

## **USO DE LA ARCILLA EXPANDIDA COMO AGREGADO PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS**

**Pablo D. Idoyaga, Norma G. Cantero, Carlos R. Bellasai, Hugo W. Pospischill**  
Facultad de Ciencias y Tecnología Universidad Católica "Nuestra Señora de la Asunción"  
Tte. Cantaluppi y G. Molinas, Asunción – Paraguay  
Teléfono: 595 21 334650  
Fax: 595 21 311820  
e-mail: [pdiaresco@hotmail.com](mailto:pdiaresco@hotmail.com)

**Palabras Claves:** arcilla expandida, agregados artificiales, método Marshall.

### **RESUMEN**

El presente trabajo analiza la factibilidad del uso de la arcilla expandida como agregado para obras viales, utilizando como materia prima para su producción, la arcilla disponible en el Chaco Central, Región Occidental de la República del Paraguay, caracterizando tecnológicamente el hormigón asfáltico surgido con el uso de este material. El procedimiento utilizado para el estudio es la obtención, caracterización y análisis de la arcilla de la zona de estudio. Para el análisis del hormigón asfáltico elaborado a partir del material estudiado se ha utilizado el Método Marshall, habitualmente utilizado para este tipo de estudios. Se han elaborado cuerpos de prueba, analizando los valores obtenidos del ensayo y finalmente se ha realizado una comparación económica con el hormigón asfáltico producido con material pétreo tradicionales, los cuales tienen en su composición de costo, la alta influencia del transporte desde distancias aproximadas a los 500 km.

## 1. INTRODUCCION

En el presente estudio se analiza la posibilidad de uso de los suelos arcillosos de ciertas regiones del Chaco paraguayo como materia prima para la fabricación de agregados artificiales a ser utilizados como componente de la mezcla asfáltica, buscando establecer parámetros técnicos que permitan su adecuada dosificación.

En una extensa zona de la Región Occidental (Chaco Paraguayo) del país se plantea el problema de la falta de materiales pétreos para la construcción civil por lo que la búsqueda de alternativas es una tarea importante para el desarrollo de la región. Las características geológicas de ciertas zonas del Chaco paraguayo, hacen suponer la existencia de yacimientos de suelos con características físicas y químicas apropiadas, que previo proceso de fabricación con la utilización de tecnologías ya conocidas, permitan ser utilizados como agregados en las obras viales.

Para el proyecto de dosificación de la mezcla bituminosa se ha establecido utilizar el Método Marshall. Para el estudio del material han sido seleccionados los yacimientos de Minas Cué, de la ciudad de Filadelfia, de Tte. Ochoa, y de Jesudy

La implementación de este material alternativo hará posible la realización de obras que en otro caso no serían viables, y el consecuente acceso al mejoramiento de la calidad de vida de una amplia región del país. Además posibilitará la creación de industrias para la fabricación de éstos agregados para diferentes usos y una fuente más de trabajo y desarrollo para la región.

## 2. AGREGADOS ARTIFICIALES DE ARCILLA

### 2.1. Características de la arcilla

La arcilla expandida es un agregado liviano artificial obtenido cuando determinados tipos de suelos son sometidos a altas temperaturas bien controladas, proceso durante el cual se produce una vesiculación o estructura alveolar por gasificación de los minerales existentes en la arcilla. El producto resultante es un agregado celular, poroso, de gran resistencia estructural, limpio y que puede ser clasificado en diferentes granulometrías, conforme a los diferentes usos previstos [1].

Existen varios trabajos de investigación relacionados con la búsqueda de yacimientos y procesos de fabricación de agregados livianos. En dichas investigaciones se presentan correlaciones de características físicas y químicas de manera a

obtener un material que cumpla con los requerimientos para su uso en obra. En la Tabla N°1 se presenta un resumen de las mismas.

### 2.2. Proceso de Fabricación.

En lo referente al proceso de fabricación industrial de los agregados, el mismo se inicia por la ubicación y caracterización técnica de los yacimientos de arcilla. Posteriormente, el acopio del material seleccionado es realizado por medio de equipos comúnmente utilizados en movimientos de suelos tales como topadoras y palas cargadoras, separándose todo elemento extraño a la formación arcillosa como desechos vegetales, formación rocosa, suelo calcáreo y otros. Este material es transportado para su acopio hasta lugares cercanos a la planta de producción, donde se procede a humedecerlo a niveles cercanos a su humedad natural para posteriormente ser introducido en el horno rotativo, el cual tiene una temperatura que varía entre 700° C y 1.200° C

Durante el descenso a través del horno, el material sufre un proceso de semifusión y vitrificación con expansión interna de los gases producidos y del aire contenido en la pasta. Una vez calcinado, sale del horno por un conducto de descarga refrigerado con agua y aire, momento en el cual se interrumpe bruscamente el proceso, confiriendo al material una estructura porosa y vesicular. Luego por medio de una cinta transportadora pasa a las zarandas de clasificación y de ahí a los silos de almacenamiento, donde son depositados de acuerdo a sus respectivas granulometrías.

Durante el proceso de calcinación, el material se expande alrededor de 40%, por lo que la partícula más gruesa tiene un diámetro aproximado de 2,0 cm. [2]

El peso específico del material oscila entre 0,4 a 0,8 tn/m<sup>3</sup> pudiendo variar de acuerdo a las necesidades. El ciclo de producción dura aproximadamente 3 horas.

La producción en laboratorio de este agregado artificial tiene la misma secuencia, procediendo a utilizar un horno tipo mufla para la expansión de la arcilla. Luego por el método Marshall [3] se establece una composición granulométrica de agregados que se encuadre en una faja específica, determinando el porcentaje óptimo de cemento asfáltico de petróleo que mezclado al material, proporcione un hormigón que satisfaga los requisitos de las especificaciones técnicas.

Autores	Relaciones de composiciones físicas y químicas																		
Renato de Fonseca Vasconcellos.[4]	<p>La composición química ideal para la fabricación de agregados livianos está comprendida entre los valores</p> <table data-bbox="549 376 970 663"> <tr><td>SiO<sub>2</sub></td><td>50% a 65%</td></tr> <tr><td>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></td><td>16% a 20%</td></tr> <tr><td>CaO</td><td>1% a 4%</td></tr> <tr><td>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></td><td>5% a 9%</td></tr> <tr><td>MgO</td><td>1,5% a 3,5%</td></tr> <tr><td>Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O</td><td>1,5% a 4,5%</td></tr> <tr><td>SO<sub>3</sub></td><td>0% a 1,5%</td></tr> <tr><td>S</td><td>0% a 1,5%</td></tr> <tr><td>Pérdida al fuego</td><td>6% a 8%</td></tr> </table> <p>La granulometría de la arcilla es un factor importante y la granulometría adecuada deberá estar comprendida entre:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>menos de 30% &gt; 0,05mm</li> <li>menos de 5% de la cantidad definida en a, &gt; 2,5mm</li> <li>al menos 40% de la cantidad definida en c, &lt; 0,005mm</li> </ol> <p>Para obtener un buen proceso de vitrificación es necesario que: <math>(Na_2O + K_2O)/(CaO+MgO)</math> sea superior a 1.</p>	SiO <sub>2</sub>	50% a 65%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16% a 20%	CaO	1% a 4%	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5% a 9%	MgO	1,5% a 3,5%	Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	1,5% a 4,5%	SO <sub>3</sub>	0% a 1,5%	S	0% a 1,5%	Pérdida al fuego	6% a 8%
SiO <sub>2</sub>	50% a 65%																		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16% a 20%																		
CaO	1% a 4%																		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5% a 9%																		
MgO	1,5% a 3,5%																		
Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	1,5% a 4,5%																		
SO <sub>3</sub>	0% a 1,5%																		
S	0% a 1,5%																		
Pérdida al fuego	6% a 8%																		
Lockhart y Lilli [1]	<p>Indican que las características físicas apropiadas del material estudiado por ellos, aunque son relativamente variables, en los ensayos arrojan los siguientes valores promedios:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pasante tamiz N° 200 88%</li> <li>• Límite Líquido 69%</li> <li>• Límite Plástico 32%</li> <li>• Índice de Plasticidad 37%</li> <li>• Límite de Contracción 16%</li> </ul>																		
Investigadores de Checoslovaquia y Rusia [5]	<p>Según estudios en Checoslovaquia y Rusia la composición óptima sería la siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Por lo menos 6% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></li> <li>• La relación SiO<sub>2</sub> : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 3,5</li> <li>• CaO + MgO no debe exceder de 15%</li> <li>• Los componentes combustibles deben representar un 18%</li> </ul> <p>El único valor que puede modificarse en el proceso de fabricación industrial de manera simple y económica es la cantidad de componentes combustibles.</p>																		
Pereira Soares, Lima Cabral y Gómes da Silva [6].	<p>Las características de las arcillas para la fabricación de agregados son: una gran plasticidad y un punto de fusión bajo además de cumplir con la siguiente composición química:</p> <table data-bbox="549 1771 970 1928"> <tr><td>SiO<sub>2</sub></td><td>50% a 65%</td></tr> <tr><td>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></td><td>15% a 20%</td></tr> <tr><td>CaO</td><td>1% a 5%</td></tr> <tr><td>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></td><td>5% a 10%</td></tr> <tr><td>Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O</td><td>1% a 5%</td></tr> </table>	SiO <sub>2</sub>	50% a 65%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15% a 20%	CaO	1% a 5%	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5% a 10%	Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	1% a 5%								
SiO <sub>2</sub>	50% a 65%																		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15% a 20%																		
CaO	1% a 5%																		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5% a 10%																		
Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	1% a 5%																		

Tabla N° 1. Relaciones de composiciones física y química de arcillas.

### **3. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL**

#### **3.1. Obtención de las muestras**

La zona central del Chaco como centro geográfico y polo de desarrollo importante de toda la región occidental, estudios previos realizados y teniendo en cuenta las características geológicas de la región, de manera a ubicar viejos causes o lagunas donde se produjeron fenómenos de deposición lenta de sedimentos que, generalmente, dan lugar a la formación de suelos arcillosos, fue considerada de interés para este estudio.

#### **3.2. Ensayos en las muestras de suelo.**

Las muestras debidamente etiquetadas fueron trasladadas a laboratorio para su posterior análisis geomecánico, químico y de rayos X.

##### **3.2.1. Ensayos geomecánicos.**

Han sido efectuados ensayos para clasificación de suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. Para tal efecto fueron realizados ensayos de Límite Líquido, Límite de Plasticidad y de Contracción, Granulometría por tamizado y sedimentación.

##### **3.2.2. Ensayos químicos.**

Con el objetivo de determinar el contenido de sustancias químicas se procedió al análisis químico. Las muestras cuyas características que, desde el punto de vista químico.

##### **3.2.3. Rayos X.**

Sobre las muestras seleccionadas se realizaron ensayos de difracción por rayos X. A partir de estos resultados se puede deducir que no existe predominantemente arcilla del tipo montmorillonita, necesaria para la fabricación de "arcilla expandida". Si bien algunas muestras contienen esmectita que son minerales agrupados dentro de los minerales de arcilla el grupo de la Montmorillonita.

### **4. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL FABRICADO EN LABORATORIO.**

Una vez analizadas las características geomecánicas, químicas y de Rayos X de las diversas muestras ensayadas fueron seleccionados suelos de cuatro sitios, a partir de los cuales se fabricaron cuerpos de prueba para la realización de Ensayos de Quema Rápida, Quema Lenta y Desgaste, normas de la DNER.

Se han realizado mediciones de variación de volumen en cinco bolas de cada sitio, antes y después de ser cocidas a 1200°C, de manera a

verificar si el material expande o se contrae volumétricamente.

### **5. MEZCLA ASFÁLTICA**

#### **5.1. Descripción de los materiales usados en la mezcla**

##### **a) Agregado de arcilla expandida**

El material seleccionado debe cumplir con los requisitos del material buscado y anteriormente descritos. Para el proceso de "calcinación" del material seleccionado, se han utilizado temperaturas de 900° y 1000°. Estas temperaturas han sido seleccionadas a los efectos de buscar la obtención de los mejores valores a la menor temperatura, ya que este punto incide en forma directa en el aspecto económico.

##### **b) Arena**

El tipo de arena a ser utilizada es la arena del tipo silíceo natural proveniente de yacimientos disponibles en la parte central de la Región Occidental. Sus partículas deben ser limpias, duras, sanas y libres de arcilla, polvo, álcalis, materias orgánicas o cualquier otra sustancia perjudicial. No debe contener sales en cantidades que pueda resultar perjudicial, con resultado No Plástico.

##### **c) Cemento Pórtland**

Es el cemento tipo Pórtland de uso común en la construcción civil y que sirve de relleno dentro de la composición granulométrica.

##### **d) CAP (Cemento asfáltico)**

Es el material aglomerante que da cohesión y que une los diversos componentes de la mezcla asfáltica.

#### **5.2. Producción de cuerpos de prueba con agregados de arcilla expandida**

Por medio del método Marshall se ha procedido a producir los cuerpos de prueba, utilizándose para la dosificación de los materiales la faja IV- b del Instituto del Asfalto. El porcentaje de CAP ha variado entre 5,0% y 8,5%

#### **5.3. Elección de cantidad de cuerpos de prueba y número de golpes**

Una vez completados los cálculos, se procede a la elaboración de los cuerpos de prueba, para lo cual debe determinarse la cantidad de los mismos, así como su peso y número de golpes a que será sometida cada probeta. Con estos datos fueron establecidas las cantidades para los cuerpos de prueba, las cuales se hallan consignadas en la Tabla N°2.

LUGAR	5,5%	6,0%	6,5%	7,0%	7,5%	8,5%
Minas Cue	3	-	-	-	3	3
Filadelfia	3	-	3	-	3	-
Tte. Ochoa	-	5	5	5	3	-
Jesudi	-	-	3	-	3	-
<b>TOTAL</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>11</b>	<b>5</b>	<b>12</b>	<b>3</b>

Tabla N° 2: Número de cuerpos de prueba por lugar y porcentaje de asfalto.

Conforme a dicha tabla podemos afirmar que en conjunto serán producidos una cantidad de 42 cuerpos de prueba con diferentes dosificaciones de CAP y procedentes de diferentes lugares de acopio. Esta diversidad de muestreo tiene por objetivo determinar tanto la calidad del material producido que se encuentra en estudio, como la mejor dosificación de CAP para su uso en la faja granulométrica previamente determinada.

Posteriormente se procede a seleccionar la cantidad de golpes que debe aplicarse a cada cuerpo de prueba. La norma ASTM D – 1559 – 71, prevé que puede ser aplicados 50 o 75 golpes con el martillo padrón; la elección de la cantidad de golpes es realizada en función al tráfico que tendrá que soportar el pavimento. La cantidad de 50 golpes es presiones de neumático de hasta 7 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que 75 golpes, es para presiones que van de 7 kg/cm<sup>2</sup> hasta 14 kg/cm<sup>2</sup>. Debido a la posibilidad de paso de vehículos de gran tamaño, con altos valores de carga, la elección ha sido de 75 golpes para la realización del ensayo.

Finalmente, con los datos de las dimensiones de los cuerpos de prueba, se calcula el volumen que debe llenarse para cada probeta, y por medio de las densidades, se calcula el peso en kg de cada cuerpo de prueba y la cantidad de material necesario para la realización de la mezclas.

#### 5.4. Resultados obtenidos

Una vez que los cuerpos de prueba han sido sometidos a la prensa Marshall, los resultados obtenidos fueron conferidos y calculados, hallándose establecidos en la Tabla N° 3.

En esta tabla se observa que los diferentes valores obtenidos, en su mayoría, han superados los valores establecidos en la norma y que aparecen en la Tabla N° 4. El Figura N° 1 presenta una idea gráfica del comportamiento de las diferentes curvas en las cuales se compara la Estabilidad Marshall con el respectivo porcentaje de asfalto utilizado en la composición de la mezcla.

Muestra	% asf.	Estab. (Kg)	%Vac.	Fluen. (mm)	Temp. Cocción
Minas Cué	5,5	660	20,8	2,8	900°
Minas Cué	7,5	773	15,0	2,9	900°
Minas Cué	8,5	572	11,7	2,7	900°
Filadelfia	5,5	519	5,1	3,1	900°
Filadelfia	6,5	572	7,2	2,8	900°
Filadelfia	7,5	591	6,2	3,2	900°
Tte. Ochoa	6,0	426	8,3	2,6	1000°
Tte. Ochoa	6,5	553	6,9	2,9	1000°
Tte. Ochoa	7,0	581	6,4	3,6	1000°
Tte. Ochoa	7,5	569	6,4	2,2	900°
Jesudy	6,5	617	11,4	2,5	900°
Jesudy	7,5	413	10,4	3,2	900°

Tabla N° 3: Valores obtenidos en las pruebas de ensayos Marshall

Parámetros	Valores (carpeta de rodadura)
Estabilidad Marshall (75 golpes)	>350 Kgf
Porcentajes de vacíos	2% - 5%
Fluencia	2-6

Tabla N° 4: Valores para mezcla asfáltica a ser utilizada como carpeta de rodadura

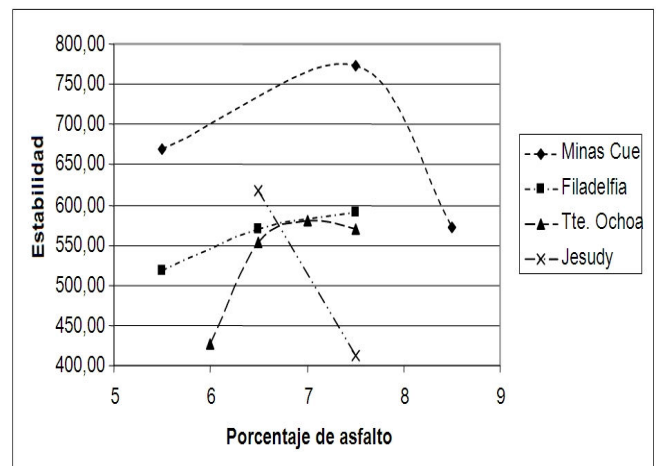


Figura N° 1: Curvas Estabilidad - % Asfalto de los ensayos realizados.

### 5.5. Análisis de costo de producción

Los valores obtenidos en el estudio económico han permitido determinar que el costo de elaboración del hormigón asfáltico con agregados de arcilla expandida tiene un costo de 47,06 US\$/t (Cuarenta y Siete Dólares Americanos con Seis Centavos por tonelada). Este valor es comparado con el costo de producción del hormigón asfáltico con piedra triturada, y que incluye el costo del transporte de los agregados desde la distancia media de 500,00 km, llegándose a un valor de 68,74 US\$/t (Sesenta y Ocho Dólares Americanos con Setenta y Cuatro Centavos por tonelada).

Los valores comparados permiten señalar la ventaja económica de la producción de hormigón asfáltico con el uso de agregados artificiales, el cual alcanza el 68,5% del costo del hormigón tradicional.

## 6. CONCLUSIONES

Conforme a los resultados obtenidos, podemos llegar a las siguientes conclusiones:

- No ha sido detectada materia prima apropiada para la fabricación de "arcilla expandida" pero sí para la fabricación de "arcilla calcinada", conforme a la caracterización utilizada por métodos de clasificación del Brasil.
- Si bien el material estudiado no corresponde a una arcilla expandida, los materiales encontrados son aptos para su uso dentro de la mezcla asfáltica utilizada como carpeta de rodadura en obras viales.
- Los valores obtenidos en el estudio son referenciales y para obtenerse resultados más concluyentes se debe proceder a realizar estudios en mayor cantidad de cuerpos de prueba combinando diferentes alternativas de temperatura de cocción con diversos porcentajes de asfalto.
- Las normas y métodos de trabajo utilizados han tropezado con la carencia de experiencia del personal laboratorista y la dificultad en la ejecución de la quema de los agregados de arcilla para producir su expansión. En este punto se debe considerar que, conforme al avance de los estudios, los laboratoristas han ido superando estos inconvenientes, los cuales son debidos en muchos casos, por la falta de experiencia ante un material diferente al tradicionalmente utilizado en los proyectos viales del país.

- El alto porcentaje de vacíos en la mayoría de los cuerpos de prueba puede ser debida por la discontinuidad de la curva granulométrica. La carencia o falta de material fino, principalmente pasante del Tamiz N° 4, desencadena un alto porcentaje de vacíos, y altera los valores de la Relación Vacíos – Asfalto hasta valores que superan los que normalmente se obtienen con la mezcla convencional.
- Observando el porcentaje de vacíos de la mezcla, se determina que los altos valores obtenidos en los cuerpos de prueba no son parámetros fiables para estimar el nivel óptimo de asfalto de la mezcla, debiendo tenerse en cuenta que el mismo se halla influenciado por la curva granulométrica.
- En relación a los resultados obtenidos, al tenerse una estabilidad muy superior a la necesaria, la misma puede ser corregida reduciendo la cantidad de filler o del porcentaje de asfalto, o de ambos.
- Debido a que los vacíos son superiores a lo establecido en las normas (5,0%), la misma se puede corregir modificando las cantidades de filler o de asfalto o de ambos. Este punto está en directa relación con el anterior. También se puede producir alteraciones variando la distribución de la curva granulométrica.
- Algunos valores altos de estabilidad pueden deberse a alteraciones producidas por la presencia de agregados grandes dentro del cuerpo de prueba. Estos valores pueden no reflejar la realidad de la mezcla en estudio. En nuestro caso, esta situación aparentemente no debe ser considerada pues se han realizado lecturas de por lo menos 3 cuerpos de prueba, encontrándose paridad aceptable en todos los casos.
- La estabilidad alta debida a una buena interacción entre los diversos granos de la mezcla es altamente deseable. Esta situación se ha presentado en los cuerpos de prueba estudiados.

Por lo expuesto se puede afirmar que la arcilla expandida es una alternativa técnica y económica viable para proyectos de pavimentación en la zona en estudio. Además se ha demostrado la viabilidad del uso de la materia prima existente en el Chaco central para la producción de agregados y su posterior mezcla con material bituminoso para la producción de hormigón asfáltico.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Lockhart, Jorge; Lilli, Félix. Mezclas Asfálticas con Agregados Livianos. Dirección de Vialidad Argentina. Argentina. 1.989.
- [2] Petroni, Eberto. Uso Racional de Mezclas Asfálticas Utilizando Arcilla Expandida. Arcillex S.A.I.C. Argentina. 1.985.
- [3] Método ASSHTO Año 93. Curso de Actualización de Diseño Estructural de Caminos. Universidad Nacional de San Juan. Facultad de Ingeniería. Argentina, 1.995.
- [4] Vasconsellos, Renato da Fonseca. Propiedades do Betão Leve de Argila Expandida "LECA". Ministerio do Equipamento Social e Do Ambiente. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa, Portugal. Agosto 1974.
- [5] Souza Santos, Percio de. Tecnología de Argilas. Volúmen II Aplicacoes "Argilas para a Fabricação de Agregados Leves". Editora Edgard Blucher Ltda., Editora da Universidade de Sao Paulo, Año 1975, Sao Paulo Brasil.
- [6] Lopes Cancio, Augusto; Lima, Gustavo; Gomes, Fernando. Estudo de Viabilidade Técnica do Agregado de Argila Calcinada para a Pavimentação na Amazônia. Instituto Militar de Engenharia. Departamento de Engenharia de Fortificação e Construção. Projeto de Fim de Curso. Brasil. 1.998.