

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

ESCUELA DE CIVIL

DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

“Análisis comparativo de factibilidad técnica y económica entre casetones de telgopor de alta densidad y encofrados modulares semiesféricos de caucho reciclado usado como sistema de alivianamiento en losas.”

NOMBRE: JUAN SEBASTIÁN VILLACÍS MARTÍNEZ

DIRECTOR: ING. ESTUARDO PÁEZ

QUITO

2018

Índice de Capítulos

1. RESUMEN.....	1
2. INTRODUCCIÓN	2
2.1. OBJETIVOS	3
2.1.1. GENERAL	3
2.1.2. ESPECÍFICOS	3
CAPÍTULO I.....	4
3. Parámetros técnicos de losas alivianadas	4
3.1. Origen de los casetones modulares	4
3.2. Especificaciones técnicas de los alivianamientos tradicionales	7
3.3. Especificaciones técnicas del alivianamiento de caucho reciclado	11
3.4. Aspectos técnicos del proceso constructivo con casetones modulares.....	16
CAPÍTULO II	21
4. Parámetros económicos de losas alivianadas	21
4.1. Beneficios económicos de losas alivianadas	21
4.2. Análisis económico de casetones modulares tradicionales	23
4.3. Análisis económico de casetones modulares de caucho reciclado	29
CAPÍTULO III.....	36
5. Marco comparativo de los casetones en estudio	36
5.1. Ventajas y Desventajas del casetón tradicional.....	36
5.2. Ventajas y Desventajas con casetones Semiesféricos de caucho reciclado.....	40
CAPÍTULO IV	43
6. Conclusiones y Recomendaciones	43
6.1. Conclusiones	43
6.2. Recomendaciones.....	45
7. BIBLIOGRAFÍA.....	46

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1: Casetón de Cerámica	5
Fotografía 2: Casetón de Hormigón vibrado	6
Fotografía 3: Casetón de Poliestireno expandido	6
Fotografía 4: Casetón Fibra de vidrio.....	7
Fotografía 5: Paso dos del uso del casetón modular.....	10
Fotografía 6: Porcentajes de composición de neumáticos.....	12
Fotografía 7: Acarreo manual de casetones en obra.....	17
Fotografía 8:Aseguramiento de casetones ubicados y alineados	18
Fotografía 9: Retiro de casetón modular	19
Fotografía 10: Losa con casetones modulares reutilizados	20
Fotografía 11: Diseño computacional de casetón modular semiesférico	30
Fotografía 12: Apilado de casetones tradicionales	36
Fotografía 13: Losa armada con casetones tradicionales	37
Fotografía 14: Retiro de casetón tradicional con herramienta inadecuada.....	38
Fotografía 15: Ruptura de casetón por falta de elementos de soporte.....	39
Fotografía 16:Casetón de caucho reciclado con agarraderas para el desmontaje.....	40
Fotografía 17: Estructura de apoyo en forma de cruz para casetones de caucho reciclado	41
Fotografía 18: Apilado de casetones de caucho reciclado.....	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Comparación acarreo de material.....	9
Figura 2: Pesos de cada tipo de aliviamiento	16
Figura 3: Costos porcentuales para losa fundida in-situ.	22
Figura 4: Costos porcentuales para el encofrado.....	22
Figura 5: Plano estructural de losa con casetones modulares tradicionales	28
Figura 6: Plano estructural de losa con casetones de caucho reciclado semiesférico ..	35

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Dureza IRHD	13
Tabla 2: Costos de los casetones modulares desde el año 2015	24
Tabla 3: Análisis del Costo Unitario del proceso de colocación y retiro de casetones ..	26
Tabla 4: Análisis del Costo Unitario del proceso de colocación y retiro de casetones de caucho reciclado	32

1. RESUMEN

El presente plan de disertación corresponde al análisis comparativo de factibilidad técnica y económica entre casetones de espuma flex de alta densidad y encofrados modulares de caucho reciclado usado como sistema de alivianamiento en losas, dando importancia al cuidado ambiental y a la inclusión de criterios de reciclaje como de sustentabilidad tan importantes en la actualidad. Esta investigación busca ingresar al mercado un nuevo material que cumpla estos criterios.

El objetivo principal de este plan de disertación ha sido analizar las ventajas y desventajas que se pueden obtener al utilizar casetones de caucho reciclado, comparándolo con el uso del casetón de espuma flex de alta densidad que es comúnmente utilizado en la construcción nacional.

Como principal método de obtención de datos para parámetros técnicos y económicos utilizados en la investigación, se utilizó una metodología de investigación y recopilación de datos tanto en obra como en la industria, asegurando de esta manera que los datos sean fiables, reales y que estén acorde con la actualidad nacional tanto en el sector de la construcción como de la industria del reciclaje.

Cabe señalar la importancia de los alivianamientos estructurales en el sector de la construcción inmobiliaria. Actualmente la mayoría, por no decir todas las estructuras los utilizan, el buscar innovar este método de construcción con materiales nuevos que mejoran la vida útil y los rendimientos del rubro será necesario y muy rentable para las empresas que buscan un desarrollo a nivel nacional o internacional.

2. INTRODUCCIÓN

En la rama de la construcción se van actualizando los métodos constructivos, introduciendo así nuevos métodos y materiales diariamente a nivel nacional como mundial, además la tecnología cada día se mejora facilitando procesos pasados y convirtiéndolos en eficientes como efectivos. La importancia de innovar en el ámbito de la construcción es un parámetro poco valorado y que a nivel nacional no se le da la importancia que debería. El tener en cuenta el parámetro de innovación nos lleva de la mano a caminos con muchas posibilidades entre los cuales el medio ambiente y la sustentabilidad nos van dando a conocer materiales como el caucho reciclado que a futuro podría ser una solución para varias ramas de la Ingeniería Civil.

El uso de casetones en la actualidad dentro de la rama de la construcción es muy popular debido a las diferentes ventajas que presentan al momento de construir una losa alivianada, pero al hablar del material con que se realiza los casetones se llega a un gran problema; que es poco amigable con el medio ambiente. Tanto el uso de casetones de madera como de espuma flex son materiales que no se los puede reutilizar totalmente. Mientras que el caucho tiene propiedades que permite reutilizarlo de muchas maneras y es un material que se lo puede conseguir más fácilmente y con un menor costo que los materiales ya mencionados.

Al hablar de la durabilidad del material tenemos otro beneficio en obra, por muchos ensayos se sabe que el caucho es muy resistente ante golpes o mal uso del material, a tal punto que se los utiliza en otras ramas de la Ingeniería Civil como aisladores de impacto en trazados viales o como aisladores sísmicos dentro de la construcción de grandes edificios. Por esta razón al implementar el caucho reciclado como materia prima de los casetones modulares dentro de un rubro que tiene un promedio de 15 usos (CAMICON,2017) , se tendría como resultado el aumento de beneficios en el número de usos de estos casetones, además que se crearía un ahorro significativo económico y muchos beneficios ambientales.

2.1. OBJETIVOS

2.1.1. GENERAL

Analizar las ventajas y desventajas de una losa alivianada utilizando el sistema de casetones de espuma flex de alta densidad y encofrado modular de caucho reciclado.

2.1.2. ESPECÍFICOS

Determinar si el sistema de alivianamiento con encofrados modulares de caucho reciclado es técnicamente viable para todo tipo de losas.

Analizar las ventajas constructivas al usar el método propuesto.

Determinar los beneficios económicos al usar el alivianamiento propuesto.

Comparar presupuestos referenciales entre una losa alivianada usando casetones y una losa con encofrados modulares de caucho reciclado.

CAPÍTULO I

3. Parámetros técnicos de losas alivianadas

3.1. Origen de los casetones modulares

Los casetones modulares son denominados como el método constructivo que emplea una figura geométrica generalmente rectangular como alivianamiento de losa, la diferencia del uso de este método constructivo es que son reusables y que permiten aumentar las dimensiones de las losas debido a la reducción de cargas con otros materiales que permanecen durante toda la vida útil de la estructura.

Los casetones se los viene usando desde la época de los griegos. Su origen fue para utilizarlos como adorno y mantener simetría en estructuras como bóvedas o arcos, las diferentes formas que podían tener partían desde casetones simétricos cuadrados hasta casetones de figuras elípticas, todos con un solo objetivo muy lejano a la Ingeniería que era adornar mas no ser estructuralmente importante (Milizia, 1827). El paso de los años y la actualización y estudio de las estructuras permitió el desarrollo de estos casetones con otro uso, manteniendo su simetría como resultado final, pero reduciendo materiales y costos en la construcción, de aquí nace la idea de casetón como alivianamiento estructural para losas y su uso pasa a subdividirse en dos ramas principales, las cuales son:

- Casetones Perdidos: Una vez desencofrado el forjado, los elementos de entrevigado (vigas en una o dos direcciones) permanecen formando parte de la estructura de forma definitiva. Crean una superficie plana en la parte inferior del forjado.
 - Casetones Modulares: Se usan casetones que, una vez fraguado el forjado, se retiran junto con el encofrado permitiendo su uso en posteriores fundiciones.
- (Trujillo Cebrián, 2013, p.58)

El uso de los casetones modulares en la construcción viene de la necesidad de buscar materiales más livianos para reemplazar sectores de losas que usan hormigón u otros materiales que no son estructuralmente necesarios, como define Trujillo Cebrián (2013) “Las piezas de entrevigado o casetones modulares son los elementos que se colocan entre los nervios para cubrir la separación lateral entre las viguetas, favoreciendo que actúen y se deformen de forma conjunta” (p.58). Estas piezas de entre vigado o casetones fueron

cambiando con el transcurso de los años. Los primeros casetones modulares utilizados en construcción fueron realizados con madera y tenían el gran problema de que su cualidad de “recuperable” se perdía debido a que al retirar el casetón de la losa ya fundida demoraba demasiado tiempo y el casetón se destruía por la fuerza necesaria para separarlo. Por esta razón no era eficiente económicamente dedicar ese tiempo. Con el paso de los años se fueron actualizando tanto materiales como métodos constructivos, entre estos nuevos materiales que fueron llegando estuvieron:

- Cerámica



Fotografía 1: Casetón de Cerámica

Fuente: Forjados Marfe, Bovedilla Cerámica para nervio in situ

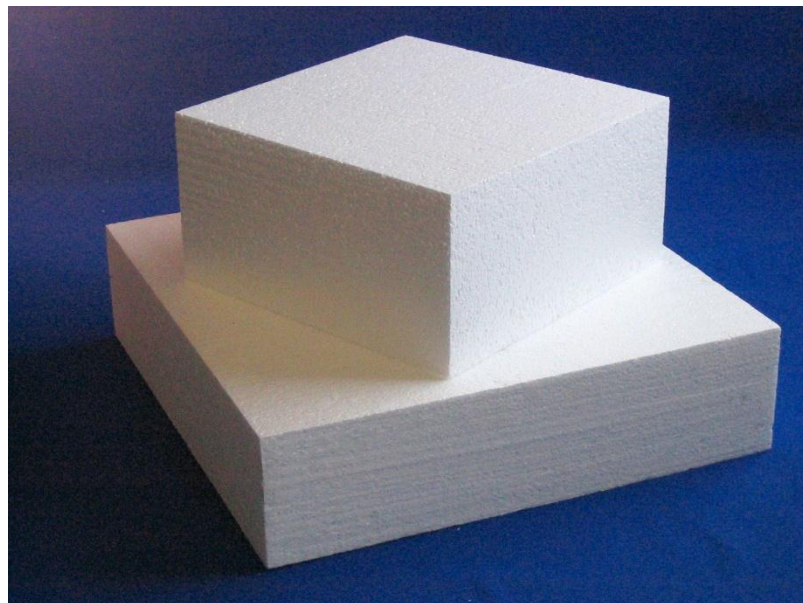
- Hormigón vibrado



Fotografía 2: Casetón de Hormigón vibrado

Fuente: Forjados Marfe, Bovedilla Cerámica para nervio in situ

- Poliestireno expandido



Fotografía 3: Casetón de Poliestireno expandido

Fuente: Convintec, Casetón de Poliestireno expandido

- Fibra de vidrio



Fotografía 4: Casetón Fibra de vidrio

Fuente: Hasop, The reusable formwork

Todos estos materiales mencionados fueron creados y construidos con el propósito de reutilizarlos un cierto número de veces para agilizar y economizar la construcción, a pesar de que no todos estos materiales fueron óptimos para reutilizarlos por su poca facilidad de recuperación, pero con el uso de los mismos y con fracasos y pruebas ensayo-error fueron creando estándares para dar paso a futuros usos de este método constructivo en el cual solo el material va cambiando y las dimensiones van en función de la necesidad geométrica del diseño estructural.

3.2. Especificaciones técnicas de los alivianamientos tradicionales

Si empezamos a hablar técnicamente del método constructivo con el uso de alivianamientos tradicionales, debemos explicar la necesidad de los mismos, es decir que el diseño de tramos más largos y con mayores cargas muertas es la razón por la cual se requiere mayores espesores de losa para cumplir con los límites de deflexiones, pero, como consecuencia de este aumento de espesor se obtiene un aumento en la carga muerta y esta pasa a ser la carga principal de diseño, creando así la solución de los casetones modulares y teniendo como resultado losas tipo waffle, denominadas de esta forma por su acabado final parecido a este alimento.

A los casetones tradicionales nos referiremos como casetones de fibra de vidrio o espuma Flex expandida, este sistema presenta varios beneficios partiendo de reducciones de pesos estructurales y aumento de eficiencia de materiales como el hormigón y el acero, pero su principal atractivo es su beneficio económico. El reducir materiales en la fundición y mantener una simetría agradable en sus acabados permite que el método constructivo sea efectivo y eficiente, teniendo como resultado el uso respectivo.

El método constructivo con casetones modulares presenta otros beneficios aparte de los ya mencionados, como define Karissa (2016) “Este atractivo sistema estructural proporciona velocidad y versatilidad en la aplicación con su mayor rigidez y menores deflexiones”. Si hablamos de velocidad y versatilidad con mediciones en campo de productividad y rendimientos, la colocación de casetones modulares tradicionales es tan efectiva que en una losa de 24 metros cuadrados se colocó todos los casetones en 25 minutos utilizando 2 albañiles, teniendo en cuenta que los casetones tienen las medidas en centímetros de 55x55x25. En promedio un albañil se demora alrededor de 1 minuto en colocar cada casetón, la versatilidad del sistema permite también el ahorro de tiempo en el proceso de acarreo del material, en la Figura 1 se demuestra gráficamente 3 factores técnicos en el proceso constructivo comparándolo con el uso de bloques de alivianamiento de pómez que es otro método constructivo muy común en el sector de la construcción nacional, teniendo en cuenta que el análisis de estos factores son referentes a la losa de análisis que corresponde a 6 metros por 6 metros. Se podrá verificar que el ahorro económico es notable en este proceso de acarreo en la reducción de mano de obra debido a que los casetones son muy ligeros y no se necesita mayores cadenas de transporte para realizar su acarreo. Se obtiene una mayor productividad realizando el mismo proceso en casi la mitad del tiempo que el otro sistema constructivo.

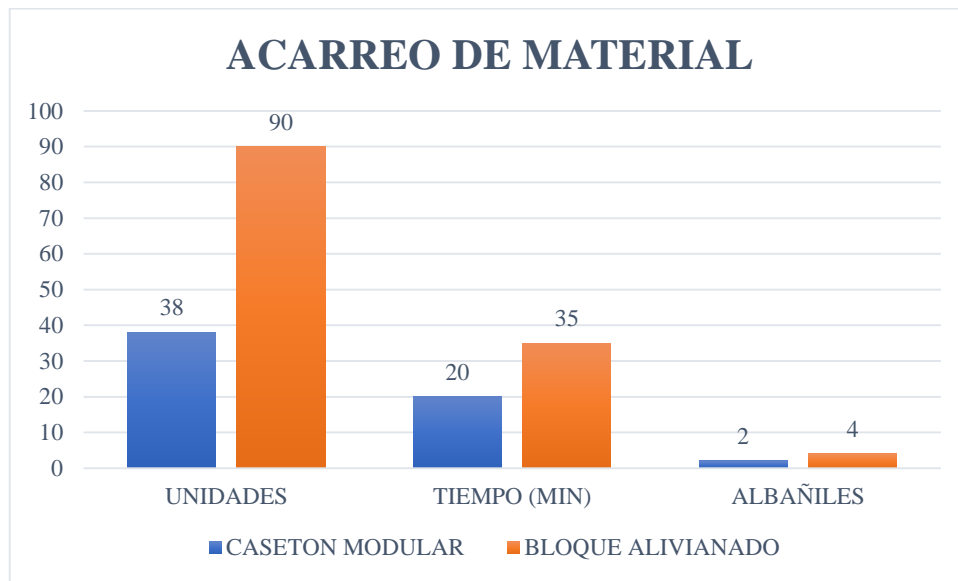


Figura 1: Comparación acarreo de material losa 6x6 m.

Fuente: Juan Sebastián Villacís

Karissa (2016) también menciona “Los materiales, la mano de obra y el tiempo son factores técnicos muy importantes para la integridad económica y estructural del sistema de losas con alivianamiento modular”.

Otro factor técnico fundamental en cualquier proyecto de construcción es la mano de obra. Hablaremos de una ventaja del proceso constructivo, que es el uso de casetones modulares, el cual no solo facilita y agiliza el trabajo, sino que al ser un método tan simple no necesita de mayor preparación y no existe la necesidad de la calificación de la mano de obra, específicamente el proceso de colocación de un casetón consta de 5 pasos que son:

1. Acarreo
2. Colocación y alineado
3. Aseguramiento
4. Retiro
5. Re-Utilización



Fotografía 5: Paso dos del uso del casetón modular

Las ventajas se presentan en todos los pasos del proceso, una desventaja en el proceso es el reducido número de usos del material tradicional. La reutilización de los casetones modulares, según la revista de la Camicon (2017) el número de usos para los casetones modulares es de 15. También Ramos (2002) define que “Cada casetón puede usarse 15 veces como mínimo, pero con un adecuado manejo puede soportar más de 20 usos” (p.31).

Al haber ya mencionado varios de los parámetros técnicos que describen al casetón modular llegamos al comportamiento estructural. A pesar de que el casetón modular no tiene ninguna relación con el comportamiento estructural de la estructura ya que no permanece durante toda la vida útil de la misma, el sistema de análisis de losas que usan este método constructivo sí varían en relación a losas con aliviamientos permanentes o losas que usan placas metálicas tipo deck.

Al hablar del sistema de análisis utilizado en este tipo de losas podemos definir tres métodos los cuales son:

En primer lugar, el Método Rankine-Grashoff es un método aproximado utilizado para rejillas pequeñas con espaciamiento de vigas que no exceda de 1.50 m. Este método trata la losa simplemente como compatible con los bordes, los momentos de cálculo y la fuerza de corte por unidad de ancho de la losa.

En segundo lugar, el Método de Analogía de Placas de Timoshenko requiere un método riguroso en consideración del estrés del plano y el análisis de placas ortotrópicas, pero en general tiene el mismo método con Rankine-Grashoff con respecto a las fuerzas por unidad de ancho de la tira de losa.

Finalmente, el Método de Rigidez analiza los soportes rígidos y proporciona una solución de forma cerrada basada en la formulación de la matriz de la rigidez de la estructura.

(Karissa, 2016)

Teniendo en cuenta estos tres sistemas de análisis para el desarrollo de esta disertación se utilizará el Método de Rankine-Grashoff con el cual se podrá pasar a modelar la losa en cualquier software que permita esta opción, que actualmente en la mayoría de programas la nombra como especificación de losa “waffle”.

3.3. Especificaciones técnicas del alivianamiento de caucho reciclado

Para comenzar a definir especificaciones y características tanto técnicas como de carácter físico y químico del material, se deberá primero tener en cuenta sus compuestos principales y la importancia que tiene en la actualidad usarlo debido al uso desenfrenado del caucho como material poco reciclable. Según El telégrafo (2014) en el Ecuador se comercializan más de 3 millones de neumáticos que al terminar su vida útil se los debe desechar y en otros casos se los quema creando una gran contaminación por los gases tóxicos que emanan.

Al hablar de características físico mecánicas del caucho se deberá primero definir qué tipos de caucho existen en el mercado nacional, por lo que se puede caracterizar dos tipos de caucho principalmente:

El caucho natural:

Es un producto proveniente del látex que producen algunas especies vegetales como defensa ante heridas en la corteza de su tronco. Es una mezcla de grasas,

ciertas proteínas, hidrocarburos y azúcares de origen vegetal. Dependiendo de la especie vegetal el caucho está presente entre un 80% y un 95% siendo principalmente un polímero del isopreno.

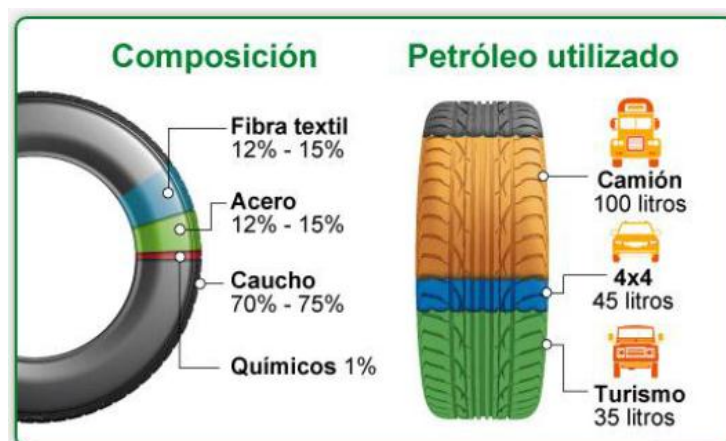
(González, 2015, p10)

El caucho sintético:

El caucho sintético es todo aquel producto elaborado artificialmente, normalmente a partir de refinados petrolíferos, que tiene unas propiedades similares a las del caucho. Es decir que es capaz de sufrir una deformación elástica mucho mayor que otros materiales y aun así recuperar su forma original sin deformación permanente. Este material es elaborado a partir de la polimerización de variedad de monómeros entre los que se incluye el isopreno y el isobutileno. Mediante el añadido de adicciones controladas, pueden modificarse diferentes propiedades físicas, mecánicas y químicas.

(González, 2015, p13)

Conociendo que tipos de caucho existen en el mercado, se podrá hablar del tipo de caucho con el que se trabajará para la implantación de encofrados modulares de caucho reciclado que es el caucho sintético. La principal fuente de obtención de caucho en el Ecuador son los neumáticos fuera de uso (NFU) por un proceso el cual es definido por González (2015) como “El proceso para el reciclaje de neumáticos es puramente mecánico, por lo tanto, los productos resultantes son de alta calidad y limpios de todo tipo de impurezas, lo que facilita la reutilización de estos materiales en nuevos procesos y aplicaciones”. De estos procesos mecánicos se logran obtener aproximadamente los siguientes porcentajes:



Fotografía 6: Porcentajes de composición de neumáticos

Fuente: Signus, 2015

Todo el caucho obtenido del reciclaje de neumáticos fuera de uso presenta parámetros físico mecánicos que son normados en el Ecuador por el Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN), que para el caso de caucho natural y caucho sintético se define como “Esta Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 1795 es una traducción idéntica de la Norma Internacional ISO 1795:2007, Rubber, raw natural and raw synthetic -- Sampling and further preparative procedures El comité responsable de esta Norma Técnica Ecuatoriana y de su traducción es el Comité Técnico del INEN”. (NTE INEN-ISO 1795, 2007).

Para definir las características y propiedades destacadas del caucho se partirá describiendo de mayor a menor importancia:

- Dureza:

La dureza en el caucho es una propiedad que se determina en unidades empíricas las cuales son los Shore o los IRHDs, esta relacionada directamente con el módulo de elasticidad del material y puede ser un indicador de la rigidez frente a una clase de esfuerzo temporal.

En el caso del caucho reciclado los valores de dureza por metodología IRHD según SENA “Servicio Nacional de Aprendizaje” (2008) son:

Tabla 1: Dureza IRHD

PRODUCTO	IRHD
Empaques de grifería, pisos	90 ±5
Suelas de Zapato	80 ±5
Llantas sólidas, figuras sólidas	70 ±5
Llantas, mangueras, bandas transportadoras	60 ±5
Neumáticos, gorros de baño	50 ±5
Bandas de caucho	40 ±5

*La dureza por debajo de 30 equivale a productos como borradores y rodillos de impresión.

Fuente: Control de calidad en la industria del caucho, SENA 2007

- Abrasión

Esta propiedad del caucho se define por la norma ISO 4649 (2010) como “ La resistencia al desgaste por acción mecánica sobre una superficie”. La norma ISO 4649 (2010) también define el Índice de abrasión como “ La relación entre la pérdida de volumen de un compuesto de referencia y la pérdida de volumen de la goma de prueba, medida en las mismas condiciones de prueba especificadas y expresada como un porcentaje”.

Los resultados de los ensayos del caucho a utilizar refieren que el valor de abrasión es menor a 15 mg, por lo cual la norma ISO 4649 certifica la calidad del mismo, entonces podemos verificar que una de las principales cualidades que buscamos en el material que es la durabilidad que va de la mano con el parámetro de abrasión esta certificada y aprobada por una norma internacional como es la ISO.

Además hay que tener en cuenta que las normas INEN en el ámbito nacional van de la mano de las normas ISO, de tal manera que con este ensayo también se certificará a nivel nacional la durabilidad del material.

- Compresión

La compresión según ASTM D395 define “La compresión es la capacidad de los compuestos del caucho para retener las propiedades elásticas después de la acción prolongada de las tensiones de compresión”.

Como el caucho a utilizarse se ensayo en relación a las normas nacionales, se utilizó la norma ISO 3386 que está avalada por el INEN, y el resultado de la misma fue 4.3 Kg/cm² con un 10% de deformación en el tercer ciclo de carga.

- Resiliencia e Histéresis

Estas propiedades están definidas según la norma ASTM D7121 (2005) como “Un indicador de la pérdida de energía histerética que también se puede medir mediante la relación entre el módulo de almacenamiento y el módulo de pérdida”. Esta norma también define que “El porcentaje de rebote medido es inversamente proporcional a la pérdida de histéresis”.

Así se podrá definir que la resiliencia está expresada por la fórmula:

$$\text{Resiliencia} = \frac{\text{Energía Recuperada (ET)} * 100}{\text{Energía inicial aplicada (EA)}}$$

Mientras que la histéresis queda expresada en función de la resiliencia como:

$$\text{Histéresis} = 100 - \text{Resiliencia}$$

- Tensión

La tensión del caucho es una propiedad que se podrá definir según la ASTM D412 (2008) como “La extensión restante después de que una muestra haya sido estirada y se le permite retraerse de una manera específica, expresando como un porcentaje de la longitud original el resultado”.

El caucho a utilizar presenta una resistencia a la tensión de 230 Kg/cm² en promedio, a pesar de que el uso del caucho en los casetones modulares está más enfocado a trabajar con fuerzas de compresión; este parámetro es importante definirlo como parámetro mecánico del material.

- Elongación

La elongación es un parámetro que permite conocer exclusivamente la resistencia máxima a tensión que presenta el caucho ensayado, por lo general se la expresa de forma porcentual. Su ensayo esta considerado en la misma norma ASTM D412 (2008) que define “La elongación es el alargamiento en el que la ruptura ocurre en la aplicación de una carga de tensión de tracción continua”.

En el caso de los ensayos del caucho a utilizar la elongación que presenta el caucho reciclado es de 450 %, es decir que si se lo define con la fórmula de elongación será:

$$\frac{L}{L_0} * 100 = \% \text{ de Elongación}$$

Donde:

$L =$ Largo de muestra estirada

$L_0 =$ Largo de muestra original

Entonces:

$$\frac{L}{L_0} = 4.5$$

Teniendo en cuenta estos resultados se define que cualquier unidad de caucho se puede elongar 4.5 veces más para que llegue a su rotura por tensión.

3.4. Aspectos técnicos del proceso constructivo con casetones modulares

Los 5 pasos del método constructivo con casetones modulares son:

- Acarreo

Acarreo es el proceso por medio del cual se traslada los casetones, por lo general del piso anterior en donde fueron utilizados o del lugar de almacenamiento al sector en donde se los deberá colocar para su próximo paso que es la colocación y alineado.

El caucho reciclado presenta una cualidad muy valorada para este proceso que es su ligereza. La densidad del caucho reciclado ronda el valor de 1.5 Kg/cm³. Al ser un material ligero no solo acelera el proceso de acarreo sino previene lesiones y evita la fatiga del trabajador. En la siguiente figura se podrá observar una comparación de pesos que relaciona los casetones de fibra de vidrio, bloques de alivianamiento y casetón de caucho reciclado.

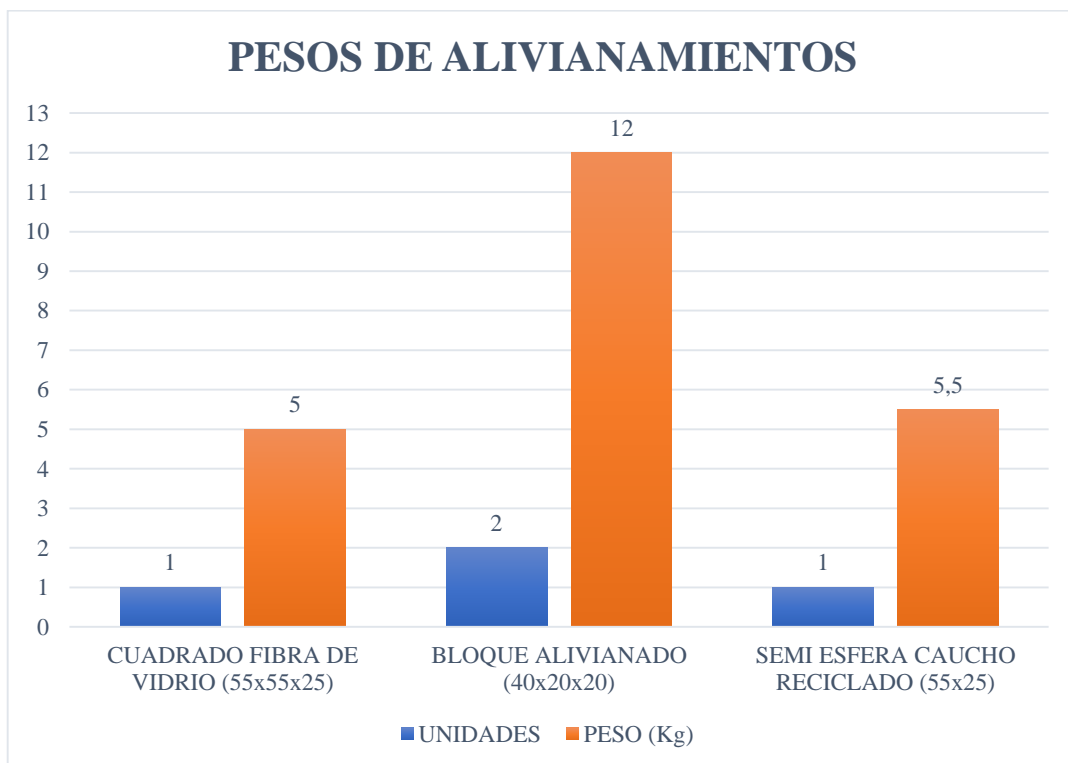


Figura 2: Pesos de cada tipo de aliviamento



Fotografía 7: Acarreo manual de casetones en obra

- Colocación y alineado

La colocación y alineado es el proceso que consiste en ubicar específicamente cada casetón en su lugar, para tener el espacio suficiente de armado de acero para las vigas de la losa

En el caso de los casetones modulares de caucho reciclado es necesario tener en cuenta que la alineación de los casetones se deberá hacer conforme al eje central del casetón y no a sus bordes.

- Aseguramiento

El aseguramiento del casetón consiste en ubicar en sus alrededores clavos para impedir el movimiento de los mismos en el momento de fundición debido a la fuerza y la presión que ejerce el hormigón en estado fluido contra estos.

El aseguramiento del casetón solo constará de la colocación de clavos para evitar el deslizamiento de los casetones y perder su alineación conforme a los ejes establecidos.



Fotografía 8: Aseguramiento de casetones ubicados y alineados

- Retiro

El retiro del casetón es la actividad que sigue cuando el desencofrado es finalizado. En este proceso se retira el casetón modular con ayuda de herramientas menores. En el caso de los casetones modulares de caucho reciclado su diseño está concebido para evitar el uso de estas herramientas, teniendo como resultado que el retiro de los casetones simplemente sea una actividad manual, facilitando el trabajo y reduciendo riesgos como los que se presentan en la extracción tradicional de los mismos.



Fotografía 10: Retiro de casetón modular

- Re-Utilización

La re-utilización de los casetones por las cualidades del caucho facilitan el procedimiento, debido a que, al ser un material muy liso y poco adherible a su superficie, los residuos de hormigón no quedarán pegados en el casetón y con una pequeña limpieza superficial estará listo para su uso nuevamente, teniendo como mejora técnica el ahorro en el uso de desmoldantes para el alivianamiento.

Una vez analizado todos los parámetros técnicos referentes a los casetones modulares, se puede definir que las principales cualidades que éstos deben presentar se cumplen satisfactoriamente en los alivianamientos de caucho reciclado los cuales, según Trujillo Juan José (2013) define que son:

- Debe contar con la suficiente variedad de piezas y combinaciones que posibiliten dar la forma proyectada al hormigón.
- Han de ser lo suficientemente estancos para impedir la pérdida de lechada de hormigón entre las juntas de las piezas.

- Deben estar ejecutados de forma que la superficie en contacto con el hormigón no se adhiera al mismo, independientemente de los productos desencofrantes que se le apliquen para facilitar el desmontaje.
- Ha de permitir un montaje y desmontaje fácil, rápido y seguro.
- Ser aprovechable para usos posteriores.
- Debe resistir sólidamente el empuje del hormigón en estado fresco, así como las cargas que les transmite el vertido y vibrado.

(Trujillo Cebrián, 2013)



Fotografía 11: Losa con casetones modulares reutilizados

CAPÍTULO II

4. Parámetros económicos de losas alivianadas

4.1. Beneficios económicos de losas alivianadas

En el ámbito de la construcción uno de los rubros más relevantes son los del hormigón, el acero y el encofrado; el análisis económico que trata este capítulo va relacionado directamente con el rubro de la losa de hormigón alivianada, y para este rubro uno de los componentes más importantes es el encofrado en donde entra directamente el objeto de estudio de esta investigación, que son los encofrados modulares o alivianamientos, Awad S. Hanna (1999) habla de los encofrados como el componente de mayor costo para edificios típicos de hormigón armado. Al ser el encofrado el rubro más importante

económicamente se lo define con dos porcentajes, uno en relación al costo del marco de hormigón y otro con el costo de la edificación donde define aproximadamente que el 10% del costo total es utilizado por los encofrados, por eso podemos observar los porcentajes de la figura 3:

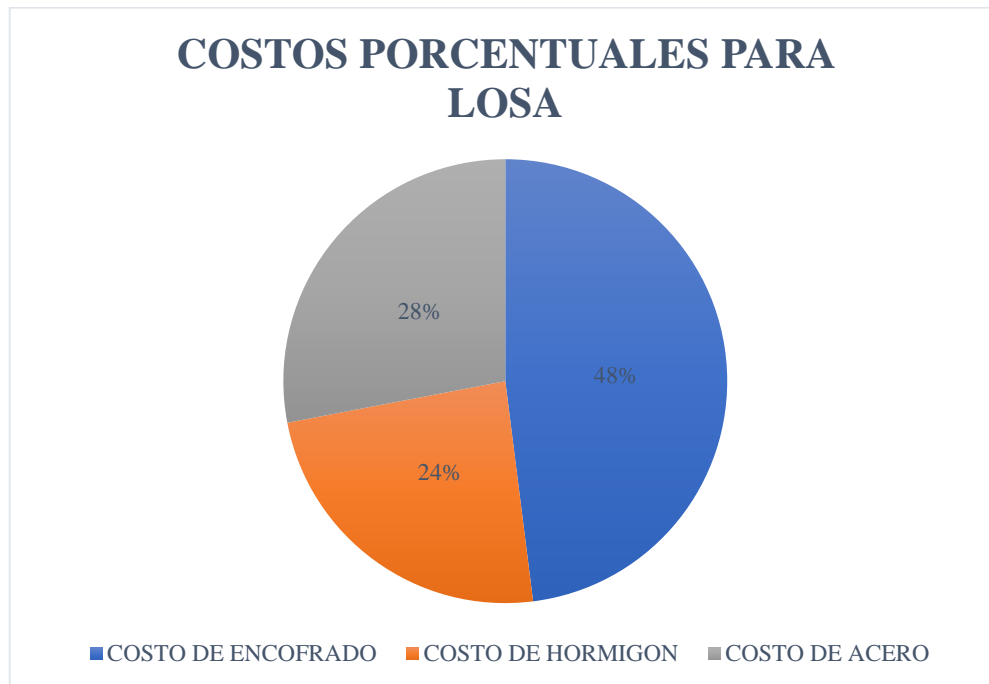


Figura 3: Costos porcentuales para losa fundida in-situ.

Fuente: Datos de "Concrete Formwork System" Awad S. Hanna

Pero al referirnos al encofrado Hanna especifica que el costo del encofrado está dividido en dos costos principales que se los describirá a continuación:

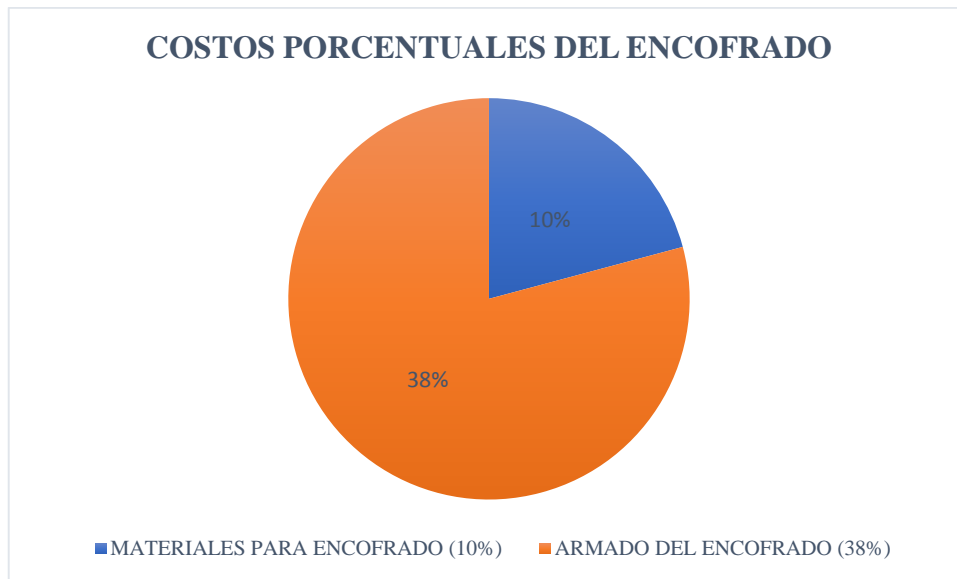


Figura 4: Costos porcentuales para el encofrado

Fuente: Datos de “Concrete Formwork System” Awad S. Hanna

Al hablar de losas alivianadas y compararlas con losas macizas, entramos a hablar de grandes ventajas económicas para las alivianadas. En este aspecto podemos hablar de varios factores relacionados con los ahorros económicos en el hormigón y en el acero, que son los rubros de la construcción con más importancia, Surinder se refiere a:

“Las losas alivianadas, relativamente consumen menos refuerzo de acero y menores componentes de hormigón en comparación con losas macizas, la disminución en el consumo de estos materiales es aproximadamente 22, 2 y 3 por ciento en concreto, acero y encofrado respectivamente para un tamaño de losa de 6 m x 6 m.”

(Surinder Singh, 1994)

El uso de casetones modulares presenta varios ahorros de material que tienen relación directa con los costos directos de la construcción. En el desarrollo de este capítulo se realizará una comparación de costos del método tradicional y del método propuesto en caucho reciclado.

4.2. Análisis económico de casetones modulares tradicionales

En la actualidad, por el cambio tecnológico y la actualización de procesos y materiales, se está buscando dejar atrás todo material relacionado con el petróleo debido a que el uso de éste como materia prima acarrea muchos daños ambientales y además es un material no renovable, por esta razón materiales como la espuma flex o el plástico que son

directamente derivados de este bien van perdiendo atractivo y su uso cada vez se limita más. En los últimos años en el Ecuador, el costo del petróleo ha ido bajando en el mercado; por tal razón, además de ser un bien escaso en la actualidad por su demanda constante, sus derivados nacionales suben de precio.

El uso de los casetones de espuma flex de alta densidad o de plástico se ha utilizado desde hace muchos años atrás, en la actualidad los casetones han perdido practicidad por el sector de la construcción, debido alternativas más económicas para la ejecución de losas, entre estas alternativas las losas post tensadas permiten luces más grandes en la construcción, mientras que las losas macizas han tenido una gran demanda a nivel nacional, pero sus limitaciones para luces mayores a 7 metros ha logrado que pierda interés en el sector de construcción inmobiliario, también las losas deck o de placa colaborante ha sido un sistema de gran importancia en los últimos años, a pesar de que presenta muy pocas desventajas constructivas el poco uso de este método constructivo de losa se debe a que es directamente dependiente de vigas secundarias o de apoyo de acero, y en el Ecuador el valor del Acero es muy elevado en comparación con otras alternativas que dan los mismos resultados, como consecuencia de estas desventajas el uso de losas alivianadas con casetones modulares sigue en auge y su finalidad de mejora económica que presenta este sistema se cumple exitosamente, en la siguiente tabla (Tabla 2) podemos observar los años y la variación de costos de los casetones con datos obtenidos de la revista de construcción de la Cámara de la industria de la construcción (CAMICON):

Tabla 2: Costos de los casetones modulares desde el año 2015

MEDIDAS DEL CASETÓN	AÑO	COSTO	NUMERO DE USOS
55X55X25	2017	16.64	15
40X40X20	2017	9.44	15
40X40X15	2017	8.51	15
55X55X25	2016	16.64	15
40X40X20	2016	9.44	15
40X40X15	2016	8.51	15
55X55X25	2015	16.64	15

40X40X20	2015	9.44	15
40X40X15	2015	8.51	15

Fuente: Revista Construcción (CAMICON, 2015, 2016, 2017)

No existe variación de costos en los últimos cuatro años de los casetones modulares tradicionales en ninguna de sus variaciones de tamaño, se podría decir que se ha mantenido como un rubro con un costo constante durante estos años y esto va de la mano del poco incentivo a la innovación que se desarrolla a nivel nacional en los rubros y procesos más frecuentes en la construcción, para buscar un desarrollo y mejoras del sector inmobiliario se debe ir mejorando tanto técnicamente como económicamente y esto se logrará buscando y desarrollando tecnologías, materiales y metodologías que siempre tengan como objetivo la mejora de los rubros en la construcción.

A continuación, en la Tabla 3, podemos observar en detalle el análisis del costo unitario del proceso de colocación y retiro de casetones en la construcción de losas alivianadas en el Ecuador:

Tabla 3: Análisis del Costo Unitario del proceso de colocación y retiro de casetones

RUBRO:	COLOCACIÓN Y RETIRO DE CASETONES MODULARES			UNIDAD:	m2
MAQUINARIA					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta Menor (5% M.O.)					0.0050
SUBTOTAL					0.01
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION (CATEG.)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Peón	2.00	3.41	6.82	0.0139	0.09
Maestro de obra	0.10	3.82	0.38	0.0139	0.01
SUBTOTAL					0.10
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B	
Caseton Modular (55x55x25)	U	3.00	1.11	3.3270	
Clavos 2"	Kg	0.05	6.96	0.3341	
SUBTOTAL					3.66
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B	
SUBTOTAL P					0.00
	TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(E+M+MN+T)				3.77
	INDIRECTOS Y UTILIDAD			10.00%	0.38
	OTROS COSTOS INDIRECTOS			0.00	0.00
	COSTO TOTAL DEL RUBRO				4.14
	VALOR OFERTADO				4.14

Elaborado por Juan Sebastián Villacís Martínez

El costo del rubro como se puede observar en el análisis de costos unitarios de la Tabla 3 es de 4.14 dólares americanos por metro cuadrado y este rubro abarca los siguientes ítems:

- Acarreo de encofrados modulares
- Colocación y alineado
- Aseguramiento con Clavos de 2”
- Retiro
- Limpieza

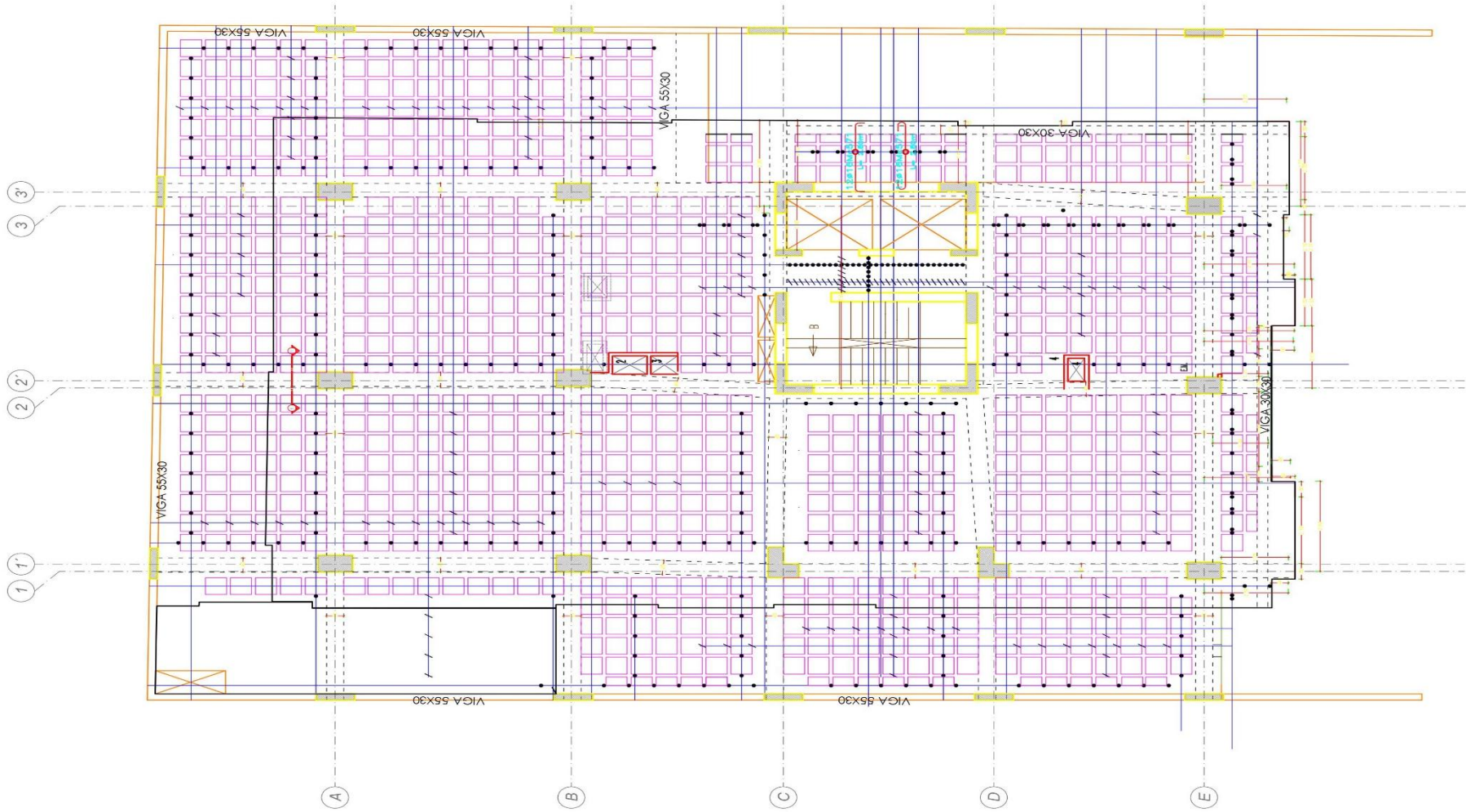
Peurifoy y Oberlender (2011) definen “La repetición de secciones dentro de un proyecto dado es importante cuando se usan longitudes y tamaños de encofrados modulares estándar”. Debido a la reutilización de los encofrados modulares el ahorro en el proyecto se multiplica, siempre y cuando se respete que todas las secciones diseñadas puedan ser construidas con las mismas dimensiones de encofrados adquiridos con anterioridad.

Además, Peurifoy y Oberlender (2011) hablan de que, en la mayoría de los casos, es más económico variar los anchos de vigas o el ancho de viguetas de losas para lograr mantener las longitudes típicas de los encofrados modulares, creando vigas un poco más anchas pero que no necesariamente necesitan una mayor cuantía porque no varían las cargas aplicadas a la misma.

Para cualquier análisis de costos de encofrados, sin importar el fin que tengan, es necesario tener en cuenta varios aspectos, entre ellos el principal será analizar desde un punto de vista objetivo los periodos de reutilización de los encofrados, teniendo así una idea del volumen requerido para que la obra tenga los materiales necesarios de acuerdo al avance de la misma, para evitar caer en retrasos de obra o espacios excesivos para almacenar material innecesario.

Ahora para el desarrollo y la comparación de los encofrados modulares tradicionales y los encofrados de caucho reciclado se presenta un plano de losa con alivianamiento modular tradicional, partiremos de una losa de seis metros de ancho por seis de largo, que fue las dimensiones de losa estudiada y analizada en obra, en la Figura 5 que se presenta a continuación, puede observarse la caracterización y distribución de los encofrados modulares en un plano estructural de una planta de edificio de un área aproximada de 600 m²:

Figura 5: Plano estructural de losa con casetones modulares tradicionales



4.3. Análisis económico de casetones modulares de caucho reciclado

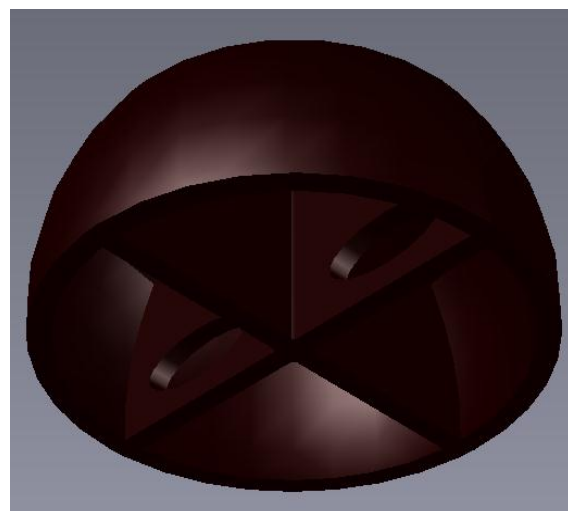
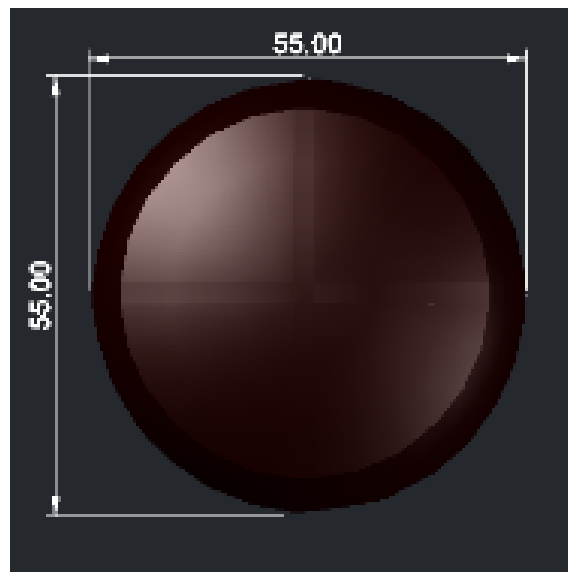
Entrando a la innovación actual y como se ha ido definiendo razones a lo largo de este capítulo acerca de por qué es necesario un cambio en ámbitos de procesos como de materiales a nivel nacional en el sector de la construcción y específicamente en el ámbito de los alivianamientos, pasamos hablar de una gran opción como es el caucho reciclado que no solo puede dar solución a todos estos parámetros que se pueden mejorar con este material, sino también referimos a la mejora de procesos innovadores en la actualidad que internacionalmente se los utilizan por el hecho de que no solo son eficientes sino también cumplen eficazmente sus propósitos de actualización y desarrollo inmobiliario.

La investigación de los beneficios que trae el uso de losas alivianadas se ha estudiado durante varios años, pero no ha existido una investigación acerca del mejoramiento del proceso o de los materiales que se usan para estos alivianamientos, uno de los investigadores pioneros en el campo de mejoras de losas alivianadas es Surinder Singh (1994) quien define “Aunque las losas waffle son aproximadamente 40 por ciento más profundas que las losas planas, la reducción en las cantidades de concreto y acero es considerable y cuando están expuestas, son estéticamente atractivas”.

La utilización de casetones de caucho reciclado, presentan varias ventajas económicas partiendo de un mayor número de usos por sus cualidades mecánicas y técnicas como tal, además una mejora de rendimientos de la mano de obra por su facilidad y agilidad de colocación y retiro de los mismos.

Si se habla del mayor número de usos de los casetones de caucho reciclado podemos definir que el valor de reutilización de estos casetones supera a los casetones modulares tradicionales en cinco veces, asegurando que los casetones modulares de caucho reciclado tienen un mínimo número de usos de 80 en comparación con los 15 usos de los casetones tradicionales.

El valor actual de un casetón modular de caucho reciclado puede variar en función de su diseño para el caso de este estudio, se diseñó un modelo computacional con una forma semi esférico que presenta un diámetro de 55 cm y una altura de 25 cm como se observa en la Figura 11 con el fin de poder relacionar los datos del modelo diseñado con los datos obtenidos de campo, los cuales fueron en base a una losa de 30 cm de espesor y casetones tradicionales de 55 cm x 55 cm x 25 cm de altura.



Fotografía 13: Diseño computacional de casetón modular semiesférico

Elaborado por Juan Sebastián Villacís M

Ahora al entrar a valores económicos del modelo en estudio se obtuvo una proforma de SÚPER CAUCHOS CIA. LTDA., esta proforma abarca la entrega de mil casetones modulares con un valor unitario de 74 dólares, el valor de mil casetones se debe al número de casetones necesarios para una losa de 600 m² teniendo en cuenta que al fundir se utilizará alrededor de 500 casetones y en las losas de menores niveles no se considera que ya estén retirados los casetones modulares del encofrado utilizado.

Una vez que se conoce el valor unitario del casetón modular de caucho reciclado podemos pasar a analizar la variación del análisis del precio unitario del rubro con este material (Tabla 4), para el análisis se utilizará una mejora de rendimientos del 10% debido a las facilidades que presenta este casetón para la colocación y sobre todo para el retiro de los mismos que es un punto en donde los casetones modulares tradicionales carecen de beneficios presentando pérdida de tiempo en esta etapa del proceso constructivo.

Tabla 4: Análisis del Costo Unitario del proceso de colocación y retiro de casetones de caucho reciclado

RUBRO:	COLOCACIÓN Y RETIRO DE CASETONES MODULARES DE CAUCHO RECICLADO			UNIDAD:	m2
MAQUINARIA					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta Menor (5% M.O.)					0.0119
SUBTOTAL					0.01
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION (CATEG.)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Peón	2.00	3.41	6.82	0.0330	0.23
Maestro de obra	0.10	3.82	0.38	0.0330	0.01
SUBTOTAL					0.24
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B	
Caseton Modular (55x55x25)	U	3.00	0.925	2.7750	
Clavos 2"	Kg	0.05	6.96	0.3341	
SUBTOTAL					3.11
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B	
SUBTOTAL P					0.00
	TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(E+M+MN+T)				3.36
	INDIRECTOS Y UTILIDAD			0.00%	0.00
	OTROS COSTOS INDIRECTOS			0.00	0.00
	COSTO TOTAL DEL RUBRO				3.36
	VALOR OFERTADO				3.36

Elaborado por Juan Sebastián Villacís Martínez

Los beneficios económicos son evidentes en este análisis de costos unitarios, el uso de este método constructivo con casetones modulares de caucho reciclado presenta una mejora económica de 41 centavos de dólar por m² de construcción, esto equivale porcentualmente a que el método propuesto es 11% más económico que el método tradicional, ahora la variación de forma de los casetones crea un volumen mayor de hormigón que se necesitará para fundir la losa diseñada, en este caso se desarrollará el cálculo de la variación de volumen de hormigón para el método propuesto:

Variación de volumen de Hormigón

$$\text{Variación} = \text{Volumen Casetón rectangular} - \text{Volumen casetón semi esfera}$$

$$\text{Volumen casetón semi esfera} \rightarrow \text{Volúmen zona esférica} + \text{casquete esferico}$$

$$\text{Volúmen zona esferica} = \frac{\pi * h}{6} * (3r_i^2 + 3r_s^2 + h^2)$$

Datos:

$$\text{Altura} = h = 0.2 \text{ m}$$

$$\text{Radio inferior} = r_i = 0.55 \text{ m}$$

$$\text{Radio superior} = r_s = 0.50 \text{ m}$$

$$V = \frac{\pi * 0.2}{6} * (3 * 0.55^2 + 3 * 0.50^2 + 0.2^2)$$

$$V = 0.04758 \text{ m}^3$$

$$\text{Volúmen zona esferica} = \frac{\pi * h}{6} * (3r^2 + h^2)$$

Datos:

$$\text{Altura} = h = 0.05 \text{ m}$$

$$\text{Radio} = r = 0.5 \text{ m}$$

$$V = \frac{\pi * 0.05}{6} * (3 * 0.5^2 + 0.05^2)$$

$$V = 0.0197 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen semi esfera} = 0.04758 + 0.0197$$

$$\text{Volumen semi esfera} = 0.6728 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen casetón rectangular} \rightarrow V = b * l * h$$

Datos:

$$b = 0.55m$$

$$l = 0.55 m$$

$$h = 0.25 m$$

$$V = 0.55 * 0.55 * 0.25$$

$$V = 0.07562 m^3$$

$$\text{Variación} = 0.07562 - 0.06728$$

$$\text{Variación} = 0.00834 m^3$$

$$\text{Variación porcentual \%} = 100\% - \frac{0.06728}{0.07562} \% = 11.02\%$$

La variación de hormigón a pesar de que el valor es de 11% no es una desventaja económica, por que como se demostró en la sección 3.4 las secciones de vigas para la losa aumentan debido al ensanchamiento de la base de la viga T analizada.

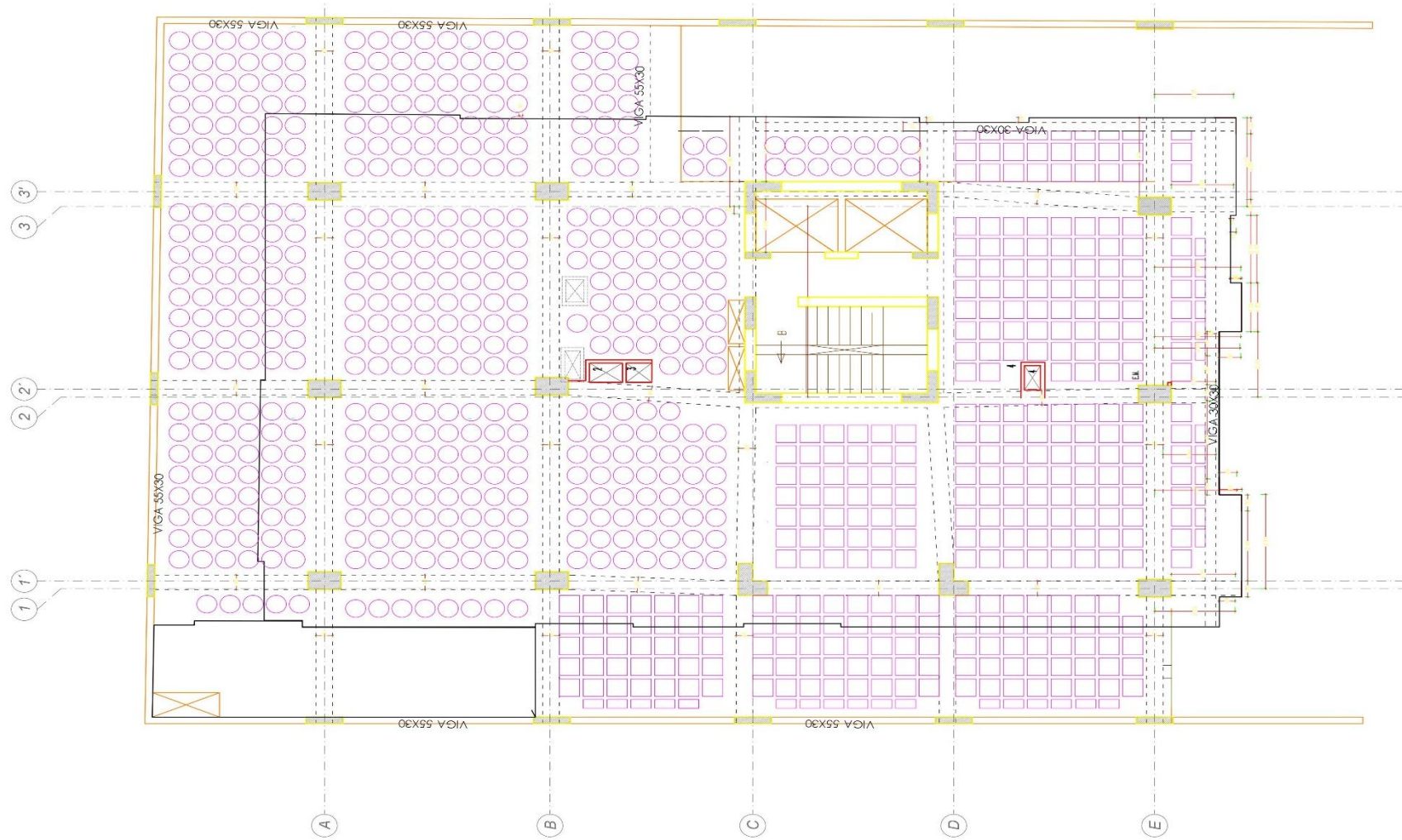
Además, este método asume que las zonas macizas de borde de columnas no son necesarias y de esta forma compensa el aumento de hormigón por el uso de los casetones modulares de caucho reciclado, manteniendo sus ventajas económicas y su fin de reducir costo y mejorar el proceso constructivo.

Ahora con fines de comparar los resultados tanto en diseño como en costos se acoplará el mismo plano de losa que se mostró en la Figura 5a los casetones modulares de caucho reciclado.

De esta forma se demostrará la variación geométrica y los cambios en distribución de dicha losa, además se podrá observar que para zonas en donde no se podía colocar casetones modulares tradicionales los casetones modulares semi esféricos son la solución. Porque se podrá trabajar con ellos con la mitad de su figura y así seguir manteniendo su estabilidad y aseguramiento en el encofrado.

La losa de la Figura 6 presenta características geométricas relacionadas a una losa aproximada de 600 m² que trabaja con pórticos resistentes a momento y tiene un promedio de luces de vigas entre 5 y 6 metros, además presenta un diseño de losa en dos direcciones con viguetas de 8 cm de ancho de alma y 21 cm de alas:

Figura 6: Plano estructural de losa con casetones de caucho reciclado semiesférico



CAPÍTULO III

5. Marco comparativo de los casetones en estudio

5.1. Ventajas y Desventajas del casetón tradicional

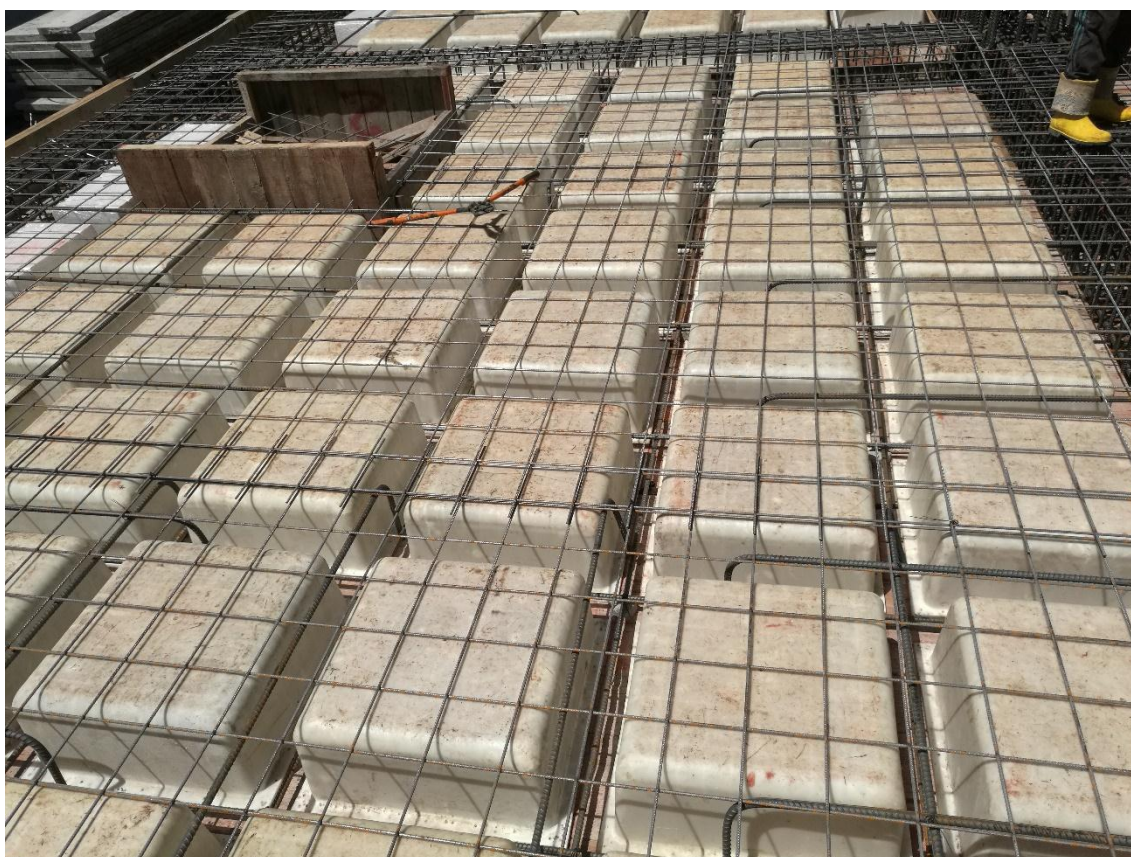
Las principales ventajas de los casetones modulares tradicionales son las detalladas a continuación:

- a) Mayor volumen, debido a que el área del casetón modular tradicional es cuadrado presenta una mayor área que cualquier esfera que cumpla su misma dimensión en diámetro máximo, por tal razón a un área mayor con la misma altura promedio de análisis tenemos un mayor volumen de hormigón ahorrado, en el caso comparativo un 11% más de ahorro por casetón.
- b) Dada su forma rectangular y al no tener ningún elemento de soporte en el espacio interno del casetón se facilita el almacenamiento y reduce el espacio del mismo.



Fotografía 14: Apilado de casetones tradicionales

- c) Los casetones tradicionales por ser un producto común en el mercado, su valor es mucho menor, se tendrá variaciones de precios de 16 hasta 20 dólares en el mercado nacional.
- d) El material de construcción de los casetones tradicionales es PVC o fibra de vidrio que son materiales muy duraderos y presentan buenas cualidades mecánicas y físicas para el número de usos que deben satisfacer y por el precio que se los puede obtener.



Fotografía 15: Losa armada con casetones tradicionales

Las desventajas del casetón tradicional son:

- a) Su corta vida útil es una gran desventaja en el ámbito de la construcción debido al mal manejo por parte de la mano de obra de la construcción lo que tiene como consecuencia el bajo rendimiento que llega a máximo 15 usos con control de obra.
- b) Poca facilidad de desmontaje.
- c) Al no tener ninguna facilidad para el retiro de los casetones gana el trabajo fuerte y no el trabajo inteligente, realizando maniobras con gatas o picos que

simplemente van estropeando los casetones con cada uso y que no proporcionan seguridad a los ejecutores del trabajo.



Fotografía 16: Retiro de casetón tradicional con herramienta inadecuada

- d) Al ser un material no reusable por la industria nacional al término de su vida útil pasa a ser un elemento más de contaminación y por sus componentes su degradación es muy difícil de acelerar y dura miles de años.
- e) Excesivo desperdicio de materiales para colocación, debido a que la colocación de los casetones se realiza con clavos la necesidad de usar una gran cantidad de los mismos para un solo casetón, no permite una mayor eficiencia en materiales y facilita la pérdida o el excesivo uso de los mismos que representan costos que se van aumentando a la construcción.
- f) El riesgo de accidentes que representa para el personal de la construcción debido a que los casetones son lavados con gasolina crean una superficie excesivamente resbaladiza y a pesar de explicar al personal que no se debe transitar por encima

de los casetones, muchas veces se incumple esta recomendación y existe un mayor riesgo de caídas y posibles lesiones a futuro.

- g) Su fragilidad en la zona central por no tener elementos internos facilita el desgaste y la ruptura del casetón por el apoyo de elementos de losa o simplemente por el tránsito de personas apoyándose en ellos.



Fotografía 17: Ruptura de casetón por falta de elementos de soporte

5.2. Ventajas y Desventajas con casetones Semiesféricos de caucho reciclado

Ventajas de los casetones de caucho reciclado

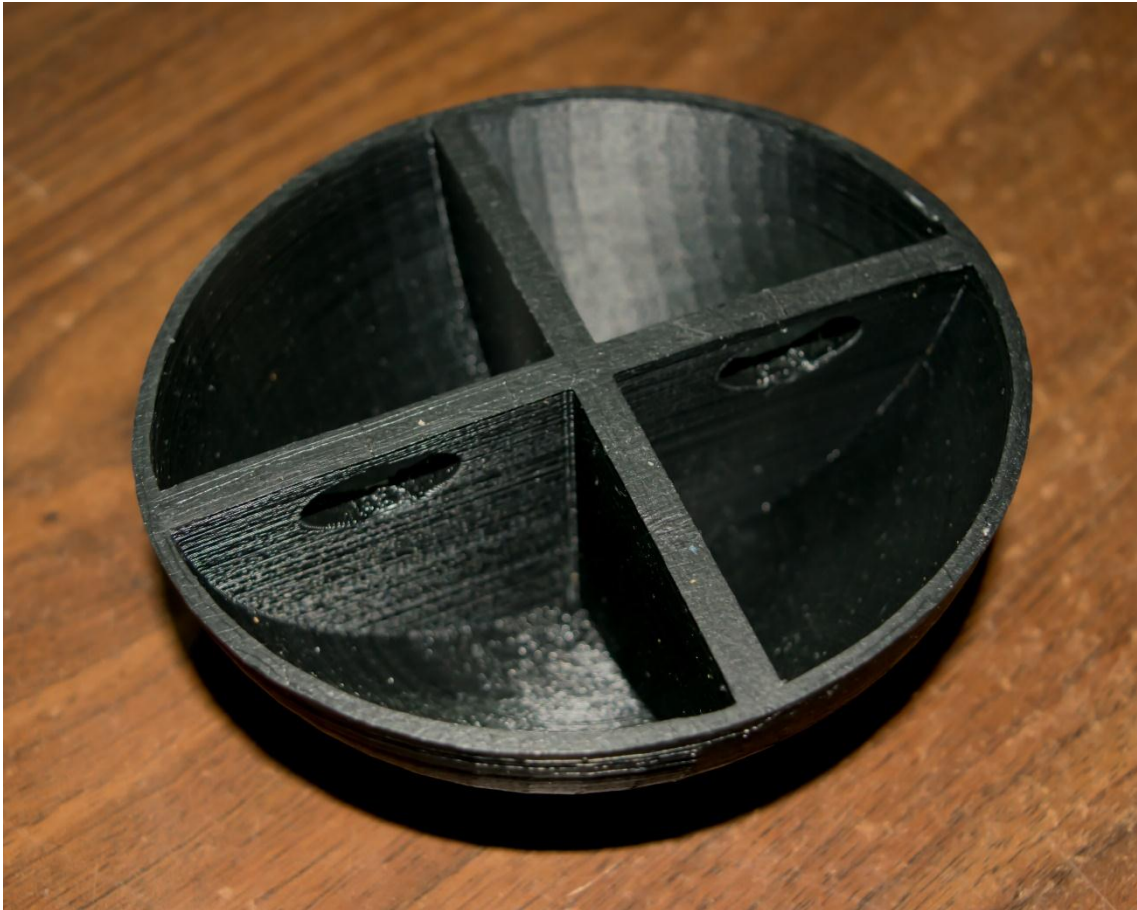
- a) Una geometría más amigable en lo que tiene que ver con agarraderas para su desmontaje con mayor facilidad.



Fotografía 18: Casetón de caucho reciclado con agarraderas para el desmontaje

- b) Una mayor vida útil del casetón debido que al utilizar un material tan resistente como el caucho reciclado con todas sus ventajas físicas y mecánicas, aumenta el número de usos a más de 60, basado en pruebas y ensayos de resistencia del material.

- c) Una mayor economía debido al gran número de usos que permite este casetón, por tal razón la compra de los mismos sería después de un largo tiempo de uso o simplemente no sería necesario renovarlos.
- d) Los casetones tienen estructuras de apoyo interno asegurando que la forma y la estabilidad de aquellos permanezca durante toda su vida útil.



Fotografía 19: Estructura de apoyo en forma de cruz para casetones de caucho reciclado

- e) Amigable con el medio ambiente debido a que su creación es de la reutilización de un material como el caucho, sino que al final de su vida útil se lo puede manejar de igual manera tanto para fabricar casetones o para algún otro uso que se le dé en ese momento al material, teniendo un material sustentable a futuro.
- f) Reducción total de metro cúbico hormigón, a pesar de que cada casetón tiene menor volumen que los tradicionales la geometría de los mismos permite reducir el nervio de la losa a 8 cm teniendo como consecuencia el ahorro del hormigón en losa del 5% al 10%.

Las desventajas de utilizar casetones de caucho reciclado son las siguientes:

- a) Mayor espacio necesario para almacenamiento, debido a los elementos internos de los casetones, el almacenamiento de los mismos será algo que se complicará debido a que no se podrá apilar como los casetones tradicionales y por tal razón se necesitará una mayor área para almacenarlos.



Fotografía 20: Apilado de casetones de caucho reciclado

- b) En el uso de un solo casetón se tiene la desventaja de necesitar el 11% más de hormigón en base a los rubros y análisis elaborados en el capítulo II.
- c) El costo actual del material al no ser probado ni usado por ninguna empresa constructora, dificulta la estimación real del valor que podría tener en el mercado, debido a que la creación de moldes y el proceso de elaboración de los casetones

es nuevo y tiene un mayor costo, pero se debe tener en cuenta que la fabricación al granel de los casetones reduciría el costo sensiblemente.

CAPÍTULO IV

6. Conclusiones y Recomendaciones

6.1. Conclusiones

- Se concluye que los casetones semiesféricos de caucho reciclado, son una solución técnicamente viable para la construcción de losas con aliviamiento en la construcción nacional.
- Dentro del aspecto técnico, los casetones de caucho reciclado crean vigas tipo “T”, que presentan una mayor área de hormigón y aseguran sustentar mayores cargas en comparación con las vigas rectangulares, formadas por los casetones tradicionales, a pesar de que el volumen de hormigón de la viga aumenta, no afecta al diseño de la losa debido a que utiliza el mismo espesor que con casetones tradicionales.
- En parámetros de resistencias mecánicas del material propuesto, el caucho reciclado presenta más ventajas que la espuma flex y el plástico, tales como mejor resistencia a compresión, mayor resistencia a la abrasión y una mayor dureza, debido a sus mejores características mecánicas y físicas.
- Las ventajas presentadas por las cualidades del material aseguran un mayor número de usos, permitiendo que el valor unitario del rubro disminuya en relación a los casetones tradicionales.
- La necesidad de una inversión inicial alta para los casetones de caucho reciclado, por ser un material poco conocido en el mercado, pierde su importancia debido a la necesidad de una gran cantidad del producto obligando a comprar al mayoreo y disminuyendo su precio de una forma importante.
- La mejora del 10% del rendimiento de mano de obra en el rubro por facilidades que presenta el casetón semiesférico en el desencofrado se debe a la mejora dentro

del proceso de retiro de los casetones, al incluir una metodología más eficiente que permite disminuir el tiempo del retiro y mejorar el rendimiento.

- El apilado de los casetones semiesféricos, presenta una de las mayores desventajas en el proceso del rubro y se debería tener en cuenta un rediseño de los elementos de soporte que permitan apilarlos con mayor facilidad, tanto en el proceso de construcción como en el momento de almacenaje de los mismos debido a su falta de utilización.
- Se llega a la conclusión de que el material siempre va poder ser reutilizable, teniendo un material muy amigable con el medio ambiente ya que no está creando desperdicios y es 100% reciclable.
- La variación de hormigón que presenta los casetones semiesféricos aumenta la cantidad volumétrica de hormigón al analizar un solo casetón, pero en el uso en conjunto de estos casetones asegura un ahorro en hormigón por la reducción del ancho del nervio, además un ahorro económico porque mejora la productividad y los rendimientos aseguran mejor eficiencia en el trabajo.
- Se mejoran las condiciones de ergonomía en el trabajo debido a la reducción de peso del casetón y mayor estabilidad que los tradicionales.
- La reducción del riesgo de accidentes debido a herramientas mal utilizadas es otro factor influyente, por el cual se puede recomendar este material y el diseño del mismo para reducirlos y mejorar la seguridad interna de la obra.
- La industria del reciclaje de caucho en el país no busca productos innovadores, por esta razón la implementación de este casetón propuesto abre un nuevo mercado para esta industria.

6.2. Recomendaciones

- Se recomienda el uso de los casetones semiesféricos de caucho reciclado para losas con luces mayores a cinco metros debido a que presentan mayores ventajas en ahorros económicos, en el caso de losas menores a 5 metros presenta ventajas como la mejora del rendimiento, pero no mantiene una diferencia económica en relación a los casetones tradicionales.
- Los casetones semiesféricos se los puede utilizar en cualquier tipo de losa, técnicamente cumplen con el diseño de viguetas para losas en una o dos direcciones, pero se recomienda considerar el espesor de nervios para losas con luces mayores a 6 metros que no fue el caso de estudio de esta disertación.
- Como recomendación para el mantenimiento de los casetones, el caucho con el que se diseñó la propuesta no necesita ninguna clase de desmoldante, además solo necesita una limpieza con un trapo húmedo para que esté listo para su reutilización.
- Se recomienda la investigación y análisis de otras formas de casetones, por ejemplo, triangulares o esféricas, debido a que presentan varias ventajas con la variación geométrica, permitiendo dar más facilidades a losas con geometrías irregulares.

7. BIBLIOGRAFÍA

- American Society for Testing and Materials. (2005). Standard Test Method for Rubber Property—Resilience Using Schob Type Rebound Pendulum. *D 7121 - 05*.
- ASIAN JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING. (2004). COST OPTIMIZATION OF REINFORCED CONCRETE. *BUILDING AND HOUSING*, 161-174.
- El Telégrafo. (17 de Noviembre de 2014). Obtenido de El Telégrafo:
<http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/sociedad/4/ecuador-ya-tiene-un-plan-para-recolectar-llantas>
- El-Reedy, M. A. (2009). *Advanced Materials and Techniques for Reinforced Concrete Structures*. New York: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Erica Aislamiento-Estanqueidad. (31 de Julio de 2012). *Erica Aislamiento-Estanqueidad*. Obtenido de <http://www.eric.es/web/mecanica-de-los-cauchos/>
- Gambatese, J., & Barbosa, A. (2014). *Use and Re-use of Formwork: Safety Risks and Reliability Assessment*. Oregon, United States.
- GARZÓN, D. C. (2013). *FABRICACIÓN DE LÁMINAS IMPERMEABLES A PARTIR DE CAUCHO RECICLADO UTILIZANDO ESPUMA DE POLIURETANO*. Quito.
- GONZÁLEZ, Á. M. (2015). *Aplicación del caucho reciclado como solución constructiva ecológica*. Valencia.
- Hanna, A. S. (1999). *Concrete Formwork Systems*. Madison, Wisconsin: Headquarters.
- INEN. (2015). CAUCHO NATURAL Y SINTÉTICO. MUESTREO Y PROCEDIMIENTOS DE PREPARACIÓN (ISO 1795:2007, IDT). *Norma Técnica Ecuatoriana*.
- Institute, A. N. (1969). ASTM D412: Standard Test Methods for vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers-Tension. *Standard Method of tension testing of vulcanized rubber*.

- International Organization for Standardization. (2010). Rubber, vulcanized or thermoplastic Determination of abrasion resistance using a rotating cylindrical drum device. *ISO 4649*.
- Karissa. (16 de Noviembre de 2016). *MODLAR*. Obtenido de <https://www.modlar.com/news/174/concrete-blocks-waffle-slab-construction/>
- Martínez, C. (2008). CONTROL DE CALIDAD EN LA INDUSTRIA DEL CAUCHO II PARTE. *SENA Informador Tecnico Vol. 72*, 32-38.
- Materials, A. S. (2003). Standard Test Methods for Rubber Property—Compression Set. *ASTM D395*.
- Materials, A. S. (2006). D412: Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers—Tension. *ASTM D412-06 Method B*.
- Miliza, F. d. (1827). *Arte de ver en las bellas artes del diseño, segun los principios de Sulzer y De Mengs*. Madrid.
- Morocho, P. M. (2013). *Estudio de la aplicación potencial de compuestos obtenidos con residuos de caucho reciclado provenientes de continental tire andina como materiales estructurales*. Cuenca, Ecuador.
- Peurifoy, R. L., & Oberlender, G. D. (2011). *Formwork for Concrete Structures*. New York: The McGraw-Hill Companies,.
- RUIZ, J. P. (2016). *ANÁLISIS DE EFICIENCIA ESTRUCTURAL ENTRE UNA LOSA*. Ambato, Ecuador.
- Salamea, A. X. (2014). *Caracterización de caucho reciclado proveniente de scrap y de neumaticos fuera de uso para su potencial aplicacion como materia prima*. Cuenca.
- Singh, S. (1994). *Costo Estimation of Structures in Commercial Buildings*. London: THE MACMILLAN PRESS LTD.
- Singh, S. (1994). Flat Slab and Waffle Slab Systems. *Cost Estimation of Structures in Commercial Buildings*, 63-64.
- Textos Cientificos.com. (10 de Noviembre de 2005). *Textos Cientificos.com*. Obtenido de <https://www.textoscientificos.com/caucho/sbr/produccion>
- The Aberdeen Group . (1974). Maximum reuse and efficient handling. *Formwork Economy*.
- Wolski, L. (2006). *Natural frequency of Cobiax® flat slabs*. Coventry.