		e. Por el mal trato físico en campo	i. Por mal cálculo de estructura
f. Se rompe				
l. Se desquebraja				

i. Poca reutilización	u. Obliga un resanado al hormigón	↔	g. Porque se pudre, daña, rompe, la vida útil disminuye y las características de la madera simple no permiten	n. Resanado por el mal acabado
j. Mucho tiempo de instalación	v. Se pudre	↔	h. El encofrado que se arma en campo es demorado	o. Por su alto nivel de absorción
n. Producto pesado	w. Genera dificultad en el armado	↔	k. El acero es un material pesado	p. Por la deformación del tablero
q. Mala prefabricación	x. Se astilla	↔	m. Tableros de monte son cortados y fabricados rústicamente	q. Por el mal trato y mal cuidado en el campo de trabajo
r. Tableros deformados	y. Se apollilla			r. Por el alto nivel de absorción de agua y poca calidad de la madera
s. Da mal acabado al hormigón	z. 4 reutilizaciones de triplex industrial			s. Disminuye su calidad y se comienza a podrir por la humedad
t. Contienen huecos grandes	aa. 10 a 20 reutilizaciones de triplex marino			
ag. Generación de mano de obra adicional	ac. Se raya	↔	u. Para el resanado del hormigón o la reposición del material dañado	t. Por el maltrato en el trabajo y la fragilidad del material frente a las condiciones de campo
ah. Generación de reposición de material	ad. Se golpea		v. Todo material dañado y destruido debe reponerse, comprarlo y colocarlo otra vez	
ai. Aumento de tiempo en la actividad	ae. Se hunde			
aj. Mano de obra, tiempo y reposición de material	af. Se dobla		w. Generado por los problemas mencionados y es igual a costo	

ENUNCIADO DEL PROBLEMA

Los diversos tipos de encofrado existentes en el mercado y los desarrollados muchas veces en obra, poseen características de bajo nivel de viabilidad técnica, económica o ambiental.

Ya determinado el problema, se pasa a la solución, con el ya mencionado método “árbol de la solución”, para llegar a la solución principal al problema general.

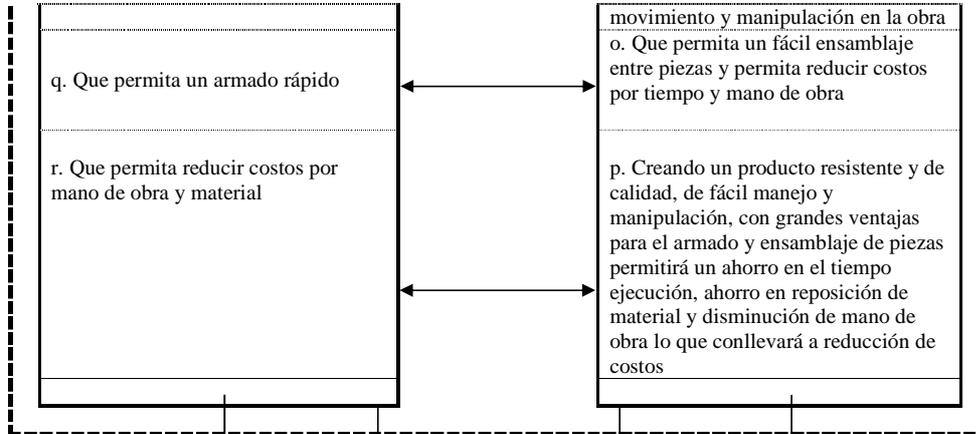
1.4.2 Árbol de la solución:

SOLUCIÓN

ELABORACIÓN DE UN NUEVO PRODUCTO ATENDIENDO REQUERIMIENTOS NORMATIVOS, DEL CLIENTE Y ATRACTIVOS.

Lista preliminar de elementos

Hechos	Explicaciones
a. Altamente reutilizable	a. Creando un material impermeable y de fácil desprendimiento del hormigón
b. Altamente resistente al hormigón	b. Formando un producto que conserve sus características físicas y resista la presión del hormigón para que no se creen panzas y no sople.
c. Elemento rígido	c. Para que pueda ser aplicado en cualquier región del país y bajo cualquier condición climática normal sin que se pudra y dañe.
d. Impermeable y de alta resistencia al agua	d. Un producto que permita ser trabajado con cierta agresividad y conserve bien su estructura
e. Resistente a las condiciones del campo de trabajo	e. Cumpliendo con ciertas características, aumentara la reutilización de la madera (si es el caso) y generar estructuras alternas a esta, permitiendo reducir el uso de la madera en esta actividad creando menos tala de bosques.
f. Ambientalmente viable	f. Que sea económico mediante la reutilización y la resistencia del producto para cualquier campo de la construcción
g. Que tenga bajo costo a corto o largo plazo	g. Con un producto que tenga una superficie lisa y que después de cada desencofrada su superficie se mantenga intacta.
h. Que permita buenos acabados del hormigón	h. Un producto que cumpla con los requisitos de diseño y desarrollo, que su prefabricación entregue una gran calidad, sin diferencias entre sus productos
i. Que sea un producto estandarizado	i. Para conseguir un producto de buena calidad y legalmente aprobado dentro del mercado ecuatoriano e internacional
j. Un producto regido bajo normas nacionales e internacionales	j. Para obtener excelente calidad se utiliza el método de diseño y desarrollo de un producto, siendo muy estricto en los procesos de diseño y de elaboración
k. Que tenga una excelente calidad en fabricación	k. Mediante materiales que lo permitan para obtener un fácil manejo del producto
l. Que sea de alta calidad	l. Un producto que permita un traslado sencillo en obra y con gran movimiento
m. Un producto liviano	m. Para su fácil movilización y traslado
n. Fácil maniobrabilidad	n. Permitir una gran maniobrabilidad,
o. Un producto de fácil transporte	
p. Un producto de fácil manejo	



Elementos no pertinentes	
Hechos	Explic.
e	D
m	K
o	M

Elementos de probable pertinencia				
Hechos (Empíricamente verificables)	Hechos (Basados en conjeturas)		Explicaciones (Empíricamente verificables)	Explicaciones (Basados en conjeturas)
a. Altamente reutilizable	d. Impermeable y de alta resistencia al agua	↔	a. Creando un material impermeable y de fácil desprendimiento del hormigón	c. Para que pueda ser aplicado en cualquier región del país y bajo cualquier condición climática normal sin que se pudra y dañe.
b. Altamente resistente al hormigón	f. Ambientalmente viable		b. Formando un producto que conserve sus características físicas y resista la presión del hormigón para que no se creen panzas y no sople.	e. Cumpliendo con ciertos factores, aumentar la reutilización de la madera y generar productos alternos a ésta, reduciendo el uso de madera en esta actividad creando menos tala de bosques.
c. Elemento rígido	g. Que tenga bajo costo a corto o largo plazo	↔		f. Que sea económico mediante la reutilización y la resistencia del producto para cualquier campo de la construcción
h. Que permita buenos acabados del hormigón	i. Que sea un producto estandarizado		g. Con un producto que tenga una superficie	h. Un producto que cumpla con los

			lisa y que después de cada desencofrada su superficie se mantenga intacta.	requisitos de diseño y desarrollo, que su prefabricación entregue una gran calidad, sin diferencias entre sus productos
q. Que permita un armado rápido	j. Un producto regido bajo normas nacionales e internacionales	↔	o. Que permita un fácil ensamblaje entre piezas y permita reducir costos por tiempo y mano de obra	i. Para conseguir un producto de buena calidad y legalmente aprobado dentro del mercado ecuatoriano e internacional
r. Que permita reducir costos por mano de obra y material	k. Que tenga una excelente calidad en fabricación	↔	p. Creando un producto resistente y de calidad, de fácil manejo y manipulación, con grandes ventajas para el armado y ensamblaje de piezas permitirá un ahorro en el tiempo ejecución, ahorro en reposición de material y disminución de mano de obra lo que conllevará a reducción de costos	j. Para obtener excelente calidad se utiliza el método de diseño y desarrollo de un producto, siendo muy estricto en los procesos de diseño y de elaboración
	l. Que sea de alta calidad			l. Un producto que permita un traslado sencillo en obra y con gran movimiento
	n. Fácil maniobrabilidad			n. Permitir una gran maniobrabilidad, movimiento y manipulación en la obra
	p. Un producto de fácil manejo			

↕	ENUNCIADO DE LA SOLUCIÓN	↕
Desarrollar un sistema de encofrado de alta eficiencia (<i>que sea altamente reutilizable y tenga un bajo costo</i>), de alta eficacia (<i>que tenga gran facilidad de manipulación y operación</i>), y ambientalmente viable; en base al Modelo de Diseño & Desarrollo de un producto.		

1.5 Justificación

Al encofrado siempre se lo ha visto como algo secundario o accesorio dentro del sector de la industria de la construcción en hormigón, a pesar de que este elemento ha sido el causante de varios inconvenientes, tanto constructivos como económicos. El encofrado es casi tan importante como el hormigón mismo en este tipo de construcciones, pues es el molde el que crea la estabilidad del hormigón fresco, asegura la protección y la correcta colocación de las armaduras, da la forma necesaria del hormigón; y lo protege contra golpes, temperatura externa y pérdida de agua. No en pocas ocasiones, éste material se convierte en la base estética de este tipo de estructuras. La estética de las estructuras viene a ser un factor tan importante como los otros

nombrados anteriormente. Principalmente en edificaciones de hormigón visto, donde el acabado superficial y la textura del hormigón son agentes determinantes.

Por otra parte, los encofrados comúnmente utilizados en el país, cumplen parcialmente con los requisitos de calidad requeridos; tanto más, que aproximadamente el 90 % de la demanda de estos elementos se ubica en las edificaciones residenciales unifamiliares, que se ejecutan artesanalmente con madera proveniente de los bosques nacionales. Localmente, en el Distrito Metropolitano de Quito (y en la sierra ecuatoriana) se demanda de forma intensiva la denominada “*madera de monte*” o de encofrado, proveniente de los bosques subtropicales y tropicales del país, así como también las rieles o duelas de eucalipto.

Únicamente el 10 % de la demanda de encofrados se da por parte de las grandes empresas constructoras, las cuales inclusive alquilan encofrados de alto costo, generalmente metálicos, o poseen sus propios encofrados.

Bajo estos aspectos, existen problemas del tipo sectorial de tipo técnico, económico, ambiental y de tipo social; ya que con el enfoque de este proyecto la disminución de los costos operativos de las edificaciones, podrían pasar a convertirse en ventajas de costo para los usuarios finales.

Debido a la problemática sectorial, la solución al problema abarca los mismos campos que el nuevo producto pretende cubrir.

Con respecto a la problemática técnica, la calidad y durabilidad van de la mano, ya que sin la una no existe la otra. El propósito es llegar a fabricar un producto de alto nivel que pretenda de satisfacer a las expectativas de la mayoría de clientes. Las cualidades dependen mucho de los materiales, del buen estudio y trabajo que se ejecute.

En la parte económica, se requiere un producto que tenga un costo menor al de cualquier otro en el país, esto no significa que comercialmente sea más barato que cualquier otro, sino que a manera de inversión resulte más económico a corto o largo plazo. Con todo se puede llegar a un producto de menor costo en el mercado, fundamentándose en los rubros de la construcción del costo de materiales y mano de obra para su fabricación.

El aspecto ambiental, va ligado con el costo, la calidad y durabilidad del producto. Apoyando en la viabilidad con sustento ambiental, ya que el ahorro en madera sería en grande. El aspecto de impacto ambiental con respecto a la madera es grave en nuestro país, debido a que en la construcción el encofrado genera mucho desperdicio de cantidades grandes de madera (de varias especies y tipos) que acaban como desechos. Por otro lado, si un material es prefabricado, cimentándose en estándares y normas, su uso se vuelve moderado y los desperdicios disminuyen considerablemente.

El proyecto también adquiere importancia, en razón de que pretende plasmar el valor del aporte que debe generar la universidad ecuatoriana en pro de una búsqueda urgente de soluciones a los problemas productivos y sociales, tendientes al mejoramiento de la calidad de vida de los ecuatorianos.

1.6 Objetivo

El proyecto se ha definido en base al mejoramiento de una actividad dentro del área de la construcción. Una vez determinada la problemática y planteada la solución, se ha dado lugar a la determinación del producto y principalmente los objetivos a los que se pretende llegar.

El objetivo general del proyecto es desarrollar un sistema de encofrado de alta eficiencia (por su elevada reutilización y bajo costo), alta eficacia (por la facilidad de manipulación y operación), y ambientalmente viable (por la consecuente disminución de la utilización de madera de encofrado), utilizando el Modelo de Diseño & Desarrollo de Productos.

Para llegar a éste, se han planteado varios objetivos específicos, que son:

- Realizar un análisis del problema general de la disponibilidad y utilización de los actuales sistemas de encofrado utilizados en la plaza.
- Realizar una base de datos con fundamentos teóricos, sobre los materiales relacionados al producto.
- Elaborar los procesos de diseño y desarrollo basados en selección de materiales, diseño, y en un análisis pertinente para la elaboración del producto.
- Sacar conclusiones sobre el nuevo producto
- Validación del diseño y desarrollo del producto

Y de acuerdo a estos objetivos específicos, se elaboraron las metas necesarias para el cumplimiento del proyecto, las cuales son:

- Realizar una caracterización del sector de la construcción.
- Elaborar una caracterización del subsector de la construcción.
- Producir un análisis del problema general.
- Determinar los elementos pertinentes al problema.
- Conformar las explicaciones conjeturales de cada elemento pertinente.
- Plantear la solución.
- Ejecutar la justificación.

- Culminar el objetivo general y los objetivos específicos del proyecto.
- Adquirir todo lo relacionado a fundamentos teóricos para obtener:

Área de conocimiento:

- Ciencias de los materiales relacionados al producto.
- Costo de los materiales.
- Resistencia de los materiales.
- Forma de los materiales.

Métodos de obtención del producto en base al diseño y desarrollo:

- Determinación de banco de materiales posibles.
- De los materiales posibles, elaborar el banco de materiales por costo.
- Planificación de Diseño y Desarrollo.
- Determinación de requisitos de entrada de Diseño y Desarrollo:
 - o Calidad normativa de entrada.
 - o Calidad del cliente de entrada.
 - o Calidad atractiva de entrada.
- Determinación de requisitos de salida de Diseño y Desarrollo:
 - o Calidad normativa de salida.
 - o Calidad del cliente de salida.
 - o Calidad atractiva de salida.
- Especificaciones técnicas (Estandarización).
- Definición del algoritmo de Diseño (planos y memoria de cálculo y diseño).
- Control de especificaciones:
 - o Etapas
 - o Verificación
- Desarrollo del prototipo
- Control: validación (Especificaciones técnicas del prototipo).
- Obtención de resultados.
- Conclusiones.

La intención principal de las metas es crear pasos para cumplir los objetivos específicos y de ésta forma alcanzar objetivo final; consiguiendo el propósito fundamental del proyecto que radica en la elaboración del producto final.

CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

El encofrado es un producto que se puede conformar por uno o un conjunto de materiales. Para determinar cuales pueden ser los materiales óptimos para cumplir el objetivo del proyecto es muy importante realizar un análisis sobre los materiales que existen en el medio, sus características generales y mecánicas como comportamientos, sus cualidades en estados bajo carga, los costos en el mercado, las formas en las que se pueden adquirir. Así mismo es necesario investigar sobre elementos y métodos de compatibilidad o anclaje de materiales que existen en nuestro medio, determinando sus propiedades físicas y mecánicas, usos, entre otros. Los materiales son importantes y básicos para este proyecto y cualquiera relacionado con la construcción.

Todos los materiales tienen características que les hace únicos y diferentes entre sí. Dentro de los encofrados siempre se han buscado materiales que cumplan con varios requisitos técnicos y económicos, llegando a desarrollar productos que con diferentes características lleguen a los mismos objetivos de trabajos de hormigón.

Para desarrollar un producto es muy importante adentrarse al análisis y estudio de los materiales que pueden ser parte del proyecto, ya que los fundamentos teóricos son la base de la determinación científica y técnica de los materiales como soporte para desarrollar un producto de gran calidad.

Para el estudio de los materiales, se tomará en cuenta los elementos actuales en la aplicación de encofrados nacionales, internacionales y materiales con grandes posibilidades de ingresar al mercado.

Dentro de los productos nacionales, se encuentran los mencionados en el capítulo anterior, donde existen tableros y perfiles de madera y acero. Encofrados de madera, de perfil metálico y tablero de madera, encofrado metálico y encofrado de poliuretano. Tableros de materiales como madera de pino, de monte, triplex industrial, triplex marino, duratriplex y tol de acero laminado en frío.

En los productos internacionales existe una gran variedad, donde se incluye madera como triplex marino o duratriplex, también productos con elementos como aluminio, que es un material de bajo peso pero alto costo, PVC, poliuretano y otros. La mayoría de estos elementos no se pueden encontrar en el país, ya que la demanda es mínima y no justifica su importación.

Un nuevo producto con capacidad de entrar al mercado de los encofrados es el acoplac rh, que es un aglomerado de madera con resinas especiales, el cual puede tener subdivisiones dependiendo del tipo de trabajo. Se puede desarrollar tableros y recubrimientos de fibra de vidrio y PVC e incluso recubrimientos de silicona y otros.

Con formato: Derecha: 2 cm, Abajo: 2 cm, Alineación vertical: Superior, Ancho: 21 cm, Alto: 29.7 cm, Sin Encabezado de primera página diferente

2.1 Materiales para encofrados

Para poder definir cuáles pueden ser los posibles materiales para el producto, es muy importante determinar cuales son las mejores opciones que existen dentro del mercado ecuatoriano, ya que si hay elementos que son bajo importación por pedido, resultan más difíciles de conseguir, aumenta el costo del material y debido a los tramites y cuestiones legales se demora en ingresar al país.

En el mercado ecuatoriano existe una gran cantidad de materiales que pueden ser aplicables a un nuevo producto, ya sea para tablero o estructura. Entre estos podemos nombrar a la madera, como tablonos o contrachapada. Acero, como perfiles, tol para recubrimiento o planchas para tablero. Aluminio como estructura o tablero. Fibra de vidrio como recubrimiento o incluso como tablero y otros.

2.1.1 Características generales y físicas

a) Madera.-

La madera en si es un material complejo por su composición y su constitución. *“La madera no es un material homogéneo, está formado por diversos tipos de células especializadas que forman tejidos”*² que sirven para realizar funciones como conducir la savia, transformar y almacenar los alimentos, y formar la estructura resistente del árbol. Este elemento está compuesto por celulosa entre 40 y 50%, lignina de 25 a 30%, hidratos de carbono 20 a 25% y resina, tanino y grasas 5 a 15%. El 90% de estos elementos están compuestos de carbono entre 46 a 50%, oxígeno de 38 a 42%, hidrógeno en un 6% y nitrógeno 1%, y el 10% de cuerpos simples como fósforo y azufre, y compuestos como potasio, calcio y sodio.

Entre las maderas la madera blanda presenta fibras largas y gruesas, tiene abiertos que pueden acumular agua en estado libre, es liviana y tiene un tejido muscular flojo. La madera dura

² <http://html.rincondelvago.com/estudio-de-la-madera-para-la-construccion.html>

tiene fibras cortas y delgadas que al envejecer el árbol se consolidan, formando una madera resistente y compacta.

Algunas propiedades de la madera se expresan a continuación:

- La dureza es una propiedad que se utiliza para determinar la homogeneidad y la resistencia de la madera, depende del crecimiento, ya que se clasifica la madera como dura la de crecimiento lento y blanda la de crecimiento rápido.
- La humedad es un factor que es muy común en la madera, ya que por constitución contiene gran porcentaje de agua, al que se le aumenta la de saturación que depende mucho del medio ambiente en donde ésta se encuentre. La humedad es el factor más importante para determinar el hinchamiento o contracción de la madera y contribuye a la variación de su densidad y volumen.
- La contracción hace referencia a cambios físicos en forma y volumen debido a la pérdida de agua. Es un comportamiento que se da en la red capilar y se contrae en un 0.8% en dirección de las fibras, del 1 al 7.8% en dirección radial y del 5 al 11.5% en el sentido tangencial. La contracción sucede en menor cantidad en el corazón que en la albura, esto provoca tensiones por desecación formando agrietamientos y torceduras de la madera.
- El hinchamiento es el efecto contrario a la contracción, se produce cuando la madera absorbe humedad y se dilata. Se produce cuando el agua aumenta llegando a un estado de saturación y el volumen de la madera crece entre 20 y 25%. El volumen de la madera no varía, pero su peso puede aumentar hasta un 100% si se la sumerge en agua. El aumento de volumen es mínimo en la dirección de las fibras y de 2.5 a 6% en el sentido perpendicular.

- La elasticidad de la madera es la propiedad que permite la resistencia a los choques, mientras más seca se encuentre la madera, menor es la elasticidad del material. En general la madera pesada es más elástica que la liviana.
- Una de las propiedades más importantes y necesarias en la madera es la durabilidad, la que puede ser hasta de miles de años si esta es bien tratada y cuidada. Los agentes más peligrosos son los insectos, como los hongos, que son muy letales y aparecen cuando la madera se encuentra húmeda. Muchos tipos de madera son resistentes a varios tipos de insectos debido a las resinas y los elementos químicos que fabrican sus aromas.

Los factores que determinan su vida útil son el medio ambiente y los agentes destructores. Para contrarrestar y mejorar la conservación de la madera se puede dar un lavado y un secado natural o artificial a maderas en ambientes secos. El lavado natural es el acto de sumergir la madera en agua por varios meses para eliminar la savia, que es el alimento de los microorganismos vegetales que destruyen la madera.

El lavado artificial consiste en sumergir la madera en agua caliente o en vapor a presión.

- La resistencia se debe a factores como qué tan seca esté y en la forma en que se ha cortado con respecto a la dirección de las fibras, es mayor si se corta en su misma dirección. La resistencia a la compresión es muy alta, con respecto al peso en algunos casos puede llegar a ser mayor que el acero. Su resistencia a la tracción es baja y a la cizalladura media.

El secado es muy importante para garantizar la dureza, durabilidad, alivianamiento y otras propiedades de la madera, para ello se puede utilizar un proceso natural o uno artificial.

El secado natural se lo realiza al aire libre. Este es un método irregular ya que depende mucho del medio ambiente. Se apila la madera para evitar su deformación ya que su forma cambia cuando elimina el agua que contiene. Para el secado de maderas blandas tarda

aproximadamente un lapso de dos años y para maderas duras depende mucho del espesor de las piezas.

El secado artificial consiste en dejar la madera secar al aire libre por varios meses. Luego se realiza el lavado para limpiar la savia del material con los procesos explicados anteriormente o colocándoles en una corriente de agua, y luego se vuelve a apilar al aire libre por 15 o 20 días más. El siguiente paso es de introducir la madera en los secadores, que son cámaras donde se establece un tiro de aire calentado progresivamente. En estos hornos las temperaturas varían entre 50 a 70° C dependiendo de la madera.

La mayoría de madera tratada utilizada para encofrados es del tipo contrachapado o mejor conocida como triplex. Este tipo de madera esta compuesta por varias capas de madera unidas con pegamento o resinas sintéticas de acuerdo al tipo de material que se quiere obtener. La madera triplex necesita que sus capas exteriores sean duras y lisas, mientras que las internas solo deben ser resistentes. Existen tableros donde sólo una de sus caras exteriores contiene estas características de buen acabado.

La colocación de las capas se hace en direcciones opuestas, una capa perpendicular a la siguiente, para obtener una igual resistencia en todo el conjunto. Las fibras se encuentran distribuidas homogéneamente, así no es fuerte en un solo sentido y débil en los otros dos.

Para la fabricación de la madera contrachapada en Ecuador (*empresa Endesa Borrosa*), sigue un proceso con varios pasos a seguir:

Cosecha de materia prima.- La cosecha se la realiza durante el 60% del año, lo que permite un abastecimiento continuo de la producción. En esta etapa se agrupan los trozos de madera según su especie y se las mantiene bajo riego para evitar el ataque de insectos y organismos y conservarla en excelentes condiciones.

Macerado.- En esta etapa los trozos de madera son sumergidos en pozos de remojo de agua caliente para ablandar las fibras de la madera.

Descortezado.- En esta fase los trozos de madera son separados por capas y esto ayuda al macerado, ya que se obtienen trozos sin corteza.

Desenrollado.- Esta fase se la realiza con madera corriente. Es un proceso donde se realiza un torneado que desprende y desenrolla las chapas de los trozos para formar los contrachapados.

Laminado.- El laminado es la etapa donde se realiza el corte plano en las maderas y se obtiene chapas finas laminadas. Éste proceso se lo realiza tras la finalización del macerado.

Secado.- En esta etapa utilizando el método del horneado, se realiza el secado de las láminas de madera hasta alcanzar niveles de humedad menores al 12%.

Encolado.- Tras el secado se unen las láminas entre sí, formando un tablero que cumple con las dimensiones especificadas de fabricación y se las pasa por rodillos que impregnan la pega o cola en las láminas con adhesivos.

Armado del tablero.- Las láminas encoladas son alternadas con láminas secas y ubicadas unas perpendiculares a otras, así se forma un paquete de láminas unidas entre sí.

Prensado.- En esta etapa se someten los paquetes de láminas bajo factores como presión, temperatura y tiempo; que permiten la formación del tablero.

Escuadrado.- Aquí el tablero se conforma de acuerdo a las dimensiones estándar, creando una perfecta perpendicularidad entre sus lados y sus caras.

Lijado.- En ella se realiza el proceso de pulido de la superficie o superficies del tablero utilizando una lijadora-calibradora. Este pulido superficial varía de acuerdo a la clasificación del tablero.

Finalmente se clasifican y se alistan para su distribución.

Estos contrachapados poseen una característica muy importante:

Maquinabilidad, debido al gran manipuleo al que pueden estar sujetos los tableros.

Por ejemplo se lo puede perforar, cortar, atornillar y otros, sin permitir rajaduras.

Los tableros triplex más utilizados en el área de la construcción para encofrados son:

Triplex corriente.- Tablero fabricado de chapas desenrolladas de especies corrientes unidas entre sí por adhesivos de urea formaldehído. Tiene sus caras exteriores lijadas.

Triplex Industrial.- Es un tablero fabricado con chapas desenrolladas o laminadas de varias especies, sus caras exteriores no son lijadas por lo que pueden tener nudos o defectos abiertos que no afectan su resistencia estructural.

Triplex Marino.- Este es fabricado a partir de chapas de especies corrientes, unidas entre sí utilizando adhesivos de fenol formaldehído. Presenta una gran cualidad de resistencia a la humedad, para encofrados puede reutilizarse desde 10 hasta 20 veces y presenta sus dos superficies lijadas, que pueden ser pintadas o recubiertas para un mejor acabado.

Duratriplex.- Este es un tablero marino de mejor calidad, que presenta un recubrimiento con una película fenólica importada, para ofrecer mayor resistencia a la humedad y ventajas, en especial en el moldeo del hormigón, tales como una impermeabilidad total, alta duración que permite su reutilización hasta 120 veces, mayor rigidez, resistencia y aislamiento térmico, el cual es muy importante para mantener las condiciones estables de temperatura durante el fraguado del hormigón evitando fisuras. Este producto permite una gran calidad en acabados que por la película fenólica, deja una superficie lisa de gran calidad y así mismo permite un fácil desmoldaje.

En el mercado ecuatoriano también existen tableros aglomerados que no se han utilizado para encofrado. Estos tableros se encuentran formados por multicapas de partículas de madera gruesas que se encuentran en el centro y las más finas en las superficies. Estas partículas se

aglomeran con una resina melamina urea formol (MUF) y luego pasan a ser prensadas en condiciones controladas de presión, temperatura y tiempo. Este es un producto fabricado con madera de pino, tiene una gran cohesión interna y resistencia homogénea, gran capacidad de aislamiento y se conforma por una superficie lisa y uniforme. Este tipo de tablero se lo subdivide en una gran variedad, del cual el destinado a la construcción es el Acoplac RH.

b) Acero

El acero es una aleación de hierro, carbono y otros elementos en pequeños porcentajes, que permiten una fácil maleabilidad en caliente y frío, y que le dan propiedades mecánicas específicas para su utilización dentro de la industria. La composición básica del elemento es de hierro y carbono; los otros elementos varían en porcentajes según las aplicaciones para las que se requieren.

Algunos de los elementos que componen el acero:

Aluminio (Al).- Es utilizado como desoxigenante y reduce el crecimiento del grano al formar óxidos y nitruros formando un acero de grano fino.

Azufre (S).- Se le considera como impureza y es perjudicial en la aleación del acero, sin embargo, en algunos casos se agrega de 0.06% hasta un 0.30% para mejorar la maquinabilidad (*habilidad para trabajarlo mediante cortes*), los aceros con alto contenido de azufre son difíciles de soldar y se pueden crear poros en la suelda.

Carbono (C).- Le da al acero características de dureza y alta resistencia.

Cobre (Cu).- Mejora la resistencia a la corrosión atmosférica.

Cromo (Cr).- El cromo es muy importante para aumentar la resistencia a altas temperaturas y evita la corrosión, también por su capacidad para formar carburos se utiliza en revestimientos duros de gran resistencia al desgaste.

Fósforo (P).- Es importante para aumentar la resistencia a la tensión y la maquinabilidad. En algunos tipos de acero es perjudicial, disminuye la ductilidad y la resistencia al impacto.

Manganeso (Mn).- Sirve para desoxidar y aumentar la dureza del acero. Al mezclarse con el azufre, previene la formación de sulfuro de hierro que es perjudicial en el proceso de laminación y moldeo en caliente.

Níquel (Ni).- Este elemento mejora las propiedades de tratamiento térmico, reduciendo la temperatura de endurecimiento. Aumenta la resistencia al desgaste y la dureza si se utiliza el níquel con el cromo.

Vanadio (V).- El vanadio permite la formación de granos finos, aumenta la resistencia a los impactos y a la fatiga.

Clasificación del acero

Existen principalmente cuatro tipos de acero que se clasifican en: aceros al carbono, aceros inoxidables, aceros aleados y aceros de herramientas.

Aceros al carbono (Acero dulce)

Se componen por hierro entre un 97.0 a 99.5% y carbono en menor cantidad, existen elementos como manganeso y silicio debido a la producción, otros que no se eliminan completamente como oxígeno, nitrógeno, hidrógeno, azufre y fósforo, y en casos particulares cobre, cromo y níquel.

Este acero representa más del 90% de los aceros en la industria y de acuerdo a las propiedades y al uso, se clasifican en aceros de construcción, aceros de bajo contenido de carbono y aceros al carbono de alta maquinabilidad.

Aceros de construcción.- Pueden ser aceros al carbono de laminación para construcciones metálicas y piezas de maquinaria, aceros de baja aleación y alto límite elástico para construcciones de grandes estructuras como torres, puentes y otros, y aceros de fácil mecanización en tornos automáticos.

Los aceros al carbono de laminación se componen generalmente con hierro y carbono entre 0.03 y 0.70%, más elementos como manganeso hasta un 0.90%, silicio hasta un 0.50%, fósforo hasta un 0.10% y azufre hasta un 0.10%. Las propiedades más importantes de estos aceros son resistencia a la tracción, a la fatiga, tenacidad y alargamiento.

Aceros de bajo contenido de carbono.- Contienen desde 0.06 hasta un 0.25% de carbono, su resistencia varía entre 35 a 53kg/mm² y los alargamientos se encuentran entre 23 a 33%. Generalmente contienen elementos como fósforo y azufre, que para aceros de alta calidad no deben sobrepasar el 0.03%. Con estos aceros se fabrican puentes de ferrocarril, estructuras grandes, edificaciones, columnas de líneas eléctricas, clavos, alfileres y otros.

Aceros al carbono de alta maquinabilidad.- Se forman mediante la adición de azufre que disturbe las propiedades de soldadura y conformación en frío. Son muy importantes debido a la disminución de costos y al aumento de producción por mayor velocidad de maquinado.

Aceros inoxidables.- Los aceros inoxidables vienen de una aleación que contiene un mínimo de 11% de cromo. Este elemento permite una superficie delgada y continua en la superficie del acero, que es inerte a las reacciones físicas, principalmente a la corrosión, también permite la resistencia a la oxidación frente a agentes como ácidos, agua, humedad y gases corrosivos.

Tiene una resistencia mecánica que se aproxima al doble de la del acero al carbono, resiste temperaturas elevadas y criogénicas. Este material no es indestructible pero resulta resistente en condiciones severas. Estos aceros se clasifican en:

Aceros inoxidables Martensíticos.- Fue el primer acero desarrollado industrialmente. Tiene un contenido de carbono entre 0.2 y 1.2% y de cromo entre 12 y 18%. Posee una gran maquinabilidad, una moderada resistencia a la corrosión y una elevada dureza.

Aceros inoxidables Ferríticos.- Tiene un bajo contenido de carbono, menor a 0.2% y entre 12 y 18% de cromo. Se caracteriza por su alta dureza y buena resistencia a la corrosión.

Aceros inoxidables Austeníticos.- Estos adquieren su nombre de la austenita, que se forma por la introducción de níquel en la aleación. Contiene carbono y en gran cantidad cromo (16 a 28%), níquel (3.5 a 22%) y molibdeno (1.5 a 6%). Este acero es muy resistente a la corrosión, a temperaturas elevadas y criogénicas, y es fácil de soldar y transformar.

Los aceros inoxidables son muy importantes por su uso en tuberías, tanques, principalmente para refinerías de petróleo, plantas químicas, cápsulas espaciales, aviones, elementos quirúrgicos, cocinas y otros.

Aceros aleados.- Son los que tienen manganeso hasta un 0.90%, silicio hasta 0.50%, azufre y fósforo hasta 0.10% y carbono, cromo, vanadio, níquel, molibdeno, cobre, cobalto, plomo, circonio, titanio, tungsteno, boro y aluminio, en pequeñas cantidades. Pueden ser de gran espesor con resistencias muy altas en el interior de las mismas, desarrollan una alta resistencia a temperaturas elevadas y se llega a tener dureza con gran tenacidad.

Este acero se utiliza en engranajes, ejes de motores, cuchillos, mallas, canaletas, palas, cucharas de maquinaria pesada, mezcladoras de hormigón, tolvas y otros.

Estructura del acero

Las propiedades físicas del acero, dependen esencialmente de cuánto carbono tenga y cómo se encuentre distribuido en el hierro. Para el tratamiento técnico es necesario saber que la mayoría de aceros son producto de la fusión de tres sustancias: ferrita, perlita y cementina. La ferrita es el resultado de la mezcla de hierro con pequeñas porciones de carbono y otros componentes en disolución. La cementina es un compuesto de hierro con un aproximado del 7% de carbono, es duro y bastante quebradizo. La perlita es una mezcla de las dos anteriores y sus propiedades son intermedias entre ellas.

La dureza y resistencia de un acero que no se ha tratado de manera técnica depende básicamente de en que proporciones se encuentran estos tres ingredientes.

Ventajas y desventajas del acero como material estructural

Ventajas:

- 1.- Alta resistencia.- Es muy importante para puentes de grandes luces, ya que esto implica la alta resistencia del acero por unidad, es decir, que será poco el peso de las estructuras.
- 2.- Uniformidad.- El acero mantiene sus propiedades con el paso del tiempo.
- 3.- Durabilidad.- El acero tiene una durabilidad indefinida siempre y cuando el mantenimiento de las estructuras sea adecuado.
- 4.- Ductilidad.- Los aceros estructurales son dúctiles por naturaleza, lo que les permite fluir de forma local evitando fallas prematuras.
- 5.- Tenacidad.- Este tipo de aceros se caracterizan por poseer resistencia y ductilidad.

También existen otras ventajas como facilidad y rapidez de montaje, es fácil unir varios miembros por medios como tornillo, remaches y soldadura, tiene una gran resistencia a la fatiga, puede ser reutilizado después de desmontar una estructura y otros.

Desventajas:

- a) Costo de mantenimiento.- Los aceros deben ser pintados periódicamente, ya que por lo general se encuentran expuestos al agua y al aire, y en consecuencia a la corrosión.
- b) Susceptibilidad al pandeo.- Entre más largas y esbeltas sean las piezas de acero, mayor es el riesgo de pandeo. El acero en columnas no resulta económico y debe utilizarse mucho material para tener la rigidez suficiente para evitar el pandeo.
- c) Costo de protección contra el fuego.- ante un incendio la resistencia del acero disminuye.

Proceso de trabajo en caliente

El acero es sometido a altas temperaturas hasta que llegue a una condición plástica donde sea fácil de trabajar. Existen varios procesos como: laminado, extrusionado y forjado.

El laminado se usa para conseguir una barra de acero con forma y dimensiones específicas. El extrusionado, es donde se aplica una enorme presión en el lingote de acero caliente haciendo que fluya por un orificio restringido. El forjado produce un grano refinado que da una mayor resistencia y ductilidad.

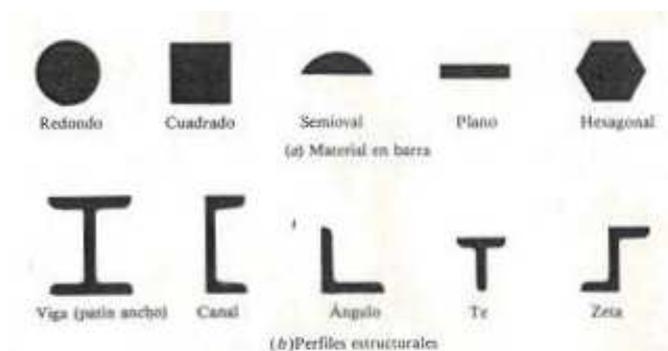


Figura 2.1.- Secciones normales en perfiles de acero.

Proceso de trabajo en frío

Este proceso se realiza a baja temperatura. Las piezas trabajadas en frío tienen un acabado más brillante, son mucho más exactas y necesitan de menos maquinado. Las barras se producen por estirado, torneado, rolado, pulimentado y esmerilado.

El rolado y estirado logran el mismo resultado en las propiedades mecánicas. El labrado aumenta la resistencia de fluencia y la dureza. El recalado forma cabezas de tornillos y remaches. El roscado obtiene una rosca o filete con compresión y rolado de una pieza base.

El rechazado sirve para formar acero laminado circular.

d) Aluminio

Es el elemento número 13 de la tabla periódica, se encuentra en el grupo IIIA. Es el elemento metálico más abundante en la corteza terrestre.



Foto 2.1.- Bauxita, la materia prima para la fabricación de aluminio.

El aluminio viene como un elemento compuesto y no se lo encuentra como metal puro. Con el 8,1% es el tercer elemento y el primer metal más común en la corteza terrestre.

La extracción se la realiza en dos partes por el método de Bayer, se separa al óxido de aluminio de la bauxita, luego el óxido se retira del aluminio como oxígeno por hornos de fusión mediante la electrolisis, esto se realiza a temperaturas superiores a los 2.000°C.

En la actualidad la producción de este material se encuentra estabilizada, a pesar que en la industria automotriz su uso aumenta constantemente. Esto se debe a que el aluminio se está sustituyendo por materiales como metales compuestos o polímeros.

Tiene una gran resistencia a la corrosión debido a su película lumínica, tiene una gran capacidad de reciclabilidad, a pesar de ser uno de los materiales más abundantes en la Tierra, su proceso de obtención requiere de un gran consumo de energía.

Los principales productores de aluminio son Canadá, Australia, Estados Unidos y China.

Propiedades físicas

Es plateado y ligero, su punto de fusión es de 660°C, su masa atómica de 26,9815 y su densidad relativa es $2,7 \times 10^3 \text{kg/m}^3$. Es reactivo y electropositivo. Cuando se somete al contacto con el aire se forma una capa de óxido de aluminio que resiste la acción corrosiva.

Está formado básicamente de óxido, sulfato, sulfato mixto e hidróxido.

El método principal de producción comercial del aluminio es el Hall-Héroult (que tiene un 99.5% de aluminio puro), pero se están realizando estudios de nuevos métodos con el objetivo de tener hasta un 99.99%.

Solo el magnesio, litio y berilio son más ligeros que el aluminio.

Aplicaciones

Por sus características es muy utilizado en la fabricación de automóviles, aviones, vagones, y objetos que requieren de mucha conservación de energía y movilidad, no es tan buen conductor de la electricidad como el cobre, pero es más liviano y se usa para transmitir electricidad de alto voltaje a largas distancias. En la arquitectura este material es muy importante en lo ornamental y lo estructural. Es utilizado en latas de fácil apertura, botellas, como envoltorio para alimentos perecibles y otros. Además por su resistencia al agua es utilizado en la fabricación de cascos de barco y otros aparatos acuáticos.

El reciclaje es muy importante porque significan un importante flujo de ahorro de energía.

Información Técnica

Aleaciones:

Las aleaciones de aluminio de nuestra industria pertenecen a la familia de las no tratables térmicamente, que requieren de trabajo en frío para obtener sus propiedades mecánicas.

- 1070.- 99.7% de pureza de aluminio, para aplicaciones en pastillas de extrusión por impacto, placas decorativas, reflectores y otros.
- 1050.- 99.5% de pureza, con aplicaciones parecidas a la aleación 1070.
- 3003.- Es una aleación con bajo contenido de manganeso, sus aplicaciones son en utensilios, envases y otros, con una pureza de 99.0%.
- 3004.- Es una aleación con bajo contenido de manganeso y magnesio, tiene mayor resistencia a la deformación, lo cual dificulta el uso en piezas que se obtienen por embutido, pero se tiene buena rigidez y resistencia mecánica.

El aluminio se puede alea con otros elementos para mejorar las propiedades mecánicas:

- Hierro (Fe).- Incrementa la resistencia mecánica.
- Silicio (Si).- Ofrece mayor resistencia mecánica mezclado Magnesio (Mg).
- Magnesio (Mg).- Genera una alta resistencia tras el conformado en frío.
- Cromo (Cr).- Produce mayor resistencia combinando con elementos como cobre (Cu), Manganeso (Mn) y Magnesio (Mg).

Productos laminados

Los productos laminados se clasifican de acuerdo a su espesor en:

- Chapas y bandas: Laminadas en caliente o frío, tienen un espesor superior a 0,35mm, de acuerdo a las normas, las chapas hasta un espesor de 50mm y las bandas hasta 5mm.
- Bandas delgadas: Se encuentran entre 0,021 mm y 0,35mm.
- Láminas: Se encuentran entre 0,007mm y 0,020mm (7µm a 20µm).
- Laminación en caliente.- Se calientan los formatos a una temperatura que varía entre 400 y 540°C, luego se procesa el lingote para laminarlo y obtener el espesor requerido de las chapas o bandas. Cuando se ha terminado la capacidad de conformación, se interrumpe el proceso y se vuelve a calentar hasta la temperatura necesaria para laminar.
- Laminación en frío.- Las chapas y bandas prelamadas al caliente, se las lamina a temperatura ambiente hasta conseguir el espesor definitivo. En algunos casos, especialmente si se necesita un grado de endurecimiento, se puede realizar un recocido intermedio antes de comenzar la laminación en frío y otro tipo intermedio cuando se haya agotado la capacidad de conformación en materiales con alto grado de aleación. Las láminas de aluminio se fabrican a partir de aluminio puro entre un 99,0 y 99,5% y tienen márgenes de espesor más pequeños y restringidos, hasta 0,010mm no se encuentran totalmente libre de poros (esto ocurre desde 0,025mm en adelante). El estado del material es blando y tienen baja resistencia al alargamiento y la tracción.

Calor específico

El calor específico del aluminio en estado sólido aumenta continuamente, se demuestra teóricamente desde un valor K nulo hasta la temperatura máxima de fusión:

Temperatura °C	Calor Específico J/kg • K	Temperatura °C	Calor Específico J/kg • K
-100	720	660 fest	1240
20	900	660 flussig	1040
100	960	700	1040

300	1020	800	1060
500	110		

Tabla 2.1³.- Coeficiente de dilatación lineal para distintos campos de temperatura.

Esta tabla sirve si no se han presentado reacciones en estado sólido, ya que por lo general el material tiene un calor de reacción positivo o negativo.

El calor específico es aproximadamente de 25J/mol•K a 20°C. Si al aluminio se le adiciona un elemento con masa atómica inferior, el calor específico aumenta y viceversa.

Corrosión

Es la reacción de un material metálico frente a su entorno, generando una modificación perjudicial parcial o total en un elemento.

El aluminio tiene una gran afinidad con el oxígeno, por lo cual en el contacto con el aire se forman capas de óxido de manera natural que sirven como protección al material subyacente contra la corrosión.

Elementos de aleación y de adición.- En condiciones ideales, la resistencia a la corrosión del aluminio es mejor cuando este tiene un mayor grado de pureza. La resistencia a la corrosión no solo depende de los materiales de la aleación sino también de su distribución.

Tratamientos térmicos o mecánicos.- Estos influyen sobre las tensiones internas y la cantidad y reparto de los constituyentes estructurales. Mediante el tratamiento térmico en aleaciones de aluminio sobresaturadas se puede impedir la corrosión en grietas bajo tensión, pero en otros casos se puede provocar un estado crítico.

Condición superficial.- El comportamiento del aluminio frente a la corrosión depende de las características superficiales, tales como rectificado, cepillado, pulido y decapado.

Protección contra la corrosión:

³ Coca, Pedro. *Manual del Aluminio*. Segunda Edición. España: Editorial Reverté S.A., 1992. Pág. 104.

Capa de recubrimiento.- Esta protección sólo sirve cuando se encuentra distribuida uniformemente, ya que la velocidad de corrosión después de un tiempo puede ser constante y si la capa es irregular, se pueden formar nuevos elementos corrosivos. Un ejemplo es la capa de óxido formada naturalmente.

Protección superficial.- Para mejorar la resistencia frente a agentes corrosivos se pueden utilizar medidas como: Oxidación química, oxidación anódica, esmaltado, pintado.

Recubrimientos del aluminio

Lacado y pintado:

Se pueden clasificar para decoración o protección contra la corrosión. Los materiales plásticos constan de una gama cromática que es eficaz frente a los agentes corrosivos más fuertes. El lacado debe ser estable y actuar como pasivador, aislante e impermeabilizante.

Recubrimientos con lacas por vía húmeda.- Estos contienen disolventes que se volatilizan al aplicar la laca, se pueden obtener recubrimientos de mucho valor al juntar dos componentes que endurezcan por reacción junto a un secado mecánico entre 80 y 120°C.

Recubrimiento con laca en polvo.- Proceso que por carga electrostática se desprenden capas de polvo de una pistola de proyección con aire comprimido. Si existen partículas sin adherirse a la pieza, se las somete nuevamente en la pistola. Las piezas recubiertas se secan en hornos a temperaturas entre 180 y 200°C donde funde el polvo. Este es un proceso ambientalmente viable, no utiliza disolventes y el rendimiento alcanza hasta un 100%.

Pinturas para la protección contra hormigón.- Los elementos utilizados para la protección contra el hormigón son alquitranes, asfaltos naturales y breas de hulla. Estos elementos no deben tener ningún componente que hierva a temperaturas inferiores a 275°C, porque atacan al aluminio. El betún pigmentado tiene polvo de aluminio, este consigue superficies con una

protección adicional a la humedad y son de color plateado. Este color aumenta la resistencia a la temperatura y disminuye la radiación térmica reflejando la luz y el calor.

e) Perfiles de acero

Los perfiles de acero se producen del acero analizado anteriormente, pueden ser laminados en caliente o frío. Sus formas se dan de acuerdo a las necesidades para conformar las diferentes estructuras requeridas en un trabajo o producto.

Los perfiles de acero que se encuentran en el mercado nacional, son en su mayoría acero al carbón, conocido como acero dulce, los costos de estos son menores y la demanda mayor.

Es un material elástico, lineal, homogéneo y continuo, es una barra recta con sección transversal constante y dos ejes de simetría. Las rotaciones alrededor de los ejes principales son libres en los dos extremos, pero la del eje longitudinal es nula. Los desplazamientos en los dos ejes principales son nulos en los dos extremos, pero en el eje longitudinal es libre. Las deformaciones son pequeñas en comparación con las dimensiones de la barra. Las secciones transversales conservan su forma original, está impedido el pandeo local. Las direcciones de las fuerzas y momentos no cambian al deformarse la barra.

De los elementos existentes en el mercado ecuatoriano que satisfacen las necesidades del producto se encuentran entre varios tamaños y variedades de perfiles sus respectivos pesos por pieza (6.0m de longitud) y de acuerdo a la necesidad en el tablero (4.8m de perfiles):

Peso perfiles L		
Longitud (m)	Dimensio- namiento	Peso (kg)
6	2" x 3mm	18.390
Total (kg)		18.390

Peso perfiles L		
Longitud (m)	Dimensio- namiento	Peso (kg)
4.8	2" x 3mm	14.712
Total (kg)		14.712

Tabla 2.2.- Peso de los perfiles L según su longitud.

Perfiles tubo de acero m		
Longitud (m)	Dimensio- namiento	Peso (kg)

Perfiles tubo de acero m		
Longitud (m)	Dimensio- namiento	Peso (kg)

6	25x25x1	4.07	1.06	25x25x1	0.720
6	35x35x1.5	9.00	3.6	35x35x1.5	5.400
Total (kg) 13.070			Total (kg) 6.120		

Tabla 2.3.- Peso de los perfiles tubo cuadrado según su longitud.

f) Perfiles de aluminio

Los perfiles de aluminio provienen del mismo material ya mencionado anteriormente, con la diferencia en la producción y en su uso. El proceso de extrusión comienza por calentar un lingote, que posteriormente es forzado a pasar a través de una abertura que se ha hecho en una matriz de acero, lo cual deja una pieza larga de sección recta y constante.

La sección transversal de un perfil extruido puede ser sólida o tubular y varía de una simple forma circular a una forma complicada. El propósito de extruir al aluminio en caliente es para aumentar la plasticidad en el metal para permitir menores costos, usando prensas de capacidad relativa.

Diseño y fabricación de perfiles de aluminio⁴

La determinación del rango de calidad del acabado de la superficie de los perfiles de aluminio depende principalmente de la aleación, la forma del perfil y las condiciones de producción.

Existen tres tipos de acabado:

- Acabados con imperfecciones menores, son específicamente para perfiles estructurales, arquitectónicos y decorativos en sus caras no expuestas.
- Acabados de perfiles arquitectónicos, se caracterizan por su uniforme y buena apariencia.
- Acabados decorativos de alta calidad, vienen sin nada de imperfecciones en la superficie.

Los principales principios de diseño de perfiles se resumen en cuatro puntos: tamaño, espesor del metal, complejidad y línea de producción.

⁴ El diseño y fabricación de perfiles de aluminio es el utilizado por ESTRUSA Estructuras de Aluminio S.A.

Tamaño:

La dimensión de un perfil se mide por el diámetro de la circunferencia circunscrita (DCC) que tiene la sección transversal de dicho perfil. El metal tiende a fluir más lentamente conforme aumenta la distancia desde el centro de la matriz, lo que significa que mientras más grande es el DCC de un perfil, el trabajo es mayor para mantener las dimensiones.

Complejidad:

Un perfil complejo es muy intrincado y sirve para muchos usos. Dentro de la industria extrusora existe una medida de complejidad aceptada que se clasifica en tres grupos:

- Perfiles Sólidos.- Son los que cuya sección transversal no contiene ningún espacio vacío.
- Perfiles Huecos.- En su sección transversal contienen uno o más espacios vacíos totalmente cerrados por aluminio.
- Perfiles Semihuecos.- Contienen uno o más espacios en su sección transversal y se encuentran parcialmente cerrados por aluminio.

Factor de Extrusión.- Es el factor definido por la relación entre el perímetro de la sección transversal y el peso del perfil.

$$FE = \frac{\text{Perímetro}(mm) \times 0.5859}{\text{Peso}(kg / m)}$$

Este factor es una medida de la cantidad de superficie que es generada por kilogramo de metal extruído, afecta a la razón de producción, y al costo de fabricación y de mantenimiento de la matriz.

Es un instrumento utilizado como base para la cotización de precios de perfiles y para la comparación de la complejidad relativa de diseños alternativos.

Composición química de las aleaciones utilizadas		
Tipo	Arquitectónico	Estructural
# Aleación	6063	6061
Si	0.20 - 0.60	0.40 - 0.80
Fe	0.35	0.70
Mg	0.45 - 0.90	0.80 - 1.20
Mn	0.10	0.15
Cu	0.10	0.15 - 0.40
Cr	0.10	0.04 - 0.35
Zn	0.10	0.25
Ti	0.10	0.15
Varios	0.15	0.15
Al	Resto	Resto

Tabla 2.4.- Composición química de los aluminios 6063 y 6061, expresado en %.

Las características de los perfiles más importantes para este tipo de producto se encuentran en el anexo 1: Ángulos de alas iguales; anexo 2: Ángulos de alas desiguales y Tees.

El peso de los perfiles de aluminio es de 6.15kg, que es el total de 4.80m de longitud de perfil L de 2" de ancho y 5mm de espesor.

g) Fibra de vidrio

Es una especie de hilos de vidrio entrelazados formando una especie de malla. La fibra de vidrio se consigue con el paso del vidrio líquido por una pieza que resiste altas temperaturas que se llama espinerette. Luego se enfría para que el material consiga una gran flexibilidad, suficiente como para que sea entretejido y tome la forma de una malla. La densidad de este material es de 1.6g/cm^3 en tanto que la resistencia en relación a la tracción es 400 a 500 N/mm y es muy flexible. Este material es utilizado mucho en el transporte de datos de las empresas de telecomunicaciones e Internet. Su simbología es GF o GFK.

El vidrio es conocido por ser duro, frágil y transparente, pero cuando es fundido posee la característica de ser maleable. El vidrio se funde a 1250°C . Este elemento está compuesto por tres elementos que son: cal, carbonato de sodio y sílice. La fibra de vidrio en sentido amplio

es el resultado de mezclar la malla de vidrio con una resina epoxi que al secarse y solidificarse, adquiere la forma del molde.

La fibra de vidrio tiene características como gran capacidad de maleabilidad, es inerte a los ácidos y otras sustancias, es un gran aislante térmico y altamente resistente a la tracción.

Procesos con fibra de vidrio

Existen más de veinte procedimientos para transformar los materiales básicos utilizados en productos reforzados de fibra de vidrio. Este artículo presenta los materiales y equipos requeridos para la fabricación de varios elementos con fibra de vidrio y cada una de las etapas de elaboración:

Moldeo por contacto:

Es un método considerado como el principal dentro de la fabricación de productos de fibra de vidrio y es el más utilizado dentro de la industria. Es el único método de producción que aprovecha al máximo las dos características principales de la resina poliéster. A partir de este método es posible la fabricación de objetos grandes de plástico moldeados con una sola pieza.

Los materiales que se utilizan para este método son:

- Gel coat.- Es una resina utilizada para proteger a la fibra de vidrio contra el ambiente. En ocasiones esta resina contiene pigmentación para dar un mejor acabado al material.
- Resinas.- Son líquidas, trabajan a baja presión y a temperatura ambiente convirtiéndose en un material sólido. Por esto se pueden obtener estructuras de alta resistencia.
- Agentes desmoldantes y de cierre.- Para evitar que las resinas queden adheridas al molde es necesario utilizar agentes de desmoldeo. Algunos de estos son: Acetatos de celulosa, metil celulosa, silicona, cera y otros.

- Fibra de vidrio.- Es el producto de la unión de una gran cantidad de hilos de vidrio, entre 50 y 200, cuyo diámetro esta entre 50 y 70 micras. Existen varios tipos de fibra de vidrio:
 - Filtros de fibra de vidrio: Son grupos de cordones que son orientados al azar.
 - Mechas tejida de fibra de vidrio: Son grupos sin estar entretejidos.
 - Tejidos de vidrio: Son cordones plegados en un telar.
 - Filtros de superficie o tipo velo: Este tipo retiene importantes cantidades de agentes impregnantes, dando una buena cantidad de resina a la superficie del laminado.
 - Existen dos tipos de moldeo por contacto que son por contacto a mano y por rociado:
 1. Moldeo por contacto a mano.- Cuándo el molde esta listo se procede con una brocha a aplicar el gel-coat. Luego se aplica la resina de poliéster sobre la capa de gel-coat, lo más parejo y uniforme posible, y se aprieta con firmeza la primera capa de fibra de vidrio con una brocha o un rodillo. La resina debe fluir y así disolverá el aglutinante que une a las fibras, es en ese momento que el tejido se convierte en una distribución aleatoria de nervios que empiezan a tomar la forma del molde. Este proceso de colocación de resina se continúa hasta conseguir un espesor deseado. Luego se procede al curado de la resina, es recomendable hacerlo con aire caliente. Después se saca la pieza del molde.

El laminado tarda algunas semanas para lograr su total resistencia por eso se procede a la etapa de postcurado, donde la pieza es sometida a una temperatura de 800°C por tres horas. Finalmente se trabaja la estética de la pieza.
 2. Moldeo por Rociado.- Es un moldeo con pistola, que consiste en aplicar de manera simultánea la resina de poliéster y la fibra de vidrio. Es un método que disminuye el tiempo de proceso pero aumenta el costo de mano de obra.

3. *Moldeo con bolsa de vacío.*- Consiste en usar un molde, aplicar una capa de gel-coat y fibra preimpregnada; luego sobre el molde se coloca una membrana flexible, por lo general compuesta de celofán; que luego se sella en los bordes del molde, para que después un sistema aplicado al vacío logre la eliminación de burbujas. Algunas ventajas y desventajas de este sistema:

Ventajas:

- Permite eficazmente la eliminación de burbujas y sus diseños son muy flexibles.

Desventajas:

- Requiere de mano de obra calificada, el resultado final esta en manos del operario y es un proceso sumamente lento.
- La fibra de vidrio utilizada como recudimiento con un espesor de 1.2mm en un área de un metro cuadrado tiene un peso de 3.47kg.

h) Galvanizado

Galvanizado del acero

El galvanizado en caliente es una técnica de protección ante la corrosión mediante un baño de crisol con zinc fundido, a una pieza de hierro o acero. Este tipo de recubrimiento es mejor que cualquier tipo de pintura, ya que se adhiere muy bien al acero por tener acero en sus aleaciones. Su protección depende estrictamente de las propiedades del zinc. Es muy importante tener en cuenta que la galvanización del acero es algo indispensable ya que si la corrosión ataca y la pieza se oxida, es imposible arreglarla. Este tipo de galvanizado le protege al acero como barrera y como protector galvánico.

La protección de barrera es como una pintura, pero si esta se rompe en algún punto, el acero se oxida en ese punto y luego se esparce por debajo de la pintura pudiendo oxidar toda la

pieza. El galvanizado en cambio si sufre de rayas o se daña, el zinc adyacente forma una sal insoluble sobre el acero y lo resana continuando su protección.

“El acero desprotegido tiene un promedio de vida de tan solo dos años, antes de que queden afectadas su funcionalidad o su integridad estructural.”⁵ Por el contrario un acero galvanizado puede alcanzar mínimo 10 años bajo las peores condiciones atmosféricas.

Protección por años												
	ESPESOR DE ZINC EN MICRONES											
	10	20	33	43	53	66	76	86	96	106	119	129
Tipo de atmósfera	Años de protección hasta 5% de oxidación de la superficie											
Rural	7	12	19	25	31	38	43	50	57	62	68	74
Marino tropical	5	10	15	20	24	29	33	39	43	48	53	58
Marino templado	4	9	13	17	21	26	30	35	39	43	48	51
Suburbano	3	6	10	14	18	21	24	29	32	36	40	42
Moderadamente industrial	2	4	8	11	14	18	21	24	28	31	34	38
Industrial pesado	1	2	4	7	9	11	13	15	15	19	21	22

Tabla 2.5⁶.- Protección por años del acero por galvanizado de acuerdo al ambiente y al espesor de zinc.

El galvanizado en frío se lo realiza mediante una pistola o brocha, se la realiza con zinc y necesita de un 95% mínimo de este elemento para tener resultados como el galvanizado al caliente.

Galvanizado del aluminio

El aluminio es un material que puede ser recubierto por todos los metales que se depositan electrolíticamente (mejor conocido como galvánicamente), por ejemplo, cromo, níquel, estaño, cobre, oro, latón, plata, zinc y otros; si no se obtuviera un recubrimiento directo, sería necesario el uso de otros metales en capas intermedias para que el galvanizado tenga éxito. El

⁵ <http://galvanizadocaliente.galvanizing.com.ar/>

⁶ Asimet. “Galvanizado en caliente y en frío.” <http://www.asimet.cl/galvanizado.htm> (8 Mayo 2007)

tratamiento superficial de la pieza consiste en primero retirar la capa de óxido natural y luego realizar una limpieza, desengrase, decapado y activado de la superficie de aluminio.

Limpieza y desengrase.- Es un proceso que viene a continuación de un tratamiento superficial mecánico que consta en disolver con elementos orgánicos (percloroetileno), la grasa y la suciedad que haya quedado. La limpieza y desengrase dependen mucho de la forma al objeto a galvanizar y el tipo de suciedad.

Decapado.- Este proceso tiene dos etapas, alcalina y ácida. Para aleaciones con alto grado de magnesio es muy importante realizar un decapado ácido adicional. Después del decapado se realiza un lavado a fondo. El decapado alcalino se lo realiza con inhibidores y estabilizadores, y con soluciones que contengan jabón de sosa a temperaturas entre 40 y 60°C. A continuación del decapado alcalino se realiza el ácido, que consiste en eliminar las partículas de metales pesados que se hallen en la superficie mediante un tratamiento de inmersión en ácido nítrico.

Cobreado.- Es un sistema utilizado especialmente cuando se han unido piezas de aluminio por soldadura blanda. Las piezas a someterse bajo este método se cuelgan utilizando corriente eléctrica, produciendo un depósito inmediato. También puede servir como capa intermedia entre níquel y cromo.

Niquelado.- Es un proceso para fines decorativos, existen ordinarios, brillantes y semibrillantes. Las combinaciones con níquel semibrillante mejoran la protección frente a la corrosión. El aluminio cobreado se puede niquelar mediante un baño de Watt que se compone de 240g/l de sulfato de níquel, 20g/l de cloruro de níquel y 20g/l de ácido bórico. El baño de níquel se lo realiza a temperatura ambiente, con una densidad corriente de 1 a 3 A/dm². Los recubrimientos niquelados pueden ser pulidos después.

Cromado.- Es un método utilizado dentro de la decoración como la industria. Para el cromado con fines industriales se lo hace directamente para obtener gran dureza y resistencia al desgaste, mientras que para el decorativo se hace un baño de cromo después de niquelar.

2.1.2 Propiedades mecánicas

a) Madera

La resistencia de la madera varía de acuerdo no solo al tipo de resistencia bajo la acción a la que se encuentre sino también depende del tipo de madera que se tenga, pero en general la resistencia de la madera se clasifica en:

Resistencia a la tracción.- Existen dos tipos de resistencia a la tracción, transversal, a las fibras y longitudinal, paralela a las fibras. La resistencia transversal es 10% inferior a la resistencia a tracción longitudinal.

Resistencia a la compresión.- Esta se divide en resistencia a la compresión transversal, a las fibras y longitudinal; paralela a éstas, la cual es mayor de 5 a 8 veces que la transversal.

Resistencia a la flexión.- También conocida como resistencia a la rotura, depende de la rigidez del material. Es mayor cuando tiene mayor densidad bruta, es menor cuando la madera tiene nudos o desviaciones en las fibras y generalmente en tableros delgados o largos, ya que se flejan cuando la carga se encuentra lejos de los apoyos.

Resistencia al pandeo.- El pandeo es máximo en el tercio central de la longitud del eje y depende de factores como el tipo de madera, la forma de la sección y su humedad.

Resistencia a la torsión.- Esta es cuanto el material permite el giro alrededor de su eje longitudinal a la fibra. Depende de la clase de madera, su densidad y humedad.

La resistencia a la torsión es mayor cuando es paralela a las fibras entre un 15 al 20% que la longitudinal y por lo general la estructura se afloja sin llegar a la rotura.

Resistencia a la cortadura.- Es la resistencia que se presenta frente a un posible desplazamiento entre la superficie de dos piezas, mejor conocido como corte. En la madera ésta resistencia es mayor cuando es transversal a las fibras.

Resistencia al desgaste.- Es cuando el material se encuentra sometido a una especie de erosión y presenta pérdida de materia, lo que se conoce como desgaste. Dicha resistencia es importante en las secciones perpendiculares a las fibras, menor en las tangenciales y aún menor en las radiales. A continuación se presentan las características mecánicas de los diferentes tipos de madera normal y contrachapada:

Peso específico y densidad de la masa		
Material	Peso específico (γ)	Densidad de masa (ρ)
	kN/m³	kg/m³
Madera	3.9 - 7.1	400 - 720
Abeto Douglas	5	510
Pino del Sur	6	610
Módulo de elasticidad y resistencia última		
Material	Módulo de elasticidad (E)	resistencia última (σ_U)¹
	Gpa	Mpa
Madera		
Abeto Douglas	12	50
Pino del Sur	12	60

Tablas 2.6.- *Peso específico, densidad, módulo de elasticidad y resistencia de la madera.*

Condición	Flexión Estática			Compresión				
				Paralela			Perpendicular	
	ELP (kg/cm ²)	MOR (kg/cm ²)	MOE×10 ³ (kg/cm ²)	ELP (kg/cm ²)	MOR (kg/cm ²)	MOE×10 ³ (kg/cm ²)	ELP (kg/cm ²)	MOR (kg/cm ²)
Verde con 30% humed.	383	702	104	232	288	-	58	-
Seco al aire 12% humed.	509	1068	138	337	470	-	80	-

Tablas 2.7.-*Propiedades del eucalipto.*

La madera triplex tiene una densidad de 550 a 600kg/m³ y sus resistencias a continuación:

Espesor	Dirección	Flexión (kg/cm ²)		
		Resistencia Última	Resistencia Elástica	Modulo de Elasticidad
3.6 mm	Longitud	631	594	84165
	Transversal	336	299	24532
9 mm	Longitud	406	334	61263
	Transversal	577	444	66171
12 mm	Longitud	733	355	54535
	Transversal	586	503	71388
15 mm	Longitud	351	280	52002
	Transversal	623	484	86016
18 mm	Longitud	502	344	61391
	Transversal	570	334	73971

Tabla 2.8.- Flexión de tableros contrachapados.

Espesor	Dirección	Compresión (kg/cm ²)		Tracción (kg/cm ²)	
		Resistencia Última	Resistencia Elástica	Resistencia Última	Resistencia Elástica
3.6 mm	Longitud	208	166	483	318
	Transversal	405	298	634	403
9 mm	Longitud	314	230	315	210
	Transversal	330	272	558	391
12 mm	Longitud	208	154	297	186
	Transversal	357	282	356	232
15 mm	Longitud	130	111	257	241
	Transversal	437	291	556	409
18 mm	Longitud	297	213	355	196
	Transversal	326	229	372	198

Tabla 2.9.- Compresión y tracción de tableros contrachapados.

Dimensiones, peso y modulación de tableros contrachapados se encuentra en el anexo 3, donde se especifica características de los diferentes tipos de triplex, sus espesores, áreas y pesos del tablero estándar de fabricación y del estimado del proyecto 1.20 x 0.60m.

El tablero Acoplac RH debido a sus características físicas y su composición y fabricación tiene especificaciones técnicas, físicas y mecánicas diferentes a los tableros triplex.

Especificaciones Técnicas del Acoplac RH					
Medida (m)	Espesores (mm)	Pesos (kg)	Medida (m)	Espesores (mm)	Pesos (kg)
2.15 x 2.44	6	22.56	1.20 x 0.60	6	3.096
2.15 x 2.44	9	33.33	1.20 x 0.60	9	4.574
2.15 x 2.44	12	38.71	1.20 x 0.60	12	5.313
2.15 x 2.44	15	51.14	1.20 x 0.60	15	7.019
2.15 x 2.44	19	64.78	1.20 x 0.60	19	8.891
2.15 x 2.44	30	102.28	1.20 x 0.60	30	14.038

Tabla 2.10.- Especificaciones técnicas del acoplac RH.

Características Físico - Mecánicas				
Espesor (mm)	Densidad (kg/m3)	Ruptura (kg/cm2)	Tracción (kg/cm2)	Hinchamiento (% 24h)
6	750	250	5	12
9	720	250	5	12
12	680	250	5	12
15	670	200	5	12
19	650	200	5	12
30	640	180	5	12

Tabla 2.11.- Características físico-mecánicas del acoplac RH.

b) Acero

Propiedades mecánicas del acero:

- *Dureza.*- Se la mide en unidades BRINELL (HB) o ROCKWEL C (HRC), mediante una prueba con el mismo nombre de acuerdo a cuanto el metal se deja penetrar.
- *Resistencia al desgaste.*- Es la capacidad que tiene un material de dejarse desgastar o erosionar cuando éste se encuentra en constante fricción con otro material.
- *Tenacidad.*- Es la capacidad del acero de absorber energía sin producir fisuras.

- *Maquinabilidad*.- Es la facilidad que tiene un material para ser mecanizado por arranque de viruta.

El acero inoxidable es muy resistente a la corrosión y existen varios tipos:

- a) *Austenitic*: Es el más común y el más utilizado, contiene un mínimo del 7% de níquel.
- b) *Ferritic*: Este tipo se asemeja mucho al acero suave, pero con mejor resistencia a la corrosión. Contiene en peso, una cantidad de cromo que varía entre el 12% y el 17%.
- c) *Duplex*: Es una mezcla de los dos tipos mencionados anteriormente, la característica de este metal es que tiene mayor resistencia y ductilidad.
- d) *Martensitic*: Este acero tiene una resistencia aceptable a la corrosión, es muy duro y fuerte y está compuesto de entre un 11% hasta un 13% de cromo.

Resistencia y trabajo en frío:

El labrado en frío consiste en no aplicar deliberadamente el calor, además en el proceso del trabajo en frío se tiene que lograr la deformación del metal en la región plástica del diagrama “esfuerzo-deformación”. Las propiedades que se obtienen en el trabajo en frío son muy distintas a las propiedades mecánicas resultantes.

Acero al carbono A42E y A42ES

El esfuerzo de fluencia de este material es de $F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$. La resistencia última F_u es 4200 kg/cm^2 . La deformación unitaria en la rotura $13\% \leq \epsilon_u \leq 24\%$.

Acero A36

Es un acero estructural al carbono. Tiene un módulo de elasticidad de $E = 2043000 \text{ kg/cm}^2$ según la AISC y de $E = 2078000 \text{ kg/cm}^2$ según la AISI, el módulo de elasticidad por corte es de $G = 789100 \text{ kg/cm}^2$ según la AISC y $G = 796100 \text{ kg/cm}^2$ según la AISI. El esfuerzo de fluencia de este material es de $F_y = 2540 \text{ kg/cm}^2$, la resistencia última $F_u = 4100 \text{ kg/cm}^2$ y La deformación unitaria en la rotura $\epsilon_u = 20\%$.

De todas formas, el módulo elástico que se utiliza generalmente para cálculos es $E=2100000 \text{ kg/cm}^2$.

c) Aluminio

Propiedades elásticas

El módulo de elasticidad para el aluminio y sus aleaciones es de 70 kN/mm^2 . Este es un valor promedio, de acuerdo a los grados de pureza y aleaciones, el rango se encuentra entre 60 y 78 kN/mm^2 . Las aleaciones endurecibles están en la mitad superior del intervalo, mientras que el aluminio puro y los materiales débilmente aleados en la mitad inferior.

El módulo de cizallamiento es de 25 kN/mm^2 , en un rango entre 22 y 28 kN/mm^2 .

A partir de los valores de módulo de cizallamiento y elasticidad, se obtiene un valor probable del módulo de contracción transversal de 0.35 en un rango de 0.32 a 0.40.

Propiedades mecánicas

Dureza:

La dureza del aluminio es la llamada Brinell que es fácil de determinar. Los valores de esta dureza se extienden desde $HB = 15$ para un aluminio puro y blando hasta $HB = 110$ para aleaciones de AlZnMgCu 1,5 endurecido térmicamente.

Resistencia en el ensayo de tracción:

Para los materiales de aluminio se aplican los mismos ensayos para juzgar la tracción en los materiales metálicos en general. Estos valores son el límite elástico 0,2%, la resistencia máxima a la tracción, el alargamiento a la rotura y la estricción de ruptura.

En el aluminio la resistencia aumenta cuando los elementos de aleación aumentan. El límite 0.2 aumenta de manera más rápida que la resistencia a la tracción sin importar que mecanismo aumente la resistencia. No se debe aumentar la resistencia a la tracción de manera arbitraria, ya que si se tiene altas relaciones entre los límites elásticos el material presenta un comportamiento quebradizo.

Resistencia a la compresión, corte y torsión:

En los materiales de aluminio se puede admitir que el valor del límite de aplastamiento 0,2% (parámetro de la resistencia a la compresión) es igual al valor del límite elástico 0,2% de tracción. La resistencia a la compresión o el límite de aplastamiento 0,2% es muy importante en piezas que se han sometido a compresión.

Para determinar la fuerza de corte, se debe determinar la resistencia al cizallamiento que generalmente se encuentra entre 55% y 80% de la resistencia a la tracción.

La resistencia a la torsión se puede considerar una distribución lineal de tensiones, igual a la resistencia al cizallamiento.

Resistencia a la fatiga:

La fatiga depende de factores como la composición, estado y procedimiento del material, configuración de elementos constructivos, clase y frecuencia de las solicitaciones.

Para el aluminio el límite de ciclos de carga está fijado en 10. Los ensayos se hacen casi siempre con 5, 10 ciclos.

Influencia del material.- Existe diferencias entre aleaciones endurecibles y durescibles.

Influencia de la sollicitación.- Hay que tomar en cuenta el tipo de sollicitación (tracción, compresión, flexión alternativa o rotativa) y la posición de la tensión media.

Límite de fluencia por fatiga, es la tensión oscilante a la que se alcanza una deformación permanente del 0,2% para la cantidad límite de ciclos.

Límite de fluencia lenta por fatiga, es la tensión a la que se alcanza una velocidad de fluencia a una temperatura determinada.

Mecánica de la rotura. Tenacidad:

La mecánica de la rotura sirve mucho para cálculos de seguridad, duración y para el análisis de averías de máquinas e instalaciones.

La tenacidad a las fisuras disminuye cuando aumenta la resistencia. El principal objetivo del estudio de los materiales es conseguir los de mayor resistencia y tenacidad a la rotura.

Resistencia al desgaste:

El desgaste en el aluminio es relativamente bajo cuando es en seco. Cuando se somete a rozamiento el aluminio posee un comportamiento bastante aceptable como se demuestra en la utilización de émbolos y cojinetes de fricción. Es importante mencionar que con un tratamiento adecuado el desgaste se puede reducir en gran medida.

Influencia de los tratamientos térmicos y mecánicos en las propiedades mecánicas:

○ Deformación en frío:

Por la deformación en frío la tracción, el límite elástico y la dureza aumentan; pero la rotura, alargamiento y estricción a la rotura disminuyen.

Si la deformación en frío no se la realiza adecuadamente puede llegar a una rotura por fragilidad sin deformación. El comportamiento en cuanto al aumento de resistencia por deformación en frío depende de la composición. En este tipo de deformación son muy importantes factores como velocidad, temperatura de trabajo y el tipo de deformación.

○ Normalizado:

Este proceso sirve para eliminar las tensiones propias del material, si no se elimina este tipo de tensiones, se pueden producir deformaciones en las piezas.

La temperatura en que se lleva a cabo este procedimiento es relativamente baja. Este proceso se debe realizar antes del mecanizado de la pieza o por lo menos antes de la última operación, ya que está ligada a una permanente deformación.

d) Perfiles de acero

Las características físicas y mecánicas de los perfiles están en los anexos 4, 5, 6 y 7.

Anexo 4: Perfiles ángulos de alas iguales y desiguales.

Anexo 5: Perfiles T, cortes W, M y S.

Anexo 6: Flexión y torsión de ángulos y perfiles T.

Anexo 7: Perfiles tubos cuadrados:

e) Perfiles de aluminio

El aluminio es un material con valores muy altos en la relación resistencia/peso, no es tan resistente como el acero. Las propiedades de estos se encuentran en el anexo 7.

2.1.3 Costo de materiales

El costo de los materiales es diferente de acuerdo al tipo, procedencia, espesor, tamaño y otros. Las dimensiones estándares de algunos encofrados son de 1.22m x 0.61m, lo que resulta difícil, ya que se debe ajustar estas medidas a los diseños de las estructuras de hormigón. El producto de este proyecto está enfocado a dimensiones de 1.20m x 0.60m, que resulta mejor para el cliente, a pesar que se genera un leve desperdicio del material.

A continuación se presentarán los costos de todos los productos analizados en este capítulo y su costo en el tablero base de este proyecto de 1.20m x 0.60m.

a) Madera

En la madera triplex existe un tamaño estándar de 2.44m x 1.22m, estas dimensiones no se aplican a todos los tableros, incluso algunos de espesores pequeños tienen tamaños menores.

Los costos de los tableros triplex de cada clase se indican a continuación:

Triplex Industrial 2.44m x 1.22m			Triplex Industrial 1.20m x 0.60m		
Espesor (mm)	Subtotal (sin IVA)	Total \$	Espesor (mm)	Subtotal (sin IVA)	Total \$
9	13.03	14.81	9	3.26	3.70
12	16.27	18.49	12	4.07	4.62
15	20.31	23.08	15	5.08	5.77
18	22.99	26.13	18	5.75	6.53

Tabla 2.12.- Costo de triplex industrial.

Triplex Corriente 2.44m x 1.22m			Triplex Corriente 1.20m x 0.60m		
Espesor (mm)	Subtotal (sin IVA)	Total \$	Espesor (mm)	Subtotal (sin IVA)	Total \$
4	7.70	8.75	4	1.93	2.19
5	9.14	10.39	5	2.29	2.60
9	14.11	16.03	9	3.53	4.01
12	17.64	20.05	12	4.41	5.01
15	22.03	25.03	15	5.51	6.26
18	24.87	28.26	18	6.22	7.07
25	34.48	39.18	25	8.62	9.80

Tabla 2.13.- Costo de triplex corriente.

Triplex Marino 2.44m x 1.22m			Triplex Marino 1.20m x 0.60m		
Espesor (mm)	Subtotal (sin IVA)	Total \$	Espesor (mm)	Subtotal (sin IVA)	Total \$
5.2	12.81	14.35	5.2	3.20	3.59
6	14.99	16.79	6	3.75	4.20
9	18.94	21.21	9	4.74	5.30
12	23.96	26.84	12	5.99	6.71
18	34.13	38.23	18	8.53	9.56

Tabla 2.14.- Costo de triplex marino.

Duratriplex 2.44m x 1.22m			Duratriplex 1.20m x 0.60m		
Espesor (mm)	Subtotal (sin IVA)	Total \$	Espesor (mm)	Subtotal (sin IVA)	Total \$

12	28.95	32.42	12	7.24	8.11
15	34.85	39.03	15	8.71	9.76
18	39.18	43.88	18	9.80	10.97

Tabla 2.15.- Costo de duratriplex.

Las medidas del Acoplac RH son mayores y sus costos se muestran en la siguiente tabla:

Acoplac RH 2.44m x 2.15m			Acoplac RH 1.20m x 0.60m		
Espesor (mm)	Subtotal (sin IVA)	Total \$	Espesor (mm)	Subtotal (sin IVA)	Total \$
6	17.64	19.76	6	2.94	3.29
12	29.91	33.50	12	4.99	5.58
15	34.18	38.28	15	5.70	6.38
18	68.22	76.41	18	11.37	12.73

Tabla 2.16.- Costo de acoplac RH.

b) Acero

Las planchas de acero vienen en las mismas dimensiones que la mayoría de tableros de madera (2.44m x 1.22m) y para su ubicar su precio por material a las dimensiones del objetivo se ha desarrollado las siguientes tablas:

Acero Laminado al caliente 2.44m x 2.15m			Acero Laminado al caliente 1.20m x 0.60m		
Espesor (mm)	Subtotal (sin IVA)	Total \$	Espesor (mm)	Subtotal (sin IVA)	Total \$
2	41.13	46.74	2	10.28	11.69
2	44.00	50.00	2	11.00	12.50
2	48.09	53.86	2	12.02	13.47

Tabla 2.17.- Costo del acero laminado en caliente.

Acero como recubrimiento

El costo del tol de acero A36 galvanizado con espesor de 0.40mm se muestra en la siguiente tabla:

Tol galvanizado 2.44m x 1.22m			
Espesor (mm)	Subtotal (sin IVA)	Total \$	Peso (kg)
0.4	15.19	17.01	9.900

Tol galvanizado 1.22m x 0.624m			
Espesor (mm)	Subtotal (sin IVA)	Total \$	Peso (kg)
0.4	7.60	8.51	2.524

Tabla 2.18.- Costo del tol galvanizado de acero de 0,40mm.

c) Aluminio

Los costos del aluminio son bastante altos y sus planchas vienen en dimensiones que no complacen a la utilización para varios tableros por lo que resulta un material bastante costoso para el uso, se crea mucho desperdicio innecesario y el corte de éste no es nada fácil. Sus costes se presentan a continuación:

Aluminio 2.00m x 1.00m		
Espesor (mm)	Subtotal (sin IVA)	Total \$
2	53.60	60.03
3	92.40	105.00
4	126.16	141.30
6	175.12	196.13

Tabla 2.19.- Costo del aluminio.

d) Perfiles de acero

Los perfiles más óptimos para usar en encofrados son ángulos, tees y tubos cuadrados.

El costo de los perfiles de acero se muestra a continuación:

Perfiles L de acero m		
Longitud (m)	Dimensio-namiento	Total \$
6	1"	5.19
6	1½"	8.96
6	2"	10.46
6	2" *	16.61

* 4mm de espesor

Perfiles L de acero m		
Longitud (m)	Dimensio-namiento	Total \$
3.6	1"	3.11
3.6	1½"	5.38
3.6	2"	6.28
3.6	2" *	9.97

Tabla 2.20.- Costo de los perfiles L de acero.

Perfiles T de acero m

Perfiles T de acero m

Longitud (m)	Dimensionamiento	Total \$
6	1"	6.19
6	1½"	7.58
6	2"	14.00

Longitud (m)	Dimensionamiento	Total \$
1.2	1"	1.24
1.2	1½"	1.52
1.2	2"	2.80

Tabla 2.21.- Costo de los perfiles T de acero.

Perfiles tubo de acero m		
Longitud (m)	Dimensionamiento	Total \$
6	25x25x1	6.10
6	35x35x1.5	13.46

Perfiles tubo de acero m		
Longitud (m)	Dimensionamiento	Total \$
1.06	25x25x1	1.08
3.6	35x35x1.5	8.08

Total (\$) 9.16

Tabla 2.22.- Costo de los perfiles tubo cuadrado de acero.

Perfiles L de acero m		
Longitud (m)	Dimensionamiento	Total \$
4.8	1"	4.15
4.8	1½"	7.17
4.8	2"	8.37
4.8	2" *	13.29

Perfiles L de acero m		
Longitud (m)	Dimensionamiento	Total \$
4.8	1" x 3mm	4.48
4.8	1½" x 3mm	7.60
4.8	2" x 3mm	9.60
4.8	2" x 3mm	11.73

Tabla 2.23.- Costo de los perfiles L de acero, para tableros con solo perfiles L.

Conjunto de perfiles L y T en cantidad necesaria para tablero estándar		
Longitud (m)	Dimensionamiento	Total \$
3.6L + 1.2T	1"	4.35
3.6L + 1.2T	1"	8.50
3.6L + 1.2T	1" x 3mm	4.72
3.6L + 1.2T	1¼" x 3mm	7.28
3.6L + 1.2T	1½"	8.18
3.6L + 1.2T	2" x 3mm	11.60

Tabla 2.24.- Costo de los perfiles L y T de acero para el producto.

Es preciso tener en cuenta que estos perfiles son de acero A36 dulce, lo que significa que requieren de un galvanizado, el cual tiene un costo de \$0.78 por kg de galvanizado.

e) Perfiles de aluminio

El costo de los perfiles de aluminio se muestra a continuación:

Perfiles L de aluminio m			
Longitud (m)	Código	Dimensionamiento	Total \$
6	1355	1/2"	4.03
6	1182	1"	6.53
6	1444	1 1/4"	21.70
6.4	1639	2" x 5mm	59.92

Perfiles L de aluminio m			
Longitud (m)	Código	Dimensionamiento	Total \$
3.6	1355	1/2"	2.41
3.6	1182	1"	3.92
3.6	1444	1 1/4"	13.02
3.6	1639	2" x 5mm	33.70

Tabla 2.25.- Costo de los perfiles L de aluminio.

Perfiles T de aluminio m			
Longitud (m)	Código	Dimensionamiento	Total \$
6	1505	19 x 25.4mm	6.53
6.4	1279	1" x 3/4" x 1.4mm	7.31

Perfiles T de aluminio m			
Longitud (m)	Código	Dimensionamiento	Total \$
1.2	1505	19 x 25.4mm	1.31
1.2	1279	1" x 3/4" x 1.4mm	1.37

Tabla 2.26.- Costo de los perfiles T de aluminio.

Conjunto de perfiles L y T en cantidad necesaria para tablero estándar				
Longitud (m)	Código	Dimensionamiento	Total \$	Peso (kg/u)
3.6L + 1.2T	1182 + 1505	1" + 19mm	5.29	0.692
3.6L + 1.2T	1444 + 1505	1 1/4" + 19mm	14.326	2.068
3.6L + 1.2T	1639 + 1279	2" + 1" x 3/4"	35.07	4.811

Tabla 2.27.- Costo de los perfiles L y T de aluminio para el producto.

Perfiles L de aluminio m			
Longitud (m)	Código	Dimensionamiento	Total \$
4.8	1639	2" x 5mm	45.00

Tabla 2.28.- Costo de los perfiles L necesarios para un tablero estándar.

f) Fibra de vidrio

El costo de un recubrimiento de fibra de vidrio incluyendo mano de obra y ensamble para un tablero de 1.20 x 0.60m consta en la tabla a continuación:

Fibra de vidrio como recubrimiento			
Espesor (mm)	Subtotal (sin IVA)	Total \$	Peso kg
1.2	28.00	31.36	2.50

Tabla 2.29.- Costo de la fibra de vidrio como recubrimiento.

2.1.4 Formas de materiales

Los materiales de acuerdo a su estructura pueden tener varias formas, que dependen de sus diseños y las cuales pueden ser las facilidades que presenten los elementos.

La madera de fábrica viene en planchas de espesores bastante grandes en comparación a otros materiales, sin embargo la capacidad de transformación y manipulación en la forma plana es muy amplia, se pueden obtener formas planas redondas, triangulares, rectangulares, cuadradas, ovaladas y otros. Esta es una facilidad que se permite para obras donde se requiere atravesar tubería, varillas, canales u otro tipo de materiales que van a ser fundidos y embebidos en la estructura y es necesario perforar el encofrado.

Para fundir secciones tridimensionales se puede realizarlo con facilidad en estructuras cúbicas o de lados rectos, cilíndricas, triangulares. También se pueden ensamblar formas como para vigas acarteladas, arcos, secciones o formas pentagonales, hexagonales y otros. Las dimensiones pueden ser variadas en tramos pequeños o grandes, incluso para columnas, gracias a la facilidad de corte que éste material permite.

Los encofrados de acero son difícilmente manipulados, por su estructura se priva de cualquier tipo de cambio de forma, además que el material en sí, no permite la realización de cambios manuales que no sean desarrollados en fábrica. Para figuras planas, como cortes en figuras geométricas en el acero, es muy complicado puesto que se necesitan herramientas especiales

para insertar estos cortes, lo cual representa un trabajo muy complicado. Para formas en tres dimensiones se puede utilizar tableros rectangulares de varios tamaños, pero es imposible utilizar retazos de madera o planchas de acero para lograr cubrir sectores donde no se puede ubicar un tablero estándar. Para formas cilíndricas, se puede utilizar tubos de acero que coincidan con el diámetro especificado por los diseños, estructura que debe ser resguardada con algún tipo de estructura o puntal, con la finalidad de lograr formas circulares de muchos tamaños según el tipo de tubo que se encuentre, y si se pretende su reutilización, es importante tener en cuenta que se lo debe cortar en dos o en cuatro partes para tener un fácil desencofrado. También se pueden obtener tableros cilíndricos o curvos si son doblados en una fábrica o lugar especial para doblar acero.

Los perfiles de acero tienen una gran variedad de formas y diseños.

Las secciones estándar americanas se clasifican en seis grupos importantes que son:

1. Perfil I o H que se subclasifican en: W = patín ancho; M = patín con espesor constante; S = patín con espesor variable; y HP.

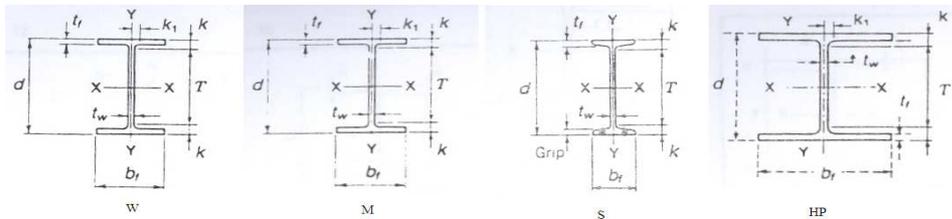


Figura 2.2.- Perfiles I o H.

2. Perfil tipo canal, C, se subclasifica en: C y MC.

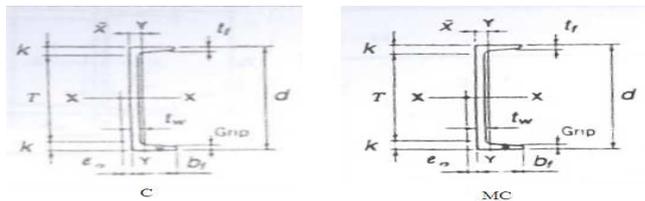


Figura 2.3.- Perfiles C.

3. Perfil tipo ángulo, L, se subclasifica en: L = alas iguales y alas desiguales

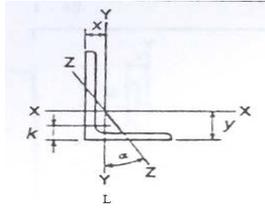


Figura 2.4.- Perfiles L.

4. Perfil T que se subclasifican en: WT, MT y ST.

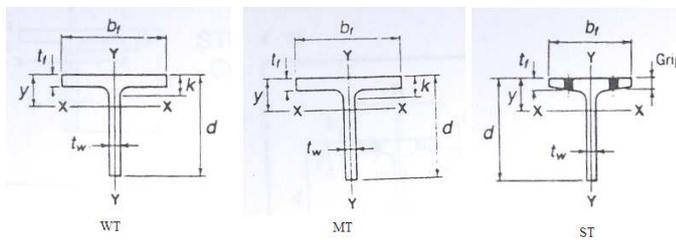


Figura 2.5.- Perfiles T.

5. Placas, PL

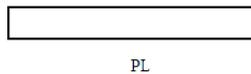


Figura 2.6.- Placas.

6. Tubos estructurales, TS, que se subclasifican en: TS = sección rectangular; TS = sección cuadrada; y TS = sección circular.

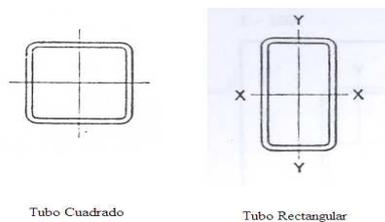


Figura 2.7.- Tubos estructurales.

Las secciones estándar europeas se clasifican en:

Perfil IPE con patín de espesor constante, perfil IPN con patín de espesor variable, perfil HEB con patín ancho, perfil UPN, tipo C o canal y perfil L.

Las secciones laminadas en frío:

Perfil U, sección C:



Figura 2.8.- Perfiles U laminados en frío.

Perfil G, sección C con rigidizadores de extremo:



Figura 2.9.- Perfiles G laminados en frío.

Perfil L, sección ángulo:



Figura 2.10.- Perfiles L laminados en frío.

Perfil con sección Z:



Figura 2.11.- Perfiles Z laminados en frío.

Perfil 2U, dos secciones C, tubo o I:

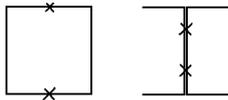


Figura 2.12.- Perfiles 2U laminados en frío.

Perfil 2G, tubo o I:

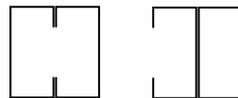


Figura 2.13.- Perfiles 2G laminados en frío.

Las láminas y perfiles de aluminio tienen formas similares al acero y sus perfiles.

La fibra de vidrio es un material bastante maleable que se ajusta a cualquier tipo de forma que se requiera, dependiendo de la forma del molde. Para el espesor es muy importante la cantidad de capas que se le proporciona, dependiendo de cada fabricante.

El poliuretano es un material que viene del caucho, debido a su flexibilidad éste puede tomar cualquier forma requerida en dos y tres dimensiones. En vista de que es un material no rígido,

necesita de un material con esta característica como aporte a su funcionamiento, además puede ser adaptado a la forma necesaria y en la que se presente el material de soporte.

Los perfiles de acero sirven única y estrictamente como estructura de los tableros y generalmente son los elementos que causan mayor dificultad para permitir la forma necesaria.

2.2 Compatibilidad de materiales

2.2.1 Tornillos y clavos

Tornillos

Existen varios tipos de tornillos y de diferentes tipos de materiales como acero, bronce y hierro. Existen tornillos de madera, mampostería, acero, aglomerados y otros. En virtud de la importancia de este proyecto, los tornillos deben ser de mejor calidad, que por material son los de acero o hierro. Existen tornillos de madera, aterrajadores, tornillos para metal, autoperforantes para madera, autoperforantes para metal y otros.

Los tornillos tienen diferentes tipos de cabeza que sirven de acuerdo al uso que estos tengan, estas son (1) hexagonales, (2) redondas, (3) cilíndricas y (4) avellanadas. La cilíndrica y avellanada, tienen varias formas, lo que se observa en la figura a continuación:

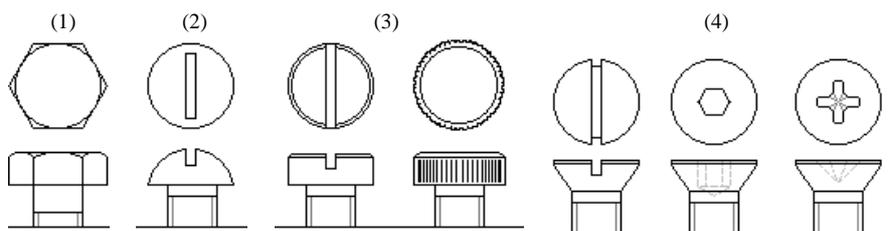


Figura 2.14.- Tipos de cabeza de tornillo (aplicable en pernos).

Los tornillos autoperforantes son tornillos regulares que poseen acero reforzado en sus roscas que les permite perforar hasta piezas de acero. Estos son de los tornillos más resistentes, puesto que por su acabado los dientes resisten más que cualquier tornillo y evita que éste pierda su agarre, son resistentes al corte y la fricción. Su uso es muy sencillo ya que en una

sola vez perfora, enrosca y fija cualquier tipo de material que se desee. Pueden aguantar hasta un torque máximo de 200kg/cm. Tiene un costo bajo por su sencilla fabricación.

Clavos

El clavo es una puntilla de acero alargada y estrecha, que comienza con una cabeza y termina en una punta filuda. Estos existen de todos los largos y anchos en cuerpo y cabeza, dependiendo de su uso. Así como existe tanta variedad de clavos, también son muy diferentes entre ellos por el tipo de material y su textura, unos son lisos, otros no.

El clavo de acero SAE 1070, apto para mampostería, tiene un punto de rotura entre 30 y 45°. Es un material que se aprovecha de mejor manera en madera de los materiales analizados en este capítulo.

2.2.2 Pernos

El perno es una pieza cilíndrica conformada por una cabeza y un cuerpo rosca, es un elemento mecánico utilizado principalmente como anclaje para unir dos o más piezas y viene acompañado de una tuerca para asegurar la unión.

El elemento tiene un enroscado exterior, mejor conocido como macho y la pieza de ajuste de éste, la tuerca tiene uno interior o hembra. Existen dos tipos de pernos, derechas e izquierdas, las cuales al girar en el sentido del reloj enroscan y desenroscan respectivamente, las más comunes son las derechas. Las roscas pueden ser triangulares, circulares o trapezoidales.

Las triangulares permiten un desmontaje fácil pero disminuye la estanqueidad en la unión de las piezas. Las roscas redondas tienen muy buenas propiedades mecánicas, son más costosas porque su fabricación es muy difícil y se aplica en miembros que vayan a soportar impacto.

Los pernos deben tener resistencias muy grandes debido a sus aplicaciones. A continuación se presentan unas tablas sobre sus propiedades mecánicas más importantes:

Propiedades mecánicas de pernos
--

Clase	Rango del diámetro	Carga de prueba [MPa]	Esfuerzo de ruptura [MPa]	Material
4.6	M5 - M36	225	400	Acero de bajo carbono ó acero al carbono
4.8	M1.6 - M16	310	420	Acero de bajo carbono ó acero al carbono
5.8	M5 - M24	380	520	Acero de bajo carbono ó acero al carbono
8.8	M16 - M36	600	830	Acero al carbono, templado y revenido
9.8	M1.6 - M16	650	900	Acero al carbono, templado y revenido
10.9	M5 - M36	830	1040	Acero de bajo carbono martensítico, templado y revenido
12.9	M1.6 - M36	970	1220	Acero aleado, templado y revenido

Tabla 2.30.- Propiedades mecánicas de los pernos según su clase.

Grados de resistencia de pernos			
Clase	Resistencia tracción mínima [Kg/mm ²]	Límite de fluencia mínima [Kg/mm ²]	Dureza
3,6	34	20	53 - 70 Rb
4,6	42	23	70 - 95 Rb
8,8	80	64	22 - 32 Rc
10,9	105	88	31 - 38 Rc

Tabla 2.31.- Grados de resistencia de pernos.

2.2.3 Remaches

Los remaches son como un cierre mecánico que se compone de un cuerpo cilíndrico y una cabeza con un diámetro mayor para que quede encajado y al mismo tiempo anclar a uno o más elementos del mismo o diferente material. Pueden ser de tipo frío o caliente y no es reusable.

Los remaches tienen varios tipos de funciones, desde elemento estructural para resistir cargas, por ejemplo cuando se realizan traslapes en cualquier tipo de trabajo, hasta un decorativo. En

los encofrados la función principal que cumple es de su es sujetar a la estructura, el tablero y un recubrimiento (si existe), a la estructura y el tablero o al tablero y el recubrimiento.

Existen varios tipos de remaches:

- *Semitubulares.*- Es el más común y aceptable para cualquier tipo de uso.
- *Bifurcados.*- Sirven en materiales de perforación suave como madera, metales ligeros y otros. Sus puntas se agarran en los elementos remachados y consiguen un buen agarre.
- *Cuchillería.*- Funciona en dos partes, primero se coloca el remache tubular, seguidamente, bajo presión se introduce el remache macizo dentro del tubular aumentando su diámetro.
- *Macizos.*- Se utilizan en ensambles donde se requiere mayor resistencia en el remachado.
- *Postes de aluminio.*- Al igual que los de cuchillería consisten en dos partes, con la diferencia que éstos se atornillan entre sí.
- *Especiales.*- Se fabrican según las necesidades de los clientes.

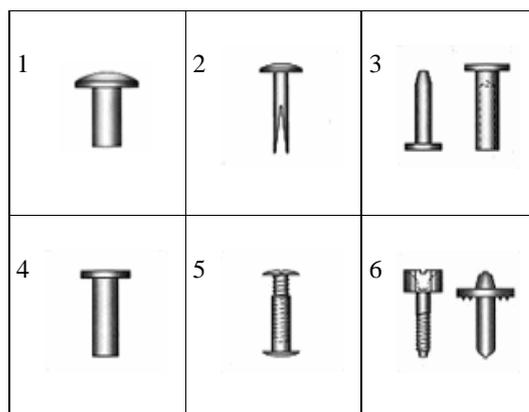


Figura 2.15.- Tipos de remaches. 1) Semitubular. 2) Bifurcado. 3) Cuchillería. 4) Macizos. 5) Postes de aluminio. 6) Especiales.

2.2.4 Soldadura

Soldadura por fusión:

Es un tipo de soldadura donde se tiene una fusión entre los metales a unir. Es un proceso donde no se aplica presión. Por lo general se trabaja a temperaturas superiores a las de las soldaduras ordinarias y puede o no tener la aportación de un metal.

Influencia del calor de soldadura sobre las características de los materiales.- Las zonas aledañas a la soldadura y la zona de afectación directa se calientan notablemente. Estas áreas que se calientan se designan como zonas de influencia térmica y se determinan de acuerdo a factores como concentración de calor, velocidad de soldadura, espesor de la zona, dimensiones de la pieza y el tipo de soldadura. En soldadura lenta con temperatura de 100 a 200°C. Con el pasar de los días puede resultar crítica, debido a que puede existir diferencias potenciales entre el material de aporte y el material base.

Soldadura por arco eléctrico bajo gas protector:

Existen varios tipos de soldadura por arco eléctrico bajo gas, entre ellas se destacan como principales los procesos WIG (Wolframeltrode Intergas, soldadura con electrodos de wolframio con gas protector) y MIG (Metallelektrode-Intergas, soldadura con electrodos de metal con gas protector).

El método WIG es cuando el arco eléctrico salta entre la pieza y un electrodo de wolframio no fusible. El gas protector salta entre la pieza y un electrodo de wolframio. Este sale por una manguera que se encuentra situada alrededor del electrodo para protegerlo, a éste y a la zona de soldadura. El material de aportación se utiliza como varilla sin conducir corriente.

El método MIG es muy parecido, con la diferencia de que el material de aportación forma el electrodo y sale automáticamente conforme se funde el arco eléctrico.

El proceso WIG y MIG se pueden observar en las siguientes figuras:

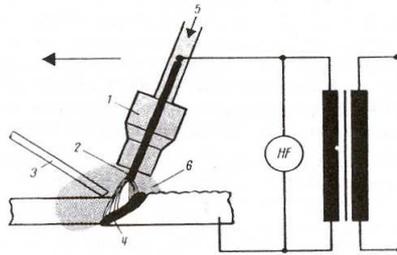


Figura 2.16⁷.- Método WIG (1: soplete WIG. 2: electrodo wolframio. 3: varilla de aportación. 4: baño del fundido. 5: entrada del gas protector. 6: capa de gas).

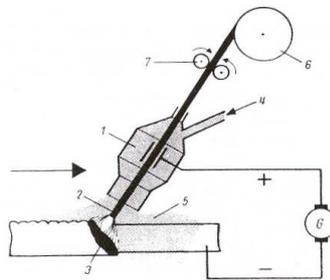


Figura 2.17⁸.- Método MIG (1: soplete MIG. 2: electrodo de alambre. 3: baño del fundido. 4: entrada del gas protector. 5: capa de gas. 6: electrodo de alambre bobinado. 7: mecanismo de avance).

“En el arco eléctrico se exponen electrones en el polo negativo (cátodo), los cuales se dirigen a gran velocidad a través del tramo del arco eléctrico hacia el polo positivo (ánodo)”⁹. En sentido positivo a negativo, se traslada un número de iones (átomos que han perdido uno o varios electrones) cargados positivamente. Si el electrodo es el polo positivo y la pieza el negativo, los electrones chocan contra el electrodo y calientan su punta, al mismo tiempo se produce un fenómeno de eliminación de la capa de óxido que se explica por dos teorías:

Teoría 1.- Se puede producir debido a que los electrones que salen a altas velocidades, desgarran la capa de óxido y lo desalojan en forma de partículas muy pequeñas.

⁷ Coca, Pedro. *Manual del Aluminio*. Segunda Edición. España: Editorial Reverté S.A., 1992. Pág. 568.

⁸ Coca, Pedro. *Manual del Aluminio*. Segunda Edición. España: Editorial Reverté S.A., 1992. Pág. 568.

⁹ Coca, Pedro. *Manual del Aluminio*. Segunda Edición. España: Editorial Reverté S.A., 1992. Pág. 567, penúltimo párrafo.

Teoría 2.- Se genera debido a que los iones que se forman sobre la pieza, tienen suficiente energía para eliminar la capa de óxido. Se lo puede semejar a un chorro de agua o arena lanzado a presión.

El proceso MIG requiere de una carga térmica elevada de los electrodos, para tener un rendimiento elevado en la fusión, mientras que en el método WIG ésta imposición ocasionaría la pérdida de la punta del electrodo de wolframio.

Soldar aluminio por fusión es muy difícil a consecuencia de la capa de óxido que se forma sobre la superficie de aluminio tiene un punto de fusión de 2000°C al cual no se llega con este tipo de soldadura. Las temperaturas más elevadas favorecen a la capa de óxido y rodea al metal fundido como una piel. Los bordes de unión se juntan pero no logran una conexión íntima.

Gases protectores.- El propósito del gas es de proteger la zona de soldadura contra la entrada de aire y de estabilizar el arco eléctrico y mejorar la calidad de la soldadura. Los gases con mejor efecto en el aluminio son los nobles como el argón y el helio. Para la soldadura WIG es preferible utilizar argón o mezclas de argón y helio, pues se requiere de medidas especiales para la estabilización del arco eléctrico. Para el método MIG resulta más económico utilizar helio porque tiene mayor penetración y mejor rendimiento en la fusión.

2.3 Manipulación y transporte

La manipulación y el transporte del producto es muy importante dentro de la construcción, ya sea para traslado, montaje y desmontaje, cargado y descargado (de la máquina de transporte), apilado y otros. El bajo peso es una de las principales características que un tablero debe cumplir, esto permitirá una fácil manipulación, transporte y otros. Para su movilización por una sola persona, se recomienda que el peso sea menor a 20kg; así el obrero puede trasladar más tableros al mismo tiempo o uno solo de manera más rápida y en más repeticiones. Un

bajo peso es igual a disminución de tiempo en obra por cuestiones tales como el cargado y descargado del producto del camión de transporte. Un corto número de personas pueden realizar esta actividad y lo realizarán en menor tiempo, incluso el traslado hacia el proyecto, en el armado y desarmado de la estructura se lo puede hacer más rápido y con ayuda de menos personas.

Su tamaño no debe ser muy grande. Se recomienda que un tablero debe ser menor a la altura promedio de una persona, una medida de 1.20m puede ser manejado con facilidad por un solo operador lo que resulta cómodo para transportar en un camión o camioneta. Adicionalmente, puede ser trasladado por una persona de manera más sencilla y sin riesgos de pérdida de visibilidad o equilibrio, lo que es muy importante en una construcción por el peligro que puede representar.

La simetría, para mantener el centro de gravedad en el centro del producto, así se puede apilar o colocar en cualquier lugar los tableros sin riesgo de que se caigan, porque es posible que el operador determine de manera más fácil, si se encuentra el equipo en equilibrio.

Se puede considerar la colocación de manijas en la estructura interior para que el obrero tenga mejor movilidad y comodidad en el manipuleo y traslado del producto. Éstas pueden ser varillas de acero con diámetro de 10mm dobladas como se observa en la siguiente foto:



Foto 2.2.- Manija en un tablero de encofrado de la empresa INTACO S.A.

La manipulación y el transporte del encofrado son muy determinantes, pues representa un costo adicional dentro de la construcción por tiempo y mano de obra, el cual puede resultar mínimo, sin embargo, que mejor si puede evitarse. Si el tiempo de trabajo disminuye, el avance de obra aumenta, pudiendo ahorrar tiempo en el proyecto entero, lo que significa ahorrar dinero.

2.4 Modelo de Diseño y Desarrollo del producto

El modelo que se utilizara es el método de la Norma 7.3 (Diseño y desarrollo) de la ISO 9001:2000¹⁰. Este es un proceso de calidad referente al diseño y desarrollo de un producto, los requisitos para cumplir con esta norma son los siguientes:

7.3.1 Planificación del diseño y desarrollo

La organización se encarga de la planificación del diseño y desarrollo del producto, donde debe determinar las etapas, la revisión, verificación y validación para cada etapa y las responsabilidades para el diseño y desarrollo.

Si existen varios grupos involucrados en el diseño y desarrollo del producto, la organización debe interactuar con estos grupos para generar una buena comunicación y una asignación de responsabilidades a estos grupos.

La planificación debe actualizarse cuando sea necesario, conforme avance el proceso de diseño y desarrollo.

7.3.2 Elementos de entrada para el diseño y desarrollo

Los elementos de entrada son los requisitos relacionados con el producto y deben incluir requisitos reglamentarios y legales aplicados al producto, requisitos del cliente y requisitos ambientales.

¹⁰ Norma Internacional ISO 9001. "Sistema de gestión de calidad – Requisitos." internal.dstm.com.ar/sites/mmnew/her/normas/Iso9001.pdf (9 Mayo 2007)

Estos elementos deben verificarse para su aceptación y no pueden ser contradictorios.

7.3.3 Resultado del diseño y desarrollo

Los resultados del diseño y desarrollo deben ser verificados con respecto a los requisitos de entrada y aprobados antes de aceptarlos. Esta etapa debe cumplir con los requisitos de entrada del diseño y desarrollo, entregar información sobre el producto, hacer referencia a los criterios de aceptación de los requisitos y especificar las características del producto.

7.3.4 Revisión del diseño y desarrollo

Se debe hacer revisiones adecuadas en las etapas del diseño y desarrollo de acuerdo a la planificación. Evaluar los resultados y su capacidad de cumplir con los requisitos e identificar un problema y proponer las acciones necesarias.

7.3.5 Verificación del diseño y desarrollo

La verificación se realiza en razón de la planificación, para asegurar que los resultados cumplan con los requisitos de entrada del diseño y desarrollo.

7.3.6 Validación del diseño y desarrollo

La validación se realiza de acuerdo a la planificación y de esta forma, asegurar que el producto sea capaz de satisfacer los requisitos para su aplicación especificada.

7.3.7 Control de cambios del diseño y desarrollo

Los cambios realizados deben identificarse, revisarse, verificarse, validarse y aprobarse antes de su implementación.

El Ing. Vinicio Ayala mediante una retroalimentación realizada por varios años de este proceso base, se ha llegado a una transformación con una mejor aplicación, obteniendo resultados con los numerales que los pasos cubren, los mismos que mostramos en el siguiente método:

7.3.1 Plan de diseño y desarrollo

El plan es la metodología de **qué** pasos se harán en el método, **dónde** se realizará cada paso, **quién** esta encargado de hacer dichos pasos, **cuándo** y **cómo** se ejecutará.

7.3.2 y 7.3.3 Análisis pertinente del producto.

Es la determinación de los requisitos de entrada y procesarlos para obtener los resultados de salida.

7.3.2 Elementos de entrada para el diseño y desarrollo

Se dividen en 3:

- Calidad normativa de entrada.- Contiene los requisitos normativos legales y reglamentarios aplicados al producto y a sus componentes.
- Calidad de cliente de entrada.- Los requisitos que el posible cliente quiere en el producto, cuyos resultados se obtienen mediante una encuesta o grupo focal.
- Calidad atractiva de entrada.- Especificar requisitos esenciales y adicionales del producto entregados por la organización.

Los requisitos ambientales vienen integrados en los legales.

7.3.3 Elementos de salida para el diseño y desarrollo

Se componen por los tres de entrada pero procesados:

- Calidad normativa de salida.- Contiene los requisitos legales y reglamentarios adoptados para el producto en proceso de diseño y desarrollo.
- Calidad de cliente de salida.- Los requisitos del posible aprobados mediante una priorización técnica económica.
- Calidad atractiva de salida.- Los requisitos esenciales y adicionales aprobados mediante una priorización técnica económica.

Adicional al 7.3.3 Especificaciones técnicas del producto

Se realiza una estandarización sobre los requisitos obtenidos en los puntos 7.3.3.

Adicional al 7.3.3 Algoritmo de diseño

Se realiza el diseño del producto expuesto al diseño y desarrollo.

*7.3.4, 7.3.5 y 7.3.6 Control de especificaciones del diseño y desarrollo**7.3.4 Control de etapas*

Se hace un análisis de cumplimiento de las etapas previstas en todo el proyecto para llegar al objetivo.

7.3.5 Verificación

Control sobre las especificaciones técnicas del producto.

7.3.6 Validación

Control sobre el prototipo, si cumple o no con todo lo especificado en el diseño y fabricación.

Adicional a Algoritmo de diseño. Prototipo

Se materializa el producto en base a lo determinado en el algoritmo de diseño.

El método adoptado para este proyecto es el del Ing. Vinicio Ayala, que es el mismo proceso 7.3 de las normas ISO 9001:2000 de gestión de calidad, con mejoras enfocadas específicamente para este tipo de productos.

CAPÍTULO 3. MÉTODO

Para obtener un producto de calidad se obtiene a través de un proceso minucioso. Por esta razón, se utilizará el método de “Diseño y Desarrollo de Producto” para arribar a un diseño que satisfaga los requerimientos especificados. El método se fundamenta en los requisitos establecidos en el numeral 7.3 de la norma ISO 9001:2000, complementado por Ayala (2003). Este capítulo expone el proceso metodológico, explicando paso a paso el quehacer del diseño del encofrado que es uno de los motivos del presente trabajo. En el decorrer del capítulo, se dará énfasis al análisis de los materiales componentes del encofrado y de los costos, toda vez que estas son características o requisitos generales de los

encontrados. A seguir, se realizará una selección de materiales según las características que de mejor manera se enfoquen a los objetivos del proyecto. También se tratará con detenimiento el costo de estos elementos.

3.1 Generalidades

El método de diseño y desarrollo de producto utilizado en este trabajo, se fundamenta en lo establecido en el requisito número 7.3 de la Norma ISO 9001:2000. Este método ha sido desdoblado y ampliado para incorporar aspectos inherentes a la calidad del producto.

Es un método calificado para la elaboración de un producto que pretende ingresar al mercado, especializado en investigar los requisitos e intereses del posible cliente y canalizarlos hacia el elemento en desarrollo. Con esto, además de elaborar un producto de alta calidad, estableciendo parámetros dentro de lo legal, se enfoca la satisfacción de las necesidades del cliente que no han logrado otros productos semejantes.

En definitiva, es un método muy sencillo, que abarca los parámetros indispensables para ofrecer un producto de alta calidad. Comenzando con una planificación de actividades, determinando leyes y normas que restringen el libre uso de los elementos aplicados a éstos, requisitos del cliente y del emprendedor, procesados para estandarizar y así facilitar la producción y utilización del producto, comprendiendo su comportamiento.

El “Método de Diseño y Desarrollo” de la norma ISO 9001:2000, es una herramienta dirigida estrictamente a la producción de instrumentos eficaces, que sirve para garantizar una excelente calidad tanto del proceso de elaboración como del producto, que puede ser aplicada de manera sencilla por cualquier persona a nivel mundial.

3.2 Proceso Metodológico

A continuación, se expone un diagrama del proceso metodológico establecido por Ayala (2003), que se fundamenta en el requisito 7.3 de la norma ISO 9001:2000:

2

Planificación de diseño y desarrollo

Calidad Normativa de Entrada

Calidad de Cliente de Entrada

Calidad Atractiva de Entrada

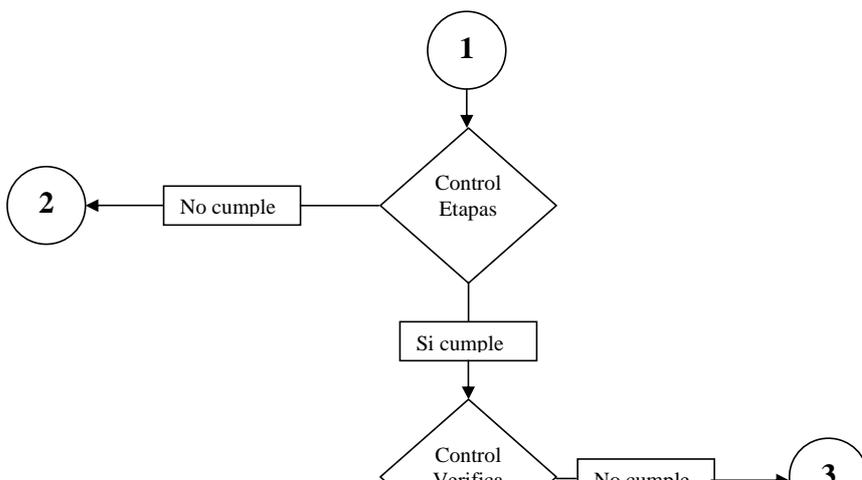


Figura 3.1.- Proceso metodológico.

3.2.1 Planificación de Diseño y Desarrollo

La planificación de diseño y desarrollo, se basa en el método de Deming, donde en una tabla se manejan las variables 5W y 1H, que son **What** (Qué?), **Where** (Dónde?), **Who** (Quién?), **When** (Cuándo?), **Why** (Porqué?) y **How** (Cómo?). Estas aportan a una buena organización del proyecto.

- **Qué?.-** Es determinar el paso del método que se va a realizar.
- **Dónde?.-** Es dónde se va a realizar el paso determinado en la columna Qué.

- **Quién?.-** La persona o personas que van a realizar el paso determinado.
- **Cuándo?.-** Es la fecha cuando va a comenzar y terminar el paso, con el rango de tiempo necesario.
- **Cómo?.-** Es una explicación de cómo se va a realizar dicho paso.
- **Porqué?.-** Es la explicación del porqué de cada paso, el cual se obvia, ya que la razón de cada paso es para tener un producto de calidad según el requisito 7.3 de la norma ISO 9001:2000.

Para la planificación se realizará una tabla poniendo bajo estas variables todas las etapas del método.

3.2.2 Calidad Normativa de Entrada

La calidad normativa de entrada es la etapa de almacenamiento un marco de normas, leyes, reglamentos y otros, que estén de una u otra forma relacionados con el producto en desarrollo. En esta fase se recogerán todas las normas nacionales e internacionales referentes al diseño, fabricación y desarrollo del producto. Las normas pueden ser sobre los posibles materiales, herramientas, anclajes, ensayos de laboratorio, incluso sobre el producto, si existe ya uno en el mercado mundial.

3.2.3 Calidad de Cliente de Entrada

Este paso consiste en recolectar información sobre los requisitos que el posible cliente quiere o necesita en el nuevo producto en desarrollo.

Generalmente se realizan encuestas a los posibles clientes para permitirles enlistar diferentes cualidades, especificaciones y características, que les gustaría tener en el nuevo producto (*la voz del cliente*). Otra alternativa metodológica de conseguir información de los clientes es la realización de grupos focales. El análisis de información a través de un grupo focal es una

herramienta, mediante la cual se reúnen actores interesados o personas que se encuentran directamente afectadas dentro de sus actividades, por el uso de un producto determinado. Estas personas representan segmentos definidos para los clientes.

En este caso del producto encofrado, los actores son representantes de los segmentos constructores, maestros artesanos de la construcción, superintendentes de obra, inversionistas y otros.

En este grupo se plantean dos preguntas: El problema que involucra el uso del producto actual existente en el mercado y la solución a estos problemas. Primero se plantea la pregunta y todos, incluyendo el coordinador de la reunión, escriben en un papel las respuestas en base a sus opiniones e ideas. El coordinador lee en voz alta cada uno de ellas y se discute sobre cada punto. Luego se procede a la siguiente pregunta y se la realiza de igual forma, para así llegar de la manera más precisa, a las necesidades que requieren el cliente y los fundamentos.

3.2.4 Calidad Atractiva de Entrada

La calidad atractiva de entrada es la etapa donde el emprendedor del producto enumera cualidades o requisitos, que pueden aplicarse a su producto. Esta lista sirve para que el productor pueda añadir características interesantes en su producto, que creyeran convenientes o significativos para el cliente. Son características que pretenden “deslumbrar” al cliente.

En esta etapa se determinarán requisitos adicionales a los establecidos por el interesado, en una lista donde se considerarán las cualidades, especificaciones y características que se podría ofrecer en el producto.

3.2.5 Calidad Normativa de Salida

La calidad normativa de salida es la adopción de las normas definitivas que serán estandarizadas para la ejecución del producto. Se realiza mediante un análisis de pertinencia,

esto es, la selección analítica de la normatividad “mandataria u obligatoria”, de carácter nacional e internacional, a partir de la normatividad de entrada.

El emprendedor hace un análisis pertinente de las normas, reglas y leyes, y adopta las que crea convenientes para aplicar en el diseño y desarrollo de su producto con el objetivo de que sea de calidad.

3.2.6 Calidad de Cliente de Salida

Esta actividad consiste en hacer un análisis de factibilidad técnico-económica de los requisitos deseados por el posible cliente, obtenidos en el grupo focal o las encuestas.

Se enlista lo obtenido en el grupo focal y se realiza un análisis pertinente tomando la decisión si se aprueba o no una determinada característica. La decisión se la toma en base a si la particularidad es técnica y económicamente factible por disposición del emprendedor. Por lo general si no se aprueba una de las dos viabilidades, la opción es desaprobada. Se debe tener en cuenta que en la lista del cliente están las características más importantes que deben constar en el producto, pues se describen todas las opciones que cambiarían y mejorarían al nuevo producto con respecto al existente.

3.2.7 Calidad Atractiva de Salida

Esta actividad se realiza mediante un análisis del mismo tipo que para la calidad de cliente de salida. Se toma una decisión sobre cada elemento de la lista de calidad atractiva de entrada, acerca de su factibilidad económica y técnica de ejecución. Esta decisión le permite asignar al producto un toque personal y original del emprendedor.

3.2.8 Especificaciones técnicas (Estandarización)

Especificaciones técnicas es la etapa donde se realiza una estandarización de los requisitos de salida del producto. Se lo realiza de acuerdo a las necesidades del producto, colocando estándares de diseño para definir las características de desempeño del mismo.

En esta fase se realizará un análisis técnico de los requisitos de calidad de salida, donde se definirán las características finales con rangos y definiciones sobre las cualidades del producto.

La estandarización se traduce en las especificaciones técnicas de la Calidad Normativa de Salida, Calidad de Cliente de Salida y la Calidad Atractiva de Salida.

3.2.9 Algoritmo de Diseño

El algoritmo de diseño es la “receta” del producto. Es donde se recogen todos los ingredientes para fabricar el producto de forma teórica y la forma de producción (*planos de diseño*). Se determinan los materiales o elementos necesarios según los requisitos de calidad de salida y las especificaciones técnicas. Este grupo de elementos se filtra, simplificando de acuerdo al costo que tienen y representan, para obtener las mejores opciones para desarrollar el producto.

El diseño es la etapa donde se obtiene el producto definitivo, de forma teórica.

En base a la estandarización, se definirán los materiales que conformarán el producto. De la sección 2.1, se hace una selección de los materiales posibles y luego se minimiza filtrando los materiales de acuerdo al costo. Al finalizar este análisis se obtiene los materiales más óptimos para el producto y se continúa al diseño estructural.

Para finalizar se realizan planos del diseño del producto, para tener en cuenta sus detalles.

3.2.9.1 Banco de materiales posibles.-

El banco de materiales posibles es donde se recoge la información de la parte de fundamentos teóricos, para que de acuerdo a lo especificado se seleccionen los materiales más apropiados para el producto.

En el banco de materiales se seleccionan los materiales analizados en el capítulo 2, de acuerdo a la relación entre sus características y los requisitos técnicos de la sección *Especificaciones Técnicas (estandarización)*. Se hace una lista de los materiales con una breve explicación de por qué se selecciona y cuáles son las características principales que cumplen dentro de la estandarización. Esta puede resultar una lista muy extensa, sin embargo filtra muchos elementos de la sección 2.

3.2.9.2 Banco de materiales por costo.-

Esta subetapa es la que define los elementos para el producto en casi su totalidad. Es la simplificación del banco de materiales posibles. Es una herramienta muy útil si se la usa con precaución, ya que pueden existir elementos que funcionen en conjunto, contrarrestando sus debilidades el uno al otro y pueden ser más económicos a corto o largo plazo que otros materiales.

Para reducir la lista anterior, se hace un análisis del costo del material en el mercado; así se puede clasificar y simplificar la lista de elementos posibles. Es importante tener en cuenta que muchos materiales pueden no ser factibles de acuerdo a *Especificaciones Técnicas (estandarización)*, pero se puede trabajar en conjunto con otros materiales como aliados, conservando el criterio de costo y que cumpla con los requisitos especificados.

3.2.9.3 Diseño Estructural.-

El diseño estructural sirve para analizar el comportamiento de la estructura cuando se encuentre bajo la acción de una carga. También permite determinar la carga máxima que soportará la estructura, según el prediseño y cómo va a reaccionar ante estas solicitaciones.

El encofrado debe ser un material capaz de resistir la carga muerta del hormigón en el momento de fundición, lo que significa la gran importancia que el elemento tiene, ya que no debe deformarse ni fallar para mantener un acabado adecuado del hormigón. El desencofrado es una parte indispensable para la buena estética del hormigón, pero no es un tema aplicable en esta parte del proyecto.

Para el diseño estructural de un tablero estándar, es importante obtener las características mínimas que deben tener los materiales que conforman el producto.

Para este proyecto se realizará el cálculo de solicitación máxima, deflexión máxima (con restricciones del código de la construcción), y modo y resistencia para objetos de ensamblaje.

Cálculo de solicitación máxima

Primero se realiza un cálculo del tablero suponiendo que se encuentra apoyado en los extremos largos del mismo y se divide en secciones de acuerdo al modo de distribución de las cargas en cada parte de la estructura. Se selecciona el travesaño que es la sección más crítica y se multiplica la carga por presión del hormigón por la distancia que cubre esta sección, para determinar la carga distribuida que afecta al travesaño, suponiendo el funcionamiento como una viga simplemente apoyada. Se calcula el corte y momento. Luego, para obtener el momento resistente, se divide el momento máximo para el esfuerzo admisible del material y con eso se puede determinar la sección del elemento como estructura del producto.

Después, se supone que el elemento se encuentra apoyado en los extremos del lado corto de la sección y se divide el tablero de acuerdo a la distribución de cargas que soporta la estructura. Se toma como una viga simplemente apoyada de 1.20m y se multiplica la presión del

hormigón por la distancia que soporta el elemento. Se calcula el corte, momento y el momento resistente para determinar qué sección debe ir en ese lugar de la estructura.

Cálculo de la deflexión

Se calcula la deflexión máxima de cada elemento del tablero. Esta deflexión representa la flexión del elemento bajo la acción de una carga. Se la determina como δ , y es igual a la longitud dividida sobre un parámetro determinado por la importancia de la obra.

Según los límites normados por los códigos de la construcción, la deformación es:

$$\delta_{m\acute{a}x} = \frac{L}{360} \quad ; \quad \frac{L}{180} \quad ; \quad \frac{L}{100}$$

Como el encofrado es un aparato de construcción, se toma la deformación máxima como:

$$\delta_{m\acute{a}x} = \frac{L}{360}$$

La deflexión se la analiza mediante 3 casos. El primero es mediante el “análisis de la placa”, en este caso se supone a la placa apoya en los extremos del lado corto y como un tablero rectangular. La deflexión se calcula con la fórmula:

$$\delta_{m\acute{a}x} = \frac{5}{384} \times \frac{w \times L^4}{E \times I}$$

Donde, w es la carga distribuida en la sección, L la longitud, E el módulo elástico del material e I la inercia de la sección.

Primero se calcula la relación de lados con la fórmula:

$$\gamma = \frac{b}{a}$$

Luego se ajusta la presión q del hormigón a medidas en kg/cm^2 y se calcula w con la fórmula $w = b \times q$. Se continúa con el cálculo de la inercia de la sección con la fórmula:

$$I = \frac{b \times h^3}{12}$$

Así, se tienen las variables necesarias para calcular la deflexión máxima en este caso.

El segundo caso es el “análisis del perímetro”. Se considera al elemento como si estuviera apoyado en todos sus extremos. En la siguiente tabla, se encuentran valores que deben ser multiplicados por formas determinadas para obtener la deformación, momentos flectores, esfuerzos cortantes, y reacciones en los centros de los bordes y en las esquinas. La tabla tiene valores dependiendo de la relación de la sección, en este caso es $\gamma = \frac{a}{b}$ y los valores en la tabla son los siguientes:

Ws	Mxs	Mys	Txs	Tys	Rxs	Rys	R ₀
0.0069	0.0116	0.1017	±0.185	±0.465	0.248	0.503	-0.046

Tabla 3.1¹¹. - Valores para cálculo de deflexiones, momentos y reacciones.

Para determinar la deformación **Ws** se multiplica el valor de la tabla por:

$$\frac{w \cdot a^4}{E \cdot h}$$

Las fórmulas para momentos flectores de **Mxs** es el valor por $q \cdot a^2$, **Mys** es por $q \cdot b^2$.

Los esfuerzos cortantes son los valores de **Txs** y **Tys** por $q \cdot a$ y $q \cdot b$ respectivamente.

Para las reacciones **Rxs** y **Rys** en los extremos se multiplica el valor por $q \cdot a$ y $q \cdot b$ respectivamente, y para la reacción en las esquinas **R₀** se multiplica el valor por $q \cdot a \cdot b$.

Donde **w** es la carga y **q** es la presión del hormigón, **a** es la sección larga y **b** la sección corta del elemento, **E** es el módulo de elasticidad y **h** la altura de la sección.

Con el valor de **Ws** ya se obtiene la deflexión en este caso, pero se toma los cortantes que afectan al lado largo del producto y se diseña la viga de acero para obtener el momento máximo, bajo nuevas condiciones y determinar el nuevo momento resistente de la sección.

¹¹ Bareš, Richard. Tablas para el cálculo de placas y vigas pared. Segunda Edición. España: Editorial Gustavo Gili S.A., 1981, pág. 56, tabla 1.17.

Luego se procede al caso 3 “análisis de la estructura de acero”. En este caso se determina la distribución exacta de cargas que va a tener el tablero y cómo se van a encontrar en la estructura de acero.

Ya determinadas las cargas, se calcula el corte, el momento y la deflexión. Se puede utilizar el programa SAP 2000, en cada parte de la estructura, como una viga simplemente apoyada. Al finalizar estos cálculos se va a obtener una deflexión aproximada a la real. Si la deflexión no cumple con la máxima permitida por el código de la construcción, entonces se realiza un nuevo proceso, cambiando la sección transversal del elemento de acero y analizando el ejercicio en SAP 2000, hasta satisfacer los valores de deflexión necesarios.

Con estos datos se obtienen los materiales que serán aplicados al producto.

Cálculo de pernos

Para calcular el número de pernos se debe obtener la fuerza total que es igual a la fuerza de corte dividido para la fuerza del perno:

$$F_{TOTAL} = \frac{F_{corte}}{F_{perno}} = \# \text{ pernos}$$

Fuerza de corte de pernos

Se calcula el número de pernos necesarios para el ensamble de los materiales, para esto primero se debe determinar el grado del elemento y cual es su esfuerzo de ruptura o corte (τ).

A continuación se calcula el área de corte del perno con la fórmula:

$$Ac_{perno} = \frac{D^2 \times \pi}{4}$$

Finalmente se calcula la fuerza de corte del perno que es la capacidad máxima que podrá soportar este elemento. Se calcula con la formula:

$$Fc_{perno} = \tau_{perno} \times Ac_{perno}.$$

Fuerza de corte

La fuerza de corte es igual a:

$$F_c = \tau \times \text{Ancho de la base afectada}$$

Donde, τ es igual a:

$$\tau = \frac{V \times Q}{I \times b}$$

Donde, V es el corte máximo de la estructura ya analizada en “Solicitud máxima”, Q es el momento estático del área de la sección arriba del punto en consideración, I es el momento de inercia de la sección y b es la base del punto en consideración*.

**El punto en consideración es la línea que une el material del tablero con el elemento de la sección.*

Para calcular el se toma al tablero suponiendo esta apoyado en los extremos cortos y se toma la distancia que cubre cada “viga” de los extremos largos. Con esto se puede hacer un dibujo de la sección como se encuentra el tablero con la estructura.

Luego se transforma la sección del tablero a la sección equivalente al material de la estructura con la fórmula:

$$\frac{\text{módulo elástico del tablero}}{\text{módulo elástico de la estructura}} \times \frac{b}{2}$$

Donde, b es la longitud apoya supuesta.

Con la nueva sección se ubica la línea neutra de la sección con la fórmula siguiente:

$$\bar{y} = \frac{\sum A_i \times \sum y_i}{\sum A}$$

Ahora se procede a calcular el τ .

Primero se obtiene el valor de V .

Luego se calcula Q , que es igual a:

$$Q = b \times h \times y$$

Donde, b es la base del punto en consideración, h la altura de la sección del tablero y y es la distancia de la base al centro de gravedad de esta sección.

Se continúa con el momento de inercia I calculado por el teorema de Steiner, que es igual a:

$$I = \sum I_i + \sum (A_i \times d_i^2)$$

Donde, I_i es igual a $\frac{b \times h^3}{12}$ de cada sección, A_i es el área de cada sección y d_i es la distancia al cuadrado al centro de gravedad de cada sección.

Finalmente se escribe el valor de b como la base del punto en consideración.

Así, se juntan todos los valores en la fórmula determinada anteriormente para obtener τ y luego, con este valor, se obtiene la fuerza de flujo cortante F_c .

Como ya se tiene F_c y F_c del perno, entonces se calcula el número de pernos que se debe distribuir de manera ordenada a lo largo de la estructura.

Para determinar el número de pernos de los travesaños se considera al tablero como si estuviera apoyado en los extremos largos y se divide la distancia que afecta a cada travesaño.

Se continúa con el mismo procedimiento que para el caso anterior. Los travesaños tienen la sección más crítica.

Para las vigas extremas cortas se adopta el resultado de los travesaños.

Con esto finaliza la determinación de materiales, formas tamaños, unión y distribución de pernos en el producto.

3.2.10 Control de etapas

El control de etapas es el análisis para determinar si cumple o no cumple cualquiera de las etapas del método.

Si cumple, significa que la etapa se ha realizado con éxito y se aprueba, continuando al siguiente paso.

Si no cumple, significa que la etapa no ha sido realizada con éxito o no se ha cumplido, y antes de su continuación, debe hacerse las correcciones necesarias o implementar la actividad o etapa de diseño no cumplida.

En el control de etapas se realizará un análisis sobre todos los pasos que intervienen en el proceso del método, desde *planificación de diseño y desarrollo* hasta *algoritmo de diseño*. Se determinan todas las etapas y se las procesa mediante una lista de chequeo, determinando si “si cumple” o “no cumple” con algún paso.

Si todas las etapas cumplen, se procede a la siguiente fase, *verificación*.

Se puede construir una lista de chequeo para este propósito.

3.2.11 Verificación

El control de verificación es estrictamente controlar el cumplimiento de las especificaciones técnicas del producto, mediante una lista de chequeo, donde se determina que todos los requisitos se cumplan. Si alguno de éstos no cumple, se debe corregir para poder acceder a la siguiente etapa.

Este control se realizará mediante una tabla donde se colocarán todas las especificaciones técnicas y se aprobarán o desaprobarán, dependiendo del cumplimiento o no de los requisitos especificados.

3.2.12 Desarrollo del prototipo

En el desarrollo del prototipo se materializa el modelo del diseño establecido, que debe cumplir con todos los requisitos especificados en el diseño.

En esta etapa se realizará un prototipo que cumplirá con todas las especificaciones de diseño y que seguirá cada uno y todos los pasos de construcción recomendados por el emprendedor.

3.2.13 Control: Validación

Validación, pertenece a la etapa de control, sin embargo es el paso final del proceso ya que se requiere del prototipo para proceder a ejecutarlo.

Este control, se refiere a la comprobación de que el prototipo cumple con todos los requisitos determinados en el algoritmo de diseño.

Aquí se hace un control con el mismo método, definiendo la Conformidad o No Conformidad en el cumplimiento de las características de diseño y desarrollo, establecidas en las especificaciones técnicas, a partir de la fabricación del prototipo.

CAPÍTULO 4. APLICACIÓN

En este capítulo se pone en práctica cada paso del método establecido en el capítulo 3. Se expresan los resultados con sus respectivos procesos durante la aplicación de cada uno de los pasos hasta llegar a cumplir con el objetivo propuesto. Se desarrolla el producto siguiendo el proceso que va desde el análisis de sus características de entrada de diseño y desarrollo, hasta la validación del prototipo.

4.1 Planificación de Diseño y Desarrollo

La planificación de diseño y desarrollo se realizó utilizando el modelo de planificación operacional (ciclo Deming). Se construye una tabla determinando las actividades, responsables, lugar de ejecución, cronograma e instrucciones de trabajo (anexo 9).

4.2 Calidad Normativa de Entrada (CNE)

Para los encofrados y materiales se realizó el levantamiento de las siguientes normas:

Normas DIN

Tracción:

- DIN 1749: para piezas forjadas en estampa, probetas paralelas a la dirección de la fibra y transversales a la dirección de forja (L) y antiparalelas a la dirección de forja y transversales a la dirección de forja (T).
- DIN 17606: para piezas de forja sin estampa, probeta no paralela a la dirección de la fibra y en la dirección de forja (ST, corta dirección transversal).

Dureza:

- DIN 50351: ensayo de dureza Brinell.
- DIN 50103: ensayo de dureza Rockwell.
- DIN 50133: ensayo de dureza Vickers.

Compresión:

- DIN 50106: ensayo de compresión para el aluminio.

Soldadura:

- DIN 50123: ensayo de tracción en uniones soldadas.

Control de calidad:

- DIN 8563: control de calidad de trabajos de soldadura.

- DIN 4113: para construcciones de soldadura autógena.

Lacado y pintado:

- DIN 50014: clima normal.
- DIN 54 211: viscosidad.

Normas para ensayos y probetas de piezas de aluminio:

Ensayo	Probeta
• DIN 50 145	DIN 50 129: Chapas, bandas.
• DIN 50 114	DIN 50 114: Banda fina.
• DIN 50 154	DIN 50 154: Lámina, perfiles, barras, alambres.
• DIN 50 145	DIN 50 125: Piezas forjadas.

Normas ISO

- ISO-R191: Brinell hardness test for light metals and their alloys.

Corrosión:

- ISO 3768: Recubrimientos metálicos; Prueba salina neutra (NSS-Test).
- ISO 3769: Recubrimientos metálicos; Prueba salina y ácido acético (ASS-Test).
- ISO 3770: Recubrimientos metálicos con sales de Cu como agente acelerador (CASS-Test).
- ISO 4542: Recubrimientos metálicos y otros inorgánicos; atmósfera libre.
- ISO 4543: Recubrimientos metálicos; pruebas de estabilidad en almacenaje.

Normas INEN:

- NTE 136: Acero para construcción estructural.
- NTE 120: Aceros. Determinación del contenido total de carbono. Método gravimétrico.
- NTE 118: Aceros. Determinación del contenido de manganeso.

- NTE 1623: Aceros. Perfiles estructurales conformados en frío.
- NTE 2250: Aluminio. Perfiles, barras, varillas y tubos extruidos. Requisitos e inspección.
- NTE 1157: Anatomía de la madera. Terminología.
- NTE 628: Corte de metales. Geometría de las herramientas. Definiciones.
- NTE 123: Determinación de la dureza Brinell.
- NTE 125: Determinación de la dureza Rockwell.
- NTE 1053: Determinación de la dureza Rockwell superficial.
- NTE 124: Ensayo de dureza Vickers para acero (carga 5 a 100 kgf)
- NTE 109: Ensayo de tracción para el acero.
- NTE 121: Ensayo de tracción para planchas de acero con espesor entre 0,5 y 3mm.
- NTE 122: Ensayo de doblado para planchas de acero con espesor menor o igual a 3mm.
- NTE 593: Herramientas para tornillos y tuercas. Cuadrados de mando machos y hembras manuales y mecánicas. Dimensiones.
- NTE 945: Herramientas para tornillos y tuercas. Destornilladores. Requisitos dimensionales.
- NTE 947: Herramientas para tornillos y tuercas. Destornilladores cruciformes. Dimensiones.
- NTE 948: Herramientas para tornillos y tuercas. Destornilladores. Requisitos generales.
- NTE 595: Herramientas para tornillos y tuercas. Hexágonos de mando machos y hembras para herramientas mecánicas. Dimensiones.

- NTE 588: Herramientas para tornillos y tuercas. Llaves de estrella de una boca. Dimensiones.
 - NTE 937: Herramientas para tornillos y tuercas. Muestreo.
 - NTE 438: Herramientas para tornillos y tuercas. Piezas de mando y accesorios. Determinación de la resistencia a la torsión.
 - NTE 599: Herramientas para tornillos y tuercas. Puntas de destornillador hexagonal. Dimensiones.
 - NTE 615: Herramientas para tornillos y tuercas. Terminología.
 - NTE 598: Herramientas para tornillos y tuercas. Uniones con cuadrado y hexágonos macho. Dimensiones.
 - NTE 1159: Madera rollizo y aserrada. Medición y cubicación.
 - NTE 1161: Maderas. Acondicionamiento para ensayos tecnológicos.
 - NTE 1164: Maderas. Determinación de la contracción.
 - NTE 1162: Maderas. Determinación de la densidad aparente.
 - NTE 1160: Maderas. Determinación del contenido de humedad.
 - NTE 1163: Maderas. Método para la descripción de las características generales, macroscópicas y microscópicas.
 - NTE 1158: Maderas. Selección y colección de muestras.
 - NTE 1156: Maderas. Terminología.
 - NTE 105: Palanquillas de acero al carbono para productos laminados de uso estructural.
 - NTE 2215: Perfiles de acero laminados en caliente. Requisitos.
 - NTE 2229: Perfiles estructurales C de acero laminados en caliente. Requisitos.
 - NTE 2228: Perfiles estructurales H de acero laminados en caliente. Requisitos.
- (IPBv)

- NTE 2232: Perfiles estructurales H de acero laminados en caliente. Requisitos. (IÑBI)
- NTE 2233: Perfiles estructurales H de acero laminados en caliente. Requisitos. (IPN)
- NTE 2230: Perfiles estructurales I de acero laminados en caliente. Requisitos. (IPE)
- NTE 2231: Perfiles estructurales I de acero laminados en caliente. Requisitos. (IPN)
- NTE 2234. Perfiles estructurales T de acero laminados en caliente. Requisitos.
- NTE 1045: Pinturas anticorrosivos. Esmalte alquídico brillante. Requisitos.
- NTE 1032: Pinturas anticorrosivos. Ensayo de la resistencia al intemperismo acelerado.
- NTE 2270: Pinturas y productos afines. Aplicación en láminas metálicas de ensayo.
- NTE 997: Pinturas y productos afines. Definiciones.
- NTE 1006: Pinturas y productos afines. Determinación de adherencia mediante prueba de cinta.
- NTE 1034: Pinturas y productos afines. Determinación de la resistencia a la abrasión.
- NTE 2090: Pinturas y productos afines. Determinación de la resistencia a los aceites minerales y la gasolina.
- NTE 1037: Pinturas y productos afines. Ensayo de la resistencia al lavado.
- NTE 2285: Pinturas. Barnices alquídicos de secamiento al aire. Requisitos.
- NTE 114: Planchas delgadas de acero al carbono.
- NTE 1058: Recubrimientos de cromo duro sobre acero. Requisitos.

- NTE 955: Recubrimientos electrolíticos de cobre más níquel más cromo sobre acero.
- NTE 1201: Recubrimientos electrolíticos de cobre más estaño sobre acero. Requisitos.
- NTE 1056: Recubrimientos electrolíticos de cobre sobre acero. Requisitos.
- NTE 993: Recubrimientos electrolíticos de estaño sobre acero. Requisitos.
- NTE 954: Recubrimientos electrolíticos de níquel y níquel más cromo sobre acero, fundición, zinc, cobre, aluminio o níquel.
- NTE 1191: Determinación de la resistencia a la corrosión. Ensayo de condensación alternada.
- NTE 1194: Recubrimientos metálicos. Determinación de la resistencia al desgaste. Método de ensayo.
- NTE 1176: Recubrimientos metálicos. Determinación de la resistencia a la corrosión. Evaluación de resultados para ensayos de corrosión acelerada.
- NTE 1139: Remaches de cabeza avellanada abombada. Requisitos.
- NTE 1138: Remaches de cabeza avellanada. Requisitos.
- NTE 1137: Remaches de cabeza redonda. Requisitos.
- NTE 1136: Remaches. Diámetros preferidos.
- NTE 1390: Soldadura. Electrodo de acero revestidos para soldadura eléctrica. Requisitos.
- NTE 896: Tableros de madera aglomerada, contrachapada y de fibras de madera (MDF). Determinación del contenido de humedad.
- NTE 897: Tableros de madera aglomerada, contrachapada y de fibras de madera (MDF). Determinación de la densidad aparente.

- NTE 895: Tableros de madera aglomerada, contrachapada y fibra de madera (MDF). Determinación de las dimensiones de las probetas.
- NTE 898: Tableros de madera aglomerada. Determinación de la resistencia a la tracción perpendicular a las caras.
- NTE 2364: Tableros de madera contrachapada. Calidad de pegado. Requisitos.
- NTE 2363: Tableros de madera contrachapada. Calidad de pegado. Métodos de ensayo.
- NTE 2342: Tableros de madera contrachapada. Chapas. Requisitos.
- NTE 2366: Tableros de madera contrachapada. Dimensiones.
- NTE 2365: Tableros de madera contrachapada. Medidas de las dimensiones.
- NTE 900: Tableros de madera contrachapada. Requisitos.
- NTE 115: Tolerancias para planchas de acero al carbono laminadas en caliente o en frío.

Normas de especificaciones y diseño de materiales para encofrados según la ACI:

Madera Aserrada: Enmarcado, entablado y apuntalamiento de encofrados:

- PS 20-94: Estándares de la madera suave Americana.
- *Manual de madera: La madera como un material de ingeniería*, de la Sociedad de Productos Forestales.
- *Manual para la construcción de marcos de madera*, de la Asociación Nacional de Productos Forestales.
- ANSI/AF&PA NDS-1997: Especificaciones Nacionales de Diseño para Construcción en Madera.
- Instituto Americano de Construcción de Madero, del *Manual de construcción de Madero*.

- *Diseño Estructural en madera*, de J. Stalnaker y E. Harris.

Madera de ingeniería: Enmarcado y apuntalamiento de encofrado:

- *Productos de Madera de Ingeniería: Una guía para Especificadores, Diseñadores y Usuarios*, de S. Smulski.
- CAN3-086: Códigos para Diseño de Ingeniería en Madera.
- CAN/CSA-096.1-94: Diseño de Ingeniería en Madera (Diseño de Estados de Limite).

Madera contrachapada: entablados y paneles para encofrados:

- PSI-95: Madera Contrachapada de Construcción e Industrial.
- Especificaciones de Diseño en Madera Contrachapada de la Asociación de Madera de Ingeniería.
- *Moldeo de Hormigón* de la Asociación de Madera de Ingeniería.

Acero: Enmarcado y atadura de paneles:

- *Especificaciones para Construcción en Acero Estructural – Diseño de Esfuerzos Permitidos y Diseño Plástico* de la ACI.

Encofrados pesados y trabajo en falso:

- *Especificaciones para el Diseño de Miembros Estructurales de Acero Formado al Frío* del Instituto Americano del Hierro y Acero (AISI).

Encofrados de columnas y vigas:

- ANSI A48.1: Encofrados para Construcción de Vigas Una Vía.
- ANSI A48.2: Encofrados para Construcción de Vigas Doble Vía.
- *Manual de Práctica Estándar* del Instituto de Hormigón Armado (CRSI).

Encofrados de Cubierta “Stay-in-place”:

- ASTM A 446: Acero galvanizado.

Apuntalamiento:

- *Requerimientos de Seguridad Recomendados para Apuntalamiento de Encofrados* del Instituto de Andamiaje, Apuntalamiento y Encofrado.

Mamparo de Metal Expandidas, encofrados de un solo lado:

- *Especificaciones Estándar y Tablas de Carga para Vigas de Acero de Alma Abiertas* del Instituto de Vigas de Acero (SJI).
- *Expand Your Forming Options (Expande Tus Opciones de Encofrados)* de M. Hurd.

Aluminio: Paneles y marcos de encofrado, y apuntalamiento vertical y horizontal:

- *Manual de Diseño en Aluminio: Guías y Especificaciones para Estructuras de Aluminio* de la Asociación de Aluminio.

Productos de paneles de madera reconstituida: Revestimientos y entablados:

- ANSI A208.1: Tableros Formados por Partículas de Madera.
- LLB-810a: Tableros duros para revestimientos de encofrados.
- PS2-92: Estándares de Comportamiento para Paneles Basados en Madera para Uso Estructural.

Materiales de aislamiento: Recubrimientos y tableros de encofrado, y protectores de hormigón fresco contra climas fríos:

- ASTM C 532: Tableros aisladores de encofrado (Con materiales como fibra de madera o de vidrio y otros.)

Cartón corrugado:

- *A Study of Cardboard Voids for Prestressed Concrete Box Slabs* de G. Ziverts.
Hormigón: Encofrados tipo “stay-in.place” y moldes para unidades prefabricadas:
- ACI 318: Requerimientos de Construcción para Hormigón Estructural y comentarios:
- ACI 347.1R: Unidades de Hormigón Prefabricado Utilizados como Encofrados para Hormigón Fundido In situ.

Fibra de vidrio y plásticos reforzados:

- *Using Glass-Fiber-Reinforced-Plastic Forms* (Uso de Encofrados de Fibra de Vidrio con Plástico Reforzado) de M. Hurd.
- *Nonmetallic Form Ties* (Ataduras No-metálicas para Encofrado) de M. Hurd.

Plásticos celulares:

- *Cellular Plastics in Construction* (Construcción en Plásticos Celulares) del Comité de Materiales de Construcción.
- Insulating Concrete Forms Association (ICFA) – Asociación de Encofrados Aislantes para Hormigón.

Otros tipos de Plástico:

- *Plastic Form Liners* de M. Hurd.

Ataduras, Anclajes y Perchas para Encofrado: Seguridad para sujeción de encofrados ante carga y presión del hormigón y actividades constructivas:

- ACI347-04: Factores de Seguridad indicados en la sección 2.4, tabla 2.3.
- *Nonmetallic Form Ties* (Ataduras No-metálicas para Encofrado) de M. Hurd.

Separadores de Encofrados: Para mantener una correcta separación entre la armadura y el encofrado:

- *Side Form Spacers* de F. Randall y P. Courtois del ACI Journal.

Agentes Desencofrantes y Capas Protectoras: Para facilitar el desencofrado y proteger la superficie del tablero:

- *Choosing and Using a Form Release Agent* (Escogiendo y Utilizando un Agente Desmoldante para Encofrado) de M. Hurd.

4.3 Calidad de Cliente de Entrada (CCE)

Se realizó el levantamiento de los requisitos del cliente utilizando la técnica de grupo focal.

Se conformó el grupo con nueve personas tratando de representar los diferentes niveles

técnico-operativos participantes en los proyectos de construcción. Entre el personal participante del grupo focal se presentaron las siguientes personas:

- Ing. Vinicio Ayala (Director de tesis)
- 1 Ingeniero gerente de obra.
- 1 Ingeniero de planificación y diseño.
- 1 Arquitecto gerente de proyectos.
- 2 Arquitectos superintendentes de obra.
- 1 Arquitecto residente de obra.
- 1 Maestro mayor.
- Julián Escobar Hidrobo

Vinicio Ayala dirigió el grupo y al mismo tiempo fue partícipe con sus opiniones e ideas.

Los resultados del primer punto a tratar referente a la problemática que implica la utilización de encofrados, se presentan a continuación en la lista:

- Daño ambiental en el encofrado de madera.
- Desconocimiento de la carga portante.
- Generalmente los encofrados se construyen empíricamente, sin diseño estructural.
- Falta de capacitación en mano de obra.
- Deformación del material.
- Baja reutilización del encofrado.
- No hay estandarización de medidas.
- Poca resistencia al trato en obra por manipuleo.
- Altos costos por tomar opciones alternativas (fibra de vidrio).
- El mercado u oferta de alquiler es pequeña.
- Acabados no precisos.
- Alta incidencia de la humedad en los materiales usados.

- Falta de conocimiento en el tipo de material a utilizarse.
- Mucho peso en encofrado metálico.

En el segundo punto, se trataron los problemas nombrados anteriormente, llegando a obtener una lista de soluciones, presentadas por el grupo focal, que se muestran a continuación:

- Datos de distancias de apuntalado.
- Liviano y resistente.
- Modulado.
- Bajo costo.
- Versatilidad para diferentes formas.
- Textura adecuada.
- Que permita un excelente acabado en el hormigón.
- Fácil manipulación.
- Alta durabilidad.
- Resistente a la humedad.
- Que conste con guía técnica para el conocimiento del obrero.
- Que permita una adecuada estanqueidad del hormigón.

El análisis de esta lista se lo realizará en el punto 4.6 (Calidad de Cliente de Salida).

4.4 Calidad Atractiva de Entrada (CAE)

Los elementos de Calidad Atractiva de Entrada son:

- Bajo peso.
- Bajo costo.
- Para fabricación de formas cilíndricas en hormigón.
- Que permita un excelente acabado en el hormigón.
- Permitir alto grado de reutilización.

- Presencia estética muy agradable.
- Producto con varias opciones de materiales, costos, pesos y durabilidad.
- Fácil limpieza.

4.5 Calidad Normativa de Salida (CNS)

Los elementos de Calidad Normativa de Salida son:

	ANÁLISIS DE PERTINENCIA
NTE 1623: Aceros. Perfiles estructurales conformados en frío.	√
NTE 2342: Tableros de madera contrachapada. Chapas. Requisitos.	√
NTE 900: Tableros de madera contrachapada. Requisitos.	√
DIN 8563: control de calidad de trabajos de soldadura.	√
ISO 3768: Recubrimientos metálicos; Prueba salina neutra (NSS-Test).	√
ISO 3769: Recubrimientos metálicos; Prueba salina y ácido acético (ASS-Test).	√
ISO 4542: Recubrimientos metálicos y otros inorgánicos; atmósfera libre.	√
PSI-95: Madera Contrachapada de Construcción e Industrial.	√
<i>Especificaciones para Construcción en Acero Estructural – Diseño de Esfuerzos Permitidos y Diseño Plástico de la ACI.</i>	√
<i>Especificaciones para el Diseño de Miembros Estructurales de Acero Formado al Frío del Instituto Americano del Hierro y Acero (AISI).</i>	√
<i>Expand Your Forming Options (Expande Tus Opciones de Encofrados) de M. Hurd.</i>	√
<i>Manual de Diseño en Aluminio: Guías y Especificaciones para Estructuras de Aluminio de la Asociación de Aluminio.</i>	√
ASTM C532: Tableros aisladores de encofrado (Con materiales como fibra de madera o de vidrio).	√
<i>Using Glass-Fiber-Reinforced-Plastic Forms (Uso de Encofrados de Fibra de Vidrio con Plástico Reforzado) de M. Hurd.- Para un recubrimiento de fibra de vidrio en encofrado, se recomienda un espesor mínimo de 0.025plg a 0.05plg (0.635mm a 1.27mm).</i>	√

Tabla 4.1.- Calidad normativa de salida.

4.6 Calidad de Cliente de Salida (CCS)

Los elementos de Calidad de Cliente de Salida se establecen en base al análisis de factibilidad técnico-económico, conforme fue tratado en el capítulo 3. Estos son:

	FACTIBILIDAD TÉCNICA	FACTIBILIDAD ECONÓMICA	DECISIÓN
Datos de distancias de apuntalado.	√	×	×
Liviano y resistente.	√	√	√
Modulado.	√	√	√
Bajo costo.	√	√	√
Versatilidad para diferentes formas.	×	×	×
Textura adecuada.	√	√	√
Que permita un excelente acabado en el hormigón.	√	√	√
Fácil manipulación.	√	√	√
Alta durabilidad.	√	√	√
Resistente a la humedad.	√	√	√
Que conste con guía técnica para el conocimiento del obrero.	√	×	×
Que permita una adecuada estanqueidad del hormigón.	√	√	√

Tabla 4.2.- Calidad de cliente de salida.

4.7 Calidad Atractiva de Salida (CAS)

Los elementos de Calidad Atractiva de Salida son:

	FACTIBILIDAD TÉCNICA	FACTIBILIDAD ECONÓMICA	DECISIÓN
Bajo peso.	√	√	√
Para fabricación de formas cilíndricas en hormigón.	×	×	×
Producto que puede ser mal tratado, golpeado y no necesite reparación.	√	×	×
Permitir alto grado de reutilización.	√	√	√
Producto que no necesite de desencofrante.	×	×	×
Presencia estética muy agradable.	√	√	√
Fácil limpieza.	√	√	√
Autodeslizantes.	√	×	×
Producto que no requiera de uso de puntales.	√	×	×

Tabla 4.3.- Calidad atractiva de salida.

4.8 Especificaciones técnicas (Estandarización)

Estandarización según la calidad normativa de salida:

Se han seleccionado como normas pertinentes aquellas que son dispositivas respecto del Código Ecuatoriano de la Construcción y de la American Concrete Institute (ACI).

Se enlista las normas seleccionadas y se coloca como referencia el código de la norma. En la codificación de cada norma se podrá observar (*bibliográficamente*) los estándares correspondientes.

Las referencias bibliográficas se encuentran al final del capítulo.

- NTE 1623: Aceros. Perfiles estructurales conformados en frío.

Los espesores nominales en que deben fabricarse los perfiles son de 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12 y 14mm.

Las tolerancias máximas son de $\pm 0.18\text{mm}$ para 2mm, $\pm 0.21\text{mm}$ para 3mm, $\pm 0.23\text{mm}$ para 4mm, $\pm 0.25\text{mm}$ para 5mm, $\pm 0.27\text{mm}$ para 6mm, $\pm 0.28\text{mm}$ para 8mm, $\pm 0.32\text{mm}$ para 10mm, $\pm 0.35\text{mm}$ para $>12\text{mm}$.

La flecha vertical y lateral no puede ser mayor al 0.2% de la longitud total. Para una longitud de 1.20m no puede ser mayor a 240mm.

- NTE 900: Tableros de madera contrachapada. Requisitos.-

El porcentaje de humedad en base seca del tablero terminado no debe ser menor de 6% ni mayor de 15%.

Espesor. Para tableros lijados por una o ambas caras, la tolerancia es de $\pm 0.2\text{mm}$ hasta espesores de 7mm y de -0.5mm a $+0.2\text{mm}$ para los mayores a 7mm.

- NTE 2342: Tableros de madera contrachapada. Chapas. Requisitos.-

Los requisitos de calidad para los tableros contrachapados se muestran en la tabla siguiente, donde grado A es duratriplex, B es triplex marino, C es triplex corriente e industrial es el triplex con el mismo nombre.

Defecto	Grado (nivel de aceptación)			
	A	B	C	INDUSTRIAL
Nudos:				
Firmes	No	Si	Si	Si
Suelos	No	3 de 2 x 2mm	5 de 2 x 2mm	Si
Rajaduras	2 masilladas de 0.8mm x 76mm en los extremos de cada chapa	2 masilladas de 1.6 x 152mm en los extremos de cada chapa	4 de 3.2 x 203mm en los extremos de cada chapa	Si
Bolsas de resina	No	3 de 2 x 2mm	5 de 2 x 2mm	Si
Daños por insectos:				
Pasador	No	3 de 2 x 2mm	5 de 2 x 2mm	Si
Polilla	No	3 de 2 x 2mm	5 de 2 x 2mm	Si
Daños por hongos:	No	En ambos extremos hasta un 10% de su longitud	En ambos extremos hasta un 15% de su longitud	Si
Manchas:				
Azules y grises	No	En ambos extremos hasta un 10% de su longitud	En ambos extremos hasta un 15% de su longitud	Si
Otras manchas:				
Minerales	No	Hasta 10% del área de la chapa	Hasta 15% del área de la chapa	Si
Por luz y procesamiento:				
Pudrición	No	Si	Si	Si
Pudrición	No	No	No	No
Grano:				
Afelpado	No	Hasta 5% del área	Si	Si
Arrancado	No	Hasta 5% del área masillados	Si	Si
Chapa corrugada	No	No	Si	Si
Ondulaciones	No	Si	Si	Si
Rayas	No	Si	Si	Si

Tabla 4.4.- Requisitos para uso corriente de chapas.

Control de calidad:

- DIN 8563: control de calidad de trabajos de soldadura.

Corrosión:

- ISO 3768: Recubrimientos metálicos; Prueba salina neutra (NSS-Test).
- ISO 3769: Recubrimientos metálicos; Prueba salina y ácido acético (ASS-Test).

Normas de especificaciones y diseño de materiales para encofrados según la ACI:

Madera contrachapada: entablados y paneles para encofrados:

- PSI-95: Madera Contrachapada de Construcción e Industrial.
- Especificaciones de Diseño en Madera Contrachapada de la Asociación de Madera de Ingeniería. Referencia 4.1.

Acero: Enmarcado y atadura de paneles:

- *Especificaciones para Construcción en Acero Estructural – Diseño de Esfuerzos Permitidos y Diseño Plástico* de la ACI. Referencia 4.2.

Encofrados pesados y trabajo en falso:

- *Especificaciones para el Diseño de Miembros Estructurales de Acero Formado al Frío* del Instituto Americano del Hierro y Acero (AISI). Referencia 4.3.

Mamparo de Metal Expandidas, encofrados de un solo lado:

- *Expand Your Forming Options (Expande Tus Opciones de Encofrados)* de M. Hurd. Referencia 4.4.

Aluminio: Paneles y marcos de encofrado, y apuntalamiento vertical y horizontal:

- *Manual de Diseño en Aluminio: Guías y Especificaciones para Estructuras de Aluminio* de la Asociación de Aluminio. Referencia 4.5.

Materiales de aislamiento: Recubrimientos y tableros de encofrado, y protectores de hormigón fresco contra climas fríos:

- ASTM C 532: Tableros aisladores de encofrado (Con fibra de madera o de vidrio)

Fibra de vidrio y plásticos reforzados:

- *Using Glass-Fiber Reinforced Forms* (Uso de Encofrados de Fibra de Vidrio con Plástico Reforzado) de M. Hurd. Referencia 4.6.

El recubrimiento de fibra de vidrio para encofrado, debe tener un espesor mínimo entre 0.025plg y 0.05plg (0.635mm a 1.27mm).

Estandarización según la calidad de cliente de salida:

Liviano y resistente.- El peso del producto no puede ser mayor a 20kg, ya que este es un peso normal para posibilitar la manipular el tablero por una sola persona. El tablero debe ser lo suficientemente resistente como para soportar una carga de 500kg/m^2 y no tener una flecha mayor a 3.333mm según el código de la construcción que dice que la

deflexión máxima $\delta_{\text{máx}} = \frac{L}{360}$.

Modulado.- El tablero debe tener una medida estándar que debe cumplir con dos requisitos especiales:

- Debe tener un tamaño que sea de fácil manipuleo, y pueda ser manejado por una sola persona.
- Debe tener un tamaño que pueda ser utilizado y ajustado a las dimensiones de los proyectos. Por lo tanto se requiere que tenga tamaños redondeados en cero. (Esto es muy importante ya que en el Ecuador no se tiene un estudio de encofrados y los elementos existentes tienen tamaños estándar basados en productos Norteamericanos donde sus dimensiones son especificados en pies y pulgadas).

Los tableros pueden tener dimensiones tales como:

- Largo 1.00m o 1.20m (puede tener de 2.00m y 2.40m, pero se debe hacer un estudio adicional, especialmente en la parte de diseño estructural).
- Ancho 0.10m, 0.20m, 0.30m, 0.40m, 0.50m o 0.60m.

Bajo costo.- El costo del encofrado debe ser menor a los existentes en el mercado, por lo tanto su fabricación no puede ser superior a los \$50.00.

Textura adecuada.- La textura debe variar de acuerdo a la necesidad del constructor, ya que existen dos tipos de textura en los acabados, un liso y un corrugado.

- Para hormigones con acabados lisos se debe utilizar una superficie lisa de acero.

- Para hormigones con acabados corrugados se debe utilizar una superficie de madera.

Que permita un excelente acabado en el hormigón.- La superficie del tablero debe ser de fácil desmoldaje, por lo tanto debe ser recubrimiento o tablero de acero.

Fácil manipulación.- El fácil manipuleo depende estrictamente de dos características, el peso y el tamaño. Se requiere que el tablero sea liviano y su tamaño lo suficientemente pequeño para ser operado por una sola persona. Para determinar estos valores dirigirse a “*Bajo peso*” en la sección “*Estandarización según la calidad atractiva de salida*” y a “*Modulado*” en la sección “*Estandarización según la calidad de cliente de salida*”.

Alta durabilidad.- Para garantizar la durabilidad del encofrado, se debe utilizar un tablero con una superficie resistente ante la humedad.

El mínimo número de reutilizaciones por tablero debe ser de 100 veces como se especifica en “*Permitir alto grado de reutilización*” en la sección “*Estandarización según la calidad atractiva de salida*”.

Resistente a la humedad.- Para que el producto sea resistente al agua y a la humedad, el tablero en la superficie de contacto debe tener un recubrimiento que lo impermeabilice y proteja ante estos agentes externos.

Que permita una adecuada estanqueidad del hormigón.- Para obtener los mejores resultados en estanqueidad, el tablero debe tener acabados de primera clase, donde el trabajo de mano de obra debe tener las más altas exigencias. Para esto se necesita un alto control de calidad al que será sometido el diseño y el desarrollo del producto. Este control de calidad se llama control: *validación* (ver 4.13).

Estandarización según la calidad atractiva de salida:

Bajo peso.- El peso debe ser tal que sea apto para el fácil manipuleo del tablero en obra, este peso no debe ser mayor que 20kg en un tablero de 1.20m x 0.60m.

Permitir alto grado de reutilización.- El producto debe tener un recubrimiento o una superficie capaz de resistir más de 100 reutilizaciones del material.

Presencia estética muy agradable.- El producto debe tener buenos acabados y una mano de obra excepcional. No debe poseer huecos ni golpes, la superficie debe tener bonito aspecto, sin ondulaciones ni hendiduras. La estructura debe mantenerse en excelente estado y con buen aspecto superficial.

Fácil limpieza.- La superficie y el producto en sí debe tener una consistencia para su fácil limpieza, especialmente la superficie en contacto con el hormigón, que debe tener la capacidad de ser limpiada completamente para obtener la superficie especificada en los puntos anteriores para su posterior uso.

4.9 Algoritmo Diseño

Primero se determinarán los materiales posibles según las especificaciones técnicas y luego los materiales que corresponderán al prediseño del encofrado.

4.9.1. Banco de materiales posibles

Los posibles materiales para tableros son:

- Triplex corriente de 12 y 15mm, tiene buenos acabados en la superficie, es resistente excepto a la humedad y su reutilización varía entre 3 y 4 veces.
- Triplex marino de 12 y 15mm, parecido al tipo c, pero su adhesivo de fenol formaldehído le da mayor resistencia a la humedad y su reutilización varía entre 10 y 20 veces. Es un material interesante para trabajar con algún recubrimiento.

- Duratriplex con espesores de 12 y 15mm, es una madera resistente, con las mismas características que el triplex marino, pero la resina que protege su superficie le hace impermeable y su resistencia ante el agua es grande. Puede ser reutilizado hasta 120 veces.
- El acero es un material resistente, y es muy útil para trabajar como tablero. El defecto más grande de éste es el peso que tiene, por lo tanto no cumple con las especificaciones técnicas. Si se utiliza un elemento más delgado, se puede utilizar como recubrimiento para un tablero de material más rígido.
- El tol de acero galvanizado de 0.40mm de espesor, sirve para recubrimiento. Su peso es de 2.524kg, para un tablero de 1.22m x 0.624m.
- El aluminio es un material resistente, en si no se compara con el acero, pero en relación peso-resistencia es más resistente que la madera, el acero y otros. Es un material muy liviano.
- La fibra de vidrio puede ser utilizada como encofrado componiendo el tablero y la estructura como uno solo, es un material liviano y resistente, especialmente ante el agua y la corrosión. Como recubrimiento también se lo puede utilizar con espesores menores junto a otros elementos, manteniendo las propiedades necesarias para satisfacer con las especificaciones técnicas.

Para conformar la estructura se seleccionaron los siguientes materiales:

- Los perfiles de acero más aptos para el diseño de la estructura son L, T y \square . Estos pueden conformar la estructura completa por si mismos o uniendo dos o más tipos. Por las necesidades de diseño si el elemento es simétrico es mejor para con menor tamaño soportar mayores cargas.
- Los perfiles de aluminio son menos resistentes que los de acero, pero su peso es muy bajo lo que representa una excelente característica.

4.9.2. Banco de materiales por costo

Los materiales por costo para tableros (1.20m x 0.60m) son:

- Triplex marino de 12mm, puede ser reutilizado como mínimo el doble de veces que el triplex corriente y su valor es mayor por \$1.70, que es 1.34 veces mayor. Su costo es de \$6.71. Cada uso tiene un costo de 34 centavos.
- Duratriplex con espesores de 12mm, tiene un valor de \$8.11, que es 1.21 veces más que el triplex marino y el número de reutilizaciones es de 120, aproximadamente 100 más que el marino. El costo por cada uso es de 7 centavos.
- El tol de acero galvanizado de 0.40mm de espesor, sirve para recubrimiento. Su costo es de \$8.51. Su capacidad de reutilización es muy alta, depende de su vida útil y su buen cuidado, este producto puede alcanzar los 10 años. Pero se debe utilizar sobre la superficie de un tablero rígido.

Para conformar la estructura se seleccionaron los siguientes materiales:

- Los perfiles de acero pueden durar mucho pues cumplen con todos los requisitos de diseño estructural. Todos estos requieren de galvanizado para garantizar la protección ante la corrosión y aumentar en gran dimensión su vida útil. El galvanizado al caliente cuesta 73 centavos por kilogramo del material a galvanizar.
- La unión de perfiles L 2"x4mm (perímetro) y T 2" (travesaños) tiene un costo de \$12.77.
- Un marco de perfiles L 2" x 3mm tiene el valor de \$11.73. El peso de esta estructura es de 14.712kg. El valor de galvanizado es de \$10.34, sumando un total de \$22.07.
- Un marco de perfiles tubo □, cuesta \$9.16. Su peso es de 6.120kg. El costo de galvanizado es de \$4.47, sumando un total por esta estructura de \$13.63.

Para obtener superficies lisas en el hormigón se necesita superficie de acero, por lo tanto la unión de triplex marino con tol galvanizado tiene un costo de \$15.22 y un peso de 7.536kg.

El duratriplex es para superficies corrugadas en el hormigón, tiene un costo de \$8.11 y su peso es de 5.012kg.

Utilizando la estructura mejor calificada, perfiles tubo □, que cuesta \$13.63 y su peso es de 6.120kg, se tiene un encofrado para superficie lisa de \$28.85 con un peso de 13.656kg y uno para superficie corrugada tendría el costo de \$21.74 con un peso de 11.132kg.

Es importante considerar que a estos valores le faltan elementos de ensamblaje y mano de obra para corte, doblado y perforación de los materiales.

De acuerdo a las clasificaciones de materiales, se determinó dos tipos de encofrado, para tener una superficie lisa (*opción 1*) y otra corrugada (*opción 2*) en el hormigón.

Opción 1:

Tablero: Triplex marino (1.20m x 0.60m)

Recubrimiento: Tol de acero galvanizado de 0.4mm de espesor

Estructura: Perfiles tubo □ (tubos: 35x35x1.5mm perimetrales y 25x25x1mm centrales) de acero dulce.

Ensamblaje: Pernos de 30mm x 6mm para los perimetrales y de 50mm x 6mm en los travesaños.

Opción 2:

Tablero: Duratriplex (1.20m x 0.60m)

Recubrimiento: N/A

Estructura: Perfiles tubo □ (tubos: 35x35x1.5mm perimetrales y 25x25x1mm centrales) de acero dulce.

Ensamblaje: Pernos de 30mm x 6mm para los perimetrales y de 50mm x 6mm en los travesaños.

La opción 1 puede satisfacer si se requiere enlucidos, pero se debe trabajar más en la superficie del hormigón que cuando se utiliza la segunda opción, mientras que la opción 2 no

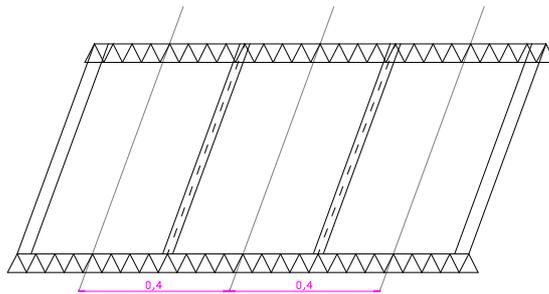
puede satisfacer los requerimientos que se necesitan para un acabado liso, ya que con el desgaste de la madera, se pierde esta propiedad y si el encofrado ya es viejo, el acabado cada vez es menos liso.

4.9.3. Diseño Estructural

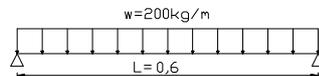
Cálculo de solicitación máxima

El análisis estructural que se realiza es el de solicitación, donde se coloca una carga de $500\text{kg}/\text{m}^2$ al tablero (carga en obra) y partiendo de esto se debe determinar el momento resistente mínimo que debe tener la estructura de acero. Para realizar este cálculo se debe tomar en cuenta los dos sentidos del tablero, dependiendo de cómo se ubiquen los apoyos externos.

El cálculo se lo realiza a continuación:



$$\frac{500\text{kg}}{\text{m}^2} \times 0,4\text{m} = \frac{200\text{kg}}{\text{m}}$$



$$M_{\text{máx}} = \frac{wL^2}{8}$$

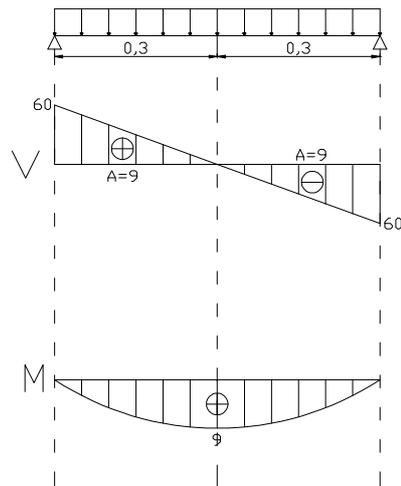
$$M_{\text{máx}} = \frac{200 \times 0,60^2}{8} = 9\text{kg} \cdot \text{m} = 900\text{kg} \cdot \text{cm} \checkmark$$

Comprobación:

$$\sum F_y = R_A + R_B - 120 = 0$$

$$\sum M_A = 0.6 \times R_B - 0.3 \times 120 = 0 \quad \rightarrow \quad R_B = \frac{36}{0.6} = 60 \text{kg}$$

$$R_A + 60 - 120 = 0 \quad \rightarrow \quad R_A = 60 \text{kg}$$



$$M_{\text{máx}} = 9 \text{kg} \cdot \text{m} = 900 \text{kg} \cdot \text{cm} \checkmark$$

$$S_{\text{máx}} = \frac{M_{\text{máx}}}{\tau_{\text{adm}}} = \frac{900}{1400} = 0.643 \text{cm}^3$$

La sección mínima de los perfiles es de:

Ángulos: 30x30x3.0mm con un $S_{\text{máx}}$ de 0.65

30x30x4.0mm con un $S_{\text{máx}}$ de 0.82

40x40x2.0mm con un $S_{\text{máx}}$ de 0.83

Y ángulos de dimensiones mayores.

Tubos cuadrados: 25x25x1.0mm con un $S_{\text{máx}}$ de 0.70

25x25x1.2mm con un $S_{\text{máx}}$ de 0.82

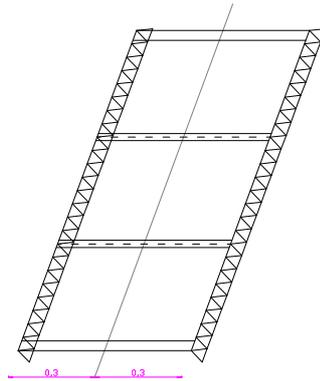
25x25x1.5mm con un $S_{\text{máx}}$ de 0.98

Y tubos cuadrados de dimensiones mayores.

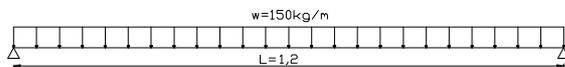
Perfiles T: 35x35x4.5mm con un $S_{m\acute{a}x}$ de 0.90 en el \u00e1rea m\u00e1s cr\u00edtica

Y perfiles T de dimensiones mayores.

En el sentido m\u00e1s cr\u00edtico, el an\u00e1lisis es el mismo, pero los resultados van a ser mayores:



$$\frac{500kg}{m^2} \times 0.3m = \frac{150kg}{m}$$



$$M_{m\acute{a}x} = \frac{wL^2}{8}$$

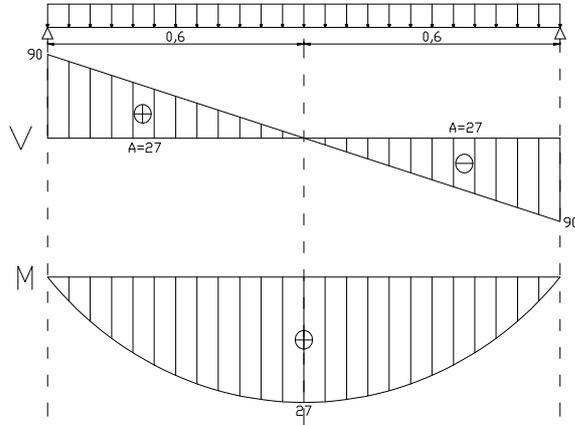
$$M_{m\acute{a}x} = \frac{150 \times 1.20^2}{8} = 27kg \cdot m = 2700kg \cdot cm \quad \checkmark$$

Comprobaci\u00f3n:

$$\sum F_y = R_A + R_B - 180 = 0$$

$$\sum M_A = 1.2 \times R_B - 0.6 \times 180 = 0 \quad \rightarrow \quad R_B = \frac{108}{1.2} = 90kg$$

$$R_A + 90 - 180 = 0 \quad \rightarrow \quad R_A = 90kg$$



$$M_{\text{máx}} = 27 \text{ kg} \cdot \text{m} = 2700 \text{ kg} \cdot \text{cm} \checkmark$$

$$S_{\text{máx}} = \frac{M_{\text{máx}}}{\tau_{\text{adm}}} = \frac{2700}{1400} = 1.929 \text{ cm}^3$$

La sección mínima de los perfiles es de:

Ángulos: 50x50x5.0mm con un $S_{\text{máx}}$ de 2.11

60x60x3.0mm con un $S_{\text{máx}}$ de 2.19

Y ángulos de dimensiones mayores.

Tubos cuadrados: 30x30x2.5mm con un $S_{\text{máx}}$ de 2.02

30x30x3.0mm con un $S_{\text{máx}}$ de 2.23

35x35x1.5mm con un $S_{\text{máx}}$ de 2.01

Y tubos cuadrados de dimensiones mayores.

Perfiles T: 50x50x6.0mm con un $S_{\text{máx}}$ de 2.42

Y perfiles T de dimensiones mayores.

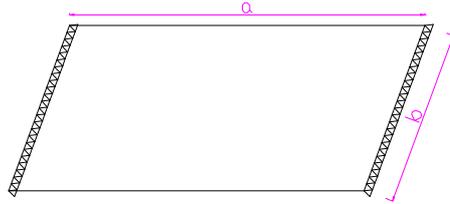
Cálculo de la deflexión

Para calcular la deflexión máxima del tablero, se realiza mediante 3 casos.

La deflexión máxima que debe tener es:

$$\delta_{\text{máx}} = \frac{120}{360} = 0.333\text{cm} = 3.33\text{mm}$$

Caso 1: Análisis de la placa



$$\gamma = \frac{b}{a} = \frac{1}{2}$$

$$q = 500\text{kg} / \text{m}^2 = 0.05\text{kg} / \text{cm}^2$$

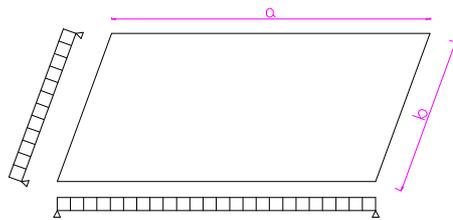
$$\text{Si } b = 30\text{cm} \rightarrow w = 1.5\text{kg} / \text{cm}$$

$$I = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{30 \times 1.2^3}{12} = 4.32\text{cm}^4$$

$$M_{\text{máx}} = \frac{w \times l^2}{8} = \frac{1.5 \times 120^2}{8} = 2700\text{kg} \cdot \text{cm}$$

$$\delta_{\text{máx}} = \frac{5}{384} \times \frac{w \times L^4}{E \times I} = \frac{5}{384} \times \frac{1.5 \times 120^4}{71388 \times 4.32} = 13.1325\text{cm} \checkmark$$

Caso 2: Análisis del perímetro



Datos:

$$q = 500\text{kg} / \text{m}^2 = 0.05\text{kg} / \text{cm}^2$$

$$a = 1.20\text{m} = 120\text{cm}$$

$$b = 0.60\text{m} = 60\text{cm}$$

$$E = 71388 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

$$h = 35 \text{ mm} = 3.5 \text{ cm}$$

$$\gamma = \frac{a}{b} = 2$$

$$\mu = 0.30$$

Deformación:

$$W_s = 0.0069 \cdot \frac{w \cdot a^4}{E \cdot h} = 0.0069 \times \frac{0.05 \cdot 120^4}{71388 \cdot 3.5^3} = 0.0234 \text{ cm} = 0.234 \text{ mm}$$

Momentos flectores:

$$M_{xs} = 0.0116 \cdot q \cdot a^2 = 0.0116 \cdot 500 \cdot 1.2^2 = 8.352 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

$$M_{ys} = 0.1017 \cdot q \cdot b^2 = 0.1017 \cdot 500 \cdot 0.6^2 = 18.31 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

Esfuerzos cortantes en el centro de los bordes:

$$T_{xs} = \pm 0.185 \cdot q \cdot a = \pm 0.185 \cdot 500 \cdot 1.2 = \pm 111.0 \text{ kg} / \text{m}$$

$$T_{ys} = \pm 0.465 \cdot q \cdot b = \pm 0.465 \cdot 500 \cdot 0.6 = \pm 139.5 \text{ kg} / \text{m}$$

Reacciones en los centros de los bordes:

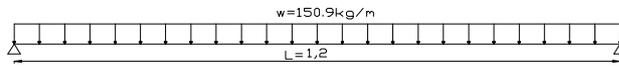
$$R_{xs} = 0.248 \cdot q \cdot a = 0.248 \cdot 500 \cdot 1.2 = 148.8 \text{ kg} / \text{m} = 1.488 \text{ kg} / \text{cm}$$

$$R_{ys} = 0.503 \cdot q \cdot b = 0.503 \cdot 500 \cdot 0.6 = 150.9 \text{ kg} / \text{m} = 1.509 \text{ kg} / \text{cm}$$

Reacciones en las esquinas:

$$R_0 = -0.046 \cdot q \cdot a \cdot b = -0.046 \cdot 500 \cdot 1.2 \cdot 0.6 = -16.56 \text{ kg}$$

Utilizando los cortantes de la placa en el apoyo R_1 (R_{ys}) diseñamos la viga de acero.



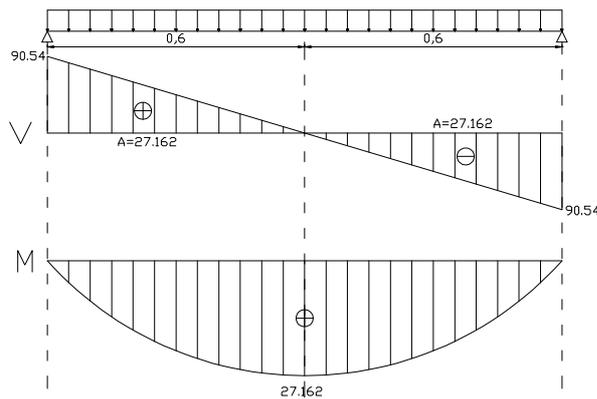
$$M_{\text{máx}} = \frac{w \cdot l^2}{8} = \frac{150.9 \cdot 1.2^2}{8} = 27.162 \text{kg} \cdot \text{m} = 2716.2 \text{kg} \cdot \text{cm} \checkmark$$

Comprobación:

$$\sum F_y = R_A + R_B - 181.08 = 0$$

$$\sum M_A = 1.2 \times R_B - 0.6 \times 181.08 = 0 \quad \rightarrow \quad R_B = \frac{108.648}{1.2} = 90.54 \text{kg}$$

$$R_A + 90.54 - 181.08 = 0 \quad \rightarrow \quad R_A = 90.54 \text{kg}$$



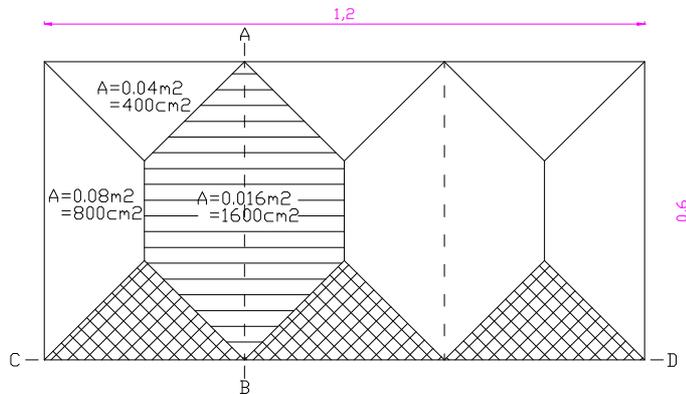
$$M_{\text{máx}} = 27.162 \text{kg} \cdot \text{m} = 2716.2 \text{kg} \cdot \text{cm}$$

$$S_{\text{máx}} = \frac{M_{\text{máx}}}{\tau_{\text{adm}}} = \frac{2716.2}{1400} = 1.94 \text{cm}^3$$

El perfil de acero que se utilice debe tener un $S_{\text{máx}} > 1.94 \text{cm}^3$.

La lista de perfiles estructurales descrita anteriormente, aplica para este momento que es mayor por una mínima proporción, sin embargo todos los elementos cumplen con lo necesario para soportar esta carga.

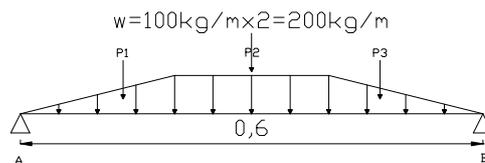
Caso 3: Análisis de la estructura de acero



$$q = 500 \text{ kg} / \text{m}^2$$

$$w = 500 \times 0.2 = 100 \text{ kg} / \text{m} = 1.0 \text{ kg} / \text{cm}$$

Estructura transversal (travesaño):



$$P_1 = \frac{200 \text{ kg} / \text{m} \times 0.2 \text{ m}}{2} = 20 \text{ kg} \quad \text{a} \quad 0.13333 \text{ m de } R_A.$$

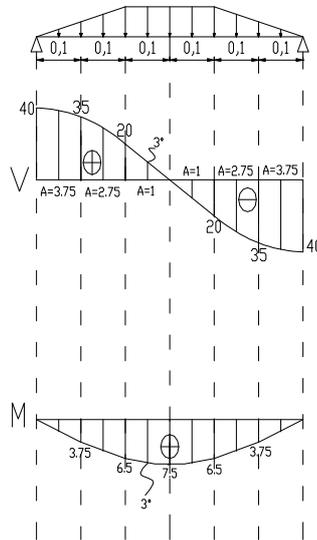
$$P_2 = 200 \text{ kg} / \text{m} \times 0.2 \text{ m} = 40 \text{ kg} \quad \text{a} \quad 0.3 \text{ m de } R_A.$$

$$P_3 = \frac{200 \text{ kg} / \text{m} \times 0.2 \text{ m}}{2} = 20 \text{ kg} \quad \text{a} \quad 0.46667 \text{ m de } R_A.$$

$$\sum F_y = R_A + R_B - 20 - 20 - 40 = 0$$

$$\sum M_A = 0.6 \times R_B - 0.13333 \times 20 - 0.3 \times 40 - 0.46667 \times 20 = 0 \quad \rightarrow \quad R_B = \frac{24}{0.6} = 40 \text{ kg}$$

$$R_A + 40 - 20 - 20 - 40 = 0 \quad \rightarrow \quad R_A = 40 \text{ kg}$$



$$V_{\text{máx}} = 40 \text{ kg}$$

$$M_{\text{máx}} = 7.5 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

Datos:

$$w = 2.0 \text{ kg} / \text{cm}$$

$$L = 60 \text{ cm}$$

$$E = 2100000 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

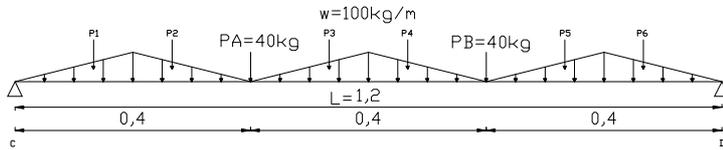
$$I = \frac{bh^3}{12} [\text{cm}^4]$$

$$I_{\text{TUBO } 25 \times 25 \times 1} = \frac{2.5 \times 2.5^3}{12} = 3.255 \text{ cm}^4$$

Deformación de la pieza:

La deformación de la pieza se expresa en el Anexo 6.

Estructura perimetral larga:



$$P_1 = \frac{100 \text{ kg/m} \times 0.2 \text{ m}}{2} = 10 \text{ kg} \quad \text{a} \quad 0.13333 \text{ m de } R_C.$$

$$P_2 = 10 \text{ kg} \quad \text{a} \quad 0.26667 \text{ m de } R_C.$$

$$P_3 = 10 \text{ kg} \quad \text{a} \quad 0.53333 \text{ m de } R_C.$$

$$P_4 = 10 \text{ kg} \quad \text{a} \quad 0.66667 \text{ m de } R_C.$$

$$P_5 = 10 \text{ kg} \quad \text{a} \quad 0.93333 \text{ m de } R_C.$$

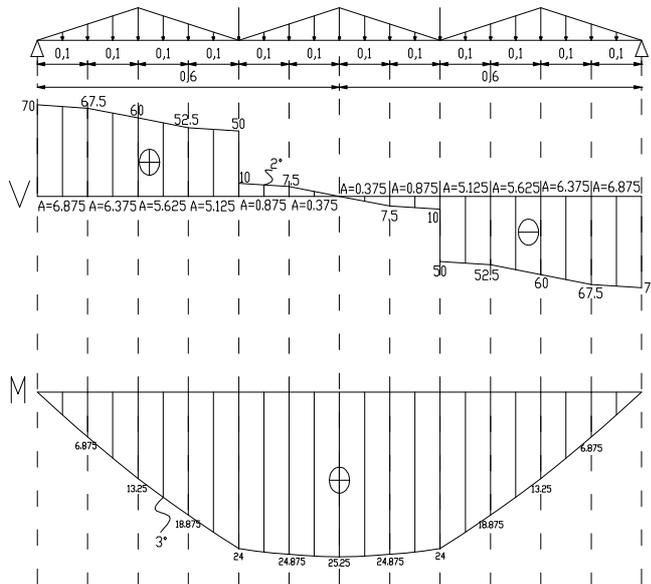
$$P_6 = 10 \text{ kg} \quad \text{a} \quad 1.06667 \text{ m de } R_C.$$

$$\sum F_y = R_C + R_D - 10 - 10 - 40 - 10 - 10 - 40 - 10 - 10 = 0$$

$$\sum M_A = 1.2 \times R_D - 0.13333 \times 10 - 0.26667 \times 10 - 0.4 \times 40 - 0.53333 \times 10 - 0.66667 \times 10 - 0.8 \times 40 -$$

$$0.93333 \times 10 - 1.06667 \times 10 = 0 \quad \rightarrow \quad R_D = \frac{84}{1.2} = 70 \text{ kg}$$

$$R_C + 70 - 10 - 10 - 40 - 10 - 10 - 40 - 10 - 10 = 0 \quad \rightarrow \quad R_C = 70 \text{ kg}$$



$$V_{\text{máx}} = 70 \text{ kg}$$

$$M_{\text{máx}} = 25.25 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

Datos:

$$w = 1.0 \text{ kg / cm}$$

$$L = 120 \text{ cm}$$

$$E = 2100000 \text{ kg / cm}^2$$

$$I = \frac{bh^3}{12} [\text{cm}^4]$$

$$I_{TUBO35 \times 35 \times 1.5} = \frac{3.5 \times 3.5^3}{12} = 12.5052 \text{ cm}^4$$

Deformación de la pieza:

La deformación de la pieza se expresa en el Anexo 7.

La deformación total, es la suma de la deformación de la estructura perimetral (en los apoyos de los travesaños) más la deformación de los perfiles transversales, es igual a:

$$\partial_{\text{máx}_{\text{travesaño}}} = 1.51 \text{ mm}$$

$$\partial_{\text{máx}_{\text{perimetral}}} = 5.02 \text{ mm}$$

$$\partial_{\text{perimetralapoyos}}^* = 4.37 \text{ mm}$$

$$\partial_{\text{máx}_{\text{total}}} = 1.51 + 4.42 = 5.93 \text{ mm}$$

*La deformación tomada en este punto es en el apoyo de los travesaños. Como los travesaños se encuentran apoyados a 0.2m hacia los lados, desde el centro, entonces la deflexión en ese punto es menor a la deformación máxima de estos perfiles. Sin embargo, la deflexión máxima total es mayor a la deflexión máxima de los perfiles perimetrales.

Esta deformación del encofrado no cumple con la deformación máxima admisible establecida por el código de la construcción analizado anteriormente, por lo tanto se debe aumentar el tamaño de los elementos estructurales.

Para poder determinar las dimensiones de la sección que cumpla con la deflexión admisible máxima y soporte la solicitud determinada se hace cálculos por tanteo seleccionando

secciones mayores a las predeterminadas. Los perfiles predeterminados se basaron en el momento resistente y las secciones nuevas deben ser mayores, entonces para solicitud máxima todas las opciones nuevas cumplen, por lo tanto el análisis de tanteo se lo hizo solo calculando la deflexión.

Las piezas determinadas para la parte estructural del tablero son:

Para la estructura perimetral, perfiles tubo cuadrados de 40x40x2mm y en los travesaños tubos cuadrados de 25x25x1.5mm.

El costo de estos elementos se muestra en la siguiente tabla:

Perfiles tubo de acero m		
Longitud (m)	Dimensio-namiento	Total \$
6	25x25x1.5	9.46
6	40x40x2	18.92

Perfiles tubo de acero m		
Longitud (m)	Dimensio-namiento	Total \$
1.04	25x25x1.5	1.64
3.6	40x40x2	11.35
Total (\$)		12.99

Tabla 4.5.- Costo de perfiles tubo por 6 metros (izquierda) y por tablero estándar 1.2x0.6m (derecha)

El peso de la estructura se muestra en la tabla a continuación:

Perfiles tubo de acero m		
Longitud (m)	Dimensio-namiento	Peso (kg)
6	25x25x1.5	6.24
6	40x40x2	13.62
Total (kg)		19.860

Perfiles tubo de acero m		
Longitud (m)	Dimensio-namiento	Peso (kg)
1.04	25x25x1.5	1.082
3.6	40x40x2	8.170
Total (kg)		9.252

Tabla 4.6.- Peso de perfiles tubo por 6 metros (izquierda) y por tablero estándar 1.2x0.6m (derecha)

Las propiedades mecánicas más importantes de los perfiles para el proyecto son:

Momento resistente (W_x):

- Tubo cuadrado 25x25x1.5mm: 0.95cm^3 .

- Tubo cuadrado 40x40x2mm: 3.39cm³.
- Deflexión máxima ($\delta_{m\acute{a}x}$):
- Tubo cuadrado 40x40x2mm en el centro: 2.584mm
- Tubo cuadrado 40x40x2mm a 0.2m del centro: 2.25mm
- Tubo cuadrado 25x25x1.5mm en el centro: 1.07mm

La flecha máxima del tablero es:

$$\delta_{m\acute{a}x}_{total} = 2.25 + 1.07 = 3.32mm$$

Con esto se cumple la resistencia a la solicitud máxima y la flecha es menor a la deflexión máxima admisible.

La deflexión se encuentra en el Anexo 8.

Cálculo de pernos

El esfuerzo de ruptura del perno es

$$\tau = 1040 MPa = 104kg / cm^2$$

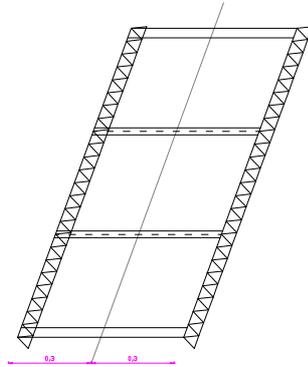
El área de corte del perno es

$$Ac_{perno} = \frac{0.6^2 \times \pi}{4} = 0.282743cm^2$$

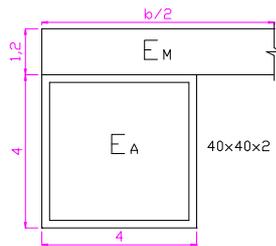
La fuerza de corte del perno es

$$Fc_{perno} = \tau_{perno} \times Ac_{perno} = 29.4053kg$$

Fuerza de flujo de cortante sección larga:



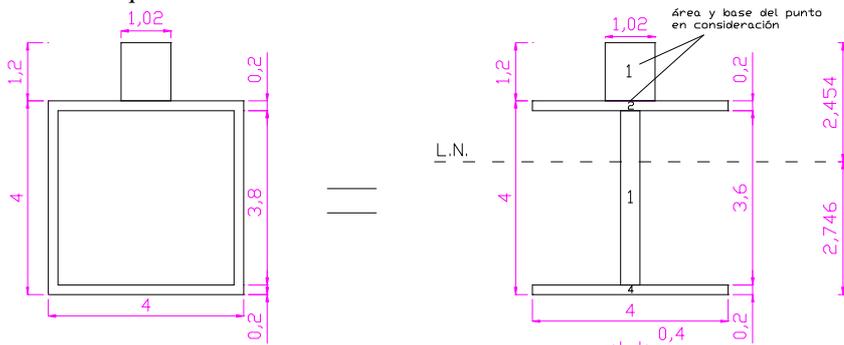
$E_M = 71388 \text{ kg/cm}^2$
 $E_A = 2100000 \text{ kg/cm}^2$
 $b/2 = 30 \text{ cm}$



Para transformar la sección:

$$\frac{E_M}{E_A} \times \frac{b}{2} = \frac{71388}{2100000} \times 30 = 1.02 \text{ cm}$$

La nueva sección queda:



$$A_1 = 1.224cm^2$$

$$A_2 = 0.8cm^2$$

$$A_3 = 1.44cm^2$$

$$A_4 = 0.8cm^2$$

$$\sum A = 4.264cm^2$$

$$\bar{y} = \frac{1.224 \times 4.6 + 0.8 \times 3.9 + 1.44 \times 2.0 + 0.8 \times 0.1}{4.264} = 2.746cm$$

$$V = 90kg$$

$$Q = 1.02 \times 1.2 \times 0.6 = 0.7344cm^3$$

$$b = 1.02cm$$

$$I_1 = \frac{1.02 \times 1.2^3}{12} + 1.224(2.454 - 0.6)^2 = 4.35415cm^4$$

$$I_2 = \frac{4.0 \times 0.2^3}{12} + 0.8(1.154)^2 = 1.06804cm^4$$

$$I_3 = \frac{0.4 \times 3.6^3}{12} + 1.44(0.746)^2 = 2.35658cm^4$$

$$I_4 = \frac{4.0 \times 0.2^3}{12} + 0.8(2.746 - 0.1)^2 = 5.60372cm^4$$

$$\sum I = 13.3825cm^4$$

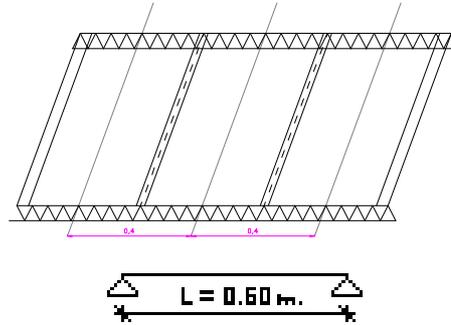
$$\tau = \frac{V \times Q}{I \times b} = \frac{90 \times 0.7344}{13.3825 \times 1.02} = \frac{66.096}{13.6501} = 4.84215kg / cm^2$$

Fuerza de flujo cortante sección larga:

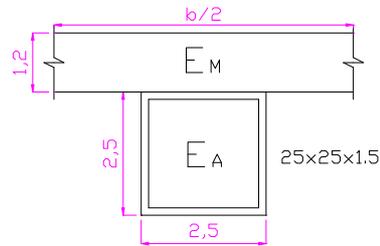
$$F_c = 4 \times 4.84215 = 19.3686kg / cm$$

$$F_{TOTAL} = \frac{F_{corte}}{F_{perno}} = \frac{19.3686}{29.40531} = 0.658676pernos \approx 1perno$$

Fuerza de flujo de cortante travesaño:



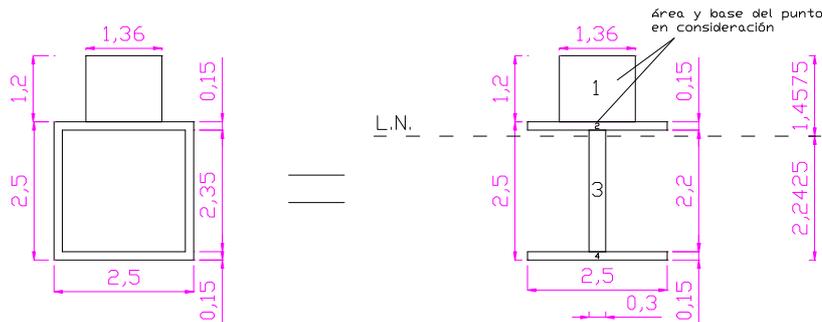
$E_M = 71388 \text{ kg/cm}^2$
 $E_A = 2100000 \text{ kg/cm}^2$
 $b/2 = 40 \text{ cm}$



Para transformar la sección:

$$\frac{E_M}{E_A} \times \frac{b}{2} = \frac{71388}{2100000} \times 40 = 1.36 \text{ cm}$$

La nueva sección queda:



$A_1 = 1.632 \text{ cm}^2$
 $A_2 = 0.375 \text{ cm}^2$
 $A_3 = 0.66 \text{ cm}^2$
 $A_4 = 0.375 \text{ cm}^2$
 $\sum A = 3.042 \text{ cm}^2$

$$\bar{y} = \frac{1.632 \times 3.1 + 0.375 \times 2.425 + 0.66 \times 1.25 + 0.375 \times 0.075}{3.042} = 2.2425 \text{ cm}$$

$$V = 60 \text{ kg}$$

$$Q = 1.36 \times 1.2 \times 0.6 = 0.9792 \text{ cm}^3$$

$$b = 1.36 \text{ cm}$$

$$I_1 = \frac{1.36 \times 1.2^3}{12} + 1.632(1.4575 - 0.6)^2 = 1.39586 \text{ cm}^4$$

$$I_2 = \frac{2.5 \times 0.15^3}{12} + 0.375(0.1825)^2 = 0.013193 \text{ cm}^4$$

$$I_3 = \frac{0.3 \times 2.2^3}{12} + 0.66(0.9925)^2 = 0.916337 \text{ cm}^4$$

$$I_4 = \frac{2.5 \times 0.15^3}{12} + 0.375(2.2425 - 0.075)^2 = 1.76247 \text{ cm}^4$$

$$\sum I = 4.08786 \text{ cm}^4$$

$$\tau = \frac{V \times Q}{I \times b} = \frac{60 \times 0.9792}{4.08786 \times 1.36} = \frac{58.752}{5.5595} = 10.5679 \text{ kg / cm}^2$$

Fuerza de flujo cortante travesaño:

$$F_c = 2.5 \times 10.5679 = 26.4197 \text{ kg / cm}$$

$$F_{TOTAL} = \frac{F_{corte}}{F_{perno}} = \frac{26.4197}{29.40531} = 0.898466 \text{ pernos} \approx 1 \text{ perno}$$

La fuerza que transmite el hormigón al encofrado es de 2400 kg/m^3 , por lo tanto los 500 kg/m^2 corresponde a una losa maciza de 20cm de espesor o una losa alivianada de 25cm.

Los valores de cálculo del encofrado también incluyen la carga viva producida por trabajadores, equipos como vibradores, andamios, carretillas y herramientas menores, también el peso producido por el hormigón que en algunos casos se apila en un sitio que puede generar carga directa al encofrado, especialmente cuando se trata de un hormigón fabricado en sitio. También se producen cargas vivas por vibración del concreto y otras no muy comunes como viento y sismos.

Los planos de diseño del tablero en vista lateral y en planta se observa en el anexo 13.

4.10 Control de Etapas

El control de etapas se encuentra en la tabla a continuación:

	Cumple	No Cumple
Planificación de Diseño y Desarrollo.	√	
Calidad Normativa de Entrada. CNE	√	
Calidad de Cliente de Entrada. CCE	√	
Calidad Atractiva de Entrada. CAE	√	
Calidad Normativa de Salida. CNS	√	
Calidad de Cliente de Salida. CCS	√	
Calidad Atractiva de Salida. CAS	√	
Especificaciones Técnicas.	√	
Algoritmo de Diseño.	√	
Banco de materiales posibles.	√	
Banco de materiales por costo.	√	
Diseño Estructural.	√	
Control Etapas.	√	
Control Verificación.	√	
Prototipo.	√	
Control Validación.	√	

Tabla 4.7.- Control de etapas del proyecto.

4.11 Verificación

El control por verificación de estandarización y especificaciones técnicas se lo realiza con el mismo método que el control de etapas. Está detallado en la tabla a continuación:

	Cumple	No Cumple
Determinación de materiales para el producto	√	
Estandarización de CCS:		
Liviano y resistente.	√	
Modulado.	√	
Bajo costo.	√	
Textura adecuada.	√	
Que permita un excelente acabado en el hormigón	√	
Fácil manipulación.	√	
Alta durabilidad.	√	
Resistente a la humedad.	√	
Que permita una adecuada estanqueidad del hormigón.	√	
Estandarización de CAS:		
Bajo peso.	√	
Permitir alto grado de reutilización.	√	
Presencia estética muy agradable.	√	
Fácil limpieza.*		x

Tabla 4.8.- Control de verificación de especificaciones técnicas.

* La fácil limpieza del producto se aprueba en la opción 1, ya que el acero es un material que se puede limpiar muy fácilmente, pero en el caso de la madera se requiere mucho más trabajo por la diferencia entre superficies. El uso de desencofrante en la madera puede aumentar esa facilidad de limpieza.

Tras el diseño estructural del tablero de encofrado se logró determinar las dimensiones y características definitivas de la pieza. Concluyendo en un producto compuesto por los siguientes materiales:

Opción 1:

Tablero: Triplex marino de 12mm de espesor (1.20m x 0.60m)

Recubrimiento: Tol de acero galvanizado de 0.4mm de espesor unido con remaches.

Estructura: Perfiles tubo □ (tubos: 40x40x2mm perimetrales y 25x25x1.5mm centrales) de acero A36 dulce, galvanizados posteriormente.

Ensamblaje: Pernos de 30mm x 6mm para los perimetrales y de 50mm x 6mm en los travesaños.

Este encofrado tiene un costo de fabricación de \$50.00 (incluye impuestos) y un peso de 17.00kg.

El tablero puede durar casi en la totalidad de la vida útil del material con un mantenimiento y revisión de las piezas, especialmente de la madera para que cumpla con la norma NTE 2342 de *Especificaciones Técnicas*.

La estructura que tiene un recubrimiento galvanizado de 86 micrones, su vida útil varía de acuerdo a la atmósfera donde se utilice: Atmósfera rural 50 años, marino tropical 39 años, marino templado 35 años, suburbano 29 años, moderadamente industrial 24 años e industrial pesado 15 años, hasta un 5% de oxidación en la superficie.

Opción 2:

Tablero: Duratriplex de 12mm de espesor (1.20m x 0.60m)

Recubrimiento: N/A

Estructura: Perfiles tubo □ (tubos: 40x40x2mm perimetrales y 25x25x1.5mm centrales) de acero A36 dulce posteriormente galvanizados.

Ensamblaje: Pernos de 30mm x 6mm para los perimetrales y de 50mm x 6mm en los travesaños.

Este tablero tiene un costo de fabricación de \$39.00 (incluye impuestos) y su peso es de 14.50kg. El valor de este encofrado por cada uso es de 32.5 centavos.

El tablero de este encofrado durará 120 veces y su estructura que tiene un recubrimiento galvanizado de 96 micrones, su resistencia está a continuación:

- Atmósfera rural 57 años, marino tropical 43 años, marino templado 39 años, suburbano 32 años, moderadamente industrial 28 años e industrial pesado 15 años.

4.12 Desarrollo del prototipo

Para fabricar los tableros de encofrado se debe seguir el siguiente proceso.

Para el tablero de la opción 1:

El triplex marino es una madera contrachapada resistente a la humedad, pero no lo suficiente como para utilizarla como encofrado con contacto directo de su superficie a la del hormigón, por lo tanto se conformará con un recubrimiento de tol de acero galvanizado, con un espesor de 0,40mm.

Para conformar el tablero, se deben cortar los materiales a las medidas exactas. La madera debe tener medidas de 1.20 x 0.60m se corta de forma transversal del tablero de 2.44 x 1.22m como se observa en la figura:

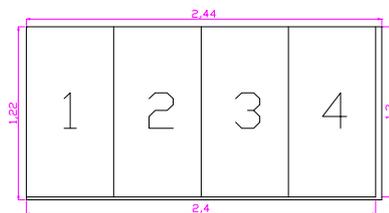


Figura 4.1.- Corte de la madera.

Los tableros cortados así, tendrán un módulo de elasticidad promedio de 71388kg/cm^2 en la dirección larga del tablero y se genera un desperdicio del 3.25% del material.



Foto 4.1.- Corte de madera sección transversal.

El tol de acero sirve para darle mayor durabilidad y número de reutilizaciones al encofrado. El acero es un material impermeabilizante pero depende de sus características para resistir a la humedad (*debe ser galvanizado o inoxidable*), es un elemento fácil de separar del hormigón y junto a la madera forman un elemento rígido del tablero. La forma de corte del tol se observa en el anexo 10.1. El corte es de 1.22 x 0.624m y se dobla hacia los laterales (*en dirección corta 1.0cm y en dirección larga 1.2cm a cada lado*).

El tol será doblado donde indica la línea punteada y se unirá a los extremos laterales de la madera con remaches que permitan mantener los lados del tablero lisos. Esto se realiza después de la unión del tablero de madera a la estructura de acero.

El acero es un material muy resistente, acero A36, al carbono o dulce (*el existente en el mercado nacional*), por lo tanto es importante galvanizarlo para darle resistencia ante los agentes corrosivos.

El corte de los perfiles para la estructura perimetral debe variar, ya que es irregular la cantidad de piezas que salen para varios tableros de un tubo de 6m que es la medida estándar en que se fabrican, por lo tanto se necesitan 3 perfiles de 6m para 5 tableros de encofrados, lo que genera el 4.44% de desperdicios del total de 18m, con una longitud de 80cm. Los cortes son a 45°. La forma del corte se observan en la figura 4.2.

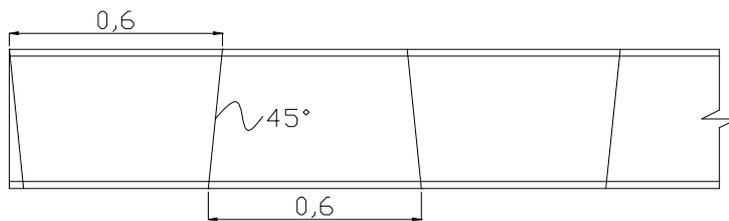


Figura 4.2.-Corte de los perfiles de acero.

Los cortes para los travesaños son verticales, cada 52cm, lo que genera 11 piezas de un perfil de 6m, dejando un 4.667% de desperdicios que equivale a 28cm. La cantidad de pedazos que se obtienen alcanzan para 5 tableros, dejando uno libre.



Foto 4.2.- Corte de perfiles de acero a 45° y rectos.

Para unir las piezas y formar la estructura se utilizara suelda mig253c uniendo las piezas completamente como se observa en la figura.

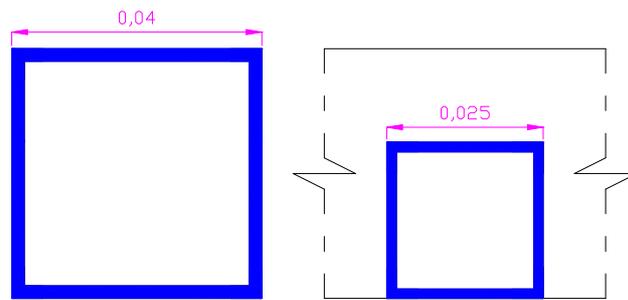


Figura 4.3.-Suelda vista frontal (Izquierda: Perimetral; Derecha: Travesaño).

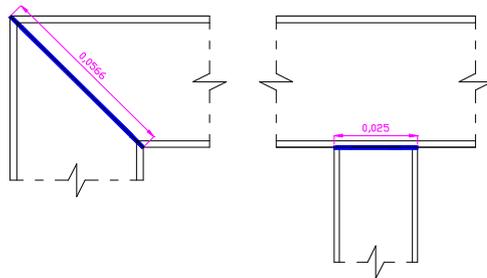


Figura 4.4.-Suelda vista en planta (Izquierda: Perimetral; Derecha: Travesaño).



Foto 4.3.- Suelda de los perfiles.



Foto 4.4.- Marco soldado.

Los perfiles tubo que cumplen con todos los requisitos de diseño se unirán al tablero utilizando pernos de cabeza con un diámetro de 1.2cm, cuerpo de 0.6cm y una altura de 3.0cm como se ve en la foto 4.5.

Las perforaciones y cortes de los perfiles de acero se puede observar en el anexo 10.2 para vista lateral y 10.3 para vista en planta.



Foto 4.5.- Perno de 30 x 6mm.

Las perforaciones se realizarán con una broca de cobalto que sirve para perforar acero y se pasará el perno uniendo los elementos (foto 4.6). El perno será ajustado con tuerca que tiene nylon en uno de sus extremos internos, esto sirve para ajustar elementos que se encuentren bajo vibración. El nylon se junta con la rosca del perno evitando que este se afloje cuando exista un movimiento de vibración y se puede sacar y reutilizar hasta tres veces.



Foto 4.6.- Perforaciones para empernar.

Este método de pernos sirve para cuando el tablero ya no esté en condiciones aceptables para trabajar, entonces se mantiene la estructura y se coloca un nuevo tablero de madera.

Para finalizar se galvaniza la estructura de acero con el método de inmersión de galvanizado en caliente, donde se baña al material con zinc. En la foto 4.7 se encuentra la estructura galvanizada lista para ser ensamblada al tablero.

Los pernos se galvanizan con centrifuga, ya que son materiales pequeños y de bajo peso.

Al tener todas las piezas listas se procede a armar.

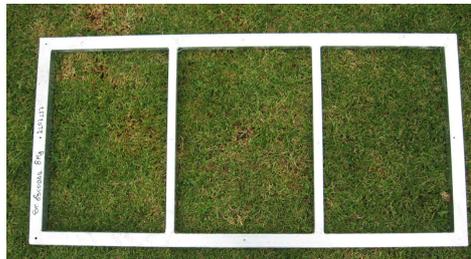


Foto 4.7.- Estructura galvanizada.

Haciendo un recuento total del ensamblaje de la opción 1, la se obtiene lo siguiente:

1. Cortar la madera.
2. Cortar y doblar el tol de 0.4mm de espesor.
3. Cortar los perfiles.
4. Soldar los perfiles de hierro.
5. Perforar la estructura y el tablero para el ensamblaje y para la unión entre tableros.

6. Galvanizar la estructura y los elementos de ensamblaje (pernos, tuercas).
7. Ensamblar el tablero de madera con la estructura usando los pernos.
8. Pegar el tol sobre la superficie uniendo los laterales con remaches.

Así se completa la opción 1 del tablero.

Para el tablero de la opción 2:

El duratriplex es una madera contrachapada con una resina en su superficie que permite gran durabilidad, garantizando una reutilización de hasta 120 veces como encofrado. Este elemento será de 12mm de espesor, 1.20m de largo y 0.60m de ancho.

El tablero es diferente al de la opción 1, pero la estructura es la misma, por lo tanto los tipos de corte y ensamblaje serán los mismos para este tipo de encofrado. Como éste carece de recubrimiento, se debe omitir todos los pasos referentes al tol galvanizado de 0.4mm.

Haciendo un recuento total del ensamblaje de la opción 2, la se obtiene lo siguiente:

1. Cortar la madera.
2. Cortar los perfiles.
3. Soldar los perfiles de hierro.
4. Perforar la estructura y el tablero para el ensamblaje y para la unión entre tableros.
5. Galvanizar la estructura y los elementos de ensamblaje (pernos, tuercas).
6. Ensamblar el tablero de madera con la estructura usando los tornillos.

4.13 Control: Validación

El proceso de fabricación y el mismo prototipo se somete a un control, donde se aprueba si cumple o no cumple los requisitos especificados. Es un control de calidad sobre el producto que va a salir al mercado. La tabla 4.7 muestra el control de validación para la opción 1 y la

tabla 4.8 para la opción 2. Algunos pasos no se cumplieron debido a problemas de tiempo, procesos que deben ser verificados y seguidos con un control visual.

	Cumple	No Cumple
Corte de madera de forma transversal	√	
Corte de madera medidas 1.20 x 0.60m	√	
Corte de tol de acero galvanizado medidas 1.22 x 0.624m		x
Doblado para tener medidas de 1.20 x 0.60m		x
Corte de perfiles 40x40x2mm longitud 1.20m con extremos a 45°	√	
Corte de perfiles 40x40x2mm longitud 0.60m con extremos a 45°	√	
Corte de perfiles 25x25x1.5mm longitud de 0.52m con extremos a 45°	√	
Suelda mig253c alrededor de cada unión	√	
Marco exterior ensamblado con medidas perfectas de 1.20 x 0.60m	√	
Suelda de los travesaños al nivel de la superficie de la estructura	√	
Distancia de extremo a centro de travesaño de 0.40m	√	
Perforado de madera y acero como indica el plano en el anexo 9	√	
Galvanizado completo del marco de acero completo exterior e interior	√	
Galvanizado de piezas de ensamblaje, pernos y tuercas	√	
Ensamblaje de tablero con el ajuste adecuado	√	
Pegado de tol de acero sobre el tablero		x

Tabla 4.9.- Control de validación opción 1.

	Conforme	No Conforme
Corte de madera de forma transversal	√	
Corte de madera medidas 1.20 x 0.60m	√	
Corte de perfiles 40x40x2mm longitud 1.20m con extremos a 45°	√	
Corte de perfiles 40x40x2mm longitud 0.60m con extremos a 45°	√	
Corte de perfiles 25x25x1.5mm longitud de 0.52m con extremos a 45°	√	
Suelda mig253c alrededor de cada unión	√	
Marco exterior ensamblado con medidas perfectas de 1.20 x 0.60m	√	
Suelda de los travesaños al nivel de la superficie de la estructura	√	
Distancia de extremo a centro de travesaño de 0.40m	√	
Perforado de madera y acero como indica el plano en el anexo 9	√	
Galvanizado completo del marco de acero completo exterior e interior	√	
Galvanizado de piezas de ensamblaje, pernos y tuercas	√	
Ensamblaje de tablero con el ajuste adecuado	√	

Tabla 4.10.- Control de validación opción 2.

Referencias bibliográficas:

- 4.1 “Plywood Design Specification,” APA-The Engineered Wood Association, Tacoma, Wash., 1997, 32pp.
- 4.2 “Specifications for Structural Steel Buildings-Allowable Stress Design and Plastic Design,” American Institute of Steel Construction, Chicago, Ill., 1989, 220p.
- 4.3 #Specifications for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members,” American Iron and Steel Institute, Washington, D.C., 1994.
- 4.4 Hurd, M. K., “Expand Your Forming Options,” *Concrete Construction*, V. 42, No 9, Sept. 1997, pp. 725-728.
- 4.5 *Aluminum Design Manual: Specifications & Guidelines for Aluminum Structures*, The Aluminum Association, Washington, D.C., 1994.
- 4.6 Hurd, M. K., “Using Glass-Fiber-Reinforced-Plastic Forms,” *Concrete Construction*, V. 42, No 9, 1997, 689pp.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

Conclusión viene de la palabra “*finalización*” o “*cierre*” de un proyecto o evento. Es la crítica y opinión sobre la elaboración y los resultados, mediante un criterio y punto de vista personal de los autores. Se analiza cada capítulo rescatando las cualidades del proyecto y si el resultado final cumple con los objetivos y metas.

- El campo de la Ingeniería Civil es muy amplio, sin embargo, el uso del encofrado es muy común y se encuentra prácticamente en casi todos los campos y casi todas las obras, por lo tanto es un material importante y representativo dentro de la construcción civil.

- El encofrado es un producto que por su costo, peso y reutilización puede resultar como un material costoso, puede encarecer una obra y retrasarla en su totalidad.

El rubro encofrado se mide por m². Es un material más representativo e importante en proyectos de grandes cantidades de hormigón.

- A diferencia de otros países en nuestro mercado existe la falta de investigación y desarrollo en los encofrados, ya que son poco los que han realizado nuevos sistemas que han sido utilizados por estas mismas empresas o individuos. Los productos que se ofrecen en el mercado siguen siendo los mismos analizados con los problemas que cada uno tiene.

- Para determinar un problema, se debe plantear todos los detalles y las características de éste, que sean pertinentes y tengan una influencia sobre el inconveniente, así se tiene un punto de partida para comenzar un análisis de la solución.

Con el árbol del problema se enlistan todas las dificultades y defectos de los productos actuales, con su respectiva explicación. Se desechan los no válidos y se obtiene el *problema* como resultado. Para compensar esto se hace el árbol de la solución, se ataca no solo al *problema* sino a todas las características que forman base del inconveniente, cubriendo todas las dificultades y obteniendo la solución que representa el objetivo del producto.

- El árbol del problema y de la solución es una herramienta muy importante para la determinación de problemas y soluciones de cualquier tipo, es una herramienta poco utilizada, pero debería ser más aplicada a nivel profesional.

- Obtenida la solución, se entró al análisis de los materiales posibles, elementos para ensamblar, formas para mejorar la manipulación y transporte, y se investigó sobre el método de creación para aplicar en un nuevo producto de encofrados.

- Se determinaron las características físicas y mecánicas para determinar su procedencia, cuáles elementos son mejores, sus resistencias y cualidades, también su costo en el mercado y las formas en las que vienen para saber como aprovechar el material de mejor manera. Con esta información se puede clasificar y seleccionar de manera general los elementos más aptos para el producto.

- La información técnica de los materiales fue difícil conseguir en empresas distribuidoras y comerciales de los productos, ya que clasifican a esta información como secreta, por esto en su mayoría se encontró en Internet y poca en libros sobre materiales.
- Los costos de los materiales varían dependiendo de la demanda de éstos. Algunos materiales tienen valores muy altos con respecto a otros especialmente si son nacionales o de importación. Conseguir esta información fue fácil gracias a la gran cantidad de empresas comerciales que venden estos materiales y la información necesaria se consiguió por cotizaciones y respuestas informales.
- Se determinaron formas de compatibilidad y anclaje entre materiales, en caso de ser necesario se aplicó lo más conveniente en base a los objetivos y la solución.
- El método de diseño y desarrollo basado en la Norma 7.3 de la ISO9001:2000, es una herramienta con un proceso para diseñar y desarrollar un producto de calidad.
- La planificación es muy importante para proyectar todas las actividades del proceso de diseño y desarrollo. Es un programa completo que ayuda a controlar paso a paso qué, dónde, quién, cuándo y cómo se hace, así se tiene un seguimiento de los procesos para desarrollar un producto de calidad.
- La metodología explicada permite entender todos los funcionamientos, aplicaciones y entender la procedencia de los resultados que se obtendrán de cada paso.
- Los elementos de calidad normativa de entrada fueron los más difíciles de conseguir. Las normas ecuatorianas no poseen ningún tipo de normas ni leyes referentes a encofrados. Lo obtenido de las normas INEN son sobre materiales, donde se especifican ensayos de éstos. Las normas internacionales no tienen específicamente normas sobre encofrados ni prefabricados de los mismos, pero la ISO, ASTM, DIN tienen normas sobre materiales aplicables a ellos como la INEN pero de manera más específica; y la ACI tiene normas sobre materiales relacionados a los diferentes tipos de encofrados.
- La calidad de cliente de entrada tuvo excelentes resultados. Un grupo focal es una mejor forma de determinar las características que el cliente quiere para su producto, porque es un número pequeño de personas que desempeñan diferentes puestos y tienen diferentes puntos de vista. Este grupo se transforma en un grupo multidisciplinario que discute y concluye con resultados favorables para la organización que desarrolla el producto.
- La calidad de atractiva de entrada es simplemente los ingredientes adicionales, necesarios o no necesarios, a los determinados en el CCE para dar un toque de originalidad al producto.

- Los elementos de salida son las listas de entrada procesadas mediante la adopción de normas y el análisis técnico-económico de la CCE y CAE. Los resultados resultan muy favorables para el producto, los elementos que no se aprobaron fue por dificultades técnico-económicas y por presentar características que desviaban al producto del objetivo principal.

- En la estandarización se logró poner parámetros al producto, tales como peso máximo permitido que puede tener (20kg), la presión máxima de hormigón que va a resistir (500kg/cm^2), los tamaños y modulación (1.20 x 0.60m estándar), el costo que debe ser máximo de \$50 para su fabricación, se determinó los materiales perfectos para satisfacer los acabados requeridos por el cliente, la reutilización del producto y la resistencia a la humedad.

- El banco de materiales posibles fue un proceso muy sencillo de realizar, se desecharon los materiales que no cumplían con las especificaciones técnicas y el producto quedó casi definido en su totalidad. Es un método muy efectivo para la definición de los elementos o “ingredientes” necesarios para el diseño estructural, ya que sin estas bases no se puede realizar este tipo de diseño. Si se saltaría al diseño estructural directamente, los resultados serían alejados a lo que se desea obtener, ya que no habría ningún tipo de organización y se permanecería en un estado de prediseño por mucho más del tiempo necesario.

- El banco de materiales por costo permitió una selección más rigurosa y prolija sobre los materiales de la selección anterior. En este punto se obtuvo en definitiva los elementos necesarios para el encofrado con lo justo para conformar los dos tipos de tableros especificados en *Estandarización* (4.8). Esta fase resultó perfecta, ya que ni faltaron, ni sobraron elementos que podían complicar el proceso.

En esta etapa se cumplió con las especificaciones técnicas y además se definió teóricamente el producto, que luego sometiéndoselo al análisis estructural se hicieron las variaciones en base al modelo fijado.

- En el diseño se obtuvieron los resultados de los tamaños de la sección para la carga máxima propuesta. Los perfiles estructurales tubo cuadrado para el perímetro del marco resultaron de 40x40x2mm, con un momento resistente de 3.39cm^3 , que es 1.75 veces mayor al momento resistente mínimo admisible de la estructura larga de 1.20 y 5.30 veces mayor en el sentido corto. El factor de seguridad para la estructura larga es de 75% y la corta de más del 500%.

Los tubos cuadrados 25x25x1.5mm de los travesaños tienen un momento resistente máximo de 0.95cm^3 que representa 1.48 veces el momento resistente máximo de diseño, lo que implica que tiene un factor de seguridad de 48%.

- La deflexión máxima permitida es de 3.333mm. La deflexión máxima de la viga perimetral de 1.20m es de 2.584mm, a 0.40 metros (donde nacen los travesaños) es de 2.25mm y en los travesaños la deflexión máxima es de 1.07mm. El total en la deflexión del marco entero en su punto más crítico es de 3.320mm, que cumple con el requisito según el código de la construcción.

- La resistencia de cada perno de 30mm x 6mm es de 29.40531kg. En la viga larga la fuerza de flujo cortante es de 19.3686, lo que significa que se necesita un perno para sujetar el tablero con la estructura. Por cuestiones de diseño y seguridad ante el maltrato, se colocarán uno en cada esquina y otro en el centro. El flujo cortante en los travesaños es de 26.4197kg, que es igual a un perno en esta sección, el que se ubicó en el centro de la misma. El total de pernos que unirán el tablero con la estructura son 10 distribuidos de forma simétrica.

- El control de etapa cumple con todos los requisitos para satisfacer al producto final. No se necesitó retroalimentación ni corrección en ningún punto, ya que se cumplen satisfactoriamente todas las fases del método.

La calidad normativa de salida aprueba varias normas importantes para el desarrollo del producto, de las cuales solo pocas pudieron ser estandarizadas, porque muchas que se encuentran referidas en el capítulo 4, no se pudieron localizar debido a que eran normas internacionales y cada una se encontraba en libros diferentes y secciones diferentes. Sin embargo, este paso es importante y se debe llegar a las normas como sea posible.

- El control de verificación no aprobó fácil limpieza, ya que depende de factores ajenos a este proyecto. Para obtener una mejor limpieza se requiere la aplicación de desencofrantes en el tablero antes de su uso.

- El desarrollo del prototipo permite una supervisión visual para seguir todos los procesos en los que éste se somete, se lo puede comprobar con fotos y el control de verificación.

El control de verificación se hizo con cada opción, y los pasos que el proyecto no cumple en este control son por problemas de tiempo y económicos, que en el momento de elaboración del producto se pueden corregir.

- La empresa Bagant S.A. de encofrados metálicos de acero dulce A36, tiene un precio de venta al público de \$40.71 y el peso de un tablero de 1.20m x 0.60m es de 35kg. A este tablero se le da un mantenimiento después de cada alquiler, donde al material se cogen fallas, puntos de suelda, se realizan pruebas de carga y otros, que son necesarios para asegurar la vida útil del material que es de 15 años. Si una persona o empresa adquiere este producto es poco probable que pueda realizar este tipo de mantenimiento requerido por el material. El acero dulce es muy susceptible a oxidarse, porque no cuenta con ningún tipo de protección ante los agentes corrosivos, lo que hace que este pierda sus facultades y propiedades mecánicas.

Este es un tablero comparado con la opción 1, el costo de venta es menor que el costo de fabricación de la opción 1. El mantenimiento del encofrado de este proyecto es más sencillo, ya que el tol de acero puede ser reemplazado cuando su superficie no sea apta para cumplir con los requisitos del cliente, lo cual puede ser de 10 años si se da un mantenimiento de la estructura, que consiste sencillamente en limpieza y ajuste de piezas. Este es un acero que resiste muy bien ante agentes corrosivos. La parte rígida de este tablero es madera triplex marina, que si se encuentra debidamente protegida va a durar años, sin que esta presente problemas como pudrimiento, polillas, rajaduras y otros. Este tablero se debe reemplazar cuando no cumpla con la norma NTE 2342 de *Especificaciones Técnicas* (4.8). El costo de reparación de este producto es de aproximadamente \$16.00 que resulta accesible teniendo en cuenta el tiempo en el que esto se requiere.

El peso de la opción 1 es de 17kg, lo que representa menos de la mitad del encofrado metálico, lo que significa que por cada tablero metálico que se traslade de un lugar a otro por una persona, esa misma persona puede llevar dos tableros de este proyecto, o si dos personas cargan uno solo metálico, dos personas puede llevar cada uno un tablero y de manera más rápida. Esto también se aplica para el armado del encofrado. Lo que significa que se ahorra en mitad a la mano de obra necesaria para manipular y trasladar el producto, o se ahorra la mitad del tiempo utilizando la misma cantidad de mano de obra para manipular el producto de Bagant.

- La opción 2, presenta como competencia a la empresa INTACO S.A., que distribuye para venta o alquiler un producto semejante. Este es un producto importado de Estados Unidos, de la empresa Symons. El mismo tiene un costo de \$107.00 más impuestos, que suma un poco menos de \$120.00. Su peso es de 28kg. El mantenimiento que se le da es mínimo, alcanza las 200 reutilizaciones y el tablero es reemplazado, lo que genera un gasto adicional, pero bajo.

Si una empresa adquiere este producto, el tablero que va a conseguir con similares características a este es el duratriplex que se encuentra en el país, que es el mismo utilizado en este proyecto, con 120 reutilizaciones. Necesita de remaches importados que no se encuentran aquí y además las estructuras de los tableros de esta empresa se las encuentra en condiciones pobres y en mal estado.

El valor de este producto es 4 veces mayor al costo de fabricación de la opción 2. El peso es casi el doble (exactamente 1.93 veces), y el costo por cada uso es de 32.5 centavos comparado con el de INTACO, que es de 60 centavos. El costo por uso es de los tableros de INTACO es 1.85 veces mayor al prefabricado de este proyecto.

Teniendo en cuenta el peso, se aplica exactamente los mismos factores que con el producto metálico de Bagant, ya que el peso es casi el doble, entonces la manipulación y el traslado se lo toma de igual manera, lo que significa que se ahorra la mitad de tiempo o la mitad de mano de obra en esta actividad.