



Universidad Austral de Chile
Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil en Obras Civiles

**“REFUERZO Y REPARACIÓN DE MUROS DE HORMIGÓN
ARMADO CON MALLA DE FIBRA DE VIDRIO REFORZADA Y
RESINAS EPÓXICAS”**

Memoria para optar al título de:
INGENIERO CIVIL
EN OBRAS CIVILES

Profesor Guía:
Sr. Hernán Arnés V.
Constructor Civil U. De Chile
Ingeniero Civil U. Católica

MARCELO ENRIQUE PRAMBS LEVÍN

2006

A mis Padres y hermanos,
por el apoyo constante.

A Romina, por ser mi luz
y compañía en todo momento.

Refuerzo y reparación de muros de hormigón armado con malla de fibra de vidrio reforzada y resinas epóxicas

Marcelo E. Pramps L.

RESUMEN

Los materiales compuestos de fibras y resinas, han entrado con fuerza en muchas y variadas formas al ámbito de la infraestructura. Son eventualmente mucho más durables y resistentes que el acero estructural, y le proveen al concreto una mayor durabilidad y resistencia a los ataques frente a agentes químicos y climáticos. Prueba de ello son los innumerables métodos desarrollados y los aun en desarrollo, que combinan las propiedades de las resinas, como matriz del compuesto, y fibras de polímeros reforzados, tanto de vidrio, carbono, etc.

Esta tesis detalla el trabajo conducido en la Universidad Austral de Chile, sobre el impacto en las resistencias de seis muretes de pruebas de hormigón, desarrollados en el laboratorio de ensaye de materiales, LEMCO, de los cuales se seleccionaron tres al azar, para ser ensayados mediante ensayos de compresión simple, y posteriormente ser reparados con el sistema de resinas epóxicas, como matriz del compuesto, y con mallas de fibra de vidrio. Igualmente, los tres muretes restantes fueron reforzados con el mismo sistema de fibras de vidrio y resinas epóxicas, y se ensayaron mediante el mismo procedimiento para evaluar su impacto en las resistencias finales.

Finalmente, los resultados fueron analizados y comparados entre sí, verificando algunos supuestos, que se nos presentaban antes de los ensayos. El sistema permite un mayor control en las deformaciones, así como una recuperación considerable en el caso de los muretes reparados. En el otro caso, los muretes reforzados presentaron un aumento de resistencia última a la rotura.

Reinforcement and repair of reinforced concrete walls with reinforced fiber glass mesh and epoxies resins

Marcelo E. Pramps L.

SUMMARY

The materials composed of fibers and resins, have entered with force many and varied forms the scope of the infrastructure. They are possibly durable and much more resistant than the structural steel, and in front of provides to concrete a greater durability and resistance to him to the attacks chemical and climatic agents. Proof of it is the innumerable developed methods and the even developing one, which combines the properties of the resins, like matrix of the compound, and reinforced polymer fibers as much of glass, carbon, etc.

This thesis details the work lead in the Austral University of Chile, on the impact in the resistance of six light walls of concrete tests, developed in the laboratory of assay of materials, LEMCO, of which three were selected at random, to be tried by means of tests of simple compression, and later they were repaired with the epóxicas resin system, like matrix of the compound, and with fiber glass meshes. Also, the three remaining light walls were reinforced with he himself system of fiber glasses and epóxicas resins, and they were tried by means of he himself procedure to evaluate its impact in the final resistance.

Finally, the results were analyzed and compared to each other, verifying some assumptions, which they appeared to us before the tests. The system allows a greater control in the deformations, as well as a considerable recovery in the case of repaired light walls. In the other case, the reinforced light walls presented an increase of ultimate strengths in the breakage.

Índice

| | |
|---|------|
| Resumen..... | iii |
| Summary..... | iv |
| Lista de Tablas..... | viii |
| Lista de Figuras..... | ix |
| Lista de Gráficos..... | xi |
| Capítulo I : Introducción y Objetivos..... | 1 |
| 1.1 Introducción..... | 1 |
| 1.2 Objetivos de la Investigación..... | 3 |
| 1.2.1 Objetivos Generales..... | 3 |
| 1.2.2 Objetivos Específicos..... | 3 |
| 1.3 Metodología..... | 4 |
| Capítulo II : Mecanismos de Falla en Muros de Hormigón Armado..... | 5 |
| 2.1 Generalidades..... | 5 |
| 2.2 Mecanismos de Falla en Muros de Hormigón Armado..... | 5 |
| 2.2.1 Falla por Fisura de Cortante Longitudinal..... | 5 |
| 2.2.2 Falla por Aplastamiento..... | 6 |
| 2.2.3 Falla por Fisuras de Tracción..... | 6 |
| 2.2.4 Falla por Fisura de Corte Diagonal..... | 6 |
| Capítulo III : Tipos de Refuerzo..... | 8 |
| 3.1 Generalidades..... | 8 |
| 3.2 Refuerzos Metálicos..... | 8 |
| 3.3 Ferrocemento..... | 9 |
| 3.4 Refuerzos de Fibras y Resinas..... | 9 |
| 3.5 Tipología Materiales de Refuerzo con Fibra..... | 10 |
| 3.5.1 Fibras de Refuerzo..... | 10 |
| 3.5.1.1 Fibras de Vidrio..... | 10 |
| 3.5.1.2 Fibras de Aramidas..... | 10 |
| 3.5.1.3 Fibras de Carbón..... | 10 |
| 3.5.2 Sistemas de Resinas..... | 11 |
| 3.5.2.1 Poliésteres Insaturados..... | 11 |
| 3.5.2.2 Epóxicos..... | 12 |
| 3.5.2.3 Vinilo Ester..... | 12 |
| 3.5.2.4 Poliuretano..... | 12 |
| 3.5.2.5 Fenólicos..... | 12 |
| 3.5.3 Masillas..... | 13 |
| 3.5.4 Aditivos..... | 13 |
| 3.6 Adhesión en la interfaz formada por la matriz y las fibras..... | 13 |
| 3.6.1 Adhesión Mecánica..... | 14 |
| 3.6.2 Atracción Electroestática..... | 14 |
| 3.6.3 Interdifusión..... | 14 |
| 3.6.4 Enlace Químico..... | 14 |
| 3.6.5 Absorción y Humectación..... | 14 |
| 3.7 Agentes de Acoplamiento..... | 15 |
| Capítulo IV : Normativa y Requisitos de Resistencia..... | 16 |
| 4.1 Generalidades..... | 16 |
| 4.2 Normativa..... | 16 |
| 4.3 Requisitos de Resistencia..... | 16 |

| | |
|--|----|
| Capítulo V : Experimento de Laboratorio..... | 18 |
| 5.1 Generalidades..... | 18 |
| 5.2 Materiales y Herramientas Empleados en la Fabricación..... | 18 |
| 5.2.1 Cemento..... | 18 |
| 5.2.2 Áridos..... | 19 |
| 5.2.3 Acero de Refuerzo..... | 19 |
| 5.2.4 Agua..... | 19 |
| 5.2.5 Resina Epóxica, Sikadur 330..... | 19 |
| 5.2.6 Malla de Fibra de Vidrio, Fibacrete..... | 19 |
| 5.2.7 Betonera..... | 20 |
| 5.2.8 Vibrador Mecánico..... | 20 |
| 5.3 Fabricación de Muretes de Hormigón..... | 21 |
| 5.3.1 Prediseño Muretes..... | 21 |
| 5.3.2 Moldajes..... | 22 |
| 5.3.3 Enfierraduras..... | 22 |
| 5.3.4 Dosificación y Hormigonado..... | 24 |
| 5.4 Equipos utilizados para el Ensayo..... | 24 |
| 5.4.1 Generalidades..... | 24 |
| 5.4.2 Gato Hidráulico..... | 24 |
| 5.4.3 Celda de Carga y Lector de Carga..... | 24 |
| 5.4.4 Deformímetro..... | 25 |
| 5.5 Ensayo de Muretes de Hormigón..... | 25 |
| 5.5.1 Sistema de Ensaye..... | 25 |
| 5.5.2 Ensayo de Muretes Sin Refuerzo..... | 26 |
| 5.5.2.1 Ensayo Murete N° 4..... | 26 |
| 5.5.2.2 Ensayo Murete N° 5..... | 27 |
| 5.5.2.2 Ensayo Murete N° 6..... | 28 |
| 5.5.3 Reparación de Muretes de Hormigón..... | 29 |
| 5.5.3.1 Procedimiento para la Reparación de los Muretes..... | 29 |
| 5.5.4 Ensayo de Muretes Reforzados..... | 30 |
| 5.5.4.1 Ensayo Murete Reforzado N° 1..... | 30 |
| 5.5.4.2 Ensayo Murete Reforzado N° 2..... | 31 |
| 5.5.4.3 Ensayo Murete Reforzado N° 3..... | 31 |
| 5.5.5 Ensayo Muretes Reparados..... | 32 |
| 5.5.5.1 Ensayo Murete Reparado N° 4..... | 32 |
| 5.5.5.2 Ensayo Murete Reparado N° 5..... | 32 |
| 5.5.5.3 Ensayo Murete Reparado N° 6..... | 33 |
| Capítulo VI : Resultados de los Experimentos de Laboratorio..... | 34 |
| 6.1 Generalidades..... | 34 |
| 6.2 Resultados..... | 34 |
| 6.2.1 Muretes Reforzados..... | 34 |
| 6.2.2 Muretes Sin Refuerzo..... | 35 |
| 6.2.3 Muretes Reparados..... | 35 |
| 6.3 Gráficos de Resultados..... | 36 |
| 6.3.1 Gráfico Murete Reforzado N° 1..... | 36 |
| 6.3.2 Gráfico Murete Reforzado N° 2..... | 36 |
| 6.3.3 Gráfico Murete Reforzado N° 3..... | 37 |
| 6.3.4 Gráfico Resumen Muretes Reforzados..... | 37 |
| 6.3.5 Gráfico Murete Sin Reforzar N° 4..... | 38 |
| 6.3.6 Gráfico Murete Sin Reforzar N° 5..... | 38 |
| 6.3.7 Gráfico Murete Sin Reforzar N° 6..... | 39 |
| 6.3.8 Gráfico Resumen Muretes Sin Reforzar..... | 39 |
| 6.3.9 Gráfico Murete Reparado N° 4..... | 40 |
| 6.3.10 Gráfico Murete Reparado N° 5..... | 40 |
| 6.3.11 Gráfico Murete Reparado N° 6..... | 41 |

| | |
|--|----|
| 6.3.4 Gráfico Resumen Muretes Reparados..... | 41 |
| 6.4 Gráficos Comparativos entre Muretes..... | 42 |
| 6.4.1 Comparación entre Muretes Sin Refuerzo y Reforzados..... | 42 |
| 6.4.2 Comparación entre Muretes Sin Refuerzo y Reparados..... | 44 |
| 6.5 Ajuste de Curvas de Resultados..... | 45 |
| 6.5.1 Método y Resultado de Ajuste de Curvas..... | 45 |
| 6.5.2 Gráficos de Ajuste de Curvas..... | 47 |
| 6.5.3 Análisis de Ajuste de Curvas..... | 48 |
| Capítulo VII : Conclusiones y Recomendaciones..... | 49 |
| Capítulo VIII : Referencias Bibliográficas..... | 50 |

Lista de Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 3.1 Métodos de reparación utilizados en la actualidad..... | 8 |
| Tabla 3.2 Valores típicos de las propiedades de las fibras de refuerzo..... | 11 |
| Tabla 3.3 Valores típicos de las propiedades des resinas..... | 12 |
| Tabla 5.1 Propiedades de la malla de refuerzo Fibacrete..... | 20 |
| Tabla 5.2 Dimensiones y propiedades de los muretes para el ensayo..... | 21 |
| Tabla 5.3 Dosificación de hormigón utilizada para la fabricación de los muretes..... | 23 |
| Tabla 6.1 Valores de ensayos para murete reforzado N° 1..... | 34 |
| Tabla 6.2 Valores de ensayos para murete reforzado N° 2..... | 34 |
| Tabla 6.3 Valores de ensayos para murete reforzado N° 3..... | 34 |
| Tabla 6.4 Valores de ensayos para murete sin reforzar N° 4..... | 35 |
| Tabla 6.5 Valores de ensayos para murete sin reforzar N° 5..... | 35 |
| Tabla 6.6 Valores de ensayos para murete sin reforzar N° 6..... | 35 |
| Tabla 6.7 Valores de ensayos para murete reparado N° 4..... | 35 |
| Tabla 6.8 Valores de ensayos para murete reparado N° 5..... | 35 |
| Tabla 6.9 Valores de ensayos para murete reparado N° 6..... | 35 |
| Tabla 6.10 Resumen del experimento de laboratorio..... | 42 |
| Tabla 6.11 Deformación promedio muretes sin refuerzo de fibras..... | 43 |
| Tabla 6.12 Deformación promedio muretes reforzados con fibras..... | 43 |
| Tabla 6.13 Resistencia promedio a la rotura muretes sin refuerzo de fibras..... | 43 |
| Tabla 6.14 Resistencia promedio a la rotura muretes reforzados con fibras..... | 43 |
| Tabla 6.15 Resultado de los ensayos de carga para los muretes sin refuerzo y muretes reparados..... | 44 |
| Tabla 6.16 Ajuste de curvas muretes sin refuerzo de fibras..... | 45 |
| Tabla 6.17 Ajuste de curvas muretes reforzados con fibras..... | 46 |
| Tabla 6.18 Ajuste de curvas muretes reparados con fibras..... | 46 |
| Tabla 6.19 Promedio de resistencia de los muretes según ajuste de curvas..... | 48 |
| Tabla 6.20 Promedio de deformaciones de muretes según ajuste de curvas..... | 48 |

Lista de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 2.1 Representación de falla por cortante en muro de hormigón..... | 5 |
| Figura 2.2 Esquema de falla en muros por la tracción del hormigón..... | 6 |
| Figura 2.3 Representación de fisuras por la acción de fuerzas de corte..... | 6 |
| Figura 2.4 Ejemplo de fisura diagonal en un sentido en muros de hormigón después del terremoto de Puerto Rico..... | 7 |
| Figura 2.5 Ejemplo de fisura diagonal en ambos sentidos, Puerto Rico, 2003..... | 7 |
| Figura 2.6 Falla de muro de hormigón por baja cuantía de acero, Puerto Rico, 2003..... | 7 |
| Figura 5.1.a Representación de falla del elemento por aplastamiento..... | 18 |
| Figura 5.1.b Representación de falla del elemento por cortante diagonal..... | 18 |
| Figura 5.2 Betonera utilizada para la fabricación de la mezcla de hormigón..... | 20 |
| Figura 5.3 Vibrador eléctrico utilizado durante la colocación de la mezcla..... | 20 |
| Figura 5.4 Moldajes utilizados durante la fabricación de los muretes..... | 22 |
| Figura 5.5 Acero de Refuerzo de los muretes de hormigón..... | 23 |
| Figura 5.6 Proceso de hormigonado de las probetas..... | 23 |
| Figura 5.7 Vibrado de la mezcla de hormigón una vez colocada en los moldajes..... | 24 |
| Figura 5.8 Gato hidráulico marca LARZEP utilizado para los ensayos de carga..... | 24 |
| Figura 5.9 Celda de carga utilizada durante los ensayos..... | 24 |
| Figura 5.10 Lector de carga utilizado durante los ensayos de los muretes..... | 24 |
| Figura 5.11 Deformímetro de dial, en su posición de trabajo durante los ensayos de carga..... | 25 |
| Figura 5.12.a Esquema utilizado para ensayar los muretes de hormigón..... | 25 |
| Figura 5.12.b Esquema utilizado para ensayar los muretes de hormigón..... | 26 |
| Figura 5.13 Fotografía de la fisura de corte diagonal formada durante el ensayo de carga del Murete N° 4..... | 26 |
| Figura 5.14 Fisura de corte diagonal del murete N° 5 durante el ensayo de carga..... | 27 |
| Figura 5.15 Vista de apoyo murete N° 5 después de ser ensayado..... | 27 |
| Figura 5.16 Vista apoyo opuesto murete N° 5 después del ensayo de carga..... | 27 |
| Figura 5.17 Murete N° 6 después del ensayo de carga apreciándose las fisuras en la diagonal del murete..... | 28 |

| | |
|---|----|
| Figura 5.18 Descascaramiento producido en apoyo de murete N° 6 durante el proceso de ensayo de carga..... | 28 |
| Figura 5.19 Cuña formada en apoyo de murete N° 6 incrustándose entre el acero de refuerzo..... | 28 |
| Figura 5.20 Apoyo murete reforzado N° 1 sin daños significativos..... | 30 |
| Figura 5.21 Apoyo opuesto murete reforzado N° 1 con pequeña delaminación..... | 30 |
| Figura 5.22 Apoyo murete reforzado N° 2 durante el ensayo de carga..... | 31 |
| Figura 5.23 Vista apoyo opuesto murete reforzado N° 2..... | 31 |
| Figura 5.24 Apoyo murete reforzado N° 3 con grandes daños..... | 31 |
| Figura 5.25 Apoyo opuesto murete reforzado N° 3..... | 31 |
| Figura 5.26 Vista apoyo murete reparado N° 4 sin mayores daños..... | 32 |
| Figura 5.27 Colapso de apoyo murete reparado N° 5..... | 32 |
| Figura 5.28 Apoyo colapsado murete reparado N° 5 desde otro ángulo..... | 33 |
| Figura 5.29 Vista murete N° 6 con apoyo agrietado una vez descargado..... | 33 |
| Figura 5.30 Acercamiento de apoyo agrietado en forma de cuña murete reparado N° 6..... | 33 |

Lista de Gráficos

| | |
|---|----|
| Gráfico 6.1 Curva esfuerzo vs. deformación murete reforzado N° 1..... | 36 |
| Gráfico 6.2 Curva esfuerzo vs. deformación murete reforzado N° 2..... | 36 |
| Gráfico 6.3 Curva esfuerzo vs. deformación murete reforzado N° 3..... | 37 |
| Gráfico 6.4 Resumen de curvas esfuerzo vs. deformación muretes reforzados..... | 37 |
| Gráfico 6.5 Curva esfuerzo vs. deformación murete sin reforzar N° 4..... | 38 |
| Gráfico 6.6 Curva esfuerzo vs. deformación murete sin reforzar N° 5..... | 38 |
| Gráfico 6.7 Curva esfuerzo vs. deformación murete sin reforzar N° 6..... | 39 |
| Gráfico 6.8 Resumen de curvas esfuerzo vs. deformación muretes sin reforzar..... | 39 |
| Gráfico 6.9 Curva esfuerzo vs. deformación murete reparados N° 1..... | 40 |
| Gráfico 6.10 Curva esfuerzo vs. deformación murete reparados N° 1..... | 40 |
| Gráfico 6.11 Curva esfuerzo vs. deformación murete reparados N° 1..... | 41 |
| Gráfico 6.12 Resumen de curvas esfuerzo vs. deformación muretes reparados..... | 41 |
| Gráfico 6.13 Valores de resistencia muretes sin refuerzo de fibras..... | 42 |
| Gráfico 6.14 Valores de deformación muretes sin refuerzo de fibras..... | 42 |
| Gráfico 6.15 Valores de resistencia muretes reforzados con fibras..... | 43 |
| Gráfico 6.16 Valores de deformación muretes reforzados con fibras..... | 43 |
| Gráfico 6.17 Resistencia alcanzada por los muretes reparados con fibras y resinas..... | 44 |
| Gráfico 6.18 Deformaciones alcanzadas por muretes reparados con fibras y resinas..... | 44 |
| Gráfico 6.19 Ajuste de curvas para muretes sin refuerzo de fibras y muretes reforzados..... | 47 |
| Gráfico 6.20 Ajuste de curvas para muretes sin refuerzo de fibras y reparados..... | 47 |

I.- Introducción y Objetivos.

1.1.- Introducción.

En la segunda mitad del siglo pasado, se observó un desarrollo y crecimiento sin precedentes de las infraestructuras en el ámbito mundial, lo cual se refleja en las nuevas y cada vez más grandes exigencias en infraestructura que la sociedad genera y necesita. Esto motiva aún más el desarrollo de la ciencia y la tecnología en el desarrollo de nuevos materiales, lo cual trae consigo un crecimiento acelerado en la Industria de la Construcción, en la aplicación de nuevos métodos y técnicas constructivas.

El desarrollo de nuevos materiales ha abierto sin duda un nuevo campo de investigación para el uso y desarrollo de estos, es así como hemos visto en el último par de años la incorporación de estos materiales en áreas tan diversas como en la construcción de puentes, ya no como aditivos, sino como elementos principales de estas estructuras. Aun así todavía quedan muchas dudas sin resolver, como por ejemplo envejecimiento de la estructura ante medios corrosivos, exposición constante a ciclos de hielo y deshielo, etc., pero que no limitan su uso en medios más estables donde hasta el momento han dado muy buenos resultados.

Como aditivos del hormigón, ya han probado ser muy eficaces en transferirles u otorgarles propiedades bondadosas a este, por lo que siempre ha estado en mente de los investigadores su utilización como reemplazante de estructuras tradicionales. De hecho los proyectos que se han llevado a cabo no son de gran envergadura, pero ya nos ofrecen una perspectiva más clara acerca del camino a seguir.

La investigación de los diferentes usos y avances que han tenido las resinas y materiales plásticos en el área de construcción, especialmente en el caso de refuerzo o reemplazando el acero estructural, ha tenido un gran avance. Más aun con el avance logrado en el mejoramiento de sus propiedades mecánicas y químicas, nos hacen ver la necesidad de encontrarles usos prácticos en el área de la construcción. Sin embargo, el campo de los compuestos de fibras reforzadas es relativamente nuevo comparado con las industrias del acero y el hormigón, donde existen métodos y prácticas bien establecidas de diseño con estos materiales.

Uno de los principales problemas que generalmente se nos presentan en las estructuras de hormigón es el deterioro que sufren después de un sismo de mediana intensidad, y la degradación en el tiempo de los refuerzos de acero, así como el hecho de que los códigos y normas son cada vez más exigentes para un caso hoy en día, que hace 20 o 30 años. Los compuestos de resinas y fibras pueden potencialmente proporcionar reemplazos más durables y resistentes comparados con los metales tradicionales utilizados en la construcción.

Esta tesis detalla el trabajo experimental conducido en la Universidad Austral de Chile, mediante el uso de muretes de hormigón armado, y el impacto producido en sus resistencias, por la aplicación de refuerzos de fibra de vidrio y resinas epóxicas, como método de reparación y como método de refuerzo. Se ha enfocado el análisis de este trabajo, en la razón de que este sistema de reparación no produce un cambio drástico en las rigideces de los muros, como usualmente ocurre con otros sistemas de reparación. Además, presenta ventajas frente a los refuerzos de acero en el ámbito de su resistencia a la corrosión, lo que a la larga se traduce en costos casi nulos de mantención.

1.2.- Objetivos de la Investigación.

El tema de investigación, conlleva lo siguiente:

1.2.1 Objetivos Generales.

- Conocer más acerca de los nuevos tipos de materiales que se encuentran hoy en día disponibles, así como, de los usos que se les dan.
- Realizar un proceso investigativo acerca del avance de este tipo de tecnologías, y de su implementación.
- Definir una metodología de refuerzo y/o reparación de muros de hormigón armado, analizando las ventajas y desventajas frente a otros tipos de refuerzos.

1.2.2 Objetivos Específicos.

- Se pretende evaluar el desempeño de los tejidos de fibra de vidrio y resinas epóxicas como materiales de refuerzo y/o reparación para muros de hormigón armado, con el fin de evaluar la factibilidad de uso de algunos de estos materiales en reemplazo de los ya conocidos, como el hormigón armado y el acero estructural, verificando las capacidades de carga del elemento sin fisurar con respecto a otro fisurado durante los ensayos a cortante por compresión.
- Presentar los resultados obtenidos a través de los ensayos de corte y los posibles usos hoy en día en reparaciones de estructuras de hormigón armado, así como las ventajas constructivas y de aplicación que se podrían obtener frente a otros métodos mas tradicionales.
- Introducir en la región el uso de sistemas de construcción y de reparación que presenten ventajas frente a las condiciones de mantenimiento de las estructuras ya existentes.

1.3.- Metodología de Trabajo.

Se propone el diseño y fabricación de seis probetas de hormigón armado, con las medidas de 71 x 71 cm. de alto y ancho respectivamente, y con un espesor de 12 cm., con el propósito de tener una columna de compresión de 100 cm. de largo. El espesor del murete de hormigón se ha elegido debido a que es un valor recurrente para construcciones de mediana envergadura.

La dosificación del hormigón se realiza de acuerdo al método señalado en los apuntes del Instituto Chileno del Cemento y Hormigón, para un hormigón de clase H10, con un tamaño máximo de los áridos de ½". Igualmente en la selección de las enfierraduras, se ha previsto que la carga de ruptura no supere las 35 toneladas, de esta forma se utilizarán enfierraduras de acero A44-28H, con un diámetro de 6 mm.

La confección de las enfierraduras se ha llevado a cabo en el Laboratorio de Ensaye de Materiales de Construcción, LEMCO, donde se dispuso también el hormigonado de los muretes de acuerdo a la dosificación obtenida de los apuntes. El descimbre se llevó a cabo a los 7 días de curado de los muretes.

Se obtuvo para cada murete además, una probeta de compresión que será utilizada para obtener los valores del módulo de elasticidad de los hormigones. Estas probetas serán ensayadas a los 7 y 28 días de curado.

De acuerdo a los objetivos de esta investigación se seleccionarán 3 muretes al azar para ser ensayados bajo compresión, hasta alcanzar la carga de ruptura, estos muretes serán posteriormente reparados con la resina epóxica y la malla de fibra de vidrio reforzada. Una vez finalizado el tiempo de curado del método de reparación, serán nuevamente ensayadas para evaluar su nueva resistencia mediante el mismo tipo de ensayo.

Los 3 muretes restantes serán reforzados mediante el mismo sistema de resinas y fibra de vidrio, los cuales posteriormente serán ensayados para evaluar el impacto en la resistencia media de los muretes anteriores.

Una vez finalizada la parte experimental de la investigación se procederá a la evaluación y comparación de los datos obtenidos, esto se hará mediante la elaboración de gráficos, su comportamiento durante los ensayos, y literatura existente. Se prevé también, las conclusiones y recomendaciones sobre el uso de la malla de fibra de vidrio reforzada en reemplazo de otros tipos de refuerzo y reparación.

II.- Mecanismos de Falla en Muros de Hormigón Armado.

2.1.- Generalidades.

Los muros de hormigón armado, como estructuras resistentes de una edificación, están sujetos a lo largo de su vida útil a diversas solicitaciones, siendo las más relevantes las de tipo eventual, como las que se generan por sismos. En estos casos, los esfuerzos de corte, alcanzan eventualmente los valores de diseño del muro, o en casos excepcionales estos son sobrepasados, provocando daños estructurales de diversa índole y reduciendo la capacidad soportante del muro.

Sin embargo, también es posible detectar otro tipo de factores que reducen la capacidad soportante de los muros de hormigón armado, como métodos de diseños no acordes a las solicitaciones reales, ejecución de técnicas de construcción deficientes, protección insuficiente contra medios ambientes agresivos, o modificaciones al uso original de la estructura.

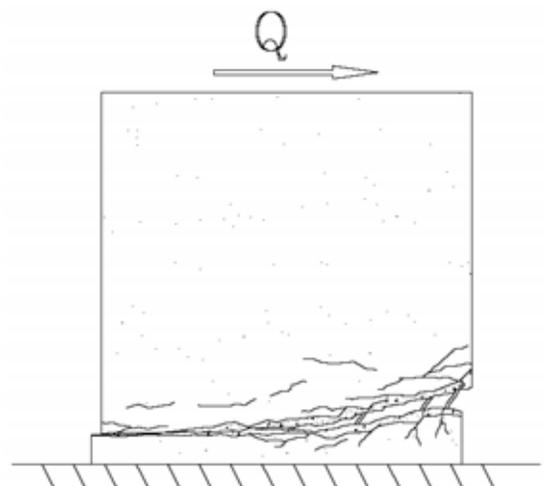
2.2.- Mecanismos de falla en muros de hormigón armado.

Según la intensidad del sismo, pueden suscitarse diferentes mecanismos de falla en los muros de hormigón, de hecho revisaremos más adelante los más relevantes, de acuerdo al enfoque de la temática de esta tesis.

2.2.1.- Falla por fisura de cortante longitudinal.

Este tipo de fallas esta íntimamente ligada a la falta de acero de refuerzo en las zonas de agrietamiento, es también factor común que la capacidad de cortante del muro se vea reducida por la corrosión de estos, o que se haya subdimensionado las solicitaciones máximas de diseño.

Este tipo de fallas, habitualmente se da en la base de los muros, provocada por que la tensión de corte solicitante sobrepasa la tensión admisible del hormigón. Usualmente en este tipo de fisuras, es casi inviable un sistema de reparación, debido a los costos y los problemas técnicos que ello conlleva.



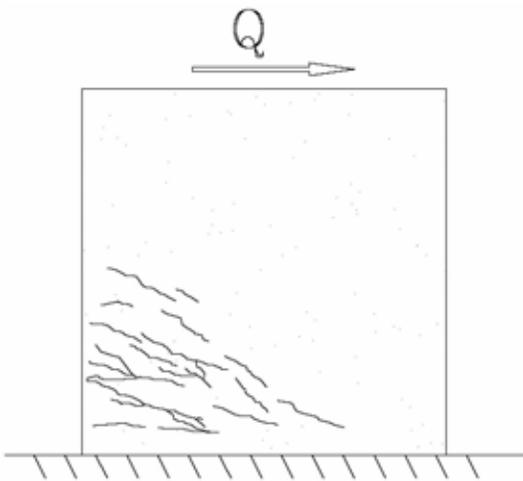
2.2.2.- Falla por aplastamiento.

Por lo general las fallas por aplastamiento son evitadas debidas a que son consideradas fallas de tipo frágil, que disminuyen la resistencia de los elementos estructurales, en la mayoría de los casos, comprometiendo en conjunto la resistencia del conjunto estructural.

Se originan principalmente por una sobrecarga excesiva del elemento en cuestión, sobrepasando la resistencia de diseño del hormigón.

2.2.3.- Falla por fisuras de tracción.

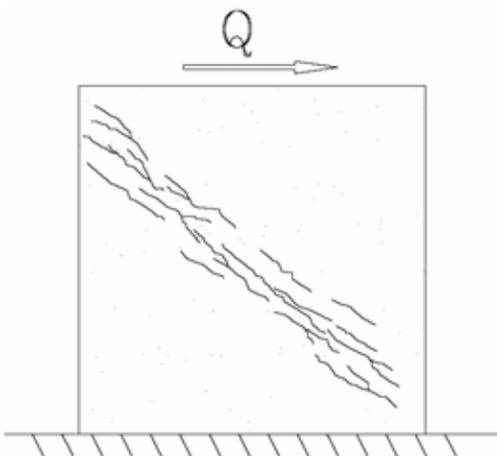
Se originan debido a que el hormigón ha entrado en estado de tracción, usualmente debido a grandes sollicitaciones de cortante, comparadas con las cargas axiales. Incide también en la formación de estas grietas la esbeltez del elemento.



Normalmente, son fisuras que no representan una disminución drástica de la resistencia del muro, no así las dos anteriores. Generalmente presentan buenas opciones de reparación, pudiéndose en ocasiones recuperar casi la totalidad de su resistencia original según el sistema de reparación que se lleve a cabo.

2.2.4.- Falla por fisura de corte diagonal.

Este tipo de fisuras, es casi característico de las estructuras después de un sismo de mediana intensidad, ocasionada por los grandes esfuerzos de corte a la que se ven sometidos los muros. Cabe destacar que la cuantía de acero, incide mucho en el comportamiento de este tipo de fisuras, ya que una poca cuantía de acero provocará una resistencia casi nula después



del agrietamiento, debido principalmente a que el acero de refuerzo será requerido con grandes sollicitaciones, provocando su ruptura poco después de hacerse visible la línea de corte.

En cambio, una mayor cantidad de acero, distribuida uniformemente, logrará producir un trabazón en la grieta formada entre las partículas de agregado, así como, una mejor distribución de los esfuerzos en la enfierraduras, otorgando finalmente un grado de capacidad de soporte, después del fisuramiento.

En las siguientes imágenes podemos observar el estado de algunos muros después del terremoto de *Puerto Rico*, en el año 2003.



Figura 2.4 Fisura de corte diagonal.



Figura 2.5 Típica fisura de corte diagonal, en ambos sentidos, después de un sismo.



Figura 2.6 Muros de hormigón con grandes daños, debido a la poca cuantía de acero.

III.- Tipos de Refuerzos.

3.1.- Generalidades.

Hoy en día se dispone de métodos de reparación que en mayoría llevan varios años de aplicación con resultados más que favorables, pero que difieren tanto en su metodología así como en los materiales empleados.

En esta parte solo nos interesan los refuerzos para muros de hormigón, así que obviaremos cualquier otro tipo de estructura.

Los principales métodos de reparación utilizados para muros de hormigón armado son:

| | |
|--|-----------------------------------|
| Reparación Métodos Tradicionales | Sustitución |
| | Inyección |
| | Grapado |
| Reestructuración Métodos Actuales | Inyección o costuras armadas |
| | Revestimiento con hormigón armado |
| | Entramados |
| | Atirantados |

Tabla 3.1 Métodos de reparación utilizados en la actualidad para la recuperación de estructuras.

3.2.- Refuerzos Metálicos.

La mayoría de los refuerzos estructurales ya existentes, se llevan a cabo utilizando pletinas de acero, con el consabido inconveniente de la fijación de estos a la estructura resistente, además del problema de las longitudes de las pletinas que son limitadas, se nos presentan las dificultades de montaje "in situ" del sistema, que precisan de mano de obra calificada, y al elevado peso de las chapas metálicas aunado a la accesibilidad limitada que se presenta en algunos casos, en los elementos a ser reparados.

Una solución a algunos de estos problemas, fue el desarrollo de materiales adhesivos de alta resistencia, compuestos en su mayoría de resinas poliméricas y/o epóxicas, pero que aun así no solucionaban la desventaja que presentan los materiales metálicos ante el riesgo de corrosión en la superficie de contacto con el adhesivo. Para evitar esto, se necesita de una mantención del refuerzo metálico constante y periódica, en su mayoría a través de recubrimientos de pinturas, lo que a la larga eleva el costo de mantención de las mismas.

Aun así cabe destacar que gracias a las propiedades de los materiales metálicos, estos pueden recibir esfuerzos en cualquier dirección, y presentan costos de materiales relativamente bajos si los comparamos con los sistemas de fibras reforzadas.

3.3.- Ferrocemento.

Se presenta entonces la posibilidad de reforzar las estructuras con ferrocemento, método que presenta muchas ventajas frente a las pletinas de acero, como no presentar corrosión. Pero como inconveniente se nos presenta el aumento considerable del peso de la estructura o elemento reparado, se aumentan las secciones y por tanto la rigidez de estos. Este aumento de rigidez también podría transformarse en un aumento en las solicitaciones que tendría que soportar el muro en el caso de tratarse de una estructura de 2 o más pisos, esto conlleva un nuevo análisis sísmico, pues se produce un cambio en el centro de rigidez de la estructura.

Como referencia, este tipo de refuerzos, le otorgan a los muros de albañilería, la capacidad de comportarse mejor frente a las solicitaciones, principalmente al otorgarles la posibilidad de trabajar en un rango elástico, (Sáez, 2004).

3.4.- Refuerzos de Fibras y Resinas.

Mientras el concepto de composites ha estado en la existencia por siglos, la incorporación de refuerzo en una matriz de polímero (plástico) es una tecnología relativamente nueva. El primer compuesto de Polímero de Fibra Reforzada (FRP) conocido fue el usado en un casco de un barco fabricado a mediados de los años 30, como parte de un experimento. Desde su principio adverso, las aplicaciones de los composites han revolucionado todas las industrias, inclusive la aeroespacial, la marina, procesos de sustancias químicas, y el transporte (Concrete Institute, 2002).

Las resinas de epóxicos fueron utilizadas de vez en cuando desde los años 60 para unir placas de acero al concreto en las zonas de tensiones flexurales de los edificios y de puentes (Reddy, 1996). Sin embargo, la corrosión de acero puede producir pérdida de unión y por consiguiente la falla del elemento, por eso se ha puesto atención en los materiales alternativos. Laminas de polímeros de fibra reforzada (FRP) hechas de vidrio (GFRP), aramidas (AFRP), y fibras de carbono (CFRP) impregnadas en resinas poliméricas están substituyendo a las tradicionales placas de acero. Además de sus características anticorrosivas, los materiales compuestos también tienen una resistencia mayor considerando su peso.

Solucionan la necesidad de refuerzo en muros de hormigón y mampostería que se deben a cargas excesivas en el plano o fuera del plano y a la presión debida a impactos. Así, puede utilizarse en los muros con esfuerzos de cortante, en tanques, trincheras y canaletas, y en los fosos de ascensores. Sirven, igualmente, para estructuras industriales expuestas a cargas por explosiones y para mejorar propiedades antisísmicas.

Otra ventaja que presenta este tipo de materiales, es que se puede expandir y contraer 10 veces más en promedio que el acero, (Craig, 2002).

Los compuestos poliméricos avanzados de fibra reforzada hoy en día están hechos de refuerzos de fibra, de resina, de masillas, y de aditivos. Las fibras proporcionan un aumento en la rigidez y capacidad de tensión. La resina ofrece un alto esfuerzo de compresión y ata las fibras en una matriz firme. Las masillas sirven para reducir el costo y el fisuramiento. Los aditivos ayudan a mejorar no sólo las propiedades mecánicas y físicas de los compuestos sino también la trabajabilidad de estos.

3.5.- Tipología Materiales de Refuerzo con Fibra.

3.5.1.- Fibras de Refuerzo.

Los tipos más comunes de fibras utilizados en compuestos avanzados para aplicaciones estructurales son la fibra de vidrio, aramidas, y el carbón. La fibra de vidrio es la menos costosa y la de carbón es la más costosa. El costo de fibras de aramidas es aproximadamente el mismo que los grados más bajos de la fibra del carbón. A continuación mencionaremos los productos existentes en el mercado.

3.5.1.1.- Fibras de vidrio.

Las fibras de vidrio se pueden dividir en tres clases:

-  E-VIDRIO
-  S-VIDRIO
-  C-VIDRIO.

El E-VIDRIO esta diseñado para el uso eléctrico y el S-VIDRIO para esfuerzos extremos. El C-VIDRIO posee una alta resistencia a la corrosión, y es rara su aplicación en ingeniería civil. De las tres fibras, el E-VIDRIO es el material de refuerzo utilizado más común en estructuras civiles, su estructura interna es tridimensional siendo amorfa e isotrópica, es decir, mantiene sus propiedades de resistencia en todas direcciones, se caracterizan por ser excelentes aislantes, incombustibles y muy estables dimensionalmente, ya que no son sensibles a las variaciones de temperatura y humedad. De hecho, las fibras de vidrio tienen un coeficiente térmico de expansión más bajo que el del acero.

3.5.1.2.- Fibras de Aramidas.

Estos son fibras orgánicas sintéticas que consisten en poliamidas aromáticas. Las fibras de aramidas tienen una excelente resistencia a la fatiga y la tensión. Aunque hay varios grados comerciales de fibras de aramidas disponibles, los dos más comúnmente utilizados en aplicaciones estructurales son Kevlar® 29 y Kevlar® 49. Como material anisótropico, su módulo transversal es menor que en la dirección longitudinal.

3.5.1.3.- Fibras de Carbón.

La fibra de grafito o carbón se hace de tres tipos de precursores de polímero:

- ✚ Fibra de poliacrilonitrilo (PAN).
- ✚ Fibra de rayón.
- ✚ Fibras orgánicas.

La curva de tensión esfuerzo es lineal hasta el punto de ruptura. Poseen coeficientes térmicos de expansión más bajos que las fibras de vidrio y aramidas. La fibra de carbón es una materia anisótropa, por lo que su módulo transversal es menor que su módulo longitudinal. Además posee una resistencia a la fatiga y al creep muy alta.

| Valores Típicos de las Propiedades de las Fibras | | | | |
|--|--------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| Tipo de Fibra | Módulo de Tensión Axial GPa | Resistencia a Tensión Axial MPa | Elongación Axial a la Rotura % | Densidad g/cm ³ |
| Carbon - Módulo Bajo | 170 | 1380 | 0,9 | 1,90 |
| Carbon - Módulo Alto | 380 | 1720 | 0,4 | 2,00 |
| Carbon - Módulo Muy Alto | 760 | 2210 | 0,3 | 2,15 |
| E-Glass | 81 | 3450 | 4,88 | 2,60 |
| S-Glass | 89 | 4590 | 5,70 | 2,40 |
| Aramida - Alta Dureza | 83 | 3620 | 4,00 | 1,44 |
| Aramida - Módulo Alto | 131 | 3620-4140 | 2,80 | 1,44 |
| Aramida - Módulo Muy Alto | 186 | 3450 | 2,00 | 1,47 |

Tabla 3.2 From Engineered Materials Handbook (1987) and Engineers' Guide to Composite Materials (1987).

3.5.2.- Sistemas de Resina.

La resina es un componente importante en los compuestos plásticos. Las dos clases de resinas son las termoplásticas y las termoestables. Una resina termoplástica se mantiene sólida a temperatura ambiente. Se funde cuando es calentada y se solidifica cuando es refrescada. Por el otro lado, una resina termoestable curará permanentemente por un cruce irreversible a temperaturas elevadas. Esta característica hace que los compuestos de resina termoestables sean muy deseables para aplicaciones estructurales. Las resinas más comunes utilizadas en compuestos son los *poliésteres no saturados*, los *epóxicos*, y el *vinilo Ester*, los menos comunes son el *poliuretano* y los *fenólicos*.

3.5.2.1.- Poliésteres Insaturados.

Un 75 % de todo el poliéster utilizado en EEUU, corresponde a poliéster no saturado, (Tang, 1997). Las ventajas citadas en el poliéster no saturado son su estabilidad dimensional y el costo económico. Otras ventajas incluyen la comodidad en el manejo, en procesamiento, y en su fabricación. Parte de las formulaciones especiales es su alta resistencia a la corrosión y al retardo del fuego. Esta resina es probablemente la mejor opción para un equilibrio entre desempeño y capacidades estructurales.

3.5.2.2.- Epóxicos.

Los epóxicos utilizados en compuestos son principalmente los éteres de glicedil y amines. Las propiedades materiales y de curado se pueden formular para cumplir con el desempeño requerido. Los epóxicos se encuentran generalmente en aplicaciones tales como navales, automotrices, eléctricas y de aparatos domésticos. La alta viscosidad de las resinas epóxicas limitan su uso debido a ciertos procesos tales como el moldeado y el enrollado de filamentos. Aunque los epóxicos puedan resultar costosos, puede asumirse cuando se requieren altos desempeños.

3.5.2.3.- Vinilo Ester.

Las resinas del vinilo Ester se desarrollaron para aprovechar la viabilidad de las resinas epóxicas y el curado rápido de los poliésteres. El vinilo Ester tiene propiedades físicas más altas que el poliéster pero menores costos que los epóxicos. Un producto compuesto que contenga resina vinilo Ester puede resistir una alta demanda de dureza y ofrecer una excelente resistencia a la corrosión.

3.5.2.4.- Poliuretano.

El Poliuretano es producido combinando polisocianato y polioli (resina hidroxilada) en un proceso de reacción de moldeado por inyección o en una reacción reforzada del proceso moldeado por inyección. Estos son curados para formar materiales muy duros y de alta resistencia a la corrosión que se encuentran en muchas capas de pintura de alto desempeño.

3.5.2.5.- Fenólicos.

Las resinas fenólicas se hacen de fenoles y formaldehídos, y ellos son divididos en resinas de resol y novolac. El novolac se cura al reaccionar químicamente con grupos de metileno en la sustancia que sirve para endurecer. Los fenólicos se valoran mucho por su resistencia a altas temperaturas, una buena estabilidad térmica, y a una baja generación de humo.

| Tipo de Resina | Propiedades Típicas de las Resinas | | |
|-------------------------|------------------------------------|--------------------------|-----------------|
| | Resistencia a la Tension MPa | Modulo de Tension GPa | Elongacion % |
| Resinas Epoxicas | 103 - 172 | 4.83 - 6.21 | < 2.0 |
| Resinas de Poliamidas | 48 - 83 | 2.76 - 5.52 | 1.7 - 3.2 |
| Resinas de Vinilo Ester | 21 - 83 | 2.76 - 4.14 | 1.4 - 4.0 |
| Resinas Termoplasticas | 76 - 103 | 2.21 - 4.83 | 5 - 10 |

Tabla 3.3 From *Engineered Materials Handbook (1987)* and *Engineers' Guide to Composite Materials (1987)*.

3.5.3.- Masillas.

Dado que las resinas son carísimas, no resultaría efectivo llenar los vacíos en una matriz de un composite puramente con resinas. Las masillas se añaden a la matriz de resina para controlar los costos del material y para mejorar sus propiedades mecánicas y químicas. Algunos compuestos que son ricos en resinas pueden ser susceptibles a agrietamiento y al creep y a una disminución de su resistencia. Aunque estas propiedades puedan ser indeseables para aplicaciones estructurales, es posible que haya un lugar para su uso.

Los tres tipos mayores de masillas utilizados en la industria de los composites son:

- ✚ Carbonato de calcio.
- ✚ Caolín.
- ✚ Trihidrato de aluminio.

3.5.4.- Aditivos.

Una variedad de aditivos se utilizan en los composites para mejorar las propiedades materiales, estéticas, procesos de fabricación, y el desempeño. Los aditivos se pueden dividir en tres grupos:

- ✚ Catalizadores; los promotores e inhibidores.
- ✚ Tintas colorantes.
- ✚ Agentes libres.

Sus papeles son tan sencillos como sus nombres lo indican, por lo que no necesitan discusión adicional aquí.

3.6.- Adhesión en la Interfaz Formada por la Matriz y las Fibras.

Un concepto fundamental a la hora de plantearse el empleo de las fibras naturales como refuerzo de un material polimérico es la compatibilidad existente entre estos dos materiales. Esta compatibilidad normalmente se caracterizan por tener un cierto grado de antagonismo, ya que las fibras tiene un marcado carácter hidrofílico, mientras que los polímeros lo tiene de carácter antagonista como hidrófobo.

Esta situación hace que una parte importante de las investigaciones de los materiales compuestos a las que nos estamos refiriendo se centre en como mejorar esta compatibilidad por la vía de modificar el carácter hidrofilito de las fibras para lograr la mejor unión fibras- matriz en su zona de interfase ya que si queremos aprovechar la gran resistencia y rigidez de la fibras, esta deben estar fuertemente unidas a la matriz.

La adhesión entre las fibras de refuerzo y la matriz polimérica puede ser atribuida a una serie de mecanismos que se pueden dar en la interfase, como fenómenos aislados o por interacción entre ellos. Estos mecanismos se relacionan en los apartados que siguen.

3.6.1.- Adhesión mecánica

Debido a las formas irregulares de la superficie de una fibra y de la matriz polimérica en estado visco elástico, se puede lograr la difusión de las fibras en el polímero si su grado de fluidez y de mojabilidad es elevado, de tal forma que pueda alcanzar a la mayor parte de la superficie de la fibra y se llegue a establecer un buen grado de unión de caracteres mecánico entre ambas.

La limpieza exterior de las fibras, la eliminación de residuos vegetales, de tierra y polvo, junto con la temperatura del polímero, y su mejor estado visco elástico, contribuirán notablemente a mejorar el grado de la adhesión mecánica.

3.6.2.- Atracción electrostática

Estas fuerzas aparecen como consecuencia de la posible carga eléctrica entre ambas superficies. La fuerza de la interfase dependerá de la densidad de carga iónica. Aunque la atracción electrostática no haga una contribución principal a la resistencia final de la unión si que puede afectar al proceso inicial facilitando la operación de difusión de las fibras en la matriz.

3.6.3.- Interdifusión

La fuerza de la unión entre fibras y polímero, dependerá del grado de enmarañamiento molecular y del nº de moléculas implicadas. La interdifusión puede ser promovida por la presencia de agentes plastificantes y disolventes, dependiendo el grado de difusión de la concentración molecular, de los constituyentes que intervengan y en la facilidad de movimiento molecular. El proceso de la interdifusión puede explicar la razón por la cual las fibras previamente recubiertas de polímero se adhieren a la matriz de polímero.

3.6.4.- Enlace químico

Se forma un enlace químico entre un grupo químico de la superficie de la fibra y un grupo químico compatible de la matriz. La fuerza de la unión dependerá del número y tipo de enlaces. Un fallo en las superficies de contacto, implica la rotura de los enlaces.

3.6.5.- Absorción y humectación

Si dos superficies eléctricamente neutras se ponen una junto a otra, se da una cierta fuerza de atracción entre ellas. Si además entre las dos superficies hay un cierto grado de humedad, se entiende mejor esta fuerza de atracción.

Aunque de ambas superficies se haya eliminado la contaminación y suciedad se puede lograr un grado de unión entre las dos superficies solo en algunos puntos de contacto, no obstante la adhesión lograda será de carácter débil.

Para la humectación efectiva de la superficie de una fibra, la matriz en estado "líquido" debe cubrir cada resalte de la superficie para desplazar todo el aire. La humectación puede ser entendida con la ecuación de Dupré para el trabajo termodinámico de adhesión W_A .

$$W_A = \gamma_1 + \gamma_2 - \gamma_{12}$$

Donde γ_1 y γ_2 son las energías libres de superficie del líquido y el sólido y γ_{12} es la energía libre de la interfase líquido-sólido.

Y por el concepto de tensión superficial crítica de mojado γ_c , de forma que solo los líquidos con $\gamma_{LC} < \gamma_c$ se extenderán espontáneamente sobre el sólido. Este es un parámetro útil al considerar el mojado de las fibras por el polímero.

3.7.- Agentes de acoplamiento

La misión de los agentes de acoplamiento es la de servir de enlace entre la fibra y la matriz. Una de las misiones que se le atribuyen es la de incrementar la energía de superficie, para asegurar una buena humectación. Se intenta explicar el fenómeno atribuyendo propiedades específicas a la interfase: Se supone que hay una zona modificada de matriz alrededor de la fibra que tiene unas propiedades mecánicas intermedias entre las de la fibra y las de la matriz.

O también que el agente modifica el comportamiento de la matriz en la región de la superficie de la fibra o el agente adhesivo que contenga grupos R grandes, los cuales, proporcionan una capa de polímero diferente entre la fibra y el resto del polímero.

No se conoce bien las propiedades de estas zonas aunque se acepta que el fenómeno de la modificación puede tener un efecto pronunciado sobre la mayor parte de las propiedades. Plueddemann propuso que el movimiento o los desplazamientos en la interfase podrían relajar los esfuerzos locales y mantener la unión química si se seguía un mecanismo reversible de la unión. En presencia del agua molecular, que se puede difundir a través de la matriz hacia la interfase, el enlace covalente M-O se hidroliza. Al ser este proceso reversible, el enlace covalente puede formarse de nuevo cuando el agua se difunda hacia el exterior. Así, en presencia de un esfuerzo cortante sencillo paralelo a la interfase, las superficies pueden deslizarse unas sobre otras sin rotura permanente del enlace. (Plueddemann, E.P., 1974)

IV.- Normativa y Requisitos de Resistencia.

4.1.- Generalidades.

El hormigón como elemento estructural, se nos presenta hoy en día como un material cuyas propiedades son más que conocidas, llegando al punto en que podemos aproximar con rangos pequeños de incertidumbre, el comportamiento final de una estructura de hormigón.

En relación a los materiales composites, existen diversos estudios realizados, mas en forma experimental y casi siempre apuntados a aplicaciones específicas, que a la realización de un conjunto de normas para el diseño en forma general de estos materiales.

Sin embargo se ha puesto énfasis en que estas deban cumplir con requisitos mínimos en lo que respecta a sus materiales, a su proceso de fabricación, y en el producto final.

4.2.- Normativa.

Se han consultado las siguientes normas chilenas, elaboradas por el Instituto Nacional de Normalización, (I.N.N., <http://www.inn.cl>):

- *NCh148.Of1968* "Cemento - Terminología, clasificación y especificaciones generales"
- *NCh163.Of79* "Áridos para morteros y hormigones - Requisitos generales"
- *NCh165.Of77* "Áridos para morteros y hormigones - Tamizado y determinación de la granulometría"
- *NCh170.Of85* "Hormigón - Requisitos generales"
- *NCh1018.EOf77* "Hormigón - Preparación de pruebas de mezcla en laboratorio"
- *NCh1037.Of77* "Hormigón - Ensayo de compresión de probetas cúbicas y cilíndricas"
- *NCh1498.Of82* "Hormigón - Agua de Amasado - Requisitos"

Se han consultado también las siguientes normas y códigos:

- Código de Diseño de Hormigón Armado, ACI 318-02
- ASTM D 3878 Standard Terminology of High-Modulus Reinforcing Fibers and Their Composites.

4.3.- Requisitos de Resistencia.

Como consenso general, los elementos de una estructura se diseñan con el objetivo de optimizar al máximo sus dimensiones, de esta manera se aprovechan mejor los recursos y se cumplen con los requisitos mínimos de la normativa vigente.

Aun así, dependerán en gran parte del criterio del proyectista y del método que utilice para garantizar la resistencia de los elementos a las sollicitaciones a las que esta sometido.

Se ha propuesto llevar las probetas a su estado último de resistencia, con el propósito de simular las sollicitaciones sísmicas máximas a las que podría estar sujeto un muro de hormigón armado en una estructura de varios pisos. Así, se podrá evaluar el impacto del sistema de reparación y refuerzo en su resistencia a la rotura.

V.- Experimento de Laboratorio.

5.1.- Generalidades.

Como se planteaba anteriormente, se propuso la realización de un ensayo simple de compresión diagonal, los cuales fueron posteriormente reparados, con el sistema de resinas y fibras reforzadas.

Este tipo de ensayos requiere de una forma especial del elemento a ensayar como se detalla en la figura 5.1. En el caso mas adverso, se podría presentar un aplastamiento de la zona de carga del elemento, como se muestra en la figura 5.1.a), que se tiene por una falla del tipo frágil para una estructura convencional de hormigón armado. Para resolver este inconveniente, se optó por la colocación de cuñas metálicas en los apoyos, como veremos mas adelante, que ayudaron en gran manera al confinamiento de los muretes en el sistema de ensayo.

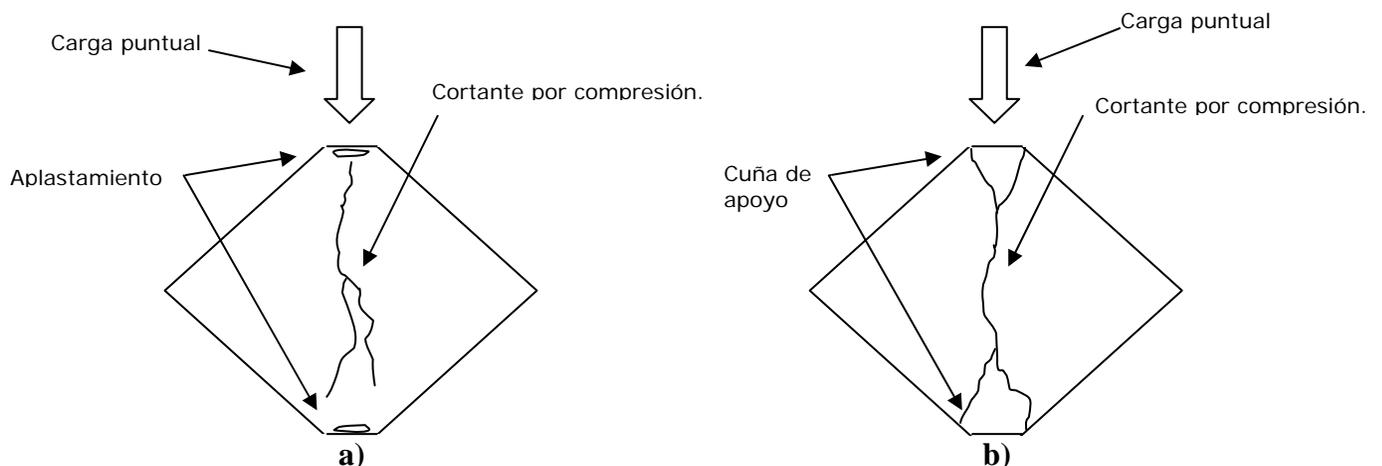


Fig. 5.1 Tipos de fallas en compresión diagonal.

Asimismo se nos presento el caso en que el apoyo se agrieto en forma de una cuña, incrustándose en la probeta. Este tipo de ensayo tiene por efecto el de simular las sollicitaciones que presentaría un muro en condiciones de servicio, como las sollicitaciones horizontales máximas de un sismo, mas las cargas propias por peso propio y estados de carga de servicio.

5.2.- Materiales y herramientas empleados en la fabricación.

A continuación, se presenta una breve descripción de los materiales empleados para la fabricación y ensayo de los muretes de hormigón armado.

5.2.1.- Cemento.

Para la fabricación de los muretes de hormigón, se empleo cemento Bio Bio Especial Puzolánico, que cumple con la norma NCh 148.Of1968, y clasificado según esta como cemento Puzolánico, grado corriente.

5.2.2.- Áridos.

Primero que nada, se tuvo especial cuidado en que los áridos para la mezcla de hormigón se encuentren libres de materiales orgánicos, así como de cualquier impureza que pudiera afectar la resistencia del hormigón.

Arena:

Se utilizó arena que pase por el tamiz N° 4, para la fabricación de la mezcla de hormigón.

Gravilla:

Se utilizó de canto rodado y que no sobrepase el tamaño máximo de ½”.

5.2.3.- Acero de Refuerzo.

Se utilizó acero A44-28H, de diámetro 6 mm., que cumplen con la norma NCh 204.Of1977.

5.2.4.- Agua.

Se empleo agua potable, para la confección y curado del hormigón de los muretes, así como para el lavado de los áridos antes de realizar la mezcla.

El agua potable disponible cumple con los requisitos establecidos en la norma NCh 1498 Of.1982.

5.2.5.- Sikadur 330 (Resina Epóxica).

Para la reparación y refuerzo de los muretes, se utilizó la resina epóxica Sikadur 330, en conjunto con la malla de fibra de vidrio. La resina actúa como conductor de los esfuerzos y como sistema de fijación a las paredes del murete.

La resina fue obtenida gracias a una donación de parte de la empresa Sika S.A. Chile.

Las principales características y recomendaciones del fabricante del composite, pueden ser revisadas en el Anexo C.

5.2.6.- Malla de Fibra de Vidrio, Fibacrete.

Como se mencionaba anteriormente, la malla de fibra de vidrio trabajando en conjunto con la resina epóxica, conforman el sistema de refuerzo y/o reparación, de los muretes sometidos a cargas diagonales.

Se dispondrán tres capas de malla de refuerzo, con la trama principal en direcciones de 0°, 45° y 90°, respectivamente.

A continuación se presentan las características principales de la malla de fibra de vidrio.

| Malla Fibracrete 0040/271 | | |
|---------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Propiedad | Imperial | Metrico |
| Construccion | ASTM D-3775 | |
| Trama | 6 hilos por pulgada | 24 hilos por 10 cm. |
| Urdiembre | 5,9 hilos por pulgada | 23 hilos por 10 cm. |
| Peso | ASTM D-3776 | |
| | 4,5 oz/yd ² . | 152 gr/m ² . |
| Tipo Tejido | Lino | |
| Apresto | Resistente a la alcalinidad | |
| Tacto | Soft | |
| Espesor | ASTM D-1777 | |
| | 0,015 pulgadas | 0,39 mm. |
| Resistencia Traccion | ASTM D-5035 | |
| Trama | 150 lb/in | 665 N/in |
| Urdiembre | 200 lb/in | 890 N/in. |
| Ancho | 38" | 970 mm. |
| Largo Rollo | 150 ft. | 45,7 m. |

Tabla. 5.1 *Propiedades de la malla Fibracrete*

5.2.7.- *Betonera.*

Se utilizó para la preparación de la mezcla de hormigón, impulsada por un motor eléctrico, tiene capacidad de 60 litros y esta ubicada en las instalaciones del laboratorio LEMCO.



Fig. 5.2 *Betonera, con capacidad de 65 lts.*

5.2.8.- *Vibrador Mecánico.*

Se utilizó el vibrador, con la finalidad de eliminar el aire atrapado durante la etapa de hormigonado de los muretes.



Fig. 5.3 *Vibrador.*

5.3.- Fabricación Muretes de Hormigón.

5.3.1.- Prediseño Muretes.

Los muretes se diseñaran al corte, de acuerdo a las recomendaciones, tanto de la normativa Chilena, así como de las del Código ACI 318-99 y ACI 318-02.

| Propiedades de los Muretes | | | | |
|---|---|------------------------------|--|---|
| Largo, ℓ_w <i>cm.</i> | Alto, h_w <i>cm.</i> | Espesor <i>cm.</i> | f_c' <i>kg/cm²</i> | f_y <i>kg/cm²</i> |
| 71 | 71 | 12 | 100 | 2800 |

Tabla. 5.2 Propiedades de los muretes.

La resistencia al corte, V_n , en cualquier sección horizontal para corte en el plano del muro no debe considerarse mayor que

$$V_n \leq (5\sqrt{f_c'} / 6) h d.$$

El valor de d , debe considerarse igual a $0.8\ell_w$, para el diseño por esfuerzo de corte.

$$V_n \leq 18316 \text{ Kgf.}$$

Las secciones transversales sometidas a corte debe estar basado en

$$\Phi V_n \geq V_u$$

, donde V_u es el esfuerzo de corte mayorado en la sección considerada y V_n es la resistencia nominal al corte calculada mediante

$$V_n = V_c + V_s$$

, donde V_c es la resistencia nominal al corte proporcionado por el hormigón, y V_s es la resistencia nominal al corte proporcionado por la armadura de corte.

La contribución del hormigón al esfuerzo de corte esta dada por la expresión,

$$V_c = (1 + N_u / 14A_g)(\sqrt{f_c'} / 6) b_w d$$

, donde N_u / A_g debe expresarse en MPa., por lo que obtenemos como resultado,

$$V_c = 3663 \text{ Kgf.}$$

Como $L_c/L_w=1$, la armadura de distribución horizontal es igual a la armadura de distribución vertical.

La cuantía mínima de acero de refuerzo horizontal y vertical, es del orden de $\rho_h^{\min} = 0.0015$ y $\rho_v^{\min} = 0.0025$, respectivamente, pero debido a que se suponen solicitaciones sísmicas se aumenta este valor a $\rho_v^{\min} = \rho_v = \rho_h = 0.0025$.

El área de las armaduras, tanto en la distribución vertical como en la horizontal, es $A_s = \rho b_w d = 1.70 \text{ cm}^2$. Por lo que usaremos 6 barras $\emptyset 6$.

El espaciamiento de las barras de refuerzo no debe exceder de $\ell_w/3$, tres veces el espesor del muro, ni de 50 cms, (ACI 318-99).

Por lo tanto, se tiene una separación máxima de 23 cms, para lo cual la dejaremos en 22 cms, de esta manera queda distribuida uniformemente, y se cumple también con los

requerimientos de espaciamiento de armadura de corte de las secciones 11.5.4.1 y 11.5.4.2, del código *ACI 318-99*.

La armadura mínima esta dada por la expresión,

$$A_v = b_w s / 3 f_y$$

, que nos da como resultado el valor $A_v = 0.31 \text{ cm}^2$, sin embargo la armadura dispuesta de acuerdo a la cuantía mínima es: $A_s = 0.57 \text{ cm}^2$, por lo que no se necesita armadura adicional, de esta manera queda **Doble Malla Ø 6 @ 22**.

La contribución del acero de refuerzo esta dada por la expresión,

$$V_s = A_v f_y d / s$$

, lo que nos da como resultado $V_s = 4204 \text{ Kgf}$. Pero cuando la línea de corte atraviesa la armadura en un ángulo α , se debe evaluar también la siguiente expresión,

$$V_s = A_v f_y (\text{sen } \alpha + \text{cos } \alpha) d / s$$

, donde s , se toma como la distancia entre las armaduras de corte en la dirección de la línea de corte. Se tiene entonces que al evaluar la expresión anterior y considerando $\alpha = 45^\circ$, nos da como resultado, $V_s = 4202 \text{ Kgf}$. Por lo que podremos usar cualquiera de los dos como referente.

De esta manera el valor de V_n , se obtiene sumando las contribuciones del hormigón y el acero,

$$V_n = 7867 \text{ Kgf} \leq 18316 \text{ Kgf}.$$

Cumpléndose con los requerimientos establecidos, de acuerdo al código *ACI 318-99*, se procede a la fabricación de los muretes de hormigón armado.

5.3.2.- Moldajes.

Para la fabricación de moldajes se emplearon placas de OSB, de 10 mm. de espesor, y madera aserrada de pino de 4x12 cm. de escuadría. Los moldajes fueron impregnados con una mezcla de aceite y petróleo, para evitar perdidas excesivas de agua y permitir su posterior descimbre. Todas las uniones entre los elementos son atornilladas.

Se dispuso en cada moldaje de dos piezas de madera de largo 10 cm., para darle la forma a las aristas de carga. Las cuales como se mencionaba anteriormente, fueron sustituidas por cuñas metálicas, para la aplicación de las sollicitaciones.



Fig. 5.4 *Moldajes de muretes.*

5.3.3.- Enfierraduras.

Se dispuso de enfierraduras de calidad A44-28H, de diámetro 6 mm., con un espaciamiento de 15 cm., que fueron colocadas tal y como se aprecian en la fig. 5.5.

Para el cumplimiento de los recubrimientos se fabricaron calugas de hormigón de 2x2 cm., sobre los cuales se apoyo la enfierradura, momentos antes de ser hormigonada. Para las amarras de las enfierraduras se utilizo alambre negro N° 14.



Fig. 5.5 Enfierraduras A44-28h.

5.3.4.- Dosificación y hormigonado.

La dosificación se basó en los apuntes del Instituto Chileno del Hormigón, con el método de dosificación de hormigones del American Concrete Institute, los cuales pueden ser revisados en el *Anexo A*.

Los resultados se pueden apreciar en la tabla a continuación.

| Cantidad <i>Lts.</i> | R _H 28 <i>Kg/cm²</i> | Cemento <i>Kg.</i> | Agua <i>Lts.</i> | Agua Corregida <i>Lts.</i> | Gravilla | | Arena | | Cono <i>cm.</i> |
|-------------------------|---|-----------------------|---------------------|----------------------------------|------------|-------------|------------|-------------|--------------------|
| | | | | | <i>Kg.</i> | <i>Lts.</i> | <i>Kg.</i> | <i>Lts.</i> | |
| 1000 | 100 | 244 | 208 | 208 | 1014 | 650 | 770 | 494 | 3 – 5 |
| 67 | 100 | 16,3 | 13,94 | 10,17 | 67,9 | 43,6 | 51,6 | 33,1 | 3 – 5 |

Tabla. 5.3 Dosificación de hormigón.



Fig. 5.6 Hormigonado Probetas.

Cada amasado de 67 litros, completaba el llenado de uno de los muretes y para las probetas cúbicas. El traslado de la mezcla de hormigón se realizo con carretillas.

Mientras se llenaban los muretes se procedió al vibrado, para eliminar las burbujas de aire atrapadas durante la colocación de la mezcla de hormigón.

El curado de los muretes se realizo dentro de las dependencias del Laboratorio LEMCO, donde fueron cubiertas con polietileno, para evitar pérdidas excesivas de agua y fisuramiento por efectos de retracción. Se tuvo especial cuidado de aplicarles agua periódicamente, durante los 2 primeros días de curado.

Después de 7 días, los moldajes fueron retirados, no presentándose ningún inconveniente durante su desmolde.



Fig. 5.7 Vibrado mezcla.

5.4.- Equipos utilizados para el ensayo.

5.4.1.- Generalidades.

El sistema de de carga utilizado, se basó en los utilizados por la norma NCh 2123 Of.1997, válido para muros de albañilería, en lo que se refiere a un sistema de carga que aseguren una correcta transmisión de los esfuerzos inducidos.

5.4.2.- Gato Hidráulico.



Fig. 5.8 Gato Hidráulico LARZEP.

Se utilizó un gato hidráulico de botella de acción manual, de dos velocidades y con una capacidad máxima de carga de 50 toneladas, marca LARZEP.

5.4.3.- Celda de carga y Lector de carga.

La celda, *fig. 5.3*, de 50 toneladas de capacidad máxima de carga, funciona en conjunto con el lector de carga, entregando las cargas aplicadas por el gato hidráulico al sistema, con un margen de error, no superior a 1 Kgf, rango aceptable debido a la magnitud de los valores obtenidos.



Fig. 5.9 Celda de Carga.



Fig. 5.10 Lector de carga.

5.4.4.- Deformímetro

Se utilizó un deformímetro que se acciona mediante un pistón en su parte superior y que registra este desplazamiento en un dial, con una precisión de 0.001”.

Se midieron las deformaciones producidas por la aplicación de la carga sobre los muretes, en la dirección perpendicular a la aplicación de ésta.



Fig. 5.11 Deformímetro de dial, durante el ensayo.

5.5.- Ensayo de muretes de hormigón.

5.5.1.- Sistema de Ensaye.

Tal como se mencionaba anteriormente, el ensayo de los muretes, se realizó dentro de las instalaciones del laboratorio LEMCO, y según lo previsto. Por las características de los muros, en cuanto a sus dimensiones y tonelaje, se optó por realizar el ensayo, de forma horizontal. Previendo así cualquier tipo de accidente, en el caso de que alguno de los muretes se volcara.

El sistema para los ensayos, debía presentar una mínima interacción con el medio externo. Esto se llevó a cabo utilizando los equipos y los elementos presentes en el laboratorio LEMCO.

De esta manera se llegó al modelo que se presenta a continuación, el cual no presenta complicaciones de montaje y cumple con las expectativas establecidas para realizar el ensayo de los muretes.

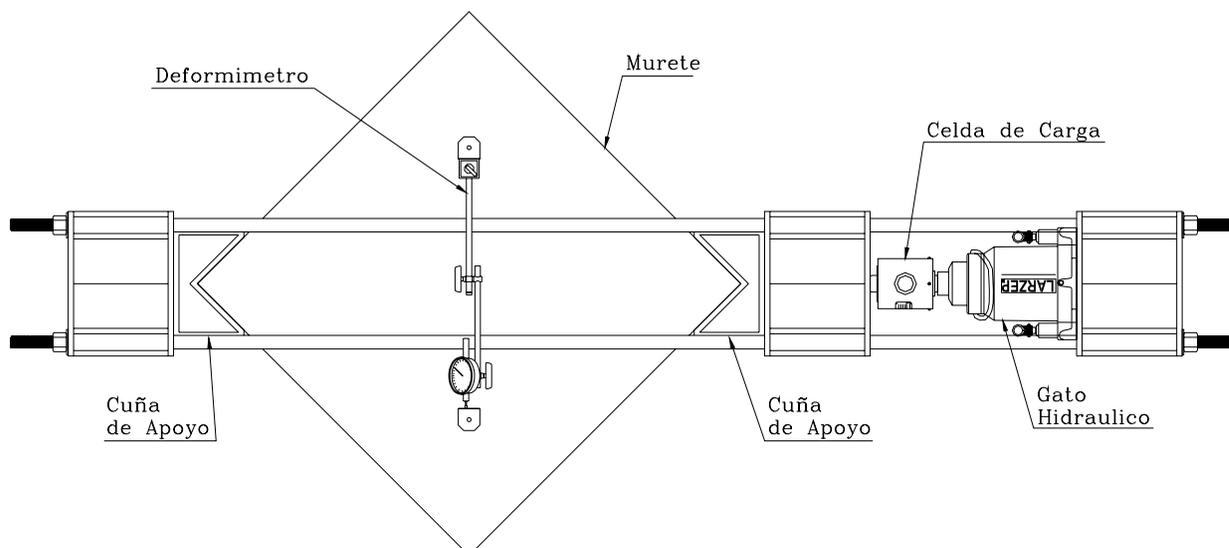
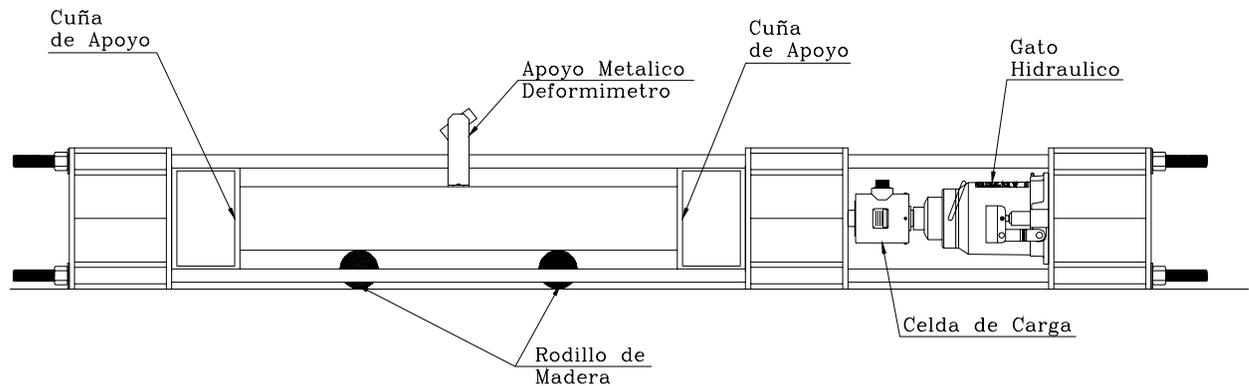


Fig. 5.12.a Sistema de ensayo de carga de muretes de hormigón.



Elevación Sistema de Ensaye

Fig. 5.12.b Elevación sistema de ensayo de carga de muretes de hormigón.

Los ensayos de los muretes, se llevaron a cabo con el siguiente esquema.

1. Ensayo de compresión diagonal muros Nº 4, 5 y 6, sin refuerzo.
2. Ensayo de compresión diagonal muros Nº 4, 5 y 6, reparados.
3. Ensayo de compresión diagonal muros Nº 1, 2 y 3, reforzados.

La descripción de cada ensayo y sus generalidades se presenta mas adelante.

5.5.2.- Ensayo de Muretes Sin Refuerzo.

5.5.2.1.- Ensayo Murete Nº 4.

Durante la aplicación de la carga de ensayo de este murete, no se presentaron grietas hasta los 29417 Kgf., momento en el cual se comenzó a observar una pequeña fisura que recorría el murete, en la dirección de la carga. Esta fisura no progreso mucho durante la prueba, llegándose casi al límite de carga del sistema de ensaye, y registrando solamente una deformación de 0.635 mm, y una carga máxima aplicada de 46200 Kgf. La deformación resiliente una vez descargado el murete fue de 0.01 mm.

La línea de corte por aplastamiento es apenas visible una vez descargado el muro. Además de presentar una gran resistencia, notamos una falla no prevista, en la cara lateral del muro, que nos podría indicar un posible desprendimiento de recubrimiento, ocasionado por una flexión en las enfierraduras, debido a la compresión a la que fueron sometidas.

Aparte de unos pocos desprendimientos, debidos en su mayoría al traslado, no se presentan más indicios de desprendimiento de recubrimiento, ni grietas de gran envergadura.



Fig. 5.13 Única fisura visible en murete Nº 4, la cual no se percibe a simple vista al remover la carga.

5.5.2.2.- Ensayo Murete N° 5.

El comportamiento de este murete, se acercó más al comportamiento esperado durante el proceso de aplicación de la carga, apreciándose a simple vista la aparición de las primeras grietas a los 28750 Kgf. La lectura final del deformímetro fue de 0.737 mm., con una carga máxima aplicada de 32450 Kgf. La deformación resiliente, una vez descargado el murete fue de 0.06 mm.

El murete ensayado resultó con muchos daños, presentándose fallas tales como el descascaramiento de uno de los apoyos, llegándose al caso de que se observan las enfierraduras a simple vista, *fig. 5.15*.

En el apoyo opuesto no se observaron grandes daños, solo un poco de desprendimiento de material debido al traslado y que el material se encontrase agrietado, como se observa en la *fig. 5.16*.

Se aprecian también algunas grietas a los costados, en forma longitudinal a las caras laterales, similares a las del murete N° 4.

El daño en el apoyo más sacrificado, muestra una cierta tendencia a la formación de la cuña, notándose claramente una vez desmontado el sistema de ensaye. La gran depresión generada, justo en la intersección de la grieta de la línea de corte principal, y las que se generan en el apoyo, provocando un desprendimiento de material bastante considerable.

Debido a esto, será necesaria durante la etapa previa a la aplicación del sistema de refuerzo, una reparación del apoyo con mortero de cemento y un puente de adherencia. De preferencia utilizaremos Sikadur® 32, con mortero de cemento-arena 1:3, como dosificación.

Una vez finalizado el tiempo de curado del mortero, se procederá a la utilización de la malla de fibra de vidrio y la resina epóxica.



Fig. 5.14 Vista superior murete N° 5, donde se aprecian los daños resultantes de la aplicación de la carga.



Fig. 5.15 Vista apoyo murete N° 5, donde se aprecian las enfierraduras, y la cuña formada por la carga aplicada.



Fig. 5.16 Vista apoyo murete N° 5. Se aprecian desprendimientos menores en las aristas del murete.

5.5.2.3.- Ensayo Murete N° 6.

De acuerdo a lo que se esperaba, se generó una falla por aplastamiento, en uno de los apoyos. Las primeras grietas hicieron su aparición a los 12.417 Kgf., en uno de los apoyos en forma de una pequeña cuña, que deslizaba entre las enfierraduras. La carga máxima aplicada se registro a los 22.333 Kgf, provocando el colapso total del apoyo, y con una lectura del deformímetro de 0.622 mm. La deformación resiliente una vez descargado el murete fue de 0.08 mm.



Fig. 5.17 Vista murete N° 6. Se aprecian la línea de corte transversal, y las líneas de corte de las cuñas en los apoyos, producto del ensayo de carga.



Fig. 5.18 Vista murete N° 6. Se aprecia la falla por aplastamiento del apoyo.

Alrededor de la grieta principal, aparecieron dos grietas que nos dicen de un posible descascamiento. Una vez removida esta capa de hormigón agrietado, se nota una falla muy parecida a la del muro N° 5, *fig. 5.18*.

Tal como se mencionaba anteriormente, se puede apreciar en la *fig. 5.19*, la cabeza de la cuña, solo sostenida por el roce de las partículas de material suelto y confinada por las enfierraduras.

Debido a esta configuración, es que se explica la resistencia relativamente baja comparada con la de los muretes N° 4 y N° 5, ya que este tipo de fallas, se entiende como una falla del tipo frágil, para elementos de hormigón armado, y por consecuencia se busca siempre a través del diseño, el evitar este tipo de situaciones.

Esto podría presentar un problema, cuando se le vuelva a ensayar, pues esta pieza podría fallar nuevamente por aplastamiento, debido a su pequeño tamaño. En lo general, el apoyo opuesto esta en muy buenas condiciones, no observándose fallas laterales.



Fig. 5.19 Vista apoyo murete N° 6. Se aprecian las enfierraduras principales, así como, el material desprendido entre ellas.

5.5.3.- Reparación de Muretes de Hormigón.

El proceso de reparación de los muretes, se llevo a cabo utilizando las recomendaciones del fabricante de la resina epóxica Sikadur® 330, Sika S.A. Chile. Para esto se debió cumplir con ciertos requisitos, como arenado de la superficie de hormigón a tratar, procedimientos controlados de mezclado y temperatura de aplicación de la resina, así como de ciertos cuidados en la manipulación de la resina, pues resulta de un grado de toxicidad medio.

Para los muros que resultaron con un daño mas significativo, fue necesaria la utilización de un puente de adherencia de los mismos fabricantes, Sikadur® 32.

5.5.3.1.- Procedimiento Para la Reparación de los Muretes.

El procedimiento efectuado para la reparación de los muretes de prueba utilizados en el experimento, tanto los reforzados, como los reparados presentan los mismos puntos, salvo algunas pequeñas diferencias.

Preparación de la superficie.

De acuerdo a lo especificado para la aplicación de la resina epóxica, las superficies a tratar deben estar libres de humedad, polvo o cualquier elemento suelto, con el fin de asegurar una óptima adherencia. Esto se logra, con un arenado de la superficie o desbaste, procedimiento que desprende las partes sueltas de los muretes a reforzar.

Asimismo, los muretes sin refuerzo de fibras, al momento de ser tratadas, ocasionaron desprendimientos de material, debido a las múltiples fisuras ocasionadas por los ensayos de carga. En los muretes mas sacrificados se utilizó Colma Fix® 32, como puente de adherencia, para la reparación de los apoyos, con mortero de cemento-arena de proporción 1:2.

Una vez terminado este proceso, se procede a efectuar una limpieza general, con una brocha normal, eliminando así, cualquier partícula de arena alojada sobre la superficie.

Mezclado y Preparación de la Resina Epóxica.

La resina epóxica Sikadur® 330, viene en un formato de presentación de dos recipientes, una parte A que contiene la resina de color blanco, y una parte B que contiene el endurecedor de color gris. El mezclado se lleva a cabo vaciando el contenido de la parte B, en el recipiente de la parte A, enseguida esta debe ser mezclada con ayuda de un taladro de bajas revoluciones, como máximo 600 rpm, y una paleta mezcladora. Durante este proceso se debe monitorear la temperatura ambiente del lugar, evitando que esta se sitúe por debajo de los 10 °C.

El proceso de mezclado se concluye una vez que se logra un color gris uniforme. El tiempo de mezclado dura aproximadamente entre 4 a 6 minutos.

🚧 Aplicación de la Resina Epóxica y Colocación de la Malla de Fibra de Vidrio.

La malla de fibra de vidrio Fibacrete, se colocará en tres capas, la primera alineada en la dirección de carga, la segunda a 45° con respecto a esta y la tercera, en 90° con respecto a la primera.

Una vez lograda la homogeneización de la mezcla esta se aplica sobre la superficie, usando una brocha y un rodillo de esponja recomendado por los fabricantes.

Para la colocación de la primera capa se sitúa la malla de fibra de vidrio sobre la superficie y se procede a la aplicación de la resina con la brocha, para posteriormente, con el rodillo de esponja lograr una capa uniforme de resina, que cubra completamente la malla de fibra de vidrio.

Para la aplicación de la segunda y tercera capa, este proceso se repite después de 12 y 24 horas de aplicada la primera capa, respectivamente.

🚧 Curado de la Resina Epóxica.

El tiempo de curado del sistema de refuerzo, especificado por los fabricantes es de 7 días a 10 °C. Para asegurar un curado completo de la resina, los muretes se mantuvieron 12 días aislados del medio ambiente, y a una temperatura promedio de 14 °C, en las instalaciones provistas por el LEMCO.

Transcurridos los 12 días de curado, la resina presentaba una superficie lisa, homogénea y seca al tacto.

5.5.4.- Ensayo de Muretes Reforzados.

5.5.4.1.- Ensayo Murete Reforzado N° 1.

Las características de este ensayo, son similares a las del murete sin reforzar N° 4, en cuanto a que presento una gran resistencia, no observándose grieta alguna a simple vista hasta los 23.000 Kgf. de carga, cuando se observó lectura en el deformímetro. La deformación máxima no supero los 0.06 mm, con una carga máxima aplicada de 47.500 Kgf. Este murete en particular, no presento deformación resiliente.



Fig. 5.20 Vista apoyo murete N° 1. Tal y como se observa, el apoyo no presenta daños después del ciclo de carga.



Fig. 5.21 Vista apoyo contrario murete N° 1. Se aprecia la delaminación ocurrida en el apoyo producto de a cuña metálica.

La línea de corte por aplastamiento generada por el ensayo, no es visible una vez descargado el murete. Asimismo, solo se presentó un pequeño desprendimiento de material en uno de los apoyos, *fig. 5.21*, producto del aplastamiento generado por la cuña metálica, sobre la capa de resina.

5.5.4.2.- Ensayo Murete Reforzado N° 2.

Este murete presentó un comportamiento más elástico con respecto a los demás, observándose deformaciones proporcionales respecto al aumento de carga. La aparición de la primera fisura se registró a los 20.450 Kgf. de carga. Posterior a este punto las deformaciones aumentaron conforme lo hacía la carga, llegándose a una carga máxima de 48.500 Kgf., y una deformación máxima de 0.64 mm. La deformación resiliente fue de 0.01 mm., siendo apenas perceptible a simple vista.

La grieta de corte por aplastamiento, solo fue perceptible a través del instrumento de medición de deformaciones, no presentándose otras fisuras visibles de importancia.



Fig. 5.22 Vista apoyo murete N° 2. Solo se observa una pequeña fisura de carácter local en el apoyo.



Fig. 5.23 Vista apoyo contrario murete N° 2. Al igual que en el otro apoyo, no se detectan mayores daños en los apoyos.

5.5.4.3.- Ensayo Murete Reforzado N° 3.

Este murete presentó una resistencia inicial mayor a la aparición de fisuras que los muretes N° 1 y N° 2, presentándose esta a los 31.167 Kgf. de carga. Su resistencia máxima fue



Fig. 5.24 Vista apoyo murete N° 3. Se aprecia el daño significativo que sufrió el apoyo al momento del colapso de este.



Fig. 5.25 Vista apoyo murete N° 3. Se observa la cuña formada en el apoyo, y su desplazamiento hacia un costado del murete.

menor, observándose también mayores deformaciones a menor carga. Debido al sistema de refuerzo solo se hizo apreciable la deformación mediante el deformímetro.

En el momento en que el lector de carga aplicada alcanzo los 36.667 Kgf. uno de los apoyos del murete cedió completamente, tal y como se aprecia en las fig. 5.24 y fig. 5.25, registrándose una deformación máxima de 0.46 mm, en el momento del suceso. Aun así, el sistema de refuerzo, logro confinar el apoyo evitando el desprendimiento de material, y aportando a la resistencia del murete.

5.5.5.- Ensayo de Muretes Reparados.

5.5.5.1.- Ensayo Murete Reparado N° 4.

Este murete, presento una gran resistencia durante el ensayo sin refuerzo de malla de fibra de vidrio y resina, por lo que se esperaba un desempeño similar durante el ensayo de carga una vez reparado. Solo se presento una pequeña falla de tipo local, y debido más a cierta irregularidad en la forma de la cuña de apoyo.

El control de deformaciones que le propino el sistema de reparación, mostró una efectividad mas que alentadora, observándose una disminución de estas en alrededor de un 30%, con respecto al ensayo del mismo murete sin refuerzo.

La carga máxima aplicada por el sistema de ensaye, fue de 45833 Kgf., con un registro de deformación de 0.46 mm, no observándose la aparición de grieta alguna en la línea de corte diagonal del murete.



Fig. 5.26 Vista apoyo murete N° 4. Se observa solo una falla de tipo local en apoyo, atribuible a la cuña metálica de carga.

5.5.5.2.- Ensayo Murete Reparado N° 5.

El murete N° 5, fue el que presento mayores daños durante los ensayos realizados anteriormente, por lo que interesaba conocer su comportamiento, una vez reparado con el sistema de resina epóxica y fibra de vidrio.

Este murete, alcanzo a recuperar solo un 81% de su resistencia original, y debido principalmente a que se agrieto en el mismo apoyo, que en el ensayo anterior había resultado con daños bastantes considerables.



Fig. 5.27 Vista murete N° 5. La falla se presento en el apoyo reparado con mortero de cemento y Colma Fix® 32.

Como se puede observar en las *figuras 5.27 y 5.28*, se produjo un desprendimiento del sistema de resina, provocado en su mayor parte por la incrustación de material pétreo fino,



Fig. 5.28 Vista posterior murete N° 5. Se puede observar que la falla ocurrió, no por la adherencia del sistema de refuerzo, sino debido al colapso del substrato de hormigón.

proveniente de la reparación del apoyo. Esta superficie se presume, no logro una óptima adherencia, en el momento de la reparación, situación por la que se observa una falla bastante similar a la ocurrida en los ensayos anteriores de rotura. Aun así, el sistema de resina epóxica y fibra de vidrio, le confirió un confinamiento suficiente al apoyo, no registrándose deformaciones hasta los 13667

Kgf., logrando alcanzar una resistencia máxima a la rotura de 24667 Kgf., con una deformación máxima de 0.53 mm. Cabe destacar que el apoyo contrario no sufrió de desprendimiento, ni grieta alguna, mostrando un comportamiento bastante alentador, con respecto al sistema de reparación.

5.5.5.3.- Ensayo Murete Reparado N° 6.

El ensayo de este murete se realizo, en igual forma que en la vez anterior, sin las cuñas de acero en los apoyos, para apreciar el comportamiento del sistema de reparación ante una falla del tipo frágil.

La carga máxima de ruptura soportada por el murete, fue de 17.833 Kgf., no observándose la aparición de grietas hasta cuando la carga sobrepaso los 11.000 Kgf.

Durante la aplicación de la carga, el comportamiento del murete fue de cierta manera elástico, presentándose pequeños incrementos de deformación a medida que se aumentaba la carga, tal y como pueden ser observados en los gráficos de carga-deformación.

Se observa también, nuevamente la aparición de la cuña entre las enfierraduras del apoyo, que finalmente provocaron el colapso de éste. Aun así el sistema de resina epóxica y la fibra de vidrio, evitaron la aparición de grietas tempranas durante el proceso de carga, y mantuvieron de cierta manera confinado el apoyo reparado hasta la carga de colapso, otorgándole un rango de elasticidad al murete.



Fig. 5.29 Vista murete N° 6. No se observan grietas visibles, una vez removido el deformimetro.



Fig. 5.30 Vista apoyo murete N° 5. Se observa el aplastamiento del hormigón debido a la cuña formada en el apoyo.

VI.- Resultados de los Experimentos de Laboratorio.

6.1.- Generalidades.

Los resultados de los ensayos de carga sobre los muretes, tanto los sin refuerzo, como los reforzados y los reparados se presentan a continuación. Asimismo se analizan estos resultados, para ver las ventajas o desventajas del sistema de refuerzo con resinas epóxicas y malla de fibra de vidrio.

6.2.- Resultados.

6.2.1.- Muretes Reforzados.

A continuación se presentan los datos obtenidos de los ensayos de carga de los muretes reforzados con la resina epóxica y la malla de fibra de vidrio.

| Murete N° 1 | |
|--------------------|--------------------|
| Carga | Deformación |
| Kgf. | mm. |
| 550 | 0.000 |
| 8333 | 0.007 |
| 16667 | 0.018 |
| 23333 | 0.025 |
| 28333 | 0.029 |
| 33333 | 0.036 |
| 36667 | 0.040 |
| 40000 | 0.044 |
| 43333 | 0.051 |
| 45000 | 0.051 |
| 47500 | 0.056 |

Tabla 6.1. Valores de resistencia y deformación murete N° 1

| Murete N° 2 | |
|--------------------|--------------------|
| Carga | Deformación |
| Kgf. | mm. |
| 550 | 0.000 |
| 20450 | 0.013 |
| 28333 | 0.025 |
| 38750 | 0.038 |
| 40500 | 0.051 |
| 41333 | 0.076 |
| 41500 | 0.102 |
| 42000 | 0.127 |
| 42500 | 0.152 |
| 43233 | 0.178 |
| 44000 | 0.203 |
| 45333 | 0.229 |
| 45633 | 0.267 |
| 46000 | 0.292 |
| 46667 | 0.330 |
| 46667 | 0.368 |
| 47000 | 0.432 |
| 47333 | 0.457 |
| 48167 | 0.495 |
| 48167 | 0.546 |
| 48333 | 0.597 |
| 48500 | 0.635 |

Tabla 6.2. Valores de resistencia y deformación murete N° 2

| Murete N° 3 | |
|--------------------|--------------------|
| Carga | Deformación |
| Kgf. | mm. |
| 567 | 0.000 |
| 6667 | 0.000 |
| 13333 | 0.008 |
| 20000 | 0.013 |
| 25000 | 0.018 |
| 31167 | 0.025 |
| 33333 | 0.102 |
| 33833 | 0.178 |
| 35833 | 0.254 |
| 35667 | 0.356 |
| 36667 | 0.457 |

Tabla 6.3. Valores de resistencia y deformación murete N° 3

6.2.2.- Muretes Sin Refuerzo.

Estos resultados corresponden a los muretes que fueron sometidos a ensayos a la rotura, y que posteriormente fueron reparados.

| Murete Nº 4 | |
|--------------------|-------------|
| Carga | Deformación |
| Kgf. | mm. |
| 0 | 0.000 |
| 2000 | 0.005 |
| 4083 | 0.006 |
| 8583 | 0.008 |
| 13083 | 0.010 |
| 17500 | 0.020 |
| 20083 | 0.023 |
| 24200 | 0.036 |
| 29417 | 0.114 |
| 35750 | 0.203 |
| 39750 | 0.318 |
| 43583 | 0.432 |
| 46200 | 0.635 |
| 45000 | 0.737 |

Tabla 6.4. Valores de resistencia y deformación murete Nº 4

| Murete Nº 5 | |
|--------------------|-------------|
| Carga | Deformación |
| Kgf. | mm. |
| 0 | 0.000 |
| 2000 | 0.008 |
| 4083 | 0.018 |
| 8583 | 0.025 |
| 13083 | 0.041 |
| 17167 | 0.051 |
| 19600 | 0.061 |
| 26667 | 0.089 |
| 27833 | 0.114 |
| 28750 | 0.242 |
| 30700 | 0.419 |
| 32000 | 0.559 |
| 32450 | 0.737 |
| 32333 | 0.813 |

Tabla 6.5. Valores de resistencia y deformación murete Nº 5

| Murete Nº 6 | |
|--------------------|-------------|
| Carga | Deformación |
| Kgf. | mm. |
| 583 | 0.000 |
| 6500 | 0.051 |
| 8083 | 0.076 |
| 10250 | 0.107 |
| 12417 | 0.127 |
| 14417 | 0.152 |
| 16000 | 0.178 |
| 18000 | 0.254 |
| 19300 | 0.292 |
| 21117 | 0.376 |
| 21667 | 0.508 |
| 22333 | 0.622 |
| 21167 | 0.711 |
| 21000 | 0.762 |

Tabla 6.6. Valores de resistencia y deformación murete Nº 6

6.2.3.- Muretes Reparados.

Una vez reparados los muretes ensayados, se someten a un nuevo ensayo de carga, los cuales arrojaron los resultados a continuación.

| Murete Nº 4 | |
|--------------------|-------------|
| Carga | Deformación |
| Kgf. | mm. |
| 567 | 0.000 |
| 5000 | 0.025 |
| 10833 | 0.051 |
| 13333 | 0.076 |
| 16667 | 0.102 |
| 20000 | 0.127 |
| 22500 | 0.152 |
| 24867 | 0.178 |
| 27500 | 0.203 |
| 30000 | 0.229 |
| 33500 | 0.254 |
| 35000 | 0.279 |
| 37833 | 0.305 |
| 40000 | 0.330 |
| 41667 | 0.356 |
| 42333 | 0.368 |
| 43333 | 0.381 |
| 45000 | 0.419 |
| 45833 | 0.457 |

Tabla 6.7. Valores de resistencia y deformación murete Nº 4

| Murete Nº 5 | |
|--------------------|-------------|
| Carga | Deformación |
| Kgf. | mm. |
| 517 | 0.000 |
| 13667 | 0.076 |
| 16667 | 0.127 |
| 17500 | 0.152 |
| 20000 | 0.229 |
| 21667 | 0.279 |
| 23333 | 0.356 |
| 24667 | 0.533 |
| 20000 | 0.584 |
| 15000 | 0.660 |

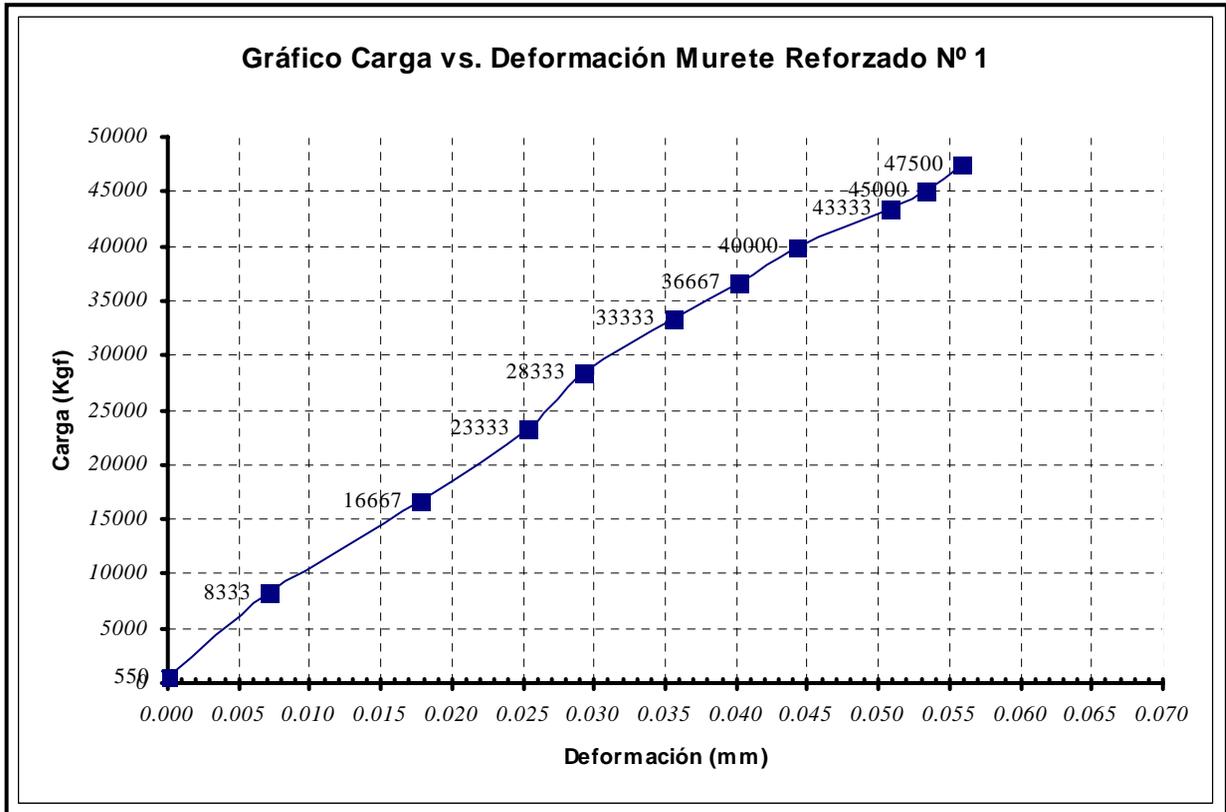
Tabla 6.8. Valores de resistencia y deformación murete Nº 5

| Murete Nº 6 | |
|--------------------|-------------|
| Carga | Deformación |
| Kgf. | mm. |
| 583 | 0.000 |
| 6917 | 0.102 |
| 8617 | 0.127 |
| 10083 | 0.152 |
| 11833 | 0.178 |
| 14500 | 0.254 |
| 15600 | 0.279 |
| 17833 | 0.356 |
| 17633 | 0.457 |
| 17500 | 0.610 |
| 16167 | 0.787 |
| 16700 | 0.889 |
| 15500 | 1.016 |
| 15000 | 1.321 |

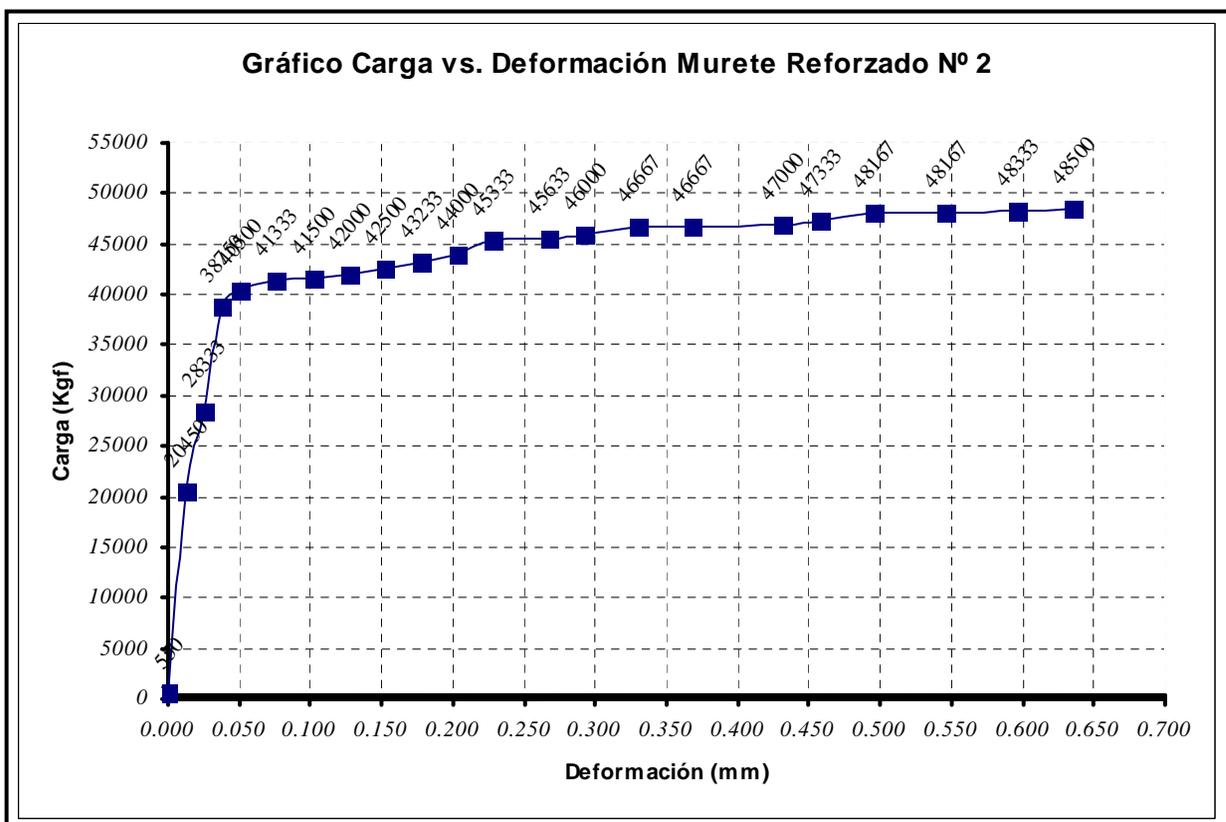
Tabla 6.9. Valores de resistencia y deformación murete Nº 6

6.3.- Gráficos de Resultados.

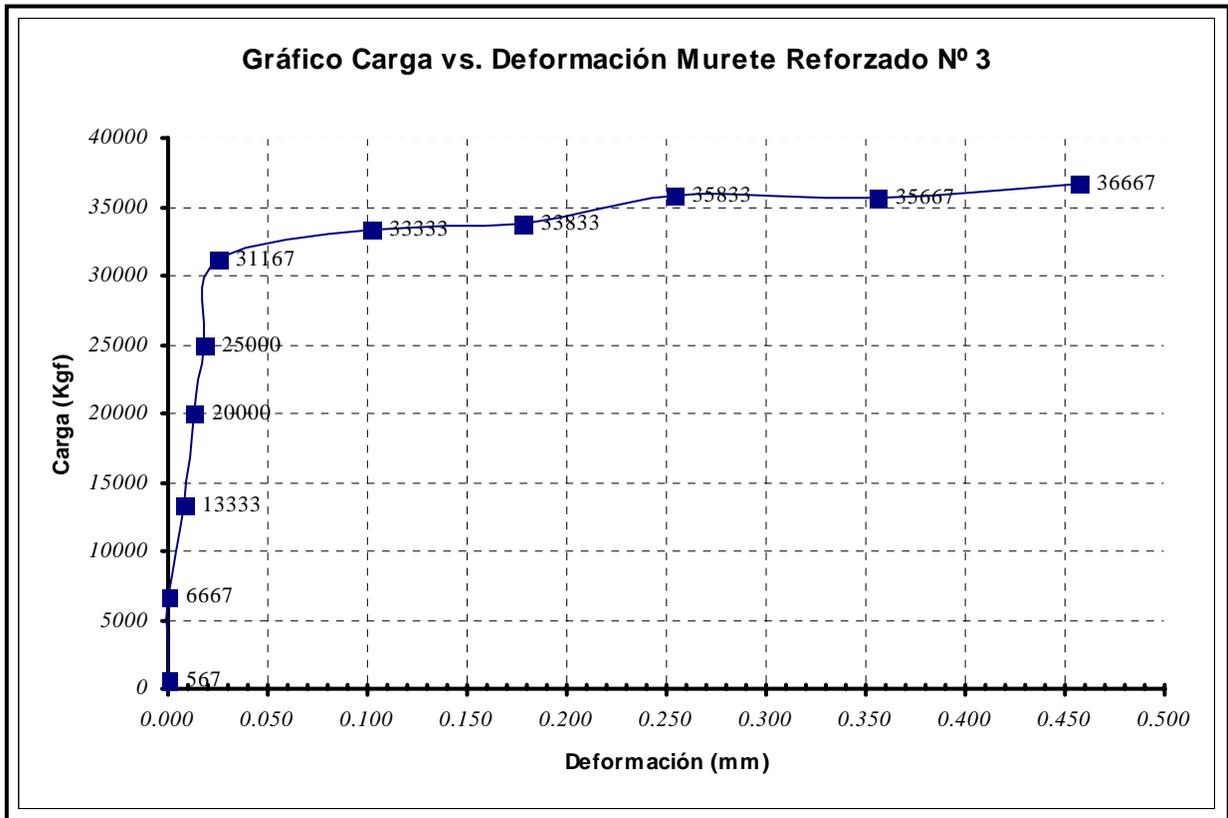
6.3.1.- Gráfico Murete Reforzado N° 1.



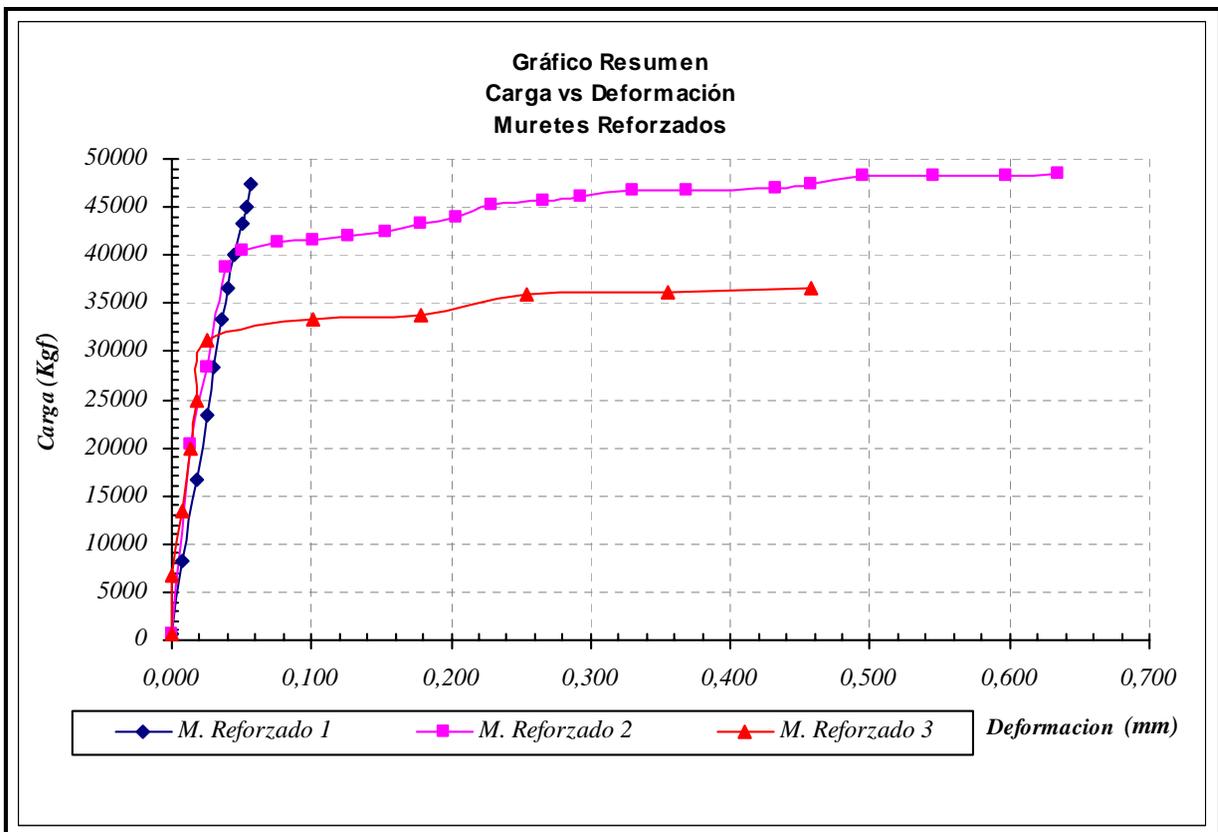
6.3.2.- Gráfico Murete Reforzado N° 2.



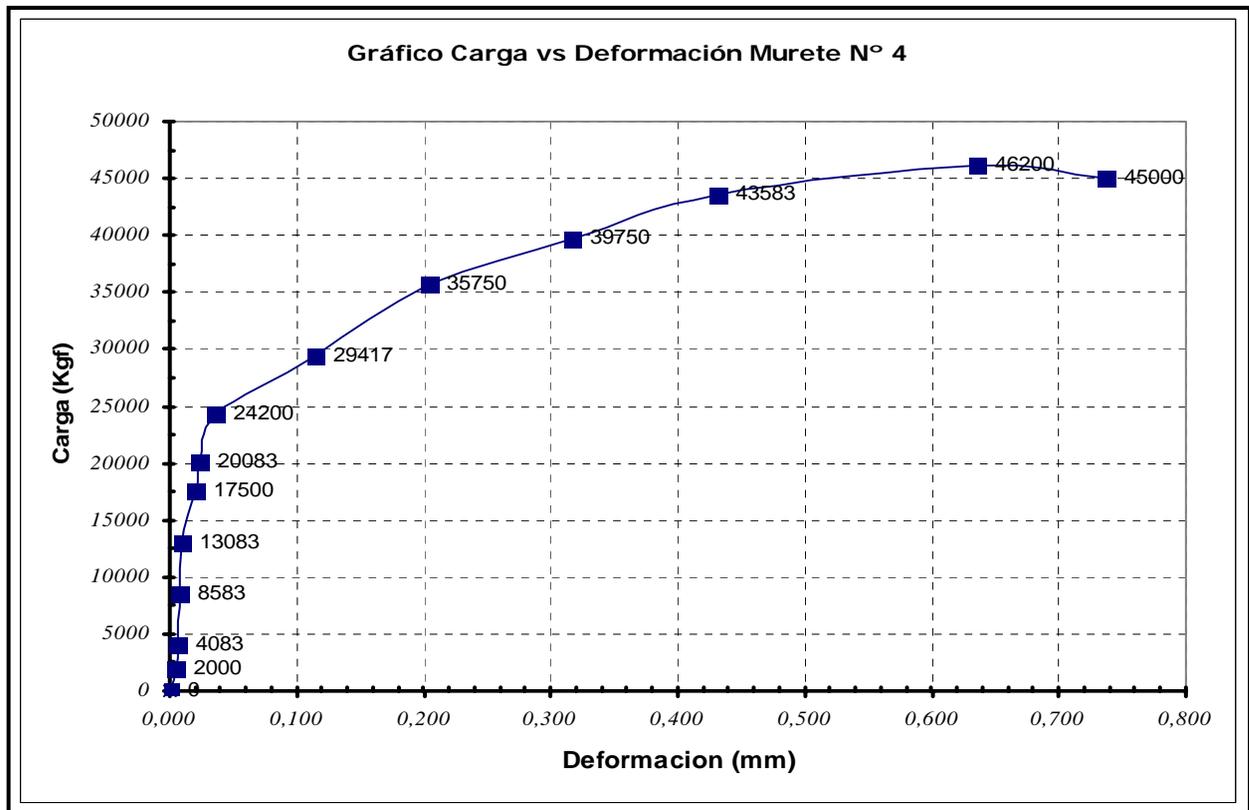
6.3.3.- Gráfico Murete Reforzado N°3.



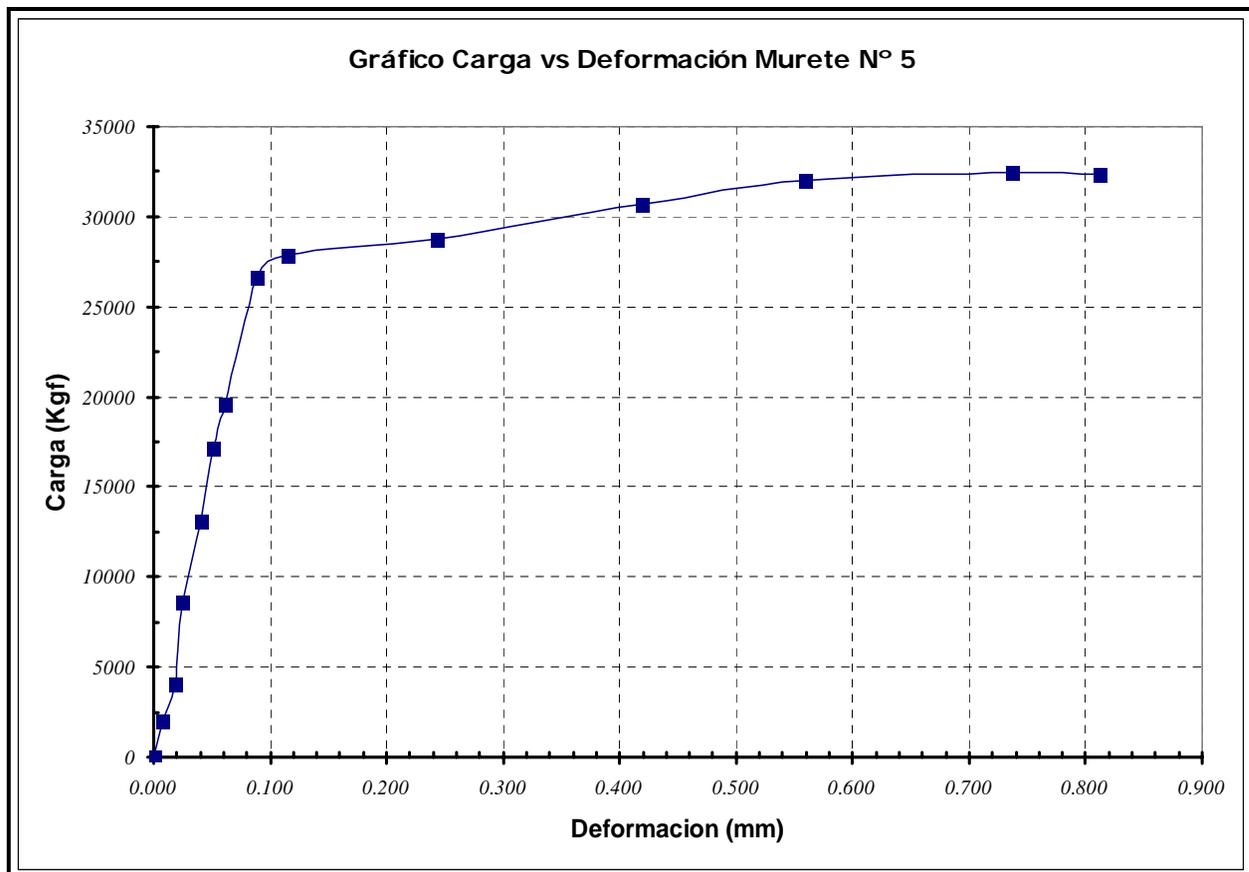
6.3.4.- Gráfico Resumen Muretes Reforzados.



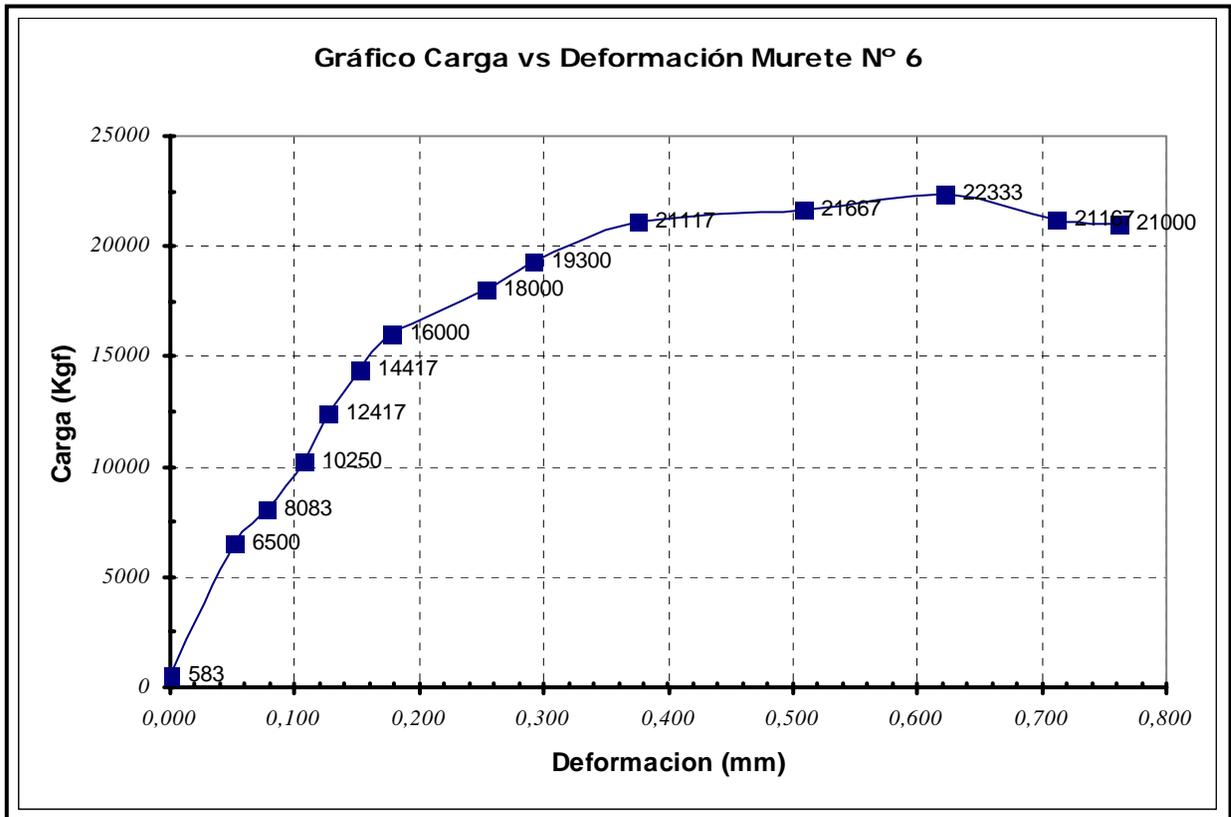
6.3.5.- Gráfico Murete Sin Reforzar N° 4.



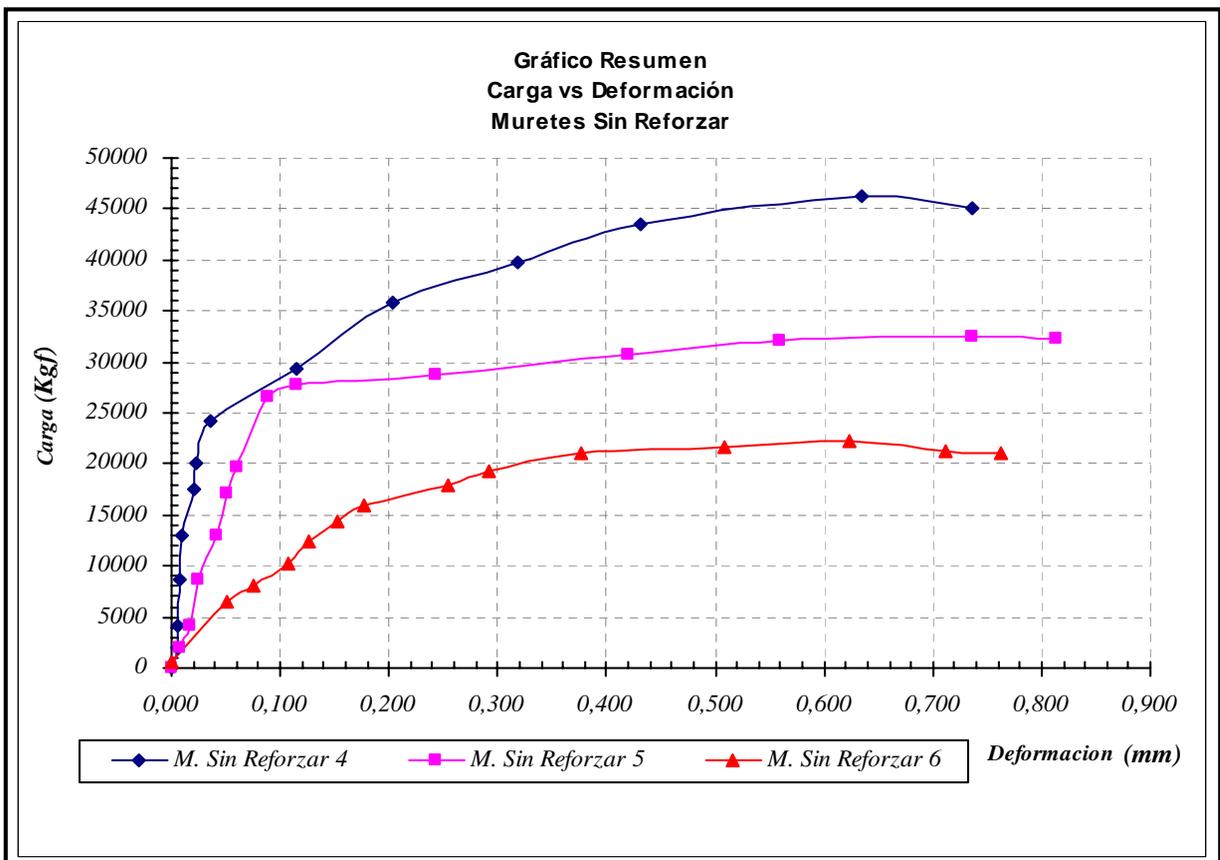
6.3.6.- Gráfico Murete Sin Reforzar N° 5.



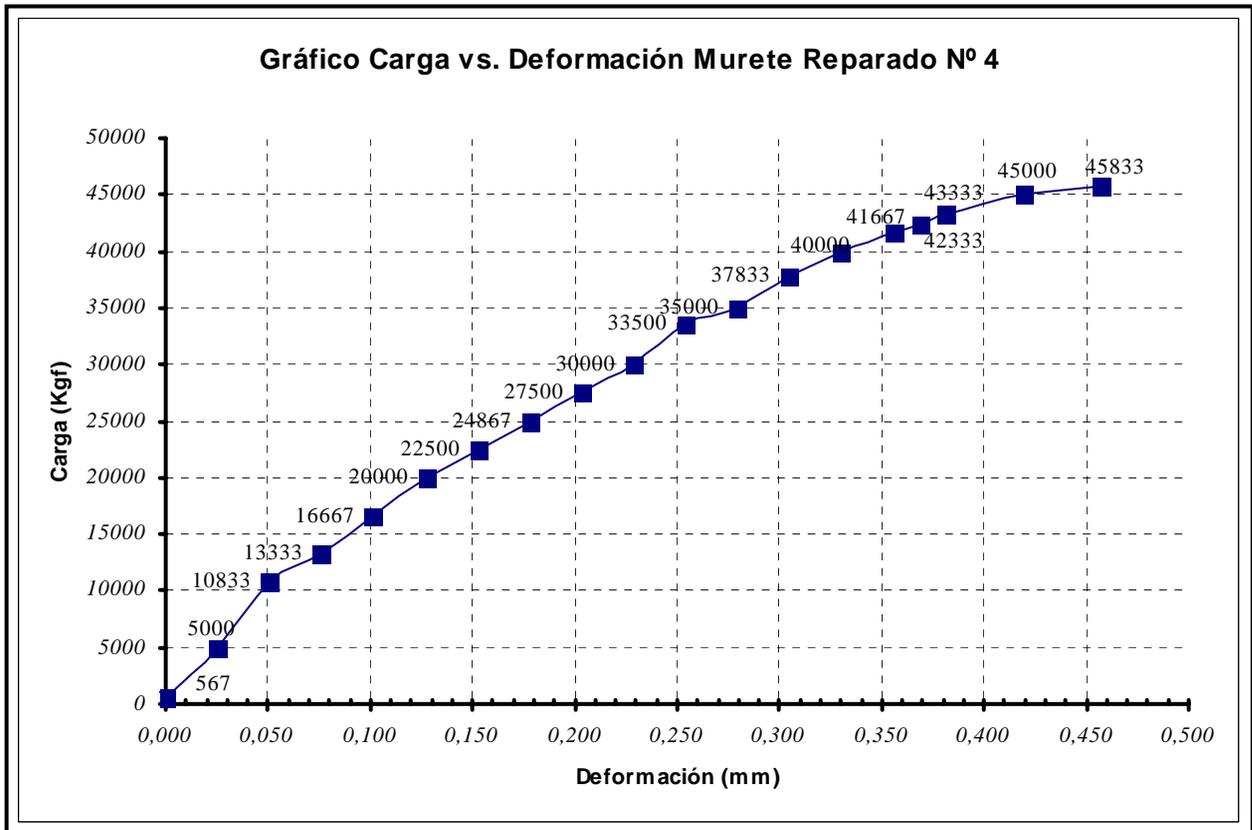
6.3.7.- Gráfico Murete Sin Reforzar N° 6.



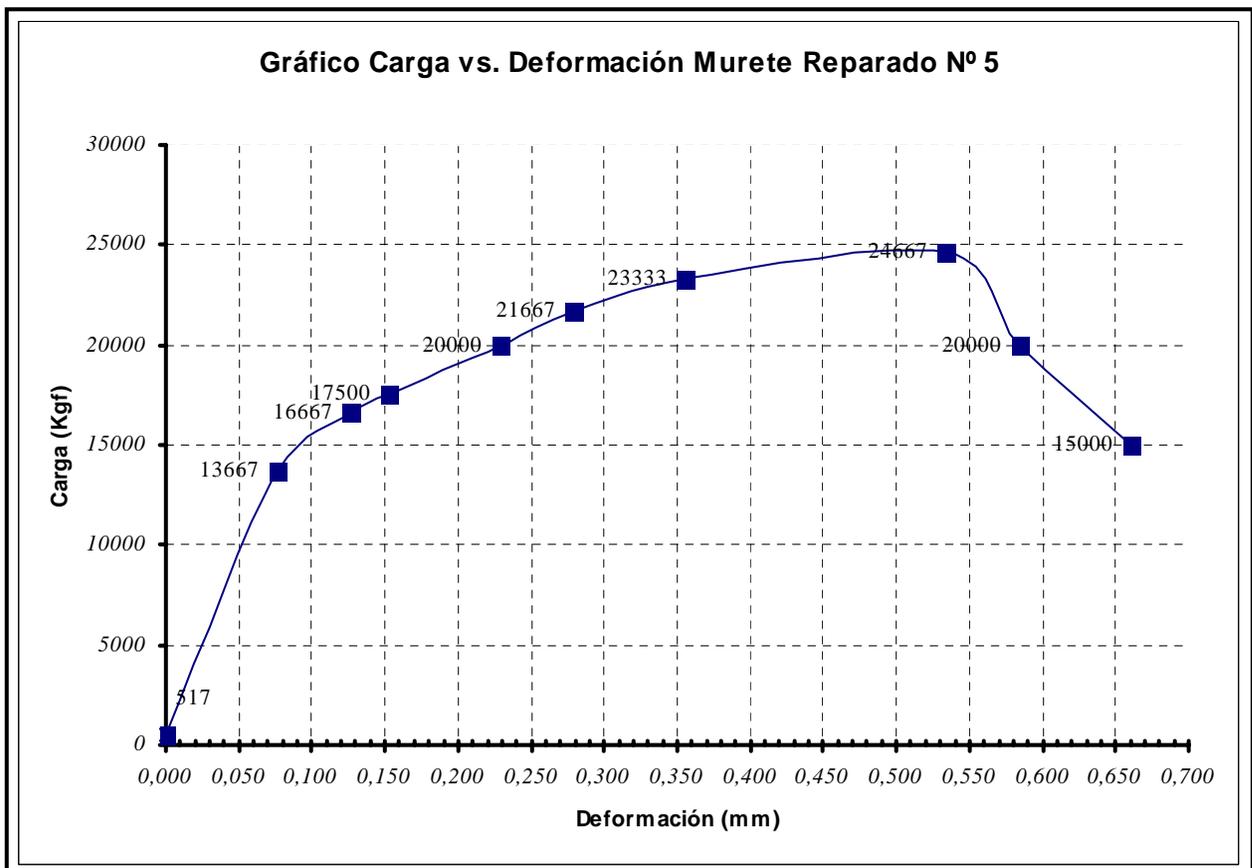
6.3.8.- Gráfico Resumen Muretes Sin Reforzar.



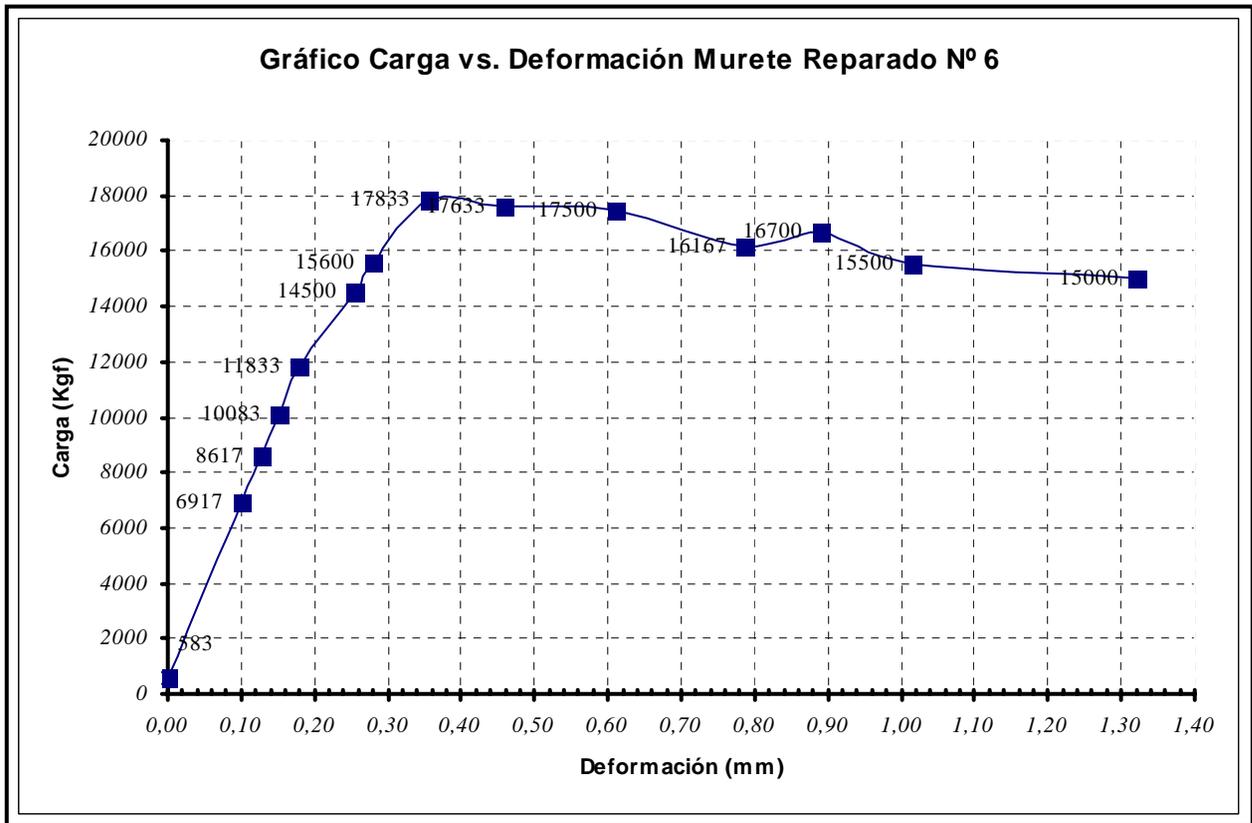
6.3.9.- Gráfico Murete Reparado N° 4.



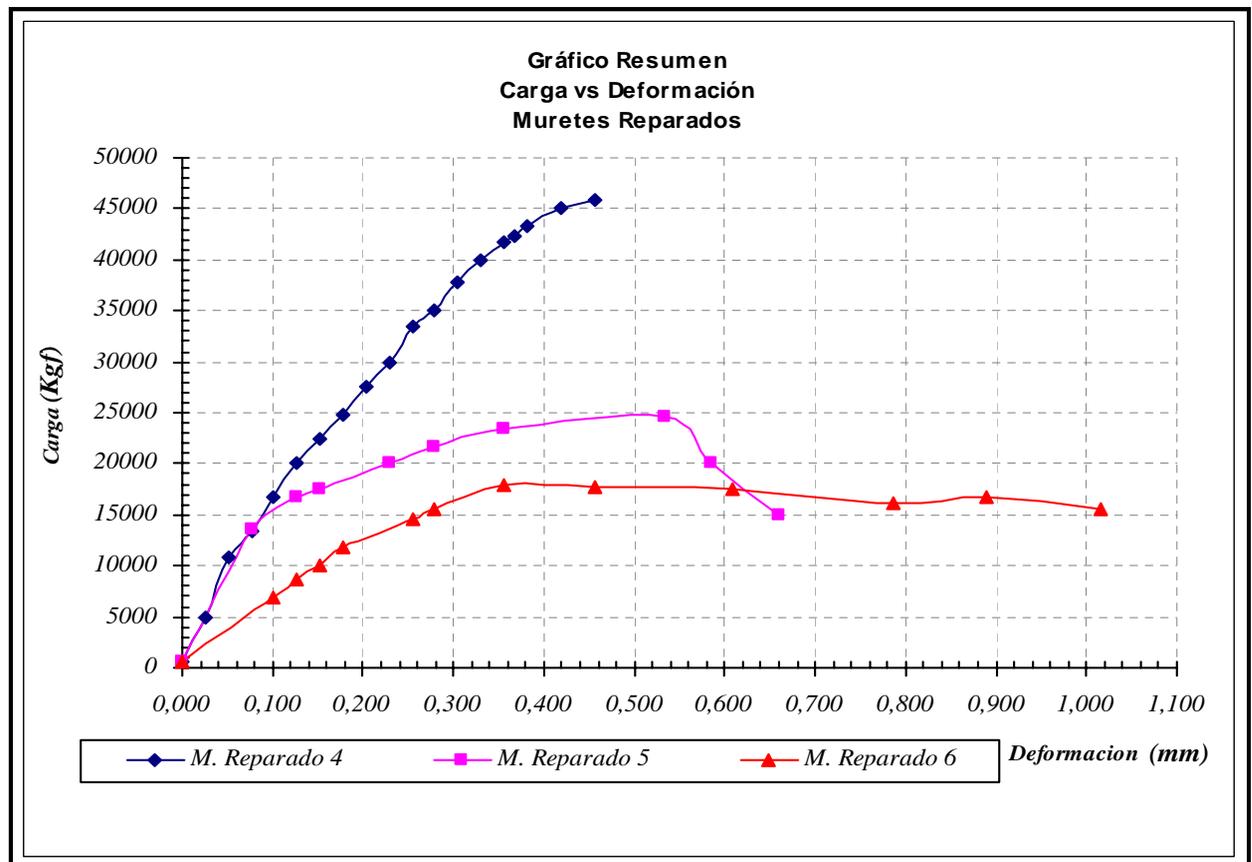
6.3.10.- Gráfico Murete Reparado N° 5.



6.3.11.- Gráfico Murete Reparado N° 6.



6.3.12.- Gráfico Resumen Muretes Reparados.



6.4.- Gráficos Comparativos entre Muretes.

A continuación se presenta un cuadro resumen con los datos registrados al momento de la aparición de la primera fisura y la rotura, obtenidos de los ensayos de carga.

| Murete | Resistencia | | Deformación | | Deformación Resiliente |
|---------------------|-------------|--------|-------------|--------|------------------------|
| | 1ª Fisura | Rotura | 1ª Fisura | Rotura | |
| <i>Sin Refuerzo</i> | | | | | |
| Nº 4 | 29417 | 46200 | 0,114 | 0,635 | 0,01 |
| Nº 5 | 28750 | 32450 | 0,242 | 0,737 | 0,06 |
| Nº 6 | 12417 | 22333 | 0,127 | 0,622 | 0,08 |
| <i>Reforzados</i> | | | | | |
| Nº 1 | - | 47500 | - | 0,056 | - |
| Nº 2 | 43233 | 48500 | 0,178 | 0,635 | 0,01 |
| Nº 3 | 33833 | 36667 | 0,178 | 0,457 | - |
| <i>Reparados</i> | | | | | |
| Nº 4 | 24867 | 45833 | 0,113 | 0,457 | - |
| Nº 5 | 17500 | 20000 | 0,236 | 0,533 | - |
| Nº 6 | 11833 | 17833 | 0,119 | 0,356 | - |

Tabla 6.10. Valores de resistencia y deformación obtenidos de los ensayos de carga, de los muretes de hormigón.

Debido a que el sistema de reparación no permite reconocer a simple vista el apareamiento de la fisura de corte por aplastamiento, se asumirá la misma deformación inicial para cada murete reparado, menos la deformación resiliente. Para los muretes reforzados sin embargo, se utilizará la media de las deformaciones de los muretes Nº 4 y Nº 5, por ser los más representativos.

6.4.1.- Comparación entre Muretes Sin Refuerzo y Reforzados.

De acuerdo a los ensayos realizados, podemos hacer una comparación entre los muretes sin reforzar y los muretes reforzados, por medio de los valores obtenidos en los ensayos de carga y deformación.

Los siguientes gráficos muestran los valores de resistencia y deformación alcanzados por los muretes sin reforzar al momento de su primera fisura y a la rotura.

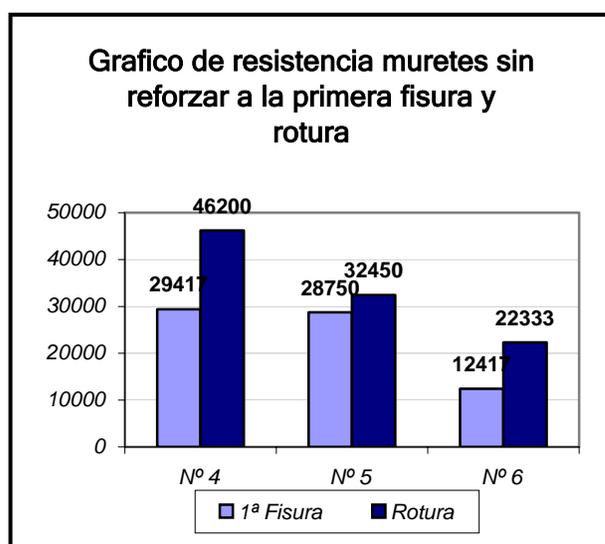


Gráfico 6.13. Valores de resistencia, muretes sin refuerzo de fibras.

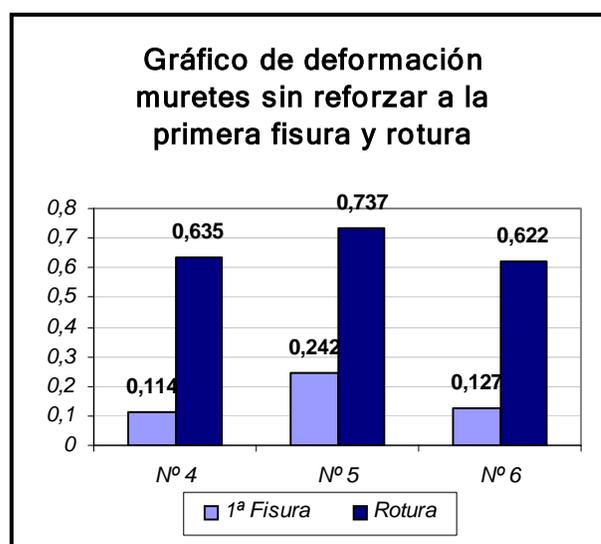


Gráfico 6.14. Valores de deformación, muretes sin refuerzo de fibras.

A continuación se presentan los gráficos de datos obtenidos para los muretes reforzados.

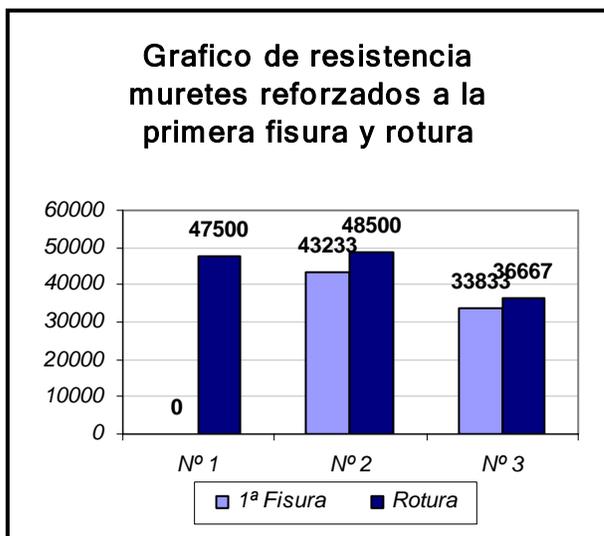


Gráfico 6.15. Valores de resistencia, muretes reforzados con fibras.

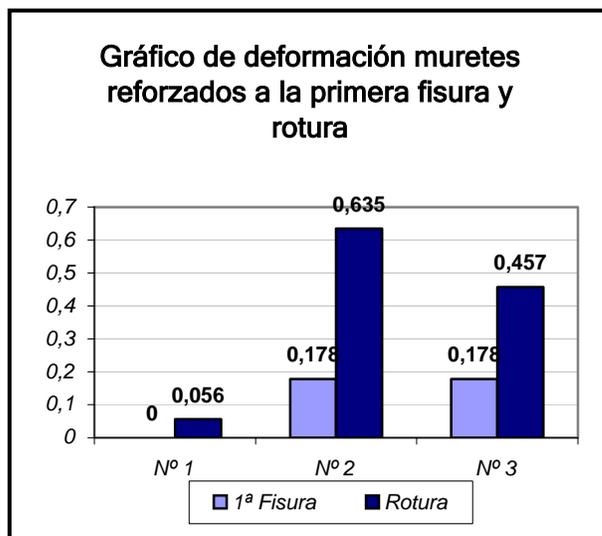


Gráfico 6.16. Valores de deformación, muretes reforzados con fibras.

Tal y como se observa, el sistema de reparación le otorgó a los muretes una mayor resistencia a la aparición de la fisura de corte.

Para ello tomaremos la media de los muretes Nº 4 y Nº 5 sin reforzar y los compararemos con la media de los muretes reforzados. Esto debido a que el murete Nº 6, fue ensayado sin las cuñas de apoyo metálicas, para así evaluar el confinamiento que le otorga el sistema de reparación a los apoyos una vez reparados. Asimismo, solo utilizaremos los valores obtenidos con los muretes reforzados Nº 2 y Nº 3, dado que la alta resistencia y baja deformación alcanzada por el murete Nº 1, conllevaría a una interpretación errónea de los resultados y el análisis.

A continuación podemos observar las deformaciones máximas alcanzadas por los muretes sin reforzar y los muretes reforzados.

| Muretes Sin Reforzar | | |
|----------------------|--------------------|----------|
| Murete | Deformacion Rotura | Promedio |
| Nº 4 | 0.635 | 0.686 |
| Nº 5 | 0.737 | |

Tabla 6.11. Valores de deformación, muretes sin refuerzo de fibras.

| Muretes Reforzados | | |
|--------------------|--------------------|----------|
| Murete | Deformacion Rotura | Promedio |
| Nº 2 | 0.635 | 0.546 |
| Nº 3 | 0.457 | |

Tabla 6.12. Valores de deformación, muretes reforzados con sistema compuesto.

De acuerdo a los valores obtenidos, y una primera impresión, se tiene una mejora en el control de las deformaciones.

De igual manera, se nos presentan los valores obtenidos de la resistencia a la rotura.

| Muretes Sin Reforzar | | |
|----------------------|--------------------|----------|
| Murete | Resistencia Rotura | Promedio |
| Nº 4 | 46200 | 39325 |
| Nº 5 | 32450 | |

Tabla 6.13. Valores de resistencia a la rotura, muretes sin refuerzo de fibras y resinas.

| Muretes Reforzados | | |
|--------------------|--------------------|----------|
| Murete | Resistencia Rotura | Promedio |
| Nº 2 | 48500 | 42583 |
| Nº 3 | 36667 | |

Tabla 6.14. Valores de resistencia a la rotura, muretes reforzados con sistema compuesto.

Al igual que lo ocurrido con las deformaciones, vemos un incremento en la resistencia última a la rotura, estableciendo un aumento de aproximadamente 7.7%.

6.4.2.- Comparación entre Muretes Sin Refuerzo y Reparados.

Al igual que en el punto anterior, se presentan los gráficos con los valores registrados para la primera fisura y para la rotura, durante el ensayo de carga.

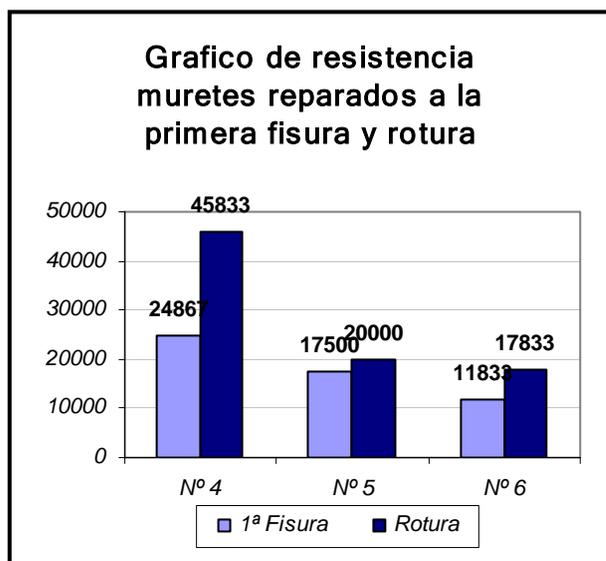


Gráfico 6.17. Valores de resistencia, muretes reparados con fibras.

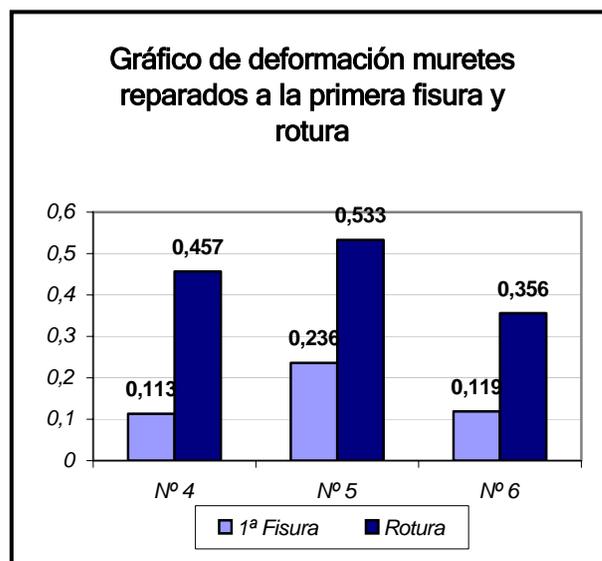


Gráfico 6.18. Valores de deformación, muretes reparados con fibras.

Según veremos en los siguientes párrafos, el sistema de reparación utilizado le otorga a los muretes un grado de recuperación en su capacidad de resistencia, asimismo se muestra como un gran sistema para el control de deformaciones, reduciéndolas en una cifra bastante considerable.

| Resultados de los ensayos de carga | | | | | |
|------------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| Muretes sin refuerzo | Resistencia rotura | Deformación Rotura | Muretes reparados | Resistencia rotura | Deformación Rotura |
| Nº 4 | 46200 | 0.635 | Nº 4 | 45833 | 0.457 |
| Nº 5 | 32450 | 0.737 | Nº 5 | 24667 | 0.533 |
| Nº 6 | 22333 | 0.622 | Nº 6 | 18300 | 0.457 |

Tabla 6.15. Valores de resistencia y deformación a la rotura, muretes sin refuerzo y muretes reparados, con sistema compuesto de fibacrete y Sikadur® 330.

En el caso del murete Nº 4, vemos que el porcentaje de recuperación de resistencia otorgada por el sistema de reparación de fibras y resinas es de un 99.2%, valor bastante alentador si los comparamos con los otros muretes.

Para el murete Nº 5, el porcentaje de recuperación de resistencia fue de tan solo un 76.0%, aunque alentador es un valor esperado bajo en comparación con el murete Nº 4.

Finalmente el murete N° 6, que fue ensayado sin las cuñas metálicas presenta un porcentaje de recuperación de resistencia de 81.9%, con respecto a su resistencia original

Se observa que los muretes ensayados sin las cuñas metálicas como apoyo, solo alcanzaron un 56.8% de la resistencia promedio de los muretes sin reforzar que si utilizaron las cuñas, y un 50.6% en el caso de los reparados.

6.5. - Ajuste de curvas de resultados.

6.5.1. – Método y resultados de ajuste de curvas.

A continuación se aprecian los resultados de las curvas de ajuste obtenidas para los muretes, por medio del programa de cálculo matemático *MATLAB v10.0*. En el que se utilizó el método de las *Splines Cúbicas*, que genera curvas paramétricas para cada intervalo de puntos, y según lo que se requiera.

Como variable se eligió la deformación promedio de los tres casos de ensayo, esto es:

$$\frac{(\text{Prom. Reforzados} + \text{Prom. Reparados} + \text{Prom. Sin Reforzar})}{3} = \text{Variable de Deformación}$$

Expresión que da como resultado *0.576 mm.*, el cual se dividió en 14 intervalos que fueron evaluados con las formulas de ajuste de curva para cada murete. Los resultados de las curvas de ajuste se presentan a continuación en las siguientes tablas.

| Muretes Sin Refuerzo de Fibras | | | | |
|---------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| Deformación <i>mm.</i> | Murete N°4 <i>Kg.</i> | Murete N°5 <i>Kg.</i> | Murete N°6 <i>Kg.</i> | Promedio Muretes N° 4 y N° 5 |
| 0,000 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,041 | 24374 | 13131 | 5636 | 18753 |
| 0,082 | 26836 | 25380 | 8429 | 26108 |
| 0,123 | 30193 | 27927 | 12047 | 29060 |
| 0,165 | 33353 | 28251 | 15230 | 30802 |
| 0,206 | 35892 | 28485 | 17002 | 32188 |
| 0,247 | 37624 | 28790 | 17821 | 33207 |
| 0,288 | 38882 | 29177 | 19157 | 34030 |
| 0,329 | 40099 | 29646 | 20351 | 34873 |
| 0,370 | 41501 | 30145 | 21054 | 35823 |
| 0,411 | 42925 | 30616 | 21367 | 36771 |
| 0,453 | 44174 | 31059 | 21472 | 37617 |
| 0,494 | 45143 | 31474 | 21586 | 38308 |
| 0,535 | 45819 | 31829 | 21897 | 38824 |
| 0,576 | 46196 | 32104 | 22271 | 39150 |

Tabla 6.16. Valores de resistencia según ajuste de curvas paramétricas para los muretes sin refuerzo de fibras de vidrio y resinas.

Se tomaron como promedio solo los muretes 4 y 5, debido a que como se mencionaba anteriormente, el murete N° 6, fue ensayado sin las cuñas metálicas de carga, observándose por lo tanto una menor resistencia.

Se observan ahora los resultados para los muretes reforzados.

| Muretes Reforzados con Fibras | | | | |
|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| Deformación <i>mm.</i> | Murete N°1 <i>Kg.</i> | Murete N°2 <i>Kg.</i> | Murete N°3 <i>Kg.</i> | Promedio Muretes N° 2 y N° 3 |
| 0,000 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,041 | 37553 | 40001 | 31614 | 35808 |
| 0,082 | - | 41484 | 32784 | 37134 |
| 0,123 | - | 41916 | 33477 | 37696 |
| 0,165 | - | 42842 | 33747 | 38294 |
| 0,206 | - | 44122 | 34566 | 39344 |
| 0,247 | - | 45640 | 35646 | 40643 |
| 0,288 | - | 45917 | 35945 | 40931 |
| 0,329 | - | 46658 | 36080 | 41369 |
| 0,370 | - | 46665 | 36239 | 41452 |
| 0,411 | - | 46822 | 36441 | 41632 |
| 0,453 | - | 47251 | 36644 | 41947 |
| 0,494 | - | 48144 | 36846 | 42495 |
| 0,535 | - | 48209 | 37049 | 42629 |
| 0,576 | - | 48223 | 37251 | 42737 |

Tabla 6.17. Valores de resistencia según ajuste de curvas paramétricas para los muretes con refuerzo de fibras de vidrio y resinas.

Finalmente, el ajuste de curvas para los muretes reparados, se presenta a continuación.

| Muretes Reparados con Fibras | | | | |
|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| Deformación <i>mm.</i> | Murete N°4 <i>Kg.</i> | Murete N°5 <i>Kg.</i> | Murete N°6 <i>Kg.</i> | Promedio Muretes N° 4 y N° 5 |
| 0,000 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,041 | 8845 | 8622 | 3005 | 8734 |
| 0,082 | 13998 | 14277 | 5582 | 14138 |
| 0,123 | 22588 | 16543 | 8392 | 19566 |
| 0,165 | 23602 | 17903 | 10941 | 20753 |
| 0,206 | 27747 | 19216 | 13059 | 23481 |
| 0,247 | 32634 | 20633 | 14243 | 26633 |
| 0,288 | 35844 | 21894 | 15978 | 28869 |
| 0,329 | 39938 | 22717 | 17298 | 31328 |
| 0,370 | 42494 | 23768 | 18026 | 33131 |
| 0,411 | 44793 | 25229 | 18300 | 35011 |
| 0,453 | 45744 | 26377 | 18307 | 36060 |
| 0,494 | 46633 | 26410 | 18212 | 36522 |
| 0,535 | 48011 | 24530 | 18044 | 36271 |
| 0,576 | 50427 | 20739 | 17788 | 35583 |

Tabla 6.18. Valores de resistencia según ajuste de curvas paramétricas para los muretes reparados con fibras de vidrio y resinas.

En la siguiente sección se pueden observar los gráficos comparativos entre los ajustes de curva de los muretes sin reforzar y los reforzados, y entre los muretes sin reforzar y los reparados.

6.5.2. – Gráficos de ajuste de curvas.

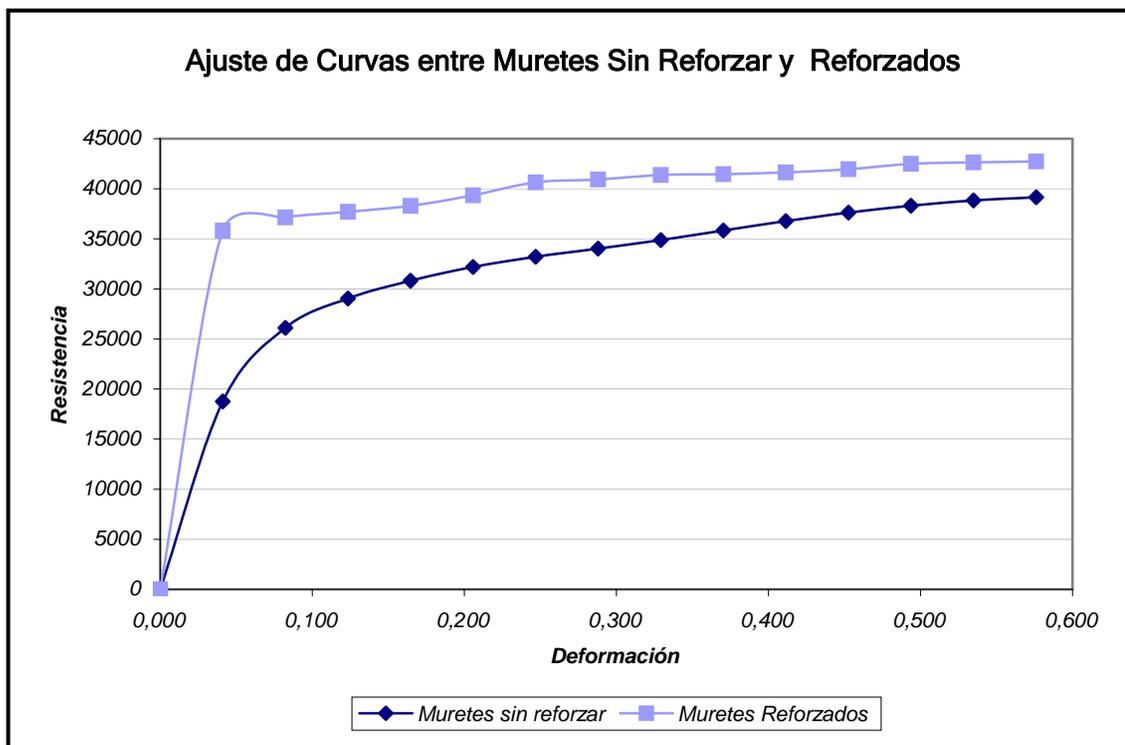


Gráfico 6.19. Gráfico según ajuste de curvas paramétricas para los muretes sin refuerzo y reforzados con fibras de vidrio y resinas.

Se puede observar, que el sistema de refuerzo mediante fibras y resinas epóxicas, le confirió a los muretes una mayor resistencia final, valor que se estima mas adelante.

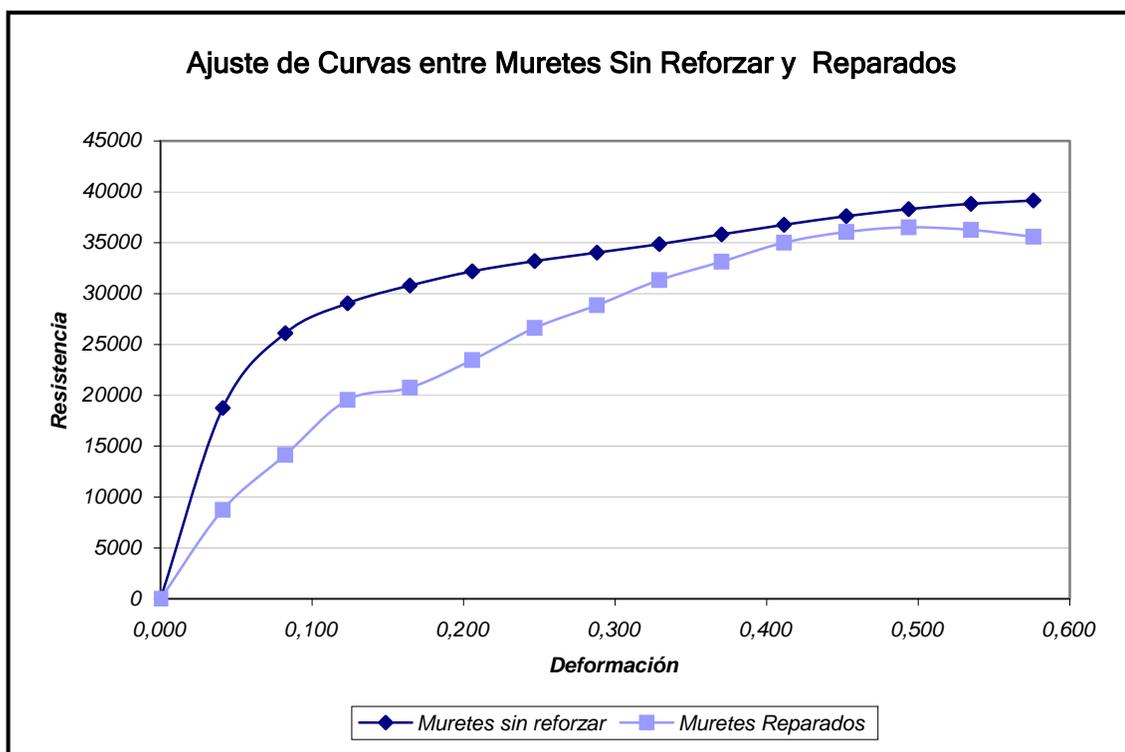


Gráfico 6.20. Gráfico según ajuste de curvas paramétricas para los muretes sin refuerzo y reparados con fibras de vidrio y resinas.

Aun cuando, se observa al principio un pobre desempeño del sistema de reparación, este mejora a medida que se incrementa la carga, llegando casi a la total recuperación, en estados últimos de carga.

6.5.3.- Análisis de Ajuste de curvas.

A continuación podemos observar en la tabla siguiente los valores de resistencia alcanzados por los muretes de hormigón, tanto en la reparación, como en el refuerzo, y los porcentajes de recuperación alcanzados.

| | Muretes Sin Reforzar | Muretes Reparados | Muretes Reforzados |
|----------------------------|----------------------|-------------------|--------------------|
| Resistencia Máxima [Kgf] | 39150 | 36522 | 42737 |
| Porcentaje de Recuperación | - | 93,3% | 109,2% |

Tabla 6.19. Cuadro de los promedios de las curvas de ajuste, indicando los porcentajes de recuperación de resistencia alcanzados por los muretes.

En cuanto a las deformaciones, podemos apreciar que para el caso de los muretes reforzados, se logra una menor deformación ante la misma sollicitación, comparándoles con el caso de los muretes sin refuerzo. Asimismo, los muretes reparados también muestran una disminución de las deformaciones.

| | Muretes Sin Reforzar | Muretes Reparados | Muretes Reforzados |
|----------------------------|----------------------|-------------------|--------------------|
| Resistencia [Kgf] | 36522 | 36522 | 36522 |
| Deformación [mm] | 0,611 | 0,494 | 0,054 |
| Porcentaje de Def. Inicial | - | 80,9% | 10,9% |

Tabla 6.20. Cuadro resumen de las deformaciones promedios obtenidas de las curvas de ajuste, indicando los porcentajes de deformación inicial alcanzados por los muretes.

De acuerdo a los valores obtenidos, se tiene para los muretes reforzados una importante disminución en las deformaciones del orden de 79.1%. Para el caso de los muretes reparados, se aprecia la misma tendencia, aunque no de manera tan marcada y del orden de 19.1%.

VII.- Conclusiones y Recomendaciones.

De acuerdo con las investigaciones conducidas dentro del alcance de esta tesis, se hacen las conclusiones y las recomendaciones siguientes:

- Aunque no se pueda apreciar el aporte de cada uno de los componentes del sistema de fibras de vidrio y resinas epóxicas, se obtiene para los muretes reparados una recuperación de aproximadamente 93% de la resistencia original a la rotura. Notándose, que a medida que la sollicitación se incrementa, la diferencia entre la resistencia original y la resistencia del murete reparado, disminuye gradualmente.
- El sistema de fibras de vidrio y resinas, muestra un gran desempeño en el control y la aparición de fisuras, logrando una notable reducción.
- Los ensayos individuales llevados a cabo, mostraron una diferencia en la resistencia última entre los muretes reparados, atribuible al uso de dos formas de cuñas de apoyo durante el ensayo. Durante los ensayos realizados sin la cuña de apoyo metálica, se obtuvieron valores de aproximadamente el 50% de la resistencia final, que la obtenida por los muretes con apoyo metálico, presentándose en el murete sin cuñas fallas ocasionadas por aplastamiento del hormigón.
- La metodología para la aplicación del proceso de reparación presenta bastantes ventajas en comparación a otros sistemas convencionales, ya que es un sistema que no necesita de moldajes u otro elemento contenedor, las herramientas y el proceso de aplicación no son complicados ni costosos, tiene un bajísimo impacto en el movimiento de materiales, y permiten una buena terminación de acabado. Asimismo, no requiere de tiempos prolongados de curado, pues la resistencia óptima de la resina mas la fibra de vidrio se alcanza a los 12 días de aplicada la ultima capa. Sin embargo, se debe poner especial cuidado en seguir las indicaciones del fabricante de la resina epóxica, en cuanto a su manipulación y aplicación.
- A pesar de que el sistema de refuerzo muestra resultados alentadores, se recomienda la elaboración de ensayos en muros de mayores dimensiones, para estimar el impacto producido en su resistencia a la rotura, y en la rigidez final del muro.

VIII.- Referencias Bibliográficas.

Saechtling, Dr. Hansjuergen; Dipl. Ing. Willi Zebrowski. 1963. Fundamentos de la fabricación de plásticos, Manual de Plásticos. Ed. 14. México, Editorial Revertè S.A. Vol. 1.

Tang, Benjamín. 6 de Enero de 1997. Fiber Reinforced Polymer Composites, Applications in USA. (Disponible en: <http://www.fhwa.dot.gov/bridge/frp/frp197.doc>. Consultado el: 14 de Junio de 2004).

Gang, XIAO. Solucionador de sistemas lineales. Servidor Interactivo Multipropósito WIMS. Versión 2.10.

<http://wims.unice.fr/wims/wims.cgi?session=4I6530DA6A.3&+lang=es&+module=tool%2Flinear%2Flnsolver.es&+method=matrix&+cmd=resume>. Consultado el: 15 de Agosto de 2006.

<http://wims.unice.fr/wims/wims.cgi?session=3TD47CC867.1&+lang=es&+module=tool%2Flinear%2Flnsolver.es&+method=matrix&+cmd=resume>. Consultado el: 15 de Agosto de 2006.

Craig, Rochelle. 18 de Octubre de 2002. All Plastic Vehicular Bridge Meets Industry Standards for Strength and Durability. (Disponible en: <http://www.hardhat.com/hh1018/allplastic.html>. Consultado el: 14 de Junio de 2004).

Fiberline Composites. 2004. Structural Profiles. (Disponible en:

<http://www.fiberline.dk/gb/products/profilesearch.asp?kprofil=1>. Consultado el: 16 de Junio del 2004).

Gettu R., S.Carmona and A.Aguado. 1998. "Control de ensayos por lazo cerrado. Aplicaciones al estudio del comportamiento mecánico del hormigón", Revista del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (Barcelona), No. 44 "La informática en ingeniería civil". pp. 94-103.

Reddy, D. V., G B. Grevois, y L. A. Carlson. 1996. Laminate Bonding for Concrete Repair and Retrofit, Materials for the New Millennium, Proceedings of the Materials Engineering Conference, Washington, D.C., Vol. 2.

Kevlar® es una marca registrada de E.I. du Pont de Nemours & Co.

ANEXO A

“DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN”

1. GRADO DE RESISTENCIA DEL HORMIGÓN.

El grado de resistencia seleccionado para los muretes es H10, de esta manera se asegura una resistencia no mayor a la carga máxima alcanzada por la maquinaria de los ensayos de carga.

Se utilizara el “Método de dosificación de hormigones del American Concrete Institute”, avalado por la normativa Chilena como método fiable de dosificación para hormigones. El cual se encuentra disponible en los Apuntes Chilenos del Hormigón.

2. DOSIFICACIÓN MEZCLA DE HORMIGÓN.

Considerando siempre el grado H10 del hormigón, y refiriéndonos a la Tabla N° 1, “Asentamientos de cono recomendados para diversos tipos de construcciones”, de los apuntes obtenemos un asentamiento de cono, de 5 – 10 cm., para losas, vigas y muros armados. El cual además, proporciona una muy buena trabajabilidad de la mezcla.

3. TAMAÑO MÁXIMO DE ÁRIDOS.

Refiriéndonos ahora a la Tabla N° 2, “Tamaños máximos de áridos recomendados para diversos tipos de construcción”, obtenemos el rango mostrado en la tabla A.1.

| Tamaño máximo de áridos | |
|---|---------------------------------------|
| <i>Dimensión mínima de la sección [cm.]</i> | <i>Muros armados y columnas [mm.]</i> |
| 6 - 12 | 12.5 - 20 |

Tabla A.1. Dimensiones de tamaño máximo de áridos, según ACI.

4. DOSIS DE AGUA Y RELACION AGUA/CEMENTO.

Según el método de dosificación, la cantidad de agua requerida para un hormigón de grado corriente H10 esta dado por:

$$W = 208 \text{ lts./m}^3.$$

Relación Agua-Cemento:

$$W/C = 0.85$$

Cantidad de cemento requerido:

$$C = 208/0.85 = 244 \text{ Kg./m}^3.$$

5. VOLUMEN DE ÁRIDOS.

Para determinar el volumen de árido grueso, considerando un peso específico medido a través de ensayos para el árido grueso de 1.56 Kg./lts., se obtiene el volumen siguiente:

$$\text{Vol. Árido grueso} = 650 \text{ lts./m}^3 \times 1.56 \text{ Kg./lts.} = 1014 \text{ Kg./m}^3$$

A través de ensayos se logró determinar la densidad natural del árido grueso, midiéndose el valor de 2.61 Kg./lts.

Por consiguiente ya tenemos las cantidades para 1 m³ de mezcla de hormigón, considerando un peso específico del cemento de 3 Kg./lts.

| | | | | | |
|---------|---|-------------|------|---|------------|
| Agua | = | 208 | lts. | = | 208 lts. |
| Cemento | = | 244 / 3 | lts. | = | 81.3 lts. |
| Grava | = | 1014 / 2.61 | lts. | = | 388.5 lts. |
| Total | | | | = | 677.8 lts. |

Se considera un volumen de aire de 30 lts/m³, dato obtenido de la tabla 3, para el cálculo de la dosificación de arena, según método ACI.

$$\text{Vol. Arena} = 1000 - 30 - 677.8 = 292 \text{ lts/m}^3$$

La densidad natural de la arena se obtuvo de manera similar a la que se obtuvo para el árido grueso.

$$\text{Arena} = 292 \text{ lts/m}^3 \times 2.63 \text{ Kg./lts} = 770 \text{ Kgs/m}^3$$

Tenemos ahora el cuadro resumen con las dosificaciones, para 1 m³ de mezcla de hormigón, y para cantidades requeridas menores, considerándose la corrección por contenido de humedad que tienen los áridos en estado natural.

| Dosificación de mezcla de hormigón para muretes | | | | | | | | | |
|---|--------------------|---------|-------|----------------|----------|------|-------|------|--------|
| Cantidad | R _H 28 | Cemento | Agua | Agua Corregida | Gravilla | | Arena | | Cono |
| Lts. | Kg/cm ² | Kgs. | Lts. | Lts. (*) (**) | Kgs. | Lts. | Kgs. | Lts. | cm. |
| 1000 | 100 | 244 | 208 | 151.9 | 1014 | 650 | 770 | 490 | 5 - 10 |
| 50 | 100 | 12.2 | 10.4 | 7.59 | 50.7 | 32.5 | 38.5 | 24.5 | 5 - 10 |
| 67 | 100 | 16.35 | 13.94 | 10.17 | 67.9 | 43.6 | 51.6 | 32.9 | 5 - 10 |

(*) Contenido de agua Arena: 40 ml/Kg.

(**) Contenido de agua Grava: 25 ml/Kg.

ANEXO B

“ENSAYOS A PROBETAS DE HORMIGON”

1. ENSAYOS DE PROBETAS DE HORMIGÓN.

El ensayo de las probetas se debe realizar conforme a la Norma NCh 1037 Of. 1977, “Hormigón. Ensayo a compresión de probetas cúbicas y cilíndricas”, en cuanto a metodología del ensayo, así como de la obtención de los resultados.

Muretes N° 1 y N° 2.

| Probeta N° | Dimensiones [cm.] | | | Peso Kg. | Carga Mpa. | Resistencia Kg/cm ² |
|------------|-------------------|------|------|----------|------------|--------------------------------|
| | a | b | h | | | |
| 1 | 15 | 15.1 | 15 | 8.2 | 12 | 52.98 |
| 2 | 15 | 15.1 | 15.1 | 8.15 | 30 | 132.45 |
| 3 | 15 | 14.9 | 15 | 8.09 | 32.5 | 145.41 |

Muretes N° 3 y N° 4.

| Probeta N° | Dimensiones [cm.] | | | Peso Kg. | Carga Mpa. | Resistencia Kg/cm ² |
|------------|-------------------|------|------|----------|------------|--------------------------------|
| | a | b | h | | | |
| 4 | 15 | 15.1 | 15 | 8.07 | 14 | 61.81 |
| 5 | 14.9 | 14.9 | 15 | 8.09 | 30.5 | 137.38 |
| 6 | 14.9 | 15 | 15.1 | 8.2 | 30 | 134.23 |

Muretes N° 5 y N° 6.

| Probeta N° | Dimensiones [cm.] | | | Peso Kg. | Carga Mpa. | Resistencia Kg/cm ² |
|------------|-------------------|------|------|----------|------------|--------------------------------|
| | a | b | h | | | |
| 7 | 15 | 15.1 | 15 | 8.2 | 15 | 66.23 |
| 8 | 15 | 15 | 14.9 | 8.05 | 30 | 133.33 |
| 9 | 15 | 15.1 | 14.9 | 8.16 | 31.5 | 139.07 |



ANEXO C

**“FICHA TÉCNICA RESINA EPÓXICA
SIKADUR 330”**

Sikadur® 330

Resina de epóxica en dos componentes para impregnación

Definición Sikadur® 330 es un adhesivo epóxico de dos componentes, libre de solventes, tixotrópico para impregnación.

Usos

- Resina de impregnación para el refuerzo de tela SikaWrap® por el método de aplicación seca.
- Resina de imprimación para el sistema de aplicación en húmedo.
- Adhesivo estructural para pegar placas Sika® CarboDur® sobre superficies uniformes.

**Características /
Ventajas**

- Fácil de mezclar y aplicar con paleta y rodillo de impregnación.
- Fabricado para los métodos manuales de saturación.
- Excelente comportamiento en aplicaciones a superficies verticales y sobrecabeza.
- Buena adherencia a muchos sustratos.
- Elevadas propiedades mecánicas.
- No requiere imprimante separado.
- Libre de solventes.

Test

**Aprobaciones /
Estándares**

Conforme a los requerimientos de :

- SOCOTEC (France): Cahier des charges Sika® CarboDur, SikaWrap®.
- Road an Bridges Research Institute (Poland): IBDiM No AT/2003-04-336.

Datos del Producto

Apariencia / Color

Resina parte A : pasta
Endurecedor parte B : pasta

Color :
Parte A : blanco
Parte B : gris
Parte A+B mezclado : gris claro

Presentación Juego de 5 kg (A+B) unidades predosificadas

Almacenamiento 24 meses desde su fecha de fabricación en su envase original bien cerrado en lugar fresco y bajo techo, a temperaturas entre 10°C y 25°C.
Proteger de la luz directa del sol.

Datos Técnicos

Base Química Resina epóxica.

Densidad Resina Mezclada : 1,31 kg/l (a +23°C)

Viscosidad Velocidad : 50 / s

| Temperatura | Viscosidad |
|-------------|-------------|
| +10°C | 10.000 mPas |
| +23°C | 6.000 mPas |
| +35°C | 5.000 mPas |

Coeficiente de expansión Térmica 45×10^{-6} por °C (rango -10°C a +40°C)

Estabilidad Térmica

Temperatura de deformación por calor (HDT) :

(De acuerdo a ASTM-D 648)

| Tiempo de curado | Temperatura | HDT |
|--------------------------------|-------------|-------|
| 7 días | +10°C | +36°C |
| 7 días | +23°C | +47°C |
| 7 días | +35°C | +53°C |
| 7 días, +10°C más 7 días,+23°C | -- | +43°C |

Temperatura de Servicio -40°C a +50°C

Propiedades Físicas / Mecánicas

Resistencia a tracción 30 N/mm² (7 días a +23°C) (DIN 53455)

Resistencia adhesiva Falla del hormigón sobre sustrato arenado : > 1 día (EN 24624)

Módulo de Elasticidad Flexión : 3.800 N/mm² (7 días a +23°C) (DIN 53452)

Tracción : 4.500 N/mm² (7 días a +23°C) (DIN 53455)

Elongación a la ruptura 0,9% (7 días a +23°C)

Resistencia

Resistencia Química El producto no es recomendable para exposición química.

Resistencia Térmica Exposición continua a +50°C

Información del Sistema

Estructura del Sistema Imprimante del sustrato : Sikadur[®] -330

Resina de impregnación / laminación : Sikadur[®] -330

Tela estructural para el reforzamiento : SikaWrap[®] tipo para satisfacer requerimientos.

Detalles de aplicación

Consumo Este dependerá de la rugosidad del sustrato y del tipo de tela de SikaWrap[®] que se impregnará. Vea la ficha técnica respectiva del producto SikaWrap[®].

Guía : 0,7 - 1,5 kg/m²

Calidad del sustrato El sustrato debe estar sano y con la suficiente resistencia a tracción para un mínimo de 1,0 N/mm² (pull off) o según los requisitos de la especificación de diseño.

La superficie debe estar seca y libre de todo contaminante como aceite, grasa, capas y tratamientos superficiales, etc.

La superficie a adherir debe estar nivelada (desviación máxima 2 mm por cada 0,3 m de longitud), con marcas del encofrado no mayor que 0,5 mm. Los puntos altos pueden ser removidos por procesos abrasivos o picado.

Las esquinas se deben redondear a un radio mínimo de 20 mm (dependiendo del tipo de tela SikaWrap[®]) o según la especificación de diseño. Esto puede ser logrado desvastando los bordes o reconstruyendo con morteros Sikadur[®].

Preparación del sustrato Los sustratos de hormigón y albañilería se deben preparar mecánicamente usando limpieza abrasiva por chorro de arena o equipo de desvaste, para remover la lechada de cemento y material suelto para lograr una superficie texturada y pareja.

Los sustratos de madera deben ser cepillados o arenados.

Todo el polvo y material suelto se debe quitar totalmente de toda la superficie antes de la aplicación de Sikadur®330 preferiblemente por cepillado y aspirado industrial. Hormigón / albañilería débil debe ser removido y los defectos superficiales tales como nidos de piedra, sopladuras y vacíos deben ser expuestos completamente.

Las reparaciones al sustrato, llenado de sopladuras/vacíos y a la nivelación de la superficie se deben realizar usando Sikadur®-41 o una mezcla de Sikadur®-30 y arena de cuarzo Sikadur®-501 (razón de la mezcla 1 : 1 máximo en partes por peso).

Se deben realizar las pruebas de adherencia para asegurar que la preparación del sustrato son adecuadas.

Inyecte las grietas mayores que 0,25 milímetros con Sikadur®-52 u otra resina de inyección Sikadur® recomendable.

Condiciones de Aplicación / Limitaciones

Temperatura del sustrato +10°C mín. / +35°C máx.

Temperatura ambiente +10°C mín. / +35°C máx.

Humedad del sustrato ≤ 4% contenido de humedad. Método de la prueba: Sika-Tramex meter.

Punto de rocío Cuidado con la condensación
La temperatura ambiente durante el uso debe ser por lo menos 3°C sobre el punto de condensación (rocío).

Instrucciones de Aplicación

Mezclado Parte A : parte B = 4 : 1 (en peso)
Al usar el material a granel se debe procurar mantener la razón de mezcla exacta pesando y dosificando cada componente.



Tiempo de mezclado Unidades pre-ensadas :

Mezcle las partes A+B al menos 3 minutos con un mezclador unido a un taladro eléctrico de velocidad reducida (máximo 600 rpm) hasta que el material logre consistencia homogénea y un color gris uniforme. Evite la incorporación de aire mientras se mezcla. Luego, vierta la mezcla en un envase limpio y revuelva otra vez por aproximadamente 1 minuto más a velocidad baja para evitar incorporación de aire. Mezcle solamente la cantidad que se pueda utilizar dentro de su potlife.

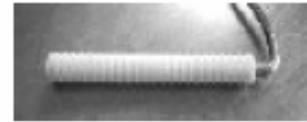
Envasado a granel :

Primero, revuelva cada componente por separado. Agregue los componentes en las proporciones exactas en un recipiente y revuelva correctamente con un mezclador eléctrico de baja velocidad como se indicó arriba para las unidades pre-ensadas.

Método de Aplicación / Herramientas Preparación :
Antes de la aplicación confirme el contenido de humedad del sustrato, la humedad relativa del aire y el punto de condensación.
Corte la tela especificada SikaWrap® a las dimensiones deseadas.

Aplicación de la Resina :
Aplique Sikadur®-330 al sustrato preparado usando una paleta, un rodillo o un cepillo.

Colocación de la tela y laminación :
 Coloque la tela SikaWrap® en la dirección
 requerida sobre el Sikadur®-330.
 Cuidadosamente presione la tela sobre
 la resina con el rodillo plástico de
 impregnación paralelo a la dirección de
 la fibra hasta que la resina de imprimación sea extruída hacia fuera entre y a
 través de los filamentos de la fibra y se distribuya uniformemente sobre toda la
 superficie de la tela. Evite una fuerza excesiva al laminar para evitar el doblar o el
 arrugar la tela SikaWrap®.



Capas Adicionales de la Tela:

Para capas adicionales de tela SikaWrap®, aplique Sikadur®-330 a la capa aplicada
 previamente mojado sobre mojado dentro de 60 minutos (a +23°C) después de la
 aplicación de la capa anterior y repita el procedimiento de laminación.

Si no es posible aplicarlo en el plazo de 60 minutos, dejar un tiempo de espera por
 lo menos de 12 horas antes de la aplicación de la capa siguiente.

Recubrimientos:

Si se va a aplicar un recubrimiento cementiceo sobre la tela de SikaWrap® se debe
 colocar una capa final adicional de resina Sikadur-330 de 0,5 kg/m² como máximo.

Espolvorear arena de cuarzo mientras aún está fresco ya que servirá como anclaje
 para el recubrimiento.

Si un recubrimiento coloreado será aplicado, la superficie fresca de Sikadur®-330
 se puede alisar con un cepillo.

Traslapos

Dirección de la Fibra :

- El traslazo de la tela SikaWrap® debe ser por lo menos 100 mm
 (dependiendo del tipo de tela SikaWrap®) o según lo especificado en el
 diseño del refuerzo.

Lado a lado :

- Telas unidireccionales : al colocar varias telas unidireccionales de
 SikaWrap® no se requiere ningún traslazo longitudinal a menos que se
 especifique en el diseño del refuerzo.
- Telas multidireccionales : el traslazo en la dirección de la trama debe ser
 por lo menos 100 mm (dependiendo del tipo de tela de SikaWrap®) o
 según lo especificado en el diseño de la consolidación.

Limpieza de herramientas

Limpie todas las herramientas y equipos de aplicación con Sika® Colma Cleaner
 inmediatamente después de su uso. El producto curado / endurecido sólo puede
 ser removido mecánicamente.

Potlife

Potlife :

| Temperatura | Tiempo |
|-------------|-------------------|
| +10°C | 90 minutos (5 kg) |
| +35°C | 30 minutos (5 kg) |

Potlife comienza cuando se mezclan ambas partes (resina y endurecedor). A
 temperatura ambiente baja el potlife se extiende, a temperaturas elevadas este se
 reduce.

Cuanto más alta es la cantidad de material mezclado, más corto es el potlife. Para
 alcanzar un potlife más largo a altas temperaturas el material mezclado se puede
 dividir en unidades más pequeñas o ambas partes pueden ser enfriadas antes de
 mezclarse.

Tiempo abierto :

| Temperatura | Tiempo |
|-------------|------------|
| +10°C | 60 minutos |
| +35°C | 30 minutos |

**Tiempo de espera /
Sobrecapas**

Sobre resina (pre) curada :

| Productos | T° sustrato | Mínimo | Máximo |
|----------------------------|-------------|----------|---|
| Sikadur 330 Sikadur 330 | +10°C | 24 horas | La resina curada más de 7 días tiene que ser desengrasada con el limpiador de Sika® Colma Cleaner y lijar suavemente antes de recubrir. |
| | +23°C | 12 horas | |
| | +35°C | 6 horas | |

| Productos | T° sustrato | Mínimo | Máximo |
|---|-------------|--------|---|
| Sikadur 330 Sikagard – recubrimiento coloreado | +10°C | 5 días | La resina curada más de 7 días tiene que ser desengrasada con el limpiador de Sika® Colma Cleaner y lijar suavemente antes de recubrir. |
| | +23°C | 3 días | |
| | +35°C | 1 día | |

Los tiempos son aproximados y serán afectados por los cambios en las condiciones ambientales.

**Notas sobre Aplicación /
Limitaciones**

Este producto debe ser utilizado solamente por profesionales experimentados. Sikadur®-330 se debe proteger contra la lluvia por lo menos 24 horas después de su aplicación.

Asegúrese que la colocación de la tela y el laminado con el rodillo ocurra dentro del tiempo abierto.

La tela SikaWrap® se debe cubrir con un recubrimiento cementiceo o una capa para propósitos estéticos y/o protectores. La selección será dependiente de los requisitos de exposición. Para protección básica de UV use Sikagard®-550W elástico, Sikagard® ElastoColor-675W o Sikagard®-680S.

A bajas temperaturas y/o la alta humedad relativa, un residuo pegajoso puede formarse en la superficie de Sikadur®-330 curado. Si se colocará una capa adicional de tela, o una capa será aplicada sobre el epóxico curado, este residuo se debe primero quitar para asegurar un adherencia adecuada. El residuo se puede quitar con agua. En ambos casos, la superficie se debe limpiar en seco antes de la aplicación de la capa siguiente.

Para aplicaciones en condiciones frías o calientes, precondicione el material por 24 horas antes en instalaciones de almacenaje a temperatura controlada para mejorar la mezcla, la aplicación y limitar el potlife.

El número de capas adicionales de la tela aplicada mojado sobre mojado se debe controlar de cerca para evitar el aplastamiento, el arrugado o el desplazamiento de la tela durante curado de Sikadur®-330. El número de capas será dependiente del tipo de tela SikaWrap® usado y de las condiciones climáticas.

Detalles del CuradoProducto aplicado listo
para su uso

| Temperatura | Curado total |
|-------------|--------------|
| +10°C | 7 días |
| +23°C | 5 días |
| +35°C | 2 días |

Los tiempos de curado son aproximados y serán afectados por los cambios en las condiciones ambientales

Notas

Todos los datos indicados en esta hoja técnica del producto se basan en ensayos de laboratorio. Los datos reales medidos pueden variar debido a circunstancias más allá de nuestro control.

Restricciones Locales

Observe por favor que como resultado de regulaciones locales específicas el funcionamiento de este producto puede variar de país en país. Consulte por favor la hoja de datos local del producto para la descripción exacta de los campos de aplicación.

Instrucciones de seguridad

Precauciones de Manipulación Evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protéjase utilizando guantes de goma natural o sintética y anteojos de seguridad. En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua. En general, en caso de emergencia contacte al CITUC, FON: 635 38 00.

Ecología No disponer el producto en el suelo o cursos de agua, sino conforme a las regulaciones locales y previa neutralización. Para mayor información, solicite la hoja de seguridad del producto.

Observaciones La información, y, en particular, las recomendaciones relacionadas a la aplicación y uso final de productos de Sika, se dan en buena fe basada en el conocimiento y experiencia actual de Sika de los productos cuando se han almacenado apropiadamente, manipulados y aplicados bajo las condiciones normales de acuerdo con las recomendaciones de Sika. En la práctica, las diferencias en materiales, sustratos y condiciones reales del sitio son tales que ninguna garantía en relación a la comercialización o de aptitud para un propósito particular, ni cualquier obligación que surja en absoluto de cualquier relación legal, puede ser inferida de esta información, ni de cualquier otra recomendación escrita, o de cualquier otra sugerencia ofrecida. El usuario debe probar la aptitud del producto para la aplicación y propósito propuesto. Sika se reserva el derecho para cambiar las propiedades de sus productos. Deben observarse los derechos de propiedad de terceras partes. Todas las órdenes de compra son aceptadas sujetas a nuestras condiciones actuales de venta y entrega. Los usuarios siempre deben referirse a la más reciente edición de la Ficha Técnica local del producto correspondiente, copias de la cual se proporcionarán a su solicitud.

Sika S.A. Chile
Pdte. S. Allende 85
San Joaquín
Santiago
Chile

Tel. 56 2 510 6510
Fax 56 2 552 3735
www.sika.cl

