

**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

Tesis de Grado

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO CIVIL

Tema:

**“ELABORACIÓN Y ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN Y A
COMPRESIÓN DE PANELES PREFABRICADOS DE PLÁSTICO RECICLADO
REFORZADO CON MALLAS DE ACERO Y MORTERO”**

Por:

JOHAN CHON TORVELA

Director:

ING. LUIS OCTAVIO YÉPEZ R.

Guayaquil - Ecuador

2011 - 2012

TESIS DE GRADO

“ELABORACIÓN Y ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN Y A COMPRESIÓN DE PANELES PREFABRICADOS DE PLÁSTICO RECICLADO REFORZADO CON MALLAS DE ACERO Y MORTERO”

Presentado a la Facultad de Ingeniería
Carrera de Ingeniería Civil de la
Universidad Católica de Santiago de Guayaquil

Por:

JOHAN CHON TORVELA

Para dar cumplimiento con uno de los requisitos para optar por el
Título de:

INGENIERO CIVIL

Tribunal de Sustentación:

Ing. Luis Octavio Yépez R.
DIRECTOR

Dr. Ing. Walter Mera Ortiz
DECANO FACULTAD DE
INGENIERIA

Ing. Lilia Valarezo de Pareja
DIRECTORA DE LA CARRERA
DE INGENIERIA CIVIL

Ing. Xavier Casal Rodríguez
PROFESOR INVITADO



AGRADECIMIENTOS

A Dios por las infinitas bendiciones derramadas sobre mí y sobre toda mi familia; por el don de su Vida y de su Amor, y por su presencia constante que me llama a seguirlo más de cerca.

A mis padres, por su inmenso amor, manifestado en todo el cariño, sus cuidados, sus alegrías y preocupaciones; por haberme formado en los valores y principios fundamentales de mi vida y por siempre haber sido personas rectas, honradas y ejemplares.

A mis hermanos, por su apoyo y fraterno compartir durante todos estos años de vida juntos.

A mis profesores, por la excelente educación que pude recibir de ellos y por su gran dedicación a sus estudiantes y a esta magna institución.

A aquellas personas, entre ellos INTACO y el CEINVES, que con su asistencia e interés hicieron posible este proyecto.

A mi comunidad, que con su fiel seguimiento del Señor Jesús son un gran estímulo de estudio, trabajo y oración.



ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	i
RESUMEN	vi
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1. La situación de la vivienda	2
1.2. El problema de la contaminación	3
1.2.1. Producción de productos PET	4
1.2.2. Disposición de envases PET	7
1.3. Innovación en la construcción con materiales PET	8
1.4. Sistemas de paneles prefabricados para construcción	13
1.4.1. Sistema constructivo M2	14
1.4.2. Sistema constructivo Walltech	21
2. DESARROLLO DE ALTERNATIVAS	26
2.1. Propuesta de paneles	26
2.1.1. Objetivos del panel	27
2.2. Composición de los paneles	28
3. CONSTRUCCIÓN DE PANELES	33
3.1. Preparación de materiales	33
3.2. Armado de paneles	35
3.2.1. Conectores	37
3.3. Apuntalamiento	38
3.4. Proyección de mortero Enlumax	40
3.5. Curado	45
4. CÁLCULOS DE RESISTENCIA	48



4.1. Resistencia a compresión	48
4.2. Resistencia a flexión	49
5. ENSAYOS DE LABORATORIO	52
5.1. Elección de ensayos	52
5.2. Ensayos de flexión	53
5.2.1. Preparación para el ensayo de flexión	53
5.2.2. Prueba de carga a flexión	56
5.3. Ensayos de compresión	59
5.3.1. Preparación para el ensayo de compresión	59
5.3.2. Prueba de carga a compresión	61
5.4. Resultados de ensayos	64
5.4.1. Resultados de los ensayos de flexión	64
5.4.2. Resultados de los ensayos de compresión	66
5.5. Comparación de resultados calculados vs resultados obtenidos	66
5.5.1. Observaciones en la construcción	67
5.5.2. Observaciones durante los ensayos	69
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
7. BIBLIOGRAFÍA	76
8. ANEXOS	80
8.1. Gastos realizados en la investigación	80
8.2. Calendario de trabajo realizado	81
8.3. Ficha técnica de Enlumax Proyectable	83
8.4. Indicaciones del uso y cuidado de la máquina MONO MIX FU	85
8.5. Tablas de calibración de los sistemas hidráulicos utilizados en los ensayos	92



ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Letrina construida con botellas PET	9
Ilustración 2: Escuela de botellas “My Shelter Foundation”	9
Ilustración 3: Construcción con eco-ladrillo	10
Ilustración 4: Casa a base de eco-ladrillos	10
Ilustración 5: Tanque de agua de Ecotec	11
Ilustración 6: Pollibricks	11
Ilustración 7: EcoArk	12
Ilustración 8: Puente de plástico Vertech Ltd	12
Ilustración 9: Panel simple estructural M2	19
Ilustración 10: Panel doble M2	20
Ilustración 11: Panel Walltech	22
Ilustración 12: Botella PET típica	29
Ilustración 13: Malla ARMEX	29
Ilustración 14: Saco Enlumax proyectable	30
Ilustración 15: Corte de mallas	33
Ilustración 16: Armado de paneles	35
Ilustración 17: Colocación de botellas en el panel	36
Ilustración 18: Vincha sujetando las mallas	37
Ilustración 19: Conectores o vinchas de alambre grueso	37
Ilustración 20: Encofrado para apuntalamiento	38
Ilustración 21: Alambre sujetando la malla al apuntalamiento	39
Ilustración 22: Tira de PVC colocada debajo del panel	39
Ilustración 23: Desmoldante	40
Ilustración 24: Dosificadora Mono-mix-FU	41
Ilustración 25: Colocando Enlumax en la dosificadora	41
Ilustración 26: Proyección de mortero sobre el panel	42
Ilustración 27: Panel con mortero proyectado	43
Ilustración 28: Aplicación de regla de aluminio al mortero	43
Ilustración 29: Paneles en la 2da proyección de mortero	44
Ilustración 30: Vista de paneles con mortero y sin mortero	44
Ilustración 31: Geotextil colocado sobre el panel	46
Ilustración 32: Curado de paneles	46
Ilustración 33: Diagrama típico de una viga rectangular de hormigón armado	50
Ilustración 34: Colocación de banda para cargar el panel	54
Ilustración 35: Traslado de panel con tecele manual de cadena	54



Ilustración 36: Ubicación del panel sobre vigas de apoyo	55
Ilustración 37: Colocación del gato hidráulico	55
Ilustración 38: Nivel para medir deformaciones	56
Ilustración 39: Sistema hidráulico ENERPAC	57
Ilustración 40: Deformación del panel a flexión	57
Ilustración 41: Falla en el punto de aplicación de la carga	58
Ilustración 42: Fisura al borde del panel sobre la viga de apoyo	58
Ilustración 43: Adecuación del laboratorio para las pruebas de compresión	59
Ilustración 44: Panel para ensayo de compresión	60
Ilustración 45: Revisión de mangueras del sistema hidráulico	60
Ilustración 46: Gato hidráulico, disco, viga y neopreno	61
Ilustración 47: Inicio de la falla a compresión de la primera prueba	62
Ilustración 48: Introducción del neopreno en el núcleo de botellas del panel	63
Ilustración 49: Mortero en la cara del panel sin proyectar	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Productos generados en el flujo de residuos municipal, de 1950 a 2010 en EEUU.	5
Tabla 2: Clasificación de residuos sólidos urbanos, EPA	6
Tabla 3: Composición de la malla en el panel simple M2	18
Tabla 4: Características del poliestireno en el panel simple M2	19
Tabla 5: Resultados de ensayos a flexión	64
Tabla 6: Diagrama de resultados de ensayos de flexión	65
Tabla 7: Resultados de ensayos a compresión	66
Tabla 8: Comparación de resistencias obtenidas y calculadas	66



Universidad Católica de Santiago de Guayaquil

Tesis de grado:

**“ELABORACIÓN Y ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN Y A
COMPRESIÓN DE PANELES PREFABRICADOS DE PLÁSTICO RECICLADO
REFORZADO CON MALLAS DE ACERO Y MORTERO”**

Por:

JOHAN CHON TORVELA

Director:

ING. LUIS OCTAVIO YÉPEZ R.

RESUMEN

El siguiente trabajo de investigación trata sobre la **“Elaboración y análisis del comportamiento a flexión y a compresión de paneles prefabricados de plástico reciclado reforzado con mallas de acero y mortero”**.

En este trabajo se hace primero una aproximación a varios problemas actuales de la sociedad como son la contaminación del medio ambiente y la necesidad de vivienda social adecuada. Además se mencionan ciertas soluciones propuestas y se profundiza en dos sistemas de construcción que se han desarrollado y utilizado para ayudar en la solución de dichos problemas: Walltech y M2. Luego, se plantea una solución alternativa que apunta a responder a los distintos problemas simultáneamente, en mayor o menor grado, tomando las ventajas que tienen los sistemas M2 y Walltech, y buscando obtener ciertas mejoras, manteniendo todavía el aspecto artesanal del sistema propuesto.



Esta solución consiste en paneles prefabricados similares a los de los sistemas nombrados, con la diferencia de tener un núcleo de botellas plásticas desechadas entre las mallas y capas de mortero. El objetivo de colocar las botellas es el de ocupar el espacio interior para evitar el desperdicio de mortero y ofrecer una superficie donde éste pueda apoyarse para recubrir completamente la malla de acero, al tiempo que se obtiene un ahorro en materiales, entre otros beneficios.

Posteriormente, con el fin de analizar el comportamiento mecánico de este sistema, se construyen unos paneles de acuerdo a las especificaciones propuestas y se ensayan sometiéndolos a cargas de compresión y de flexión y midiendo las resistencias correspondientes y su deformación en el caso del ensayo de flexión.

Los resultados obtenidos de los ensayos, los cálculos de resistencia realizados, junto con las observaciones realizadas durante la construcción y los ensayos sirven para analizar la serviciabilidad del sistema propuesto y su comportamiento mecánico ante las cargas de compresión y flexión, y concluir si este sistema de paneles cumple los requisitos para la construcción de viviendas y que aspectos se deben seguir investigando y mejorando.



Capítulo 1: Introducción



1. INTRODUCCIÓN

1.1. La situación de la vivienda

La vivienda es el lugar de refugio que necesitan las personas para protegerse, resguardarse de las inclemencias del tiempo, preservar su intimidad, y en la mayoría de los casos, representa el lugar de asentamiento no solo de personas individuales sino de núcleos familiares, estructuras básicas del cuerpo social. Es una necesidad humana básica, como el alimento, el abrigo o el descanso. Así, “toda persona tiene derecho a un nivel de vida adecuado que le asegure, así como a su familia, la salud, el bienestar, y en especial la alimentación, el vestido, la vivienda, la asistencia médica...” (ONU, 1948)

En Latinoamérica reside un gran porcentaje de la pobreza mundial, que se ve reflejada en una necesidad de vivienda, que contribuyen a un lento desarrollo de los países en este ámbito. Esa mancha de pobreza muchas veces se superpone a la del hambre y ambas se conforman en forma de amplísima banda geográfica que, salvo contadas excepciones, cubre el Sur del globo terráqueo. (Serrano, 2003)

Los países que forman parte de este porcentaje de pobreza, evidencian la misma, entre otras cosas, por el grave déficit de vivienda económica. Un amplio sector de la población se encuentra prácticamente imposibilitado a acceder a esta necesidad primaria.

El Ecuador forma parte de este porcentaje de pobreza, donde en ciertas partes del país alcanza unos niveles infrahumanos. Asentamientos



irregulares en las periferias de ciudades grandes como Guayaquil, hacen que el crecimiento de la ciudad se dé sin dirección alguna, ya que este problema es el resultado de un “desfase” entre el crecimiento de la densidad poblacional con la construcción de viviendas.

El problema de la vivienda constituye en Ecuador uno de los problemas sociales más sensibles y complejos de resolver. En un país de 14 millones de habitantes y cerca de 3 millones de hogares, existe más de un millón de viviendas deficitarias y una demanda anual de más de 60.000 viviendas para nuevos hogares, de ellos 25.000 son hogares bajo la línea de la pobreza, es decir con un ingreso familiar por debajo del costo la canasta básica, estimada en 450 dólares mensuales. (Pozo, 2007).

Así vemos como el nivel de pobreza y el aumento poblacional van generando una alta demanda de viviendas a bajo costo. Sin embargo, para dirigirse a un problema y darle solución, es necesario tener una visión amplia de la realidad para, al buscar dicha solución, no sólo no se generen mayores dificultades, sino que se den soluciones a problemas adyacentes.

1.2. El problema de la contaminación

En la actualidad, como resultado del creciente y acelerado desarrollo tecnológico e industrial, en especial a partir de la Revolución Industrial en el siglo XVIII, se han originado diversas formas de contaminación que afectan el equilibrio del medio ambiente, repercutiendo en el bienestar del hombre. El aumento exponencial de la población mundial y su creciente demanda de bienes de consumo y servicios ha llevado a que el impacto en el medio ambiente sea todavía mayor.



Esta creciente demanda por parte de los consumidores ha impulsado el desarrollo de nuevas tecnologías para el empaque y embalaje de diversos productos de consumo diario. Los materiales que comúnmente se usan para el empaque y embalaje son el vidrio, el metal, el cartón, el papel y el plástico. Este último ocupa un lugar importante dentro de la industria debido a que posee características particulares que favorecen el manejo de productos, como su alta resistencia a pesar de ser un material liviano y su maleabilidad y ductilidad. Estas características han hecho del plástico uno de los materiales más utilizados, y al mismo tiempo, uno de los que generan una cantidad importante de desechos.

1.2.1. Producción de productos PET

Entre los diversos tipos de plástico encontramos el Tereftalato de polietileno, o mejor conocido como PET. Éste fue patentado por J. R. Whinfield y J. T. Dickson en 1941 como un polímero para fibra. En 1955 comenzó la producción comercial de fibra de poliéster y, desde entonces, el PET ha presentado un continuo desarrollo tecnológico hasta llegar a un alto nivel de sofisticación basado en el rápido crecimiento en la demanda del producto a escala mundial y a la diversificación de sus posibilidades de uso.

En 1976, se empezó a usar el PET en la fabricación de envases ligeros, transparentes y resistentes, en especial para bebidas, aunque también se ha desarrollado para empaques. Actualmente, el principal uso para la resina PET es la fabricación de envases para:



- Refrescos
- Agua purificada
- Aceite comestible
- Alimentos
- Medicinas
- Productos de limpieza
- Productos de aseo personal
- Cosméticos, entre otros.

Por las características de este plástico, los envases son ligeros, transparentes, brillantes y con alta resistencia a impactos, tienen cierre hermético, no alteran las propiedades del contenido y no son tóxicos. Es por ello que el PET ha desplazado a otros materiales y tiene una demanda creciente en todo el mundo.

Por ejemplo, en Estados Unidos se producen anualmente 12 millones de toneladas en empaques de plástico, de los cuales alrededor de 2,6 millones de toneladas pertenecen a la categoría de botellas y frascos de PET, mientras en el año 2000 éste valor rondaba los 1,7 millones de toneladas, como se muestra en las figuras.

Products	Thousands of Tons									
	1960	1970	1980	1990	2000	2005	2007	2008	2009	2010
Plastics Packaging										
PET Bottles and Jars			260	430	1,720	2,540	2,840	2,680	2,570	2,670
HDPE Natural Bottles			230	530	690	800	820	750	760	800
Other Containers	60	910	890	1,430	1,740	1,420	1,910	1,900	1,750	1,830
Bags and Sacks			390	940	1,650	1,640	1,010	940	660	770
Wraps			840	1,530	2,550	2,810	3,180	3,020	3,190	3,160
<i>Subtotal Bags, Sacks, and Wraps</i>			1,230	2,470	4,200	4,450	4,190	3,960	3,850	3,930
Other Plastics Packaging	60	1,180	790	2,040	2,840	3,210	3,870	3,720	3,600	4,450

Tabla 1: Productos generados en el flujo de residuos municipal, de 1950 a 2010 en EEUU.



Product Category	Generation (Thousand tons)	Recovery		Discards (Thousand tons)
		(Thousand tons)	(Percent of Gen.)	
Durable Goods				
PET	160			
HDPE	1,170			
PVC	240			
LDPE/LLDPE	2,000			
PP	4,070			
PS	580			
Other resins	2,740			
Total Plastics in Durable Goods	10,960	700	6.4%	10,260
Nondurable Goods				
Plastic Plates and Cups[§]				
LDPE/LLDPE	20			20
PLA	10			10
PP	140			140
PS	720			720
Subtotal Plastic Plates and Cups	890	Neg.	Neg.	890
Trash Bags				
HDPE	230			230
LDPE/LLDPE	750			750
Subtotal Trash Bags	980			980
All other nondurables*				
PET	440			440
HDPE	510			510
PVC	270			270
LDPE/LLDPE	1,180			1,180
PLA	30			
PP	1,290			1,290
PS	210			210
Other resins	600			600
Subtotal All Other Nondurables	4,530			4,530
Total Plastics in Nondurable Goods, by resin				
PET	440			440
HDPE	740			740
PVC	270			270
LDPE/LLDPE	1,950			1,950
PLA	40			
PP	1,430			1,430
PS	930			930
Other resins	600			600
Total Plastics in Nondurable Goods	6,400	Neg.	Neg.	6,400
Plastic Containers & Packaging				
Bottles and Jars**				
PET	2,670	560	21.0%	2,110
Natural Bottles†				
HDPE	800	220	27.5%	580

Tabla 2: Clasificación de residuos sólidos urbanos, EPA

En México, según la Asociación para Promover el Reciclaje del PET A.C. (APREPET A.C., 2001), para el año 2000, de los 3,2 millones de toneladas de plástico consumidos, el 52,48% se destinó a la fabricación de embalaje, donde los empaques de PET representan el 24%, alrededor de 410 mil toneladas, mostrando una participación importante en el mercado.



En Ecuador, la industria de botellas para bebidas es una de las más dinámicas, pues va de la mano con el aumento de marcas y variedades de colas, aguas, bebidas energizantes y jugos. Y eso se refleja en las estadísticas de compra de la materia prima. (Buró estratégico, 2011)

La importación de PET registra un incremento en los últimos tres años. Según las cifras del Banco Central del Ecuador (BCE), en 2008 se importaron 35.700 toneladas, mientras que en 2009 ese valor se ubicó en 44.900 toneladas. Al 2010, se compró 46.800 toneladas. (ibíd.)

Además, debido a la ausencia de agua potable apta para el consumo humano en países en vías de desarrollo, hay una tendencia marcada a consumir cada vez más agua embotellada que agua de la llave (de cañería).

1.2.2. Disposición de envases PET

Derivado de los altos niveles de consumo de estos productos, se tiene también grandes cantidades de residuos. En EEUU el plástico representa el 12% de los desechos generados, con 31 millones de toneladas, de los cuáles se recuperan solamente el 7,6%. En cuanto a desechos de productos de PET, en EEUU se reciclan el 21%. (EPA, 2011)

En México, según la APREPET, al año 2000, de las 413.000 toneladas de plástico PET demandadas, sólo se recupera el 17%. Tomando en cuenta lo que se dispone adecuadamente en rellenos sanitarios, se estima que 54% del PET se encuentra en almacén para su distribución o venta, o dispuesto inadecuadamente en cauces, calles o tiraderos clandestinos. (2001)



El plástico constituye aproximadamente el 8% por peso de nuestra basura, pero es 24 % del volumen. Mientras tanto, los residuos de PET representan entre el 2-5% del peso y 7-10% del volumen en los rellenos sanitarios (FRANKLIN ASSOCIATES, a division of ERG, 2010). Además de los grandes volúmenes que ocupan dentro de las celdas de disposición final en rellenos sanitarios, las características de estabilidad física y química del PET que son de gran utilidad para los productos hacen que su degradación sea sumamente difícil (hasta 500 años) cuando se convierten en residuos.

Dada esta realidad, es importante buscar una economía sustentable que ahorre materia prima y recursos energéticos, evitando desechos innecesarios y desperdicio de recursos naturales. Es necesario concientizar a las personas de la importancia de la reducción de los residuos para evitar su acumulación en los rellenos sanitarios y su inadecuada disposición en vías públicas, ríos, playas, etc. produciendo un fuerte impacto visual y ambiental.

1.3. Innovación en la construcción con materiales PET

En este tiempo, en el que el uso eficiente de los recursos naturales ha tomado un papel prioritario en la visión de países y empresas debido a la contaminación ambiental, al tiempo que se manifiesta con fuerza la gran cantidad de necesidades básicas insatisfechas de grandes porciones de la población alrededor del mundo, se han generado un gran número de iniciativas innovadoras que buscan tanto disminuir la cantidad de desechos y polución, aumentar la eficiencia de los procesos y del gasto energético, como dar respuesta a la dramática realidad que viven muchas personas por falta de vivienda, alimento, vestimenta, etc.



En lo referente a la construcción, podemos citar entre estas iniciativas a los proyectos de casas y escuelas construidas con “eco-ladrillos” de la fundación “Pura Vida” en Guatemala, promovidos por el Movimiento Ecológico del Manejo Alternativo de Desechos Sólidos de Atitlán. En este sistema, las botellas de plástico PET se llenan con desechos plásticos y son selladas con su tapa para luego acomodarlas en filas, formando una pared que es recubierta con una malla de alambre y mortero. (Pura Vida Atitlan)



Ilustración 1: Letrina construida con botellas PET



Ilustración 2: Escuela de botellas “My Shelter Foundation”



También podemos mencionar la técnica ECOTECH para la construcción ideada por el alemán Andreas Froese en Honduras, que luego se ha expandido por distintos países alrededor del mundo. En este caso, las botellas plásticas se llenan de adobe, tierra o escombros, para darles resistencia. Las botellas son dispuestas cual ladrillos, apiladas para formar paredes. El cemento o adobe las mantiene en su lugar para volver a la pared más maciza. Así se han construido escuelas, casas, bancos, tanques de agua, etc. (Bennaton, 2008)



Ilustración 3: Construcción con eco-ladrillo



Ilustración 4: Casa a base de eco-ladrillos



Ilustración 5: Tanque de agua de Ecotec

En métodos más sofisticados, en Taipei una compañía taiwanesa “Far Eastern Group”, grupo taiwanés de construcción y servicios financieros, ha construido un centro de convenciones de tres plantas con 1.5 millones de botellas de plástico en lugar de ladrillos. Para construir el pabellón, llamado EcoARK, se utilizaron botellas de una cadena de residuos, siendo reprocesados para formar contenedores de plástico que se entrelazan con la suficiente fuerza para bloquear a los elementos y soportar tormentas o terremotos. Este producto fue desarrollado por Miniwiz Sustainable Energy Development. (Miniwiz co.,Ltd.)



Ilustración 6: Pollibricks



Ilustración 7: EcoArk

Así también, en Inglaterra, la empresa Vertech Limited construyó recientemente un puente vial hecho de un singular compuesto de plástico reciclado patentado. La tecnología para producir este compuesto fue desarrollada por la Universidad de Rutgers en Estados Unidos, donde ya se han construido varios puentes de este tipo. El puente es capaz de resistir vehículos de carga pesada. Al ser fabricados de plástico, no se corroe ni se oxida, no requieren de pintura, tratamiento o mantenimiento regular. Al mismo tiempo dan un uso eficiente al plástico, reducen el volumen de desechos y por ende, de rellenos sanitarios. (Vertech Limited)



Ilustración 8: Puente de plástico Vertech Ltd



1.4. Sistemas de paneles prefabricados para construcción

La necesidad de cubrir la alta demanda de vivienda a bajo costo garantizando la calidad, durabilidad y tiempos extraordinariamente cortos de entrega, ha representado para muchas empresas, una oportunidad de buscar sistemas alternativos de edificación que combinen la eficacia probada de los materiales constructivos con procesos técnicos innovadores y la flexibilidad de resolver prácticamente cualquier tipo de vivienda.

En el país se han desarrollado una serie de componentes y sistemas de prefabricados para cubrir la demanda de vivienda popular, los mismos que han sido marginalmente satisfechos. Existen sistemas en el mercado que van desde mampostería con refuerzos de perfilería de acero, paneles de hormigón para ser ensamblados en sitio, sistema de enmallados con revestimiento de mortero que en unos casos tienen la inclusión de materiales importados y costosos como poliestireno expandido de baja densidad. Todos estos sistemas buscan cumplir parámetros básicos de serviciabilidad y economía, y de un modo u otro lo cumplen con mayor o menor grado de acercamiento teniendo diferencias y críticas a diferente nivel en el tema de resistencia y serviciabilidad.

Entre los muchos tipos de paneles prefabricados existentes, destacan dos sistemas que se han utilizado en el desarrollo de programas de viviendas de interés social:

- El sistema M2 (hormi2 en Ecuador)
- El sistema Walltech



1.4.1. Sistema constructivo M2

El sistema constructivo M2 (hormi2), internacionalmente reconocido como Emmedue u otros nombres, consiste en un panel modular compuesto por dos mallas de acero galvanizado electrosoldadas, conectadas entre sí por conectores, con una placa de poliestireno expandido (EPS), oportunamente moldeada, entre las mallas.

El panel es producido industrialmente, y en obra se ensambla y se cubre con una capa de micro hormigón proyectado o mortero estructural. Todo tipo de elementos estructurales son producidos bajo el mismo sistema: paredes, pisos, techos, escaleras y tabiques. Por tanto, los edificios se pueden construir completamente con el mismo sistema constructivo, lo que permite optimizar las fases de suministro, tiempos de entrega y el personal. (PANECONS, 2011)

1.4.1.1. Los componentes:

- Mallas de acero
- Plancha de poliestireno expandido
- Mortero o revoque

Es permitido mencionar que todas las plantas industriales instaladas en el mundo utilizan exactamente el mismo tipo de maquinaria y tecnología para la producción de los paneles, por lo que el Certificado ISO 9001 alcanza a la totalidad de fábricas operativas y naturalmente a las futuras a instalarse. (íbid.)



a. Mallas de acero

Las mallas se fabrican de acero galvanizado de alta resistencia (resistencia a la fluencia $f_y = 5.000 \text{ kg/cm}^2$ y resistencia a la tracción $f_r = 5.600 \text{ kg/cm}^2$) y están conformadas por barras de diámetro 2,4 mm o 3,0 mm en dependencia del tipo de panel, con una separación media de 7,5 cm por 6,0 cm en la dirección secundaria.

Las mallas sobresalen 40 mm en caras opuestas, de modo tal que al solaparse entre si aseguran la continuidad por yuxtaposición de las armaduras, sin necesidad de colocar elementos adicionales de empalme. Para el encuentro entre cerramientos, la continuidad se resuelve mediante las mallas angulares que se suministran a tal fin, siempre satisfaciendo los requerimientos exigidos por la normativa aplicable. (Emmedue)

b. El poliestireno (EPS)

El elemento base del sistema constructivo M2 es una plancha de poliestireno expandido, oportunamente moldeado, que lleva adosadas en ambas caras mallas de acero vinculadas entre si mediante conectores electro- soldados. Este panel de poliestireno desempeña la función tanto de encofrado como de capa aislante.

El EPS (poliestireno expandido sinterizado) está compuesto por carbono, hidrógeno y por el 98% de aire. Se crea a partir de la polimerización del estireno, monómero que se obtiene del petróleo. El estireno antes de ser expandido se presenta bajo forma de pequeñas perlas transparentes.



El espesor, el perfil y la densidad de la plancha de poliestireno de los paneles hormi2 puede variar en función de las necesidades específicas. La densidad mínima normalmente utilizada es la de Clase III de 15 kg/m^3 y tipo F (difícilmente inflamable o auto extinguable). (ibíd.)

c. El mortero o micro-hormigón

Los paneles hormi2, después de haber sido colocados en la obra, se anclan y completan con la aplicación de mortero o micro-hormigón proyectado sobre las dos caras del mismo.

Los paneles estructurales utilizan un micro-hormigón de resistencia mínima de 210 kg/cm^2 . Los paneles no estructurales se enlucen con un mortero o micro hormigón de 90 kg/cm^2 . Estos valores del hormigón tienen resistencias de 7 y 3 veces más que un buen bloque de hormigón. (PANECONS, 2011)

Luego, se distinguen los paneles individuales de los paneles dobles. Mientras los primeros se completan con la aplicación en cada cara del panel de una capa de mortero o micro-hormigón, los paneles dobles, además de ello, se completan con una colada de hormigón de adecuada resistencia en el interior de las placas de poliestireno. (Emmedue)

El mortero que utilizan es de tipo seco proyectable (de marcas reconocidas que poseen sello de calidad para garantizar la resistencia mínima requerida) y se aplican con máquinas de proyección continua para



garantizar la uniformidad en la mezcla, ya que sólo aportan el agua necesaria de manera constante en cada aplicación.

Así, la mezcla que se aplica debe poseer las siguientes características:

- Facilidad de aplicación: se puede aplicar en capas de alrededor 2 cm sin que se produzcan desprendimientos, con fluidez y plasticidad.
- Alta resistencia: para satisfacer las funciones estructurales a las que será sometido.
- Resistencia $f'c \geq 210 \text{ kg/cm}^2$ (en el caso de los paneles estructurales, sino $f'c \geq 90 \text{ kg/cm}^2$)
- Baja retracción de fraguado: evita la fisuración provocada por la evaporación del exceso de agua de la mezcla.

Para satisfacer todas las condiciones descritas, se usa una mezcla de bajo contenido de agua y con una relación cemento arena (en volumen) comprendida entre 3,5 y 4,5. La relación agua / cemento, en peso no supera 0,52 incluyendo la humedad libre de la arena. En cuanto a los aditivos, se utiliza un plastificante/reductor de agua en las proporciones que recomienda cada proveedor.

Los productores de paneles hormi2, como PANECONS, recomiendan utilizar fibra de polipropileno de 1,25 cm a razón de 0,90 kg por cada m^3 de mezcla. Su finalidad es proveer una red anti-retracción de fraguado aumentando al mismo tiempo la tenacidad del mortero.

También resaltan la importancia del curado, como en todos los hormigones de gran superficie y poco volumen debido a la acción de los agentes atmosféricos. Recuerdan que un correcto curado consiste en permitir



que tenga lugar el proceso de hidratación del cemento, evitando la evaporación prematura del agua libre, para lo cual es necesario mantener la humedad superficial (rociado frecuente con agua), cuidando especialmente la exposición directa a la radiación solar y al viento durante las primeras 24 horas de colocado. (Emmedue)

1.4.1.2. Descripción de paneles

a. Panel Simple Modular Estructural

El Panel Simple Modular Estructural (PSME) se usa como estructura de muros portantes en construcciones de hasta 5 pisos, con lanzado de micro hormigón en ambas caras utilizados en paredes, escaleras y losas de cubierta dependiendo de la configuración de la obra. En paredes estructurales se considera un espesor de poliestireno mínimo de 4 cm. con un revoque de micro hormigón de 3 cm. por lado (son 2,5 cm. sobre la malla), de resistencia $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$.

Malla de alambre en acero galvanizado	
Alambre de acero longitudinal	Ø 2,5 mm cada 75 <u>mm.</u>
Alambre de acero transversal	Ø 2.5 mm cada 65 <u>mm.</u>
Alambre de acero de conexión	Ø 3 mm (cerca 72 por m ²)

Tabla 3: Composición de la malla en el panel simple M2



Densidad de la plancha de poliestireno 15 kg/m³	
Espesor de la plancha de poliestireno	de 4 a 30 cm.
Espesor de la pared terminada	variable, de 10 a 36 cm.

Tabla 4: Características del poliestireno en el panel simple M2



Ilustración 9: Panel simple estructural M2

a = espesor nominal del panel de poliestireno expandido. (40- 80 mm)

b = distancia entre las armaduras longitudinales (a + 20 mm)

c = espesor de mortero estructural (≥ 25 mm)

d = espesor total $[(c \times 2) + a]$

Si el panel no tiene una función portante, durante la puesta en obra se completa aplicando a cada lado una capa de mortero no estructural de un espesor no menor a 25 mm. Para la utilización estructural del panel es necesario aplicar a ambos lados una capa de mortero estructural con resistencia de al menos 210 kg/cm² con un espesor nunca menor a 30 mm.



De esta forma el panel formará una doble capa de concreto armado con una plancha aislante de poliestireno en el centro.

b. Panel doble

El Panel Doble se conforma de dos paneles simples unidos entre sí por conectores de acero de alta resistencia y se usa como estructura de muros portantes en construcciones de hasta 20 pisos, con un colado de hormigón en el centro de los dos paneles y un lanzado del micro hormigón en ambas caras externas del panel doble.

El espesor del colado de hormigón en el interior del panel doble así como el tipo de hormigón a utilizarse, depende de las características y solicitaciones a las que puede estar sometida la construcción.

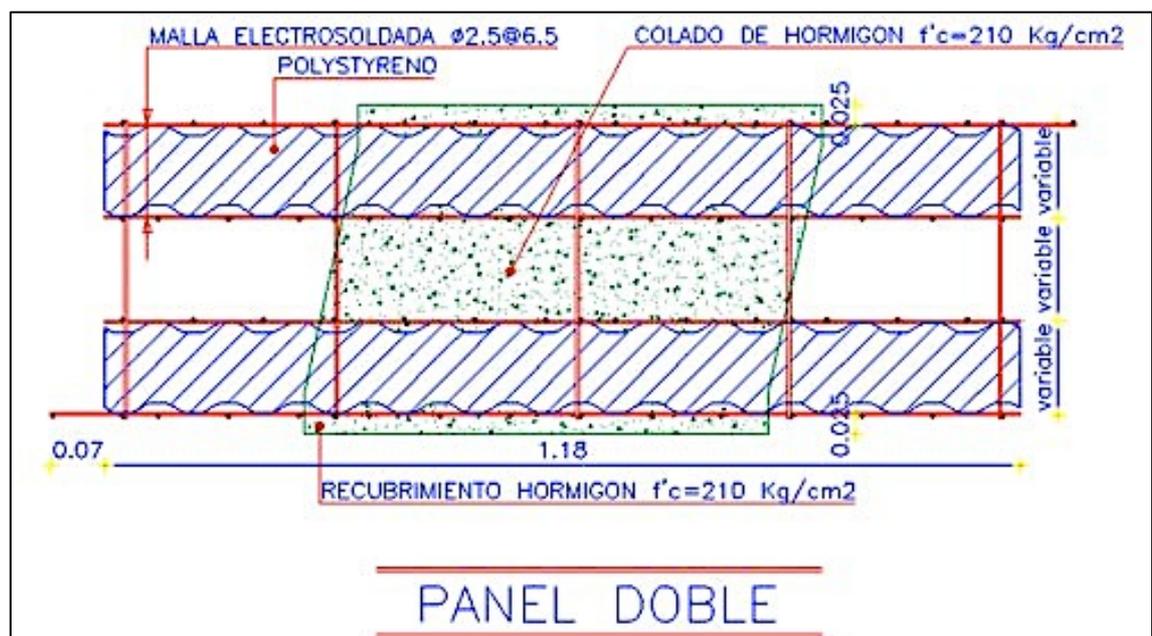


Ilustración 10: Panel doble M2



1.4.2. Sistema constructivo Walltech

Walltech es una empresa multinacional presente en más de 20 países a nivel mundial, EE.UU., México, Colombia, Brasil, Perú, India, Emiratos Árabes, España, entre otros. La empresa tiene sede tanto en Ecuador para Latinoamérica, como en España para Europa y África. Creada en el año 2002, ha tenido un rápido crecimiento a nivel mundial, debido al desarrollo de su sistema de paneles de ferro-cemento para la industria de la construcción. (Aguirre, 2009)

El principal objetivo de Walltech es crear un sistema constructivo capaz de soportar fuerzas generadas por sismos, viento y otras sollicitaciones, aportando beneficios adicionales al usuario como reducción de tiempos y costos de ejecución, así como propiedades de aislamiento térmico y acústico. Este sistema ha sido certificado por organismos como el ONNCCE, la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil y ha sido finalista en el premio nacional de Vivienda 2004 en México en la categoría de Innovación Tecnológica. (Walltech)

El sistema WALLTECH consiste en paneles de acero armado a base de cerchas verticales de 4mm y refuerzos horizontales de 2.75mm, que forman una retícula, sobre la cual se coloca una malla de metal desplegado cal. 26 en ambas caras que recibirán el mortero: cemento-cal-arena, con una proporción de 1:1/2:3. El recubrimiento que se les da a los paneles es de 2.5cm de espesor por cada lado de las caras, 1cm se introduce dentro de la malla, conformando de esta manera un vacío en el centro que sirve como aislante térmico y acústico. (ibíd.)



1.4.2.1. Especificación de los materiales utilizados para la elaboración del panel

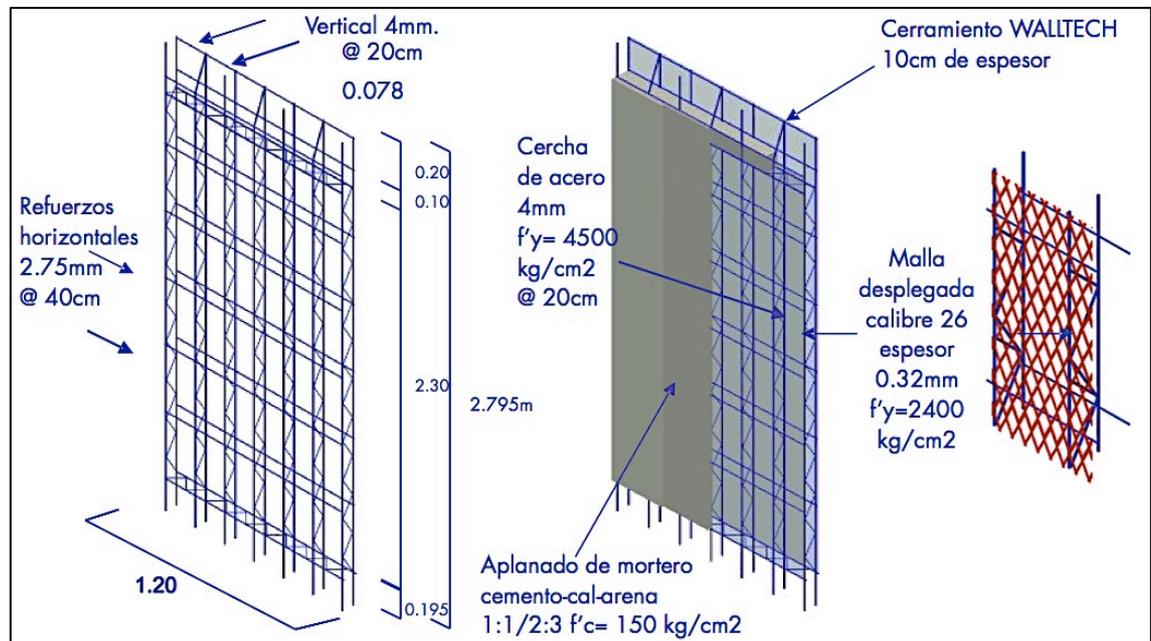


Ilustración 11: Panel Walltech

a. Acero de alta resistencia

El sistema consiste en paneles estructurales modulares compuesto por un esqueleto con varillas de acero de alta resistencia de las siguientes especificaciones:

- Acero de alta resistencia
- Diámetro de 2.75 mín. A 4.00 mm

***b. Metal desplegado o malla estructural.***

Sobre el esqueleto del panel, se coloca una malla metálica expandida o metal desplegado:

- Lamina negra rolado en frio de calibre 26
- Espesor de lamina de 0.45 mm
- Peso de malla de 0.635 kg/ m² a 0.658 kg/m²
- Volumen de acero de 80.2 cm³
- Área de contacto con el mortero de 5.455 cm².

c. Armaduras y conectores laterales de amarres de acero.

Las armaduras son las varillas onduladas que forman y dan rigidez al esqueleto, así como los conectores que tienen la función de amarrar los paneles entre sí, son de material de acero de alta resistencia:

- Acero de alta resistencia liso
- Diámetro de la varilla 4 mm (3/16")
- Resistencia de acero $f_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$ a $5,000 \text{ kg/cm}^2$
- Dimensión del conector de 40 cm.



d. Recubrimiento

El espesor del panel estándar es de 7,8 cm incluida la malla metálica expandida. Con los 2 cm de recubrimiento de cada lado (sin considerar el 0,5 cm que pasa dentro de la malla) obtenemos un muro de 11,8 cm de espesor, aunque se pueden elaborar paneles de mayor espesor, dando las indicaciones al fabricante. (ibíd.)



Capítulo 2: Desarrollo de alternativas



2. DESARROLLO DE ALTERNATIVAS

Con el fin de idear una solución viable a la elevada demanda de viviendas de interés social de parte de un sector de la población con escasos recursos, y considerando la necesidad de un desarrollo sustentable, de la utilización eficiente de los recursos naturales y de la prevención de la contaminación, esta tesis busca desarrollar, como propuesta inicial, un sistema de paneles prefabricados que cumpla los parámetros básicos de serviciabilidad y economía, apoyándose en la tecnología disponible de los sistemas hormi2 y Walltech, sus ventajas y desventajas.

Para lograr este propósito, la propuesta planteada prueba desarrollar un sistema de paneles prefabricados aprovechándose de los desechos plásticos, que de arrojar buenos resultados, entregaría una modalidad de construcción muy importante que incluye además un parámetro adicional que es la reutilización del desecho plástico.

2.1. Propuesta de paneles

El panel propuesto consiste en un núcleo de botellas plásticas desechadas dispuestas verticalmente encerrado por mallas de acero en ambas caras del panel, unidas mediante conectores de acero, y recubiertas por mortero. La especificación de los materiales que componen el panel se establece más adelante.



2.1.1. Objetivos del panel

A continuación se explican las numerosas ventajas que se pueden alcanzar con este desarrollo:

- **Economía:** Con este sistema se lograría una reducción del costo de materiales, ya que no se desperdicia tanto mortero o micro-hormigón como en el sistema Walltech, ni se utilizan las costosas planchas de poliestireno como en el sistema M2. Al mismo tiempo se mantendría la rapidez de la construcción, si, como el sistema M2, los paneles llegasen armados al sitio de obra, aunque para esto es preciso formalizar el proceso de armado de paneles, lo cual escapa al objetivo de esta tesis. La producción de un panel más económico en el que no se sacrifique la calidad del mismo beneficiaría a todas aquellas personas necesitadas de vivienda que carecen de los medios para obtenerlas.
- **Resistencia:** El panel, con mallas de acero y mortero proyectado en cada una de las caras del panel, trabajaría de manera sismo-resistente: sería dúctil debido a la presencia del acero en ambas direcciones, y resistente tanto por el mortero como por el acero. Estas características dotarían también al panel de una durabilidad mayor que la que poseen muchas de las casas en que se viven por falta de recursos.
- **Durabilidad:** En estos paneles se mantendría la integridad del acero de refuerzo, que en el sistema Walltech se pierde por la oxidación del mismo al carecer el mortero de una superficie opuesta contra la que pueda chocar para envolver completamente el acero.



- **Prevención de la contaminación:** Con este sistema se daría una posibilidad de reutilizar las botellas plásticas, disminuyendo así la contaminación del medio ambiente, el volumen de rellenos sanitarios, y generando a su vez una conciencia mayor de la utilidad de los desechos y de la necesidad de alcanzar una utilización de recursos que sea autosustentable.

La elaboración de este tipo de paneles podría proveer ciertas ventajas, que también comparten los sistemas de paneles prefabricados revisados, como lo son el aislamiento térmico, el aislamiento acústico, seguridad y la rapidez de la construcción.

2.2. Composición de los paneles

La elección de los materiales que componen los paneles se realizó tratando de mantener una similitud con los paneles hormi2 y Walltech, de acuerdo a la disponibilidad de los productos en nuestro medio. Los componentes de los paneles propuestos son los siguientes:

- a. Núcleo de botellas PET***
- b. Malla de Acero***
- c. Conectores***
- d. Mortero***

A continuación se describe la elección de dichos materiales, junto con las características propias de cada elemento.



a. Núcleo de botellas PET

- Tipo de botellas: Reciclaje de botellas PET (de agua o gaseosas)
- Diámetro aproximado: 6 cm
- Altura aproximada: 18 cm



Ilustración 12: Botella PET típica

Se han recolectado las botellas de los tachos de reciclaje de la facultad de Ingeniería de la U.C.S.G. separando en el proceso otros tipos de basura, y abriendo aquellas botellas de bebidas gaseosas o jugos, para botar los líquidos sobrantes y para evitar que la descomposición de dichos líquidos afecte el interior del panel (ya sea provocando que la botella se encoja si está cerrada, o contaminando el interior de los paneles).

b. Malla de Acero electrosoldada

- Malla: ARMEX (Alambrec)
- Diámetro: 4 mm
- Apertura: 10 cm



Ilustración 13: Malla ARMEX

Se ha elegido esta malla por su facilidad de consecución en el medio, su pequeño diámetro de varilla, suficiente y económica, y poca separación de varillas para aumentar el contacto entre el mortero y la malla, mejorando así la adherencia. Mallas de diámetros menores podrían ser utilizados, pero son más difíciles de trabajar debido a su flexibilidad y se encuentran comercialmente enrolladas y sin fines constructivos propiamente.



c. Conectores

- Alambre grueso doblado formando vinchas
- Separación: 30 cm apretado a la malla de acero

d. Mortero

- Mortero: Enlumah proyectable Clima caliente
- Forma de aplicación: colocado con máquina dosificadora de mortero
- Espesor total: 2.5 cm

Requisitos:

- Producto Enlumah proyectable 15 sacos
- Máquina dosificadora de mortero
- Mano de obra capacitada para la aplicación del mortero con máquina

La elección de este producto se debe a su alta resistencia en comparación al mortero ordinario, u otros morteros premezclados. Además, se optó por un producto de calidad garantizada para lograr un correcto estudio de los paneles en cuestión. La aplicación del mortero con la máquina es importante para lograr la adecuada uniformidad del producto en la mezcla.



Ilustración 14: Saco Enlumah proyectable

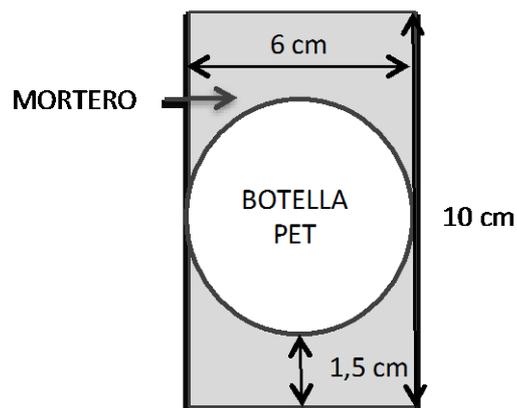


Cálculo de volumen de mortero

	Alto (m)	Ancho (m)	Cantidad (unid)	Area (m ²)
panel flexión	2,00	1,00	2,00	4,00
panel compresión	0,60	1,20	2,00	1,44
Laterales 1	3,00	0,10	1,00	0,30
Laterales 2	1,80	0,10	1,00	0,18
			Area total	5,92 m²
			Espesor	0,05 m
			Volumen total	0,31 m³

Espesor equivalente

Longitud (cm)	Ancho (cm)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)
10,00	6,00	-	60,00
-	-	6,00	28,27
		Área total	31,73 cm²
		Longitud	6,00 cm
		Espesor equivalente	5,29 cm



Volumen total (m ³)	Volumen x saco (m ³)	Cantidad de sacos
0,31	0,02	15,65
	0,022	14,23

Desperdicio de mortero en la manguera es de un saco



Capítulo 3: Construcción de paneles



3. CONSTRUCCIÓN DE PANELES

3.1. Preparación de materiales

a. Mallas

Las mallas ARMEX R-126 se compraron y cortaron un poco más cortas que las dimensiones de los paneles para que sean cubiertas completamente por el mortero ENLUMAX y evitar que sobresalgan las puntas de las varillas por los lados.

En un principio, las mallas se cortaron en el local con cizalla manual, pero sin mucha precisión, por lo que se volvió a medir y a cortar las varillas para dejar uniforme cada lado de la malla.



Ilustración 15: Corte de mallas



b. Botellas

Las botellas se recogieron de tachos de reciclaje. Entre éstas se encontraron mayormente botellas de agua, té helado y gaseosas. Las dimensiones de las botellas variaban poco, siendo las botellas de agua y té helado muy similares, con alrededor de 18 cm de longitud y 6 de diámetro, mientras las botellas de gaseosas variaban un poco según la marca, pero en general tenía 17 cm de longitud y casi 6 cm de diámetro.

Otro aspecto que variaba según el tipo de botellas era el grosor del plástico con el que están hechos, lo que le confería una mayor resistencia a las botellas de gaseosa, cuyo plástico era considerablemente más fuerte que el de botellas de agua.

A las botellas no se les quitó el cobertor plástico de la marca, considerando que no afectaría el resultado final debido a la ausencia de adhesión del mortero a las botellas plásticas. Según las explicaciones de personal de INTACO, el mortero Enlumax posee látex que puede darle cierta adherencia a las botellas, pero no es una adherencia significativa para la resistencia que se busca alcanzar.

En la recolección de botellas, algunas de éstas vinieron con tapa y otras sin tapa. Una botella tapada es mucho más resistente que una destapada por el aire atrapado en el interior de la misma. Pensando en procesos futuros para el armado de paneles, buscando asimilar una condición real, no se removió la tapa a las botellas, con excepción de botellas de gaseosa.



Las botellas de gaseosas tapadas con el tiempo se deformaban encogiéndose. Esto ocurre debido a la descomposición de lo que queda de gaseosa en el interior de la botella. Al destapar éstas botellas se podía percibir un olor desagradable que luego se esparcía.

3.2. Armado de paneles

El armado de paneles tomó alrededor de 4 a 5 horas de trabajo entre dos personas. Primero se pensó en amarrar las botellas a los bordes de la malla y colocar el resto en el medio del borde formado por botellas. Luego, se notó que una manera más eficiente de realizar el armado de estos paneles es el que se explica a continuación:

1. Se colocan las 2 mallas del panel, una encima de la otra en el piso
2. Se colocan botellas entre las mallas en las esquinas y en la mitad para marcar la distancia entre las mallas.



Ilustración 16: Armado de paneles



3. Se corta alambre grueso galvanizado con un alicate y se dobla formando una vincha de 7 cm de longitud.
4. Se colocan las vinchas de unión en los mismos lugares asegurando que las mallas estén colocadas adecuadamente una encima de la otra.
5. Se empiezan a colocar las botellas a lo largo de un borde. Estas botellas quedan presionadas por la presencia de las vinchas.



Ilustración 17: Colocación de botellas en el panel

6. Se levanta el panel dejando el borde con botellas del lado inferior. Se puede colocar un alambre zigzagueando en este borde para “amarrar” las botellas rápidamente.
7. Se echan botellas por el borde libre entre las mallas y se las acomoda adecuadamente, buscando eliminar la mayor cantidad de espacios vacíos para evitar gastar mortero.
8. Se llena de botellas y se colocan más vinchas asegurando que el panel esté recto. Sobre todo se busca poner vinchas donde el panel parezca estar “brotado”.



Ilustración 18: Vincha sujetando las mallas

3.2.1. Conectores



Ilustración 19: Conectores o vinchas de alambre grueso

Para las uniones entre las mallas se hicieron vinchas con alambre grueso galvanizado, cortado y doblado en forma de vinchas dejando una distancia de 7 cm de longitud interior. Esta distancia corresponde a la suma del ancho de la botella más dos veces el diámetro de la varilla ($6 \text{ cm} + 2 \times 0,4 \text{ cm} = 6,8 \text{ cm} \approx 7 \text{ cm}$). Esta parte del proceso tomaba tiempo debido al trabajo manual de corte del alambre grueso y su doblado.



Posteriormente, se colocaron dichas uniones en el panel armado con botellas aplastando un poco el panel para que las uniones queden a presión, y luego, doblando y cerrando la vincha.

3.3. Apuntalamiento

El apuntalamiento se realizó con madera semidura. Se construyó y apuntaló un encofrado de apoyo unilateral para el panel de tal manera que se pueda proyectar mortero de un lado primero hasta que fragüe y luego de cambiar el apuntalamiento al lado contrario se proyecte en el lado faltante. Se apuntaló ambos extremos del encofrado de apoyo con cuarterones de madera semidura, mientras una tabla clavada al piso mantenía la parte inferior del encofrado en su sitio.



Ilustración 20: Encofrado para apuntalamiento



Ilustración 21: Alambre sujetando la malla al apuntalamiento



Ilustración 22: Tira de PVC colocada debajo del panel

Se amarró con alambres el panel armado al encofrado de apoyo para asegurar que se mantenga en su sitio y para garantizar que la malla quede recta y alineada, ya que en el proceso de armado se vio que algunos paneles quedaban con una ligera curvatura debida al transporte de las mallas de acero. Adicionalmente, se colocó un pedazo de plástico PVC por debajo del panel para evitar que le mortero se pegue al suelo. También se puso desmoldante en las tablas laterales, que funcionan de maestras, para evitar que se pegue el mortero.



Ilustración 23: Desmoldante

Uno de los aspectos positivos de este tipo de paneles se notó en esta parte del proceso y es que son muy livianos al ser armados de malla de acero con botellas plásticas vacías.

3.4. Proyección de mortero Enlumar

Se llevó a cabo la proyección de mortero bajo la guía de personal capacitado de INTACO. Los mismos trajeron lo necesario para el trabajo a realizar:

- 15 sacos de Enlumar, lo necesario para proyectar mortero a ambos lados del panel
- Dosificadora mono-mix-FU de m-tec y mangueras
- Operador de dosificadora
- Albañil
- Baldes



El proceso de proyectar mortero se describe a continuación:

1. Primero se arma y se enciende la máquina dosificadora, conectando las mangueras



Ilustración 24: Dosificadora Mono-mix-FU

2. El saco de Enlumas se pone encima de una malla de acero en la dosificadora que posee unos dientes que, al poner el saco, éste se rompe debido a los mismos.



Ilustración 25: Colocando Enlumas en la dosificadora



3. El mortero Enluma se mezcla con el agua en la dosificadora y empieza a salir por la manguera.
4. La primera mezcla sale muy aguada, por lo que hay que esperar un poco a que salga una mezcla consistente.
5. Al activarlo, un compresor de aire conectado a la salida de la manguera se encarga de proveer la presión necesaria para lanzar el mortero que llega por la manguera.
6. A una distancia de 10-20 cm se dispara el mortero, buscando llenar los huecos y dando el espesor requerido.



Ilustración 26: Proyección de mortero sobre el panel

7. Finalmente, se pasa la regla de aluminio para que la superficie del panel quede lisa.



Ilustración 27: Panel con mortero proyectado



Ilustración 28: Aplicación de regla de aluminio al mortero

8. Luego de que una cara del panel haya adquirido la resistencia necesaria, se desapuntala para poder colocar mortero en la otra cara del panel, realizando el apuntalamiento correspondiente por precaución



Ilustración 29: Paneles en la 2da proyección de mortero

Es necesario, luego de proyectar el mortero, pasar una regla de aluminio para dejar plana la superficie del panel. Para tener la guía que dé el acabado plano, al construir el encofrado se colocaron las maestras a los lados del panel, dejando 1,5 cm de espesor efectivo, es decir, midiendo desde la parte externa de las varillas de la malla. Así, se le da un espesor medio aproximado de 3 cm.



Ilustración 30: Vista de paneles con mortero y sin mortero



En esta parte del proceso se notó que:

- En este tipo de mortero se puede dejar la superficie lisa con una llana de tal forma que la pintura se pueda aplicar directamente sobre ella.
- El desecho en la manguera, luego de la proyección, era de saco y medio de material.

3.5. Curado

El curado se realizó regando agua abundantemente con una manguera sobre los paneles 3 veces al día durante los 3-4 primeros días luego de la proyección de mortero. Para proteger el mortero del sol y del viento se lo cubrió con una tela geotextil que mantenía la humedad en el panel. Este geotextil se mantuvo durante los 28 días que se esperan para que el mortero alcance su resistencia máxima.



Ilustración 31: Geotextil colocado sobre el panel



Ilustración 32: Curado de paneles



Capítulo 4: Cálculos de resistencia



4. CÁLCULOS DE RESISTENCIA

4.1. Resistencia a compresión

Datos

Dimensiones

Sección	b =	60	cm
	h =	10	cm
Longitud	L =	120	cm

Materiales

Acero

Malla de refuerzo ARMEX R-126

$$f_y = 6.000 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_s = 2.100.000 \text{ kg/cm}^2$$

$$\epsilon_y = 0,00286$$

Refuerzo @ 4 c/100 mm

Mortero

EnlumaX proyectable de INTACO para clima caliente

$$f'_c = 132,00 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_c = 15000 (f'_c)^{0,5}$$

Aplicando una reducción al 80% por diferencia de curado

$$f'_c = 105,00 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_c = 154.000,00 \text{ kg/cm}^2$$

espesor

$$= 2,00 \text{ cm en cada cara del panel}$$

$$P_n = \Phi f'_c A_c + f_y A_s$$

$$\Phi = 0,85$$

$$A_s = 1,26 \text{ cm}^2 \text{ en cada cara del panel}$$

$$A_c = 240,00 \text{ cm}^2$$

$$\Phi f'_c A_c$$

$$= 21.420,00 \text{ kg}$$

$$f_y A_s = 15.079,64 \text{ kg}$$

$$P_n = 36.499,64 \text{ Kg}$$

$$P_n = 36,50 \text{ Ton}$$



4.2. Resistencia a flexión

Datos

Dimensiones

Sección: ancho	b =	100	cm	
altura	h =	10	cm	
Longitud				
d	L =	180	cm	*entre apoyos

Distancia del acero de refuerzo al borde superior de la sección

y1 =	2	cm
y2 =	8	cm

Método de tanteo

c = distancia del borde superior al eje neutro

x = distancia del acero al eje neutro

ϵ_s = deformación unitaria en el acero

f_s = esfuerzo de tensión en el acero

C = Fuerza resistente del concreto

T = Fuerza resistente del acero

c (cm)	x1 (cm)	ϵ_{s1}	f _{s1} (kg/cm ²)	x2 (cm)	ϵ_{s2}	f _{s2} (kg/cm ²)
1,42	0,58	0,0012	2572,84	6,58	0,0139	6000

C (kg)	T1 (kg)	T2 (kg)	Suma
10773	-3233	-7540	0

Cálculo de Momento Mu

Se calcula el momento resistente multiplicando las fuerzas de Tensión por el brazo de palanca entre el punto de aplicación de la fuerza de Tensión y la de Compresión.

a = 0,85 c = zona de compresión

z1 = brazo de palanca entre T1 y C

z2 = brazo de palanca entre T2 y C

MT1 = Momento producido por T1 x z1

MT2 = Momento producido por T2 x z2



c (cm)	a (cm)	z1 (cm)	z2 (cm)	MT1 (kg-cm)	MT2 (kg-cm)	Mu (kg-cm)	Mu (Ton-m)
1,42	1,21	1,40	7,40	-4514,98	-55768,09	60283,08	0,60

Carga puntual

En el ensayo el panel resistirá una carga puntual P igual a:

$$P = 4 M_u / L$$

$$P = 1339,62 \text{ kg} = 1,34 \text{ ton}$$

Ilustración 33: Diagrama típico de una viga rectangular de hormigón armado



Capítulo 5: Ensayos de laboratorio



5. ENSAYOS DE LABORATORIO

Los ensayos de los paneles se realizaron en el laboratorio del CEINVES, en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

Para trasladar los paneles, se los cargó de manera horizontal, utilizando el mismo encofrado del apuntalamiento como soporte.

5.1. Elección de ensayos

El comportamiento mecánico de los paneles depende del tipo de materiales que componen el panel, así como el volumen de material usado y la manera en que se encuentran dispuestos y unidos entre sí. Los ensayos de comportamiento mecánico permiten determinar la resistencia de los paneles ante los esfuerzos mecánicos. De estos ensayos, los más importantes son:

- **Resistencia a la compresión:** Su finalidad es determinar la carga máxima, por unidad de superficie, que es capaz de soportar el elemento cuando es sometido a una compresión simple, para evaluar si el panel es adecuado o no en zonas que deben soportar cargas importantes.
- **Resistencia a la flexión:** Su finalidad es conocer la carga máxima que puede soportar a flexión, un panel apoyado en los extremos, hasta su rotura.



El diseño de estructuras ingenieriles requiere datos técnicos precisos sobre la resistencia y rigidez de los elementos empleados y los resultados de estos ensayos permiten predecir de manera muy aproximada el comportamiento de los paneles en estado de servicio, aunque no puedan concluir que sean adecuados y convenientes para la construcción de viviendas, dado que no cubre todos los aspectos necesarios para ello. Sin embargo, estos ensayos sí permiten llegar a la decisión de extender o no la investigación sobre su comportamiento, o de alterar los paneles de alguna manera.

5.2. Ensayos de flexión

Se ensayaron 2 paneles de dimensiones 2,00 x 1,00 m² a flexión.

5.2.1. Preparación para el ensayo de flexión

1. Fuera del laboratorio, se aseguró el panel con una banda y se colgaron de un tecele manual de cadena y se llevó el panel al interior del laboratorio.
2. Al bajar el panel, se lo colocó sobre 2 vigas metálicas, ubicadas en la estructura donde se realizan las pruebas de carga.



Ilustración 34: Colocación de banda para cargar el panel



Ilustración 35: Traslado de panel con tecla manual de cadena

3. Se colocó un gato hidráulico “ENERPAC RC-156 / 15 Ton” conectado a un “Manómetro ENERPAC G4039L / 0 - 10000 psi”
4. Se centró el panel en la estructura debajo del gato hidráulico, colocando las vigas a los extremos del panel.



Ilustración 36: Ubicación del panel sobre vigas de apoyo

5. En el centro del panel se colocó una banda de neopreno para una obtener una distribución de fuerzas equitativa.
6. Sobre la banda de neopreno se colocó una viga con un peso de “25” kilogramos, para transferir la carga del gato al panel, entre los cuales se colocó un disco de acero para salvar la distancia restante entre el sistema de carga y la viga apoyada sobre el panel.



Ilustración 37: Colocación del gato hidráulico



7. Se colocó un nivel frente al panel, para medir la deformación máxima en una regla pegada al panel.



Ilustración 38: Nivel para medir deformaciones

5.2.2. Prueba de carga a flexión

Se empezó a aplicar la carga puntual al panel y se midió las deformaciones máximas, en el centro del panel, cada vez que la presión del gato aumentaba 100 psi. Se aplicó carga hasta que ya no aumentara más, aunque se siga deformando.



Ilustración 39: Sistema hidráulico ENERPAC

Se produjo una falla dúctil, en la que fluyó el acero de la malla, aunque se fueron presentando fisuras en el mortero de ambos lados durante la prueba.



Ilustración 40: Deformación del panel a flexión



Ilustración 41: Falla en el punto de aplicación de la carga



Ilustración 42: Fisura al borde del panel sobre la viga de apoyo



5.3. Ensayos de compresión

Se ensayaron 2 paneles de dimensiones 1,20 x 0,60 m² a compresión. Fue necesario modificar la estructura metálica de soporte del laboratorio donde se llevan a cargo las pruebas de carga para adecuarla para la prueba de compresión, donde el panel se coloca verticalmente.



Ilustración 43: Adecuación del laboratorio para las pruebas de compresión

5.3.1. Preparación para el ensayo de compresión

1. Fuera del laboratorio, se aseguró el panel con una banda y se colgaron de un tecele manual de cadena y se llevó el panel al interior del laboratorio.
2. Al bajar el panel, se lo colocó de manera vertical sobre una viga metálica, ubicadas en la estructura donde se realizan las pruebas de carga.



Ilustración 44: Panel para ensayo de compresión

3. Se colocó un gato hidráulico “ENERPAC RCH-606 / HUECO” conectado a un “Manómetro ENERPAC G4039L / 0 - 10000 psi”. Este es más grande que el usado para flexión, por tener estos paneles una mayor resistencia a la compresión que a la flexión.



Ilustración 45: Revisión de mangueras del sistema hidráulico



4. Se centró el panel en la estructura debajo del gato hidráulico, colocando la viga en línea con el borde del panel.

5. En el borde superior del panel se colocó una banda de neopreno para una obtener una distribución de fuerzas equitativa.

Sobre la banda de neopreno se colocó una viga con un peso de 25 kilogramos, para transferir la carga del gato hidráulico al panel, entre los cuales se colocó un disco de acero.



Ilustración 46: Gato hidráulico, disco, viga y neopreno

5.3.2. Prueba de carga a compresión

Se empezó a aplicar la carga puntual al panel aumentando la presión con la bomba manual hasta el momento en que se produce la falla. Debido a que, en la primera prueba, el neopreno empezó a introducirse por en medio de las mallas de acero (donde se encuentra el núcleo de botellas PET)



ocasionando que éstas se abran cerca del borde, el panel no pudo desarrollar su capacidad a compresión.

Por ello, para la segunda prueba de carga, en la preparación para la prueba se le dio confinamiento a los bordes del panel, colocando éste dentro de un canal U de acero, con cartón para que quede ajustado y provea una distribución más equitativa de los esfuerzos. Proveer éste confinamiento permitió que el panel desarrolle toda su capacidad a compresión, dando un carga máxima 61% más grande que la del primer ensayo.



Ilustración 47: Inicio de la falla a compresión de la primera prueba



Ilustración 48: Introducción del neopreno en el núcleo de botellas del panel



5.4. Resultados de ensayos

5.4.1. Resultados de los ensayos de flexión

Cálculo de esfuerzo a flexión

Sistema ENERPAC RC-156 / 15 Ton
Lector Manómetro ENERPAC G4039L/0-10000 psi
 Sub. Div. 100 psi
Dimensiones del panel 2,00 x 1,00 x 0,10

Ensayo # 1

Presión aplicada (psi)	Fuerza equivalente (kN)	Fuerza equivalente (kg)	Deformación (mm)
0	0,00		0
100	0,40	40,77	1,7
200	1,80	183,49	5
300	3,20	326,20	13
400	4,60	468,91	25
500	6,00	611,62	43
500	6,00	611,62	92
0	0,00	0,00	70

Ensayo # 2

Presión aplicada (psi)	Fuerza equivalente (kN)	Fuerza equivalente (kg)	Deformación (mm)
0	0,00		0
100	0,40	40,77	1
200	1,80	183,49	5
300	3,20	326,20	13
400	4,60	468,91	25
500	6,00	611,62	40
500	6,00	611,62	62
0	0,00	0,00	42

Tabla 5: Resultados de ensayos a flexión

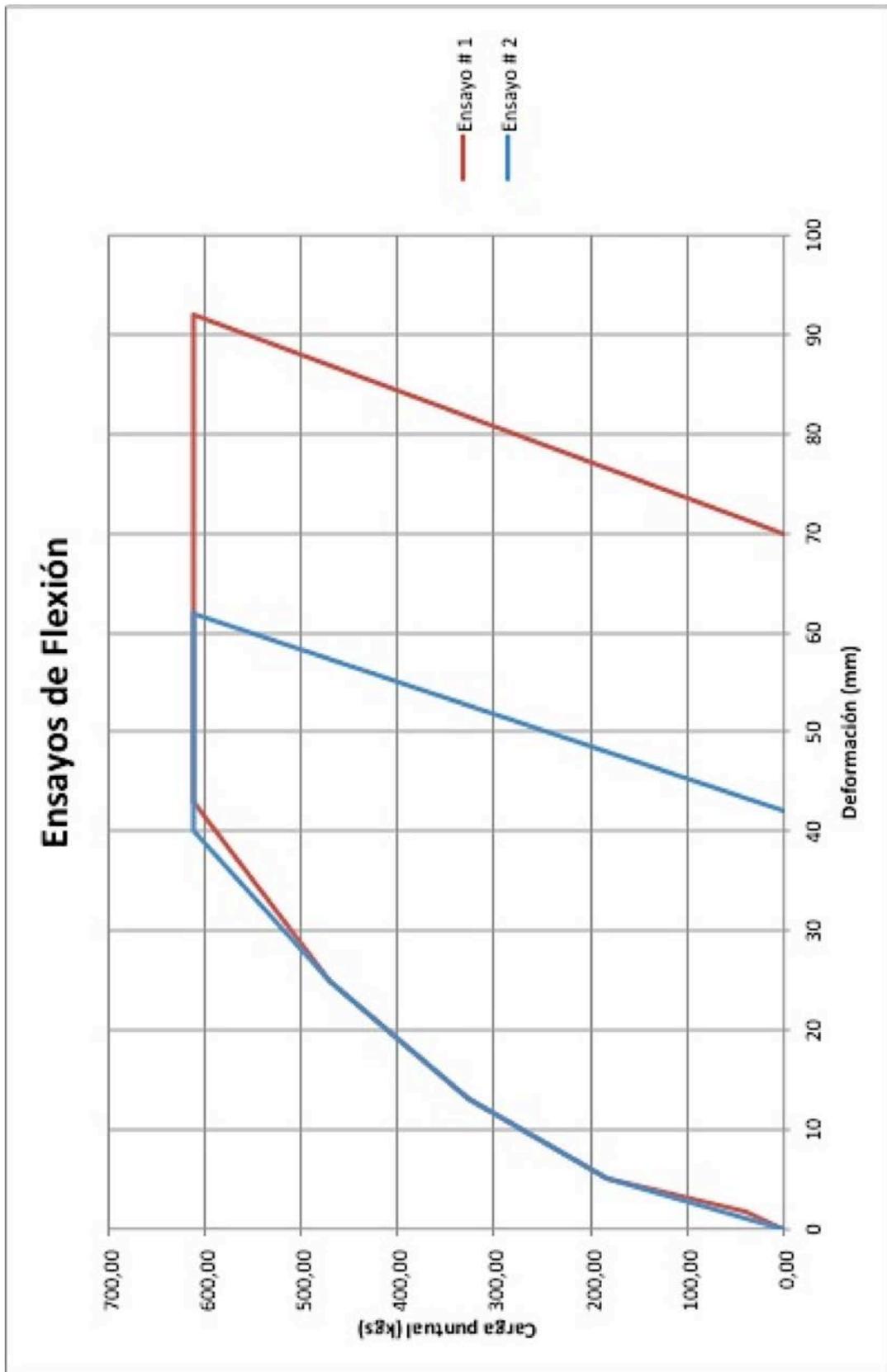


Tabla 6: Diagrama de resultados de ensayos de flexión



5.4.2. Resultados de los ensayos de compresión

Cálculo del esfuerzo a compresión

Sistema ENERPAC RCH-606 / HUECO

Lector Manómetro ENERPAC G4039L / 0 - 10000 psi

Sub. Div. 100 psi

Dimensiones panel 1,20 x 0,60 x 0,10

Ensayo	Fisuras inician en (psi)	Fuerza equivalente (kN)	Resistencia máxima (psi)	Resistencia máxima (kN)	Resistencia máxima (Ton)
*Ensayo # 1	600	31,7	1300	68,1	6,94
Ensayo # 2	900	31,7	2100	109,7	11,18

* No desarrolló la compresión esperada. Falló al introducirse el neopreno donde se aplica la carga por el centro de botellas entre las caras de mortero, provocando que ambas caras se separen una de otra.

Tabla 7: Resultados de ensayos a compresión

5.5. Comparación de resultados calculados vs resultados obtenidos

Resultados	Calculados	Obtenidos	Porcentaje
Flexión	1,34	0,611	45,60%
Compresión	36,5	11,18	30,63%

Tabla 8: Comparación de resistencias obtenidas y calculadas



5.5.1. Observaciones en la construcción

5.5.1.1. Mortero

Una cara de algunos de los paneles ensayados mostraba con claridad un ondulado sutil en su superficie, siguiendo el patrón de las varillas de acero. Es posible que este fenómeno se deba a que se utilice excesiva fuerza al pasar la regla de aluminio de alisado, provocando un empuje temporal sobre la malla, y al quitar ésta, la malla regresaba a su posición inicial empujando el mortero, modificando ligeramente la superficie del panel, produciendo una acumulación vertical de mortero y el sutil ondulado.

El espesor del mortero a lo largo de cada cara de los paneles era variable, dado que las botellas al ser de distintos tamaños, sin resistencia importante a compresión, y al estar acomodadas sin fijación alguna, quedaban colocadas en distintas posiciones en relación al eje exterior de la superficie del panel, unas más cerca de una superficie del panel que otras. Se trataba de buscar sobretodo lograr un espesor de alrededor de 1,5 cm desde la malla de acero a la superficie, aunque se comprobó que en ciertas partes el espesor del mortero no cumplía esta disposición, mientras en otras la superaba. El menor espesor de mortero que se encontró fue de 1,1 cm mientras que el mayor fue de 2 cm. Era más frecuente encontrar un espesor mayor a 1,5 cm que encontrar una menor.

Durante la construcción se proyectó mortero sobre ambos lados del panel en días distintos, lo que genera que en los puntos de encuentro del mortero de ambos lados se produzca una junta fría y vacíos dada la forma irregular que queda en esos puntos al proyectar el primer lado del panel. Por eso, no se puede deducir con certeza que esta unión de mortero entre ambas caras del panel aumente la resistencia del panel. Sin embargo, esta situación



no ideal ya es mejor que ninguna conexión entre ambas caras de mortero en el panel.

Se espera que en trabajos grandes la aplicación de mortero sobre una sola cara y su retracción en la aplicación sobre la cara opuesta produciría una fisuración sobre las paneles debido a la baja resistencia temporal de la primera cara.



Ilustración 49: Mortero en la cara del panel sin proyectar

Adicionalmente, el tipo de curado y el porcentaje de vacíos en el mortero son factores que en la resistencia final del mismo. Se observó que la calidad del mortero proyectado era menor que la resistencia del mortero de las probetas representativas del panel ensayadas en laboratorio, ya que el curado de éste último es sumergido en agua durante 28 días y el del panel era regar agua 3 veces al día por 3-4 días. Por otro lado, luego de ensayar los paneles se fue revisando y viendo que sí se presentaban vacíos en el mortero, pero que no alteran significativamente su resistencia.

Adherencia Mortero-acero: Algunas varillas quedaban pegadas a las botellas de tal forma que el mortero sólo lograba cubrir la mitad de la varilla. Esto se traduce en una reducción de adherencia del acero al mortero, lo que afecta la resistencia del panel, permitiendo que las varillas de acero se



pandeen y evitando que trabajen juntos el acero y el mortero, pudiendo producirse incluso una falla de adherencia.

Corrosión: Estos ensayos no pueden concluir con el parámetro de corrosión aunque inicialmente el pH elevado y una buena cobertura darían protección por algún tiempo, indefinido hasta lo investigado. Se sugiere experimentar con variables de corrosión y protección diferentes.

5.5.1.2. Botellas

Las botellas se adecúan bastante bien al panel. Ellas otorgan una cierta rigidez al panel luego del armado, aunque a la hora de ensayarlo, no proveen resistencia significativa (por lo que se consideran necesarias las conexiones rígidas entre mallas). Sin embargo, las botellas permiten la reducción de pérdida de mortero sin incurrir en mayores costos, lo cuál es la razón por la que se eligió.

5.5.2. Observaciones durante los ensayos

La resistencia a flexión resultante fue del 45% de la calculada, lo cuál es un bajo porcentaje del teórico, sin embargo, se nota que es mayor al 30,6% de la resistencia calculada a compresión. Es decir, la situación teórica del panel a flexión se asemeja más a la realidad que la del panel a compresión.



5.5.2.1. Observaciones en los ensayos de flexión

Desde los primeros niveles de carga, la deformación creció rápidamente conforme aumentaban las cargas. Durante los ensayos se escuchaba primero la deformación de las botellas, al aplicar la carga. El panel se deformaba bastante y poseía una gran capacidad de recuperación de la deformación, aunque la resistencia no haya sido tan grande. En el primer ensayo a flexión, luego de deformarse el panel 9.2 cm, al liberar la carga se recuperó 2 cm. En el siguiente ensayo también se recuperó 2 cm luego de deformarse 6.2 cm. Esto se debe a la malla de acero que posee en ambas caras (ambas funcionando a tensión).

La ausencia de conexiones rígidas entre ambas mallas de acero del panel hace que no se produzca una situación similar a la de una viga de hormigón doblemente armado, donde el acero debe seguir la deformación de la viga y no puede desplazarse transversalmente por la presencia del hormigón. La condición real del panel permite que el acero se desplace un poco hacia el interior del panel y no desarrolle su capacidad total a tensión, sino que comprima las botellas.

Es importante reconocer que la uniformidad de los resultados en los ensayos a flexión son causa de confianza en el comportamiento de los paneles, es decir, este tipo de paneles no poseen un comportamiento errático en el que no se pueda predecir cómo va a funcionar, sino que es posible predecir su comportamiento de manera muy aproximada.



5.5.2.2. Observaciones en los ensayos de compresión

En el primer ensayo a compresión, la resistencia del panel fue de 6,94 ton. En este ensayo, el panel se abrió por la mitad, separándose ambas caras del panel al introducirse el neopreno entre ellas y produciendo la mayor compresión sólo en las botellas.

En el segundo ensayo, al colocar como confinamiento una U de acero, la resistencia del panel llegó a los 11,18 ton, lo cual representa un 61% adicional. Es decir, con el confinamiento apropiado el panel es capaz de desarrollar su resistencia a compresión. También se muestra la ausencia de conectores resistentes que eviten la apertura del panel y la condición de borde débil que posee al tener el núcleo de botellas.



Conclusiones y recomendaciones



6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Es necesario proveer de una mayor cantidad y calidad de conexiones entre las mallas de acero de los paneles, como varillas conectoras entre mallas electro soldadas, que:

- Permitan la transmisión de esfuerzos entre ambas caras del panel
- Den rigidez al panel para evitar que hayan desniveles en la superficie del mortero en el panel o pandeos tempranos.
- Resulten en una estructura más recta para obtener el espesor de mortero necesario en cada lugar
- Eviten que el acero de flexión aplaste las botellas y por ende, no trabajen como deberían
- Eviten que el panel se “separe o abra” por la mitad al ser sometido a compresión

- Es necesario estudiar la importancia y utilidad de los distintos tipos y disposiciones de conectores. En este caso, parece ser que los conectores de alambre grueso no fueron suficientes o que tal vez temporalmente podrían ser suficientes hasta que se presente la corrosión.

- El confinamiento en el borde es esencial para que el panel desarrolle su resistencia a compresión. En caso de no proveer una adecuada junta en el borde, el panel, al recibir la carga a compresión, puede fallar mucho antes abriéndose el panel por la mitad, como sucedió en el primer ensayo de compresión, donde la carga abrió las mallas e introdujo el neopreno.



- Los paneles estudiados presentaron un buen funcionamiento en los ensayos realizados. Las capacidades a flexión y a compresión resultantes superan las necesarias para las viviendas de interés social, a pesar de que éstas hayan sido menores a las capacidades teóricas.

- Consideramos que este tipo de paneles puede ser utilizado con ligeras modificaciones en la construcción de viviendas de interés social, con investigaciones paralelas complementarias.

- Las investigaciones que consideramos primigenias y más relevantes que deben realizarse se listan a continuación y son:

- Estudio de patrones y formas variadas en que trabajarían.
- Importancia y utilidad de los distintos tipos y disposiciones de conectores entre mallas y remates.

- Realizar una profunda investigación en el área de la corrosión con variados parámetros y protecciones o utilizar materiales galvanizados. En esta investigación están en mora aun algunos de los desarrollos que se han comercializado para viviendas ya aprobados por las instituciones públicas.

- Realizar ensayos de otros esfuerzos mecánicos reglamentarios, así como de habitabilidad completa para determinar la idoneidad de los paneles para la construcción.

- Finalmente será necesario realizar con los resultados fruto de estas investigaciones adicionales ejecutar y ensayar un modelo a escala real bajo cargas dinámicas que representen un sismo real así como se han hecho con otros modelos prototipos en la Universidad.



Bibliografía



7. BIBLIOGRAFÍA

Bennaton, A. (2008). Reciclando plástico... construimos! *Ecohabitar* , 34-36.

Buró estratégico. (13 de Junio de 2011). *Los plásticos enfrentan su primer impuesto focalizado*. Recuperado el 20 de Octubre de 2011, de Buró de análisis informativo: <http://www.burodeanalisis.com/2011/06/13/los-plasticos-enfrentan-su-primer-impuesto-focalizado/>

EPA. (Noviembre de 2011). *Municipal Solid Waste Generation, Recycling, and Disposal in the United States: Facts and Figures for 2010*. Recuperado el 23 de Noviembre de 2011, de United States Environmental Protection Agency: http://www.epa.gov/wastes/nonhaz/municipal/pubs/msw_2010_factsheet.pdf

EPA. (Noviembre de 2011). *Municipal Solid Waste Generation, Recycling, and Disposal in the United States Tables and Figures for 2010*. Recuperado el 23 de Noviembre de 2011, de United States Environmental Protection Agency: http://www.epa.gov/wastes/nonhaz/municipal/pubs/msw_2010_data_tables.pdf

APREPET A.C. (2001).

Dirección Técnica de Desechos Sólidos. (1997).

FRANKLIN ASSOCIATES, a division of ERG. (7 de Abril de 2010). *Final Report Life cycle inventory 100% consumer HDPE and PET recycled resin from postconsumer containers and packaging*. Recuperado el 10 de Noviembre de 2011, de NAPCOR: http://www.napcor.com/pdf/FinalReport_LCI_Postconsumer_PETandHDPE.pdf

ONU. (1948). Declaración de Derechos Humanos art. 25.



Serrano, J. S. (2003). *La industrialización posible de la vivienda latinoamericana*. Bogotá: Escala.

Pozo, S. R. (Abril de 2007). *Contrato social por la vivienda en Ecuador*. Recuperado el Octubre de 2011, de <http://www.ciudad.org.ec/custom/revista/17//silvanacontsoc.pdf>

Miniwiz co.,Ltd. (s.f.). Recuperado el 20 de Octubre de 2011, de <http://www.miniwiz.com/>

Vertech Limited. (s.f.). *Road Bridge made from Rubbish*. Recuperado el 19 de Octubre de 2011, de http://verttechcomposites.co.uk/i/Recycle_Plastic_Bridge_Project_Summary.pdf

Eco-tec. (s.f.). *eco-tecnología*. Recuperado el 20 de Octubre de 2011, de <http://www.eco-tecnologia.com>

Pura Vida Atitlan. (s.f.). Recuperado el 20 de Octubre de 2011, de Sitio web de Pura Vida Atitlan: <http://www.puravidaatitlan.org/>

PANECONS. (2011). *hormi2*. Recuperado el Octubre de 2011, de <http://www.hormi2.com/hormi2/index.php>

Emmedue. *Memoria Técnica Sistema constructivo M2*. Advance Building System Emmdue.

Aguirre, G. (2009). Estamos en Chile para contribuir a mejorar la calidad constructiva, con una metodología que entrega una vivienda 100% estructural, aislamiento térmica y acústica. *Revista de la construcción*, 8 (1), 136.

Santacruz, L. A. (Enero de 2007). *Sistema Walltech*. Recuperado el Octubre de 2011, de Obras web: <http://www.obrasweb.mx/construccion/2007/01/01/sistema-walltech>

Walltech. (s.f.). Recuperado el 19 de Octubre de 2011, de Walltech internacional: <http://www.walltech.es/espanol/home.htm>



Walltech. (s.f.). *Manual tecnico*. Recuperado el Octubre de 2011, de
Walltech internacional:
<http://www.walltech.es/espanol/pdf/manualtecnico.pdf>



Anexos



8. ANEXOS

8.1. Gastos realizados en la investigación

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Madera semidura para encofrado	global	1	\$60,00	\$60,00
Alambre	kg	1	\$-	\$-
Clavos de acero para concreto	unidad	25	\$0,30	\$7,50
Clavos 2 1/2 "	lb	1	\$-	\$-
Malla de acero ARMEX R-126	unidad	1	\$37,50	\$37,50
Corte de malla	global	1	\$4,00	\$4,00
Oficial entre semana	hora	8	\$1,88	\$15,00
Carpintero sábado	hora	4	\$6,25	\$25,00
Oficial Sábado	hora	4	\$3,75	\$15,00
Carpintero entre semana	hora	4	\$5,00	\$20,00
Ensayos de mortero	global	1	\$30,00	\$30,00
Ensayos de paneles	global	1	\$150,00	\$150,00
Oficial Sábado	hora	4	\$3,75	\$15,00
Desalojo	global	1	\$20,00	\$20,00
				\$-
				\$-
			TOTAL	\$399,00

INTACO	Unidad	Cantidad
Saco de Enlumas 40 kg	saco	15
Dosificadora proyectora	hora	4
Albañil	hora	4
Operador	hora	4

DONACIONES	Unidad	Cantidad
Agua	m3	-
Alambre grueso galvanizado	kg	1
Alambre galvanizado #18	kg	2
Plástico PVC láminas	m2	1
Geotextil para curado	m2	6



8.2. Calendario de trabajo realizado

SEPTIEMBRE		
3	Sábado	Compra de materiales
5	Lunes	Transporte de materiales al laboratorio
6	Martes	Reunión con director de Tesis, ing. Octavio Yépez Armado de paneles de botellas con las mallas de acero ARMEX R-126, alambre grueso y fino galvanizado (ver proceso de armado) Mano de obra: un oficial
7	Miércoles	
8	Jueves	Reunión con Jefe de Respaldo Técnico INTACO, Ing. Ricardo Espinosa Revisión de plan de trabajo
9	Viernes	Reunión con director de Tesis Compra y transporte de madera semidura para el apuntalamiento, alambre, clavos para madera y concreto
10	Sábado	Apuntalamiento de paneles Mano de obra: Carpintero y oficial Trabajo de 8:00 a 12:00
12	Lunes	Revisión de apuntalamiento y sitio de trabajo por Ing. Espinosa
13	Martes	10:30 - 12:00 Proyección de mortero Enlumax realizada por INTACO Mano de obra: Un oficial y un albañil Se realiza sólo una cara de los paneles debido al apuntalamiento por estar construyendo paneles para pruebas que deben ser transportados al interior del laboratorio Proceso de curado: 3 días, 3 veces al día echar agua. Se cubrió los paneles con geotextil que mantiene la humedad y protege del viento y el sol Obtención de muestras para comprobación de resistencia
14	Miércoles	Curado de paneles
15	Jueves	Apuntalamiento del lado opuesto al realizado primero para proceder a la proyección en el lado que falta Mano de obra: un carpintero Curado de paneles
16	Viernes	Proyección de mortero, cara opuesta del panel Mano de obra: oficial, albañil Curado de paneles
17-18	Sábado y Domingo	Curado de paneles
19	Lunes	Curado de paneles
20	Martes	Curado de paneles 2da cara
21	Miércoles	Curado de paneles 2da cara



OCTUBRE		
12	Miércoles	Traslado de paneles
13	Jueves	Reunión con el director de tesis
14	Viernes	Ensayos de flexión
15	Sábado	Ensayos de compresión Ensayos de mortero
17	Lunes	Desalojo



8.3. Ficha técnica de Enlumax Proyectable

ras.





8.4. Indicaciones del uso y cuidado de la máquina MONO MIX FU

Fecha de Explicación y demostración: 8/09/11 – 9/09/11

Arquitecto: Carlos Vargas

Técnico: William Pihuave

ESPECIFICACIONES

- Máquina de procedencia Alemana
- Trabaja a 220v y una entrada de agua potable limpia.
- Salida estándar: aprox. 5 a 20 l / min / 22 l / min (mono-mix-FU/mono-mix),
- Variable con bombas de otro calibre
- Distancia de transporte: hasta 20 m *
- Transporte de altura: hasta 20 m *
- Presión de transporte: hasta 10 bar / 20 bar * (mono-mix-FU/mono-mix)
- Suministro de agua: 3 / 4 "manguera de agua con acoplamiento, min requiere la presión del agua. 2,5 bar, mientras la máquina está funcionando
- Dimensiones: aprox. 1430 x 670 x 1.150 mm
- Peso: aprox. 160 kg / 165 kg

*Dependiendo de la consistencia, calidad y composición del material, el modelo de la bomba - y la condición, el diámetro y la longitud de la manguera y la altura de bombeo del material.

EQUIPO DE SEGURIDAD RECOMENDADO

- Guantes
- Botas de caucho





- Mascarilla
- Gafas
- Protectores de oídos
- Faja para la cintura del operador

PARTES DE LA MÁQUINA MONO MIX FU.

1. Coche con cuadro de mando.
2. Compresor de aire 250l/min, 230V 50Hz monofásico.
3. Rotor y stator lila autorregulable.
4. Pieza final de la bomba con acoplamiento H35.
5. Reloj o manómetro de presión de manguera 0-100bar DN35.
6. Reductor M35/M25 giratorio.
7. Manguera transportadora de mortero $d = 25\text{mm}$, 10m.
8. Manguera de aire de $\frac{1}{2}$ ", 11m.
9. Tolva con rejilla.
10. Motor 230v con bincha.
11. Útil giratorio.
12. Sin fin o árbol de mezcla.
13. Chiflón de aire.
14. Lanza proyectora.
15. Cable eléctrico 16^a 3 pol 6h , 25m.
16. Lima redonda para limpieza de tobera.
17. Llave para tapa plástica.
18. Herramientas Varias (Varilla lisa, 2 llaves de boca 19-24, llave de boca 10-11, tubo).

PROCESO DE INSTALACIÓN

1. Colocar la tolva en el coche y asegurar con la bincha, ingresando la bincha por el lado plano, dar unos golpecitos con la varilla lisa para ajustar hasta que el coche y la tolva se muevan uniformemente
2. Apoyar el motor en la pierna derecha y colocar hacia el lado izquierdo del coche, instalar el seguro rápido y la bincha.



3. Regular la pieza final de la bomba de acoplamiento; que las binchas se encuentre a la misma distancia para instalar el rotor y stator.
4. Destornillar los pernos de la camisa del stator (en el caso que el stator sea autorregulable ya no es necesario este paso)
5. Sumergir en agua con deja el rotor e instalar por la parte más ancha del stator la parte más angosta del rotor
6. Los tornillos no deben quedar apretados para que permita el paso del material. (en el caso que el stator sea autorregulable ya no es necesario este paso).
7. Ingresar el conjunto rotor stator por la parte inferior de la tolva con los pernos o guía hacia el lado superior y volver a calibrar o regular la pieza final. Asegurar con las binchas y ajustar con la varilla lisa mediante unos golpes.
8. Instalación del “sin fin o árbol de mezcla”. Retirar la rejilla de la tolva y acoplar el sin fin y el rotor con la ayuda del tubo y la varilla lisa formando una llave para ingresar correctamente el “sin fin”, de ser necesario se echa un poco de agua o agua con jabón para el ingreso total del “sin fin”.
9. Cerrar el motor haciendo coincidir el acople del motor con el seguro del sin fin.
10. Se conecta la manguera de dosificación del agua (amarilla) al punto de “Revoque a base de cementicio”
11. Ubicamos el compresor de aire de tal manera que el botón de funcionamiento quede ubicado hacia el lado derecho del coche. Se conecta la manguera de la válvula (manguera roja) al compresor y el cable del compresor al tomacorriente del tablero (cable naranja ensortijado).
12. Se conecta el toma de la bomba de agua incorporado en la máquina al tablero y se conecta el motor.
13. Se instala el reloj de presión, ubicando el reloj hacia la parte superior. La instalación es en un solo sentido. Una vez en funcionamiento, la presión debe estar entre 10-20 bares (l a presión varía por la altura a la que se está proyectando y entre más alta esté mayor será la presión, adicional la



presión puede aumentar por un atascamiento de la manguera transportadora de mortero color negra.

14. Colocar un acople en el reloj de presión y ubicar la manguera transportadora de mortero de proyección (manguera negra) y asegurar.
15. Conectar la entrada de aire en la esquina superior izquierda de la máquina y el punto de agua hacia el lado interno izquierdo.
16. Se debe colocar la tobera manteniendo una separación óptima de 1cm entre la tobera y el tubo de cobre de la lanza proyectora. Unir los acoples Geka de las manguera de aire de proyección. (color rojo)

PROCESO DE PROYECCIÓN:

1. Se conecta el cable de energía a la máquina en el enchufe que se encuentra en la parte inferior del tablero de mando y se enciende con un interruptor giratorio a posición 1.
2. Se abre la llave de calibración de agua ubicada al lado izquierdo superior de la máquina, llevar el trompo del caudalímetro entre 180-200 l/hora con el botón del paso de agua (color negro) ubicada en el tablero de mando, se permite ingresar poco a poco el agua hasta que llene el cuello de la tolva.
3. Prender el motor en velocidad 3, poner el saco de Enlumax Proyectable y rociar el saco lentamente. Dejamos que salga primero la lechada y seguimos cerrando la llave de calibración de agua, hasta que se ajuste la fluidez del mortero a un estado plástico o hasta obtener la densidad necesaria.
4. Cuando ya está lista la dosificación del agua y la fluidez del mortero, se apaga el motor con el botón rojo, que se encuentra en el tablero de mando. Se conecta el lanza proyector con el chiflón de aire, este último debe tener la palanca de traspaso de aire en posición off (cerrada) y se enciende el compresor. El operario y el que proyecta debe estar con todo el equipo de seguridad, la persona encargada de proyectar debe dar la orden de inicio al operador, para que este presione el botón verde ubicado en el tablero de mando.



5. Finalmente se abre la llave de aire del chiflo de aire en la lanza proyectora y se comienza a proyectar. De ser necesario el operador puede ajustar el nivel del agua para mejorar la fluidez y densidad del mortero proyectado.

LIMPIEZA DEL EQUIPO:

Materiales:

- Cepillo
- Franela
- Tina para limpiar piezas
- 4 m de manguera + acople

Proceso de limpieza

Una vez que se ha dejado de proyectar Enlumax Proyectable se debe realizar los siguientes pasos:

1.- La llave de calibración de agua se abre al máximo y se deja drenar todo el mortero que se encuentra en el equipo. Cuidando que todos los residuos de mortero que se encuentran dentro del Stator-Rotor hayan salido. Esto se cerciora hasta que el agua que drena salga totalmente limpia. Una limpieza inadecuada del rotor stator acelerara el proceso de desgaste y cambio de las mismas.

No dejar mucho tiempo que el motor y el stator trabaje sin material.

2. Retire la pieza final junto con el rotor y stator, apriete la manija del seguro del motor para retirar el árbol de mezcla para proceder a la limpieza toda la tolva; también retire las binchas del disco de acople redondo de color blanco para su correcta limpieza. Asegúrese de no dejar mortero adherido a ninguna de las piezas antes mencionadas.

3. Desconectar la manguera transportadora de mortero de color negra e ingresar la bolita de limpieza color naranja, cerrar la llave de calibración del



agua y conectar la manguera negra con su respectivo acople de limpieza en la salida de purgado de agua.

Prender la máquina y permitirle que funcione hasta que salga la bolita naranja y hasta que salga agua limpia y no lechada.

4.- Limpiar las DOS entradas internas de agua que se encuentran en el Tubo de mezcla (Parte de la Tolva), ya que por lo general se llenan de mortero.

5.- Se debe retirar todos los restos de mortero de la lanza proyectora o pistola de lanzado, retirando la tobera o boquilla. Asegurarse que el tubo de la grifería de aire recto entre correctamente y que en el interior del mismo no se encuentre nada de mortero.

6.- Limpiar diariamente los filtros de la entrada de agua a la máquina, asegurándose que la mallita no esté sucia.

Con la llave plana se abre la grifería que se encuentra en la parte inferior para limpiar el filtro de agua.

Limpiar cada semana los filtros del compresor.

RECOMENDACIONES VARIAS

Cada 1000 sacos cambiar la tobera, el stator.

El rotor se cambia en el segundo cambio del stator. (el conjunto rotor-stator debe ser del mismo modelo por ejemplo: autorregulable)

Para movilizar el equipo, desconectar la electricidad y desconectar la manguera de suministro de agua. Y trasladar la maquina en línea recta. Una vez ubicado el equipo colocar el freno, reconectar las mangueras y la de electricidad.

Dejar recogido el cable eléctrico para evitar posibles accidentes con el operario.



El botón de reversa del motor sirve para liberar presión cuando se envía mortero seco, nunca desconectar las clavijas de las mangueras cuando la manguera transportadora de mortero está con presión, pues puede golpear al operador causando un accidente.

La máquina puede dar resultados óptimos hasta un espesor de 4cm.

Ejemplo de prueba hecho en situ:

Se trabajó en un paño de 2.70 x 3.00 =

Espesor: 0.03m

Plomada del agua: 200

Reloj de presión: 15 bares

Sacos de Enlumar Projectable: 9

Tiempo: 45min.

Rendimiento: 0.9 saco de Enlumar Projectable por cada metro²



8.5. Tablas de calibración de los sistemas hidráulicos utilizados en los ensayos

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS DE LA UNIVERSIDAD CATOLICA DE GUAYAQUIL

CEINVES

CALIBRACION DE SISTEMA HIDRAULICO

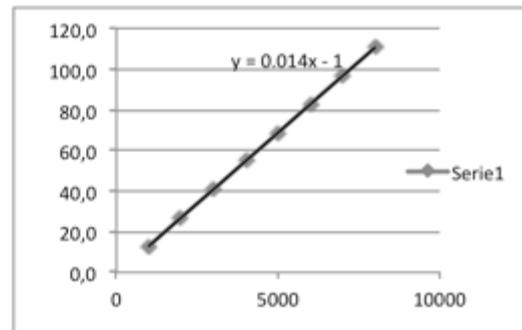
FECHA: 15-nov-10

SISTEMA: ENERPAC RC-156 / 15 Ton

LECTOR: Manómetro ENERPAC G4039L / 0 - 10000 psi
Sub. Div. 100 psi

EQUIPO DE CALIBRACION: Prensa CONTROLS C47L4 / Ser. No. 99102662
Cap. 2000 kN

CARGA LEIDA	CARGA REAL PROMEDIO
psi	kN
1000	13,0
2000	27,1
3000	40,9
4000	55,0
5000	68,9
6000	83,1
7000	97,0
8000	111,0



$$\text{CARGA REAL(kN)} = \text{LECTURA(psi)} \times 0.014 - 1$$



LABORATORIO DE ESTRUCTURAS DE LA
UNIVERSIDAD CATOLICA DE GUAYAQUIL
CEINVES

CALIBRACION DE SISTEMA HIDRAULICO

FECHA: Febrero 25 de 2011

SISTEMA: ENERPAC RCH-606 / HUECO

LECTOR: Manómetro ENERPAC G4039L / 0 - 10000 psi
Sub. Div. 100 psi

EQUIPO DE CALIBRACION: Prensa CONTROLS C47L4 / Ser. No. 99102662
Cap. 2000 kN

CARGA LEIDA	CARGA REAL PROMEDIO
psi	kN
RANGO BAJO	
100	5,8
200	11,1
300	16,1
400	21,2
500	26,7
600	31,4
700	37,1
800	42,4
900	47,6
1000	52,9
RANGO ALTO	
1000	52,9
2000	107,1
3000	161,2
4000	216,3
5000	271,2
6000	326,8
7000	381,2

ECUACION SEGÚN RANGO ENSAYADO

RANGO BAJO: $CARGA REAL(kN) = LECTURA(psi) \times 0.052 + 0.5$

RANGO ALTO: $CARGA REAL(kN) = LECTURA(psi) \times 0.055 - 2.5$

