



Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa

“Dr. Antonio Núñez Jiménez”

Facultad de Metalurgia-Electromecánica

Trabajo de Diploma

en opción de Título de Ingeniero Informático

Título

Fortikal: Sistema informático para el cálculo de fortificaciones en excavaciones subterráneas horizontales.

Autor

Roberto Pérez Rodríguez

Tutores

Dra. Darlines Sánchez Muñoz

Dra. Maday Cartaya Pire

Lic. Jhonlier Suárez Molina

Moa, Cuba. 2009.

Agradecimientos

A todos aquellos que de una forma u otra han contribuido con la realización de este trabajo y en mi formación como futuro profesional. Muy especialmente a mis tutores Jhonlier y Darlines y a mis amigos Eliet, Yohander y Karel. Gracias también a mi familia en Cayo Mambí por acogerme incondicionalmente. Y sobre todo agradecer a mis tíos Víctor y María.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a todas aquellas personas portadoras de los más nobles sentimientos: el amor, la amistad, la confianza, que me mostraron siempre el camino correcto por el cual he de transitar.

En especial:

A mi madre.

A mis tíos, especialmente a Vitico y a María.

A toda mi familia en Frank País.

A mi amigo Guaso, por sus consejos e inspiración.

A Yesenia y Pepito.

En general a todos aquellos que no menciono, aunque han sido definatorios para mi formación como profesional.

Resumen

En la realización de este trabajo se hace un análisis de las diferentes metodologías de cálculo de las fortificaciones en excavaciones subterráneas horizontales para su correcta implementación. Se abordan diferentes conceptos e ideas que favorecen una mejor comprensión de las mismas, para lo cual se realiza un modelo de dominio y se cuenta con diagrama de casos de uso, de los cuales se hace una descripción de todos ellos. Se muestran las diferentes interfaces de usuario con las que cuenta el sistema informático. En cuanto al estudio de factibilidad del producto se utiliza la metodología de Costo y Beneficio lo que demuestra su eficacia para la realización de este tipo de proyectos.

Con el desarrollo de esta investigación se propone implementar un subsistema informático que solucione los problemas de cálculo manuales de las fortificaciones en las excavaciones subterráneas, con las diferentes metodologías referenciadas en las bibliografías y manuales consultados y facilite su futura integración a un sistema integrador que responda a las necesidades de las diferentes ramas mineras.

Abstract

Current document covers the analysis done of different horizontal underground mining excavations calculus methodologies for its ulterior informatics implementation. For the best comprehension concepts and ideas from the mining engineering are reviewed into a mathematical and computational approximation in the software engineering methodology: finally getting the dominium model and the use-case diagrams translated later into the user interfaces designs for the final product.

The product feasibility study was done by the cost and benefits methodology which show it efficacy for this kind of projects.

The main objective for this research was to arrive to a first computational approach of the many handmade calculations for the underground excavation facilities, modelled by many and often complex methodologies referred in the traditional mining engineering manuals and texts.

Índice de contenidos

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: FUNDAMENTACIÓN.....	6
1.1 Introducción.....	6
1.2 Estado del arte.....	6
1.2.1 Conceptos fundamentales.....	6
1.2.2 Metodologías de cálculo.....	8
1.2.2.1 Cálculo de la fortificación de madera.....	8
1.2.2.2 Fortificación metálica.....	11
1.2.2.3 Cálculo de la fortificación metálica de sección trapezoidal.....	12
1.2.2.4 Cálculo de la fortificación metálica arqueada de 3 charnelas.....	14
1.2.2.5 Cálculo de la fortificación metálica arqueada flexible.....	16
1.2.2.6 Fortificación de hormigón.....	18
1.2.3 Antecedentes.....	18
1.2.3.1 Sistemas automatizados existentes vinculados al campo de acción.....	19
1.3 Tendencias relativas sobre tecnologías de cómputo contemporáneas.....	20
1.3.1 Python como lenguaje de programación.....	20
1.3.1.1 Características y paradigmas de Python.....	21
1.3.2 Metodologías para el desarrollo de Sistemas Informáticos.....	21
1.3.2.1 Fundamentación de la metodología a utilizar para el modelado.....	22
1.3.2.2 Descripción de las fases del ciclo.....	24
1.3.2.2.1 Fase de INICIO.....	24
1.3.2.2.2 Fase de ELABORACIÓN.....	25
1.3.2.2.3 Fase de Construcción.....	25
1.3.2.2.4 Fase de TRANSICIÓN.....	25
1.4 Conclusiones.....	26
CAPÍTULO II: MODELO DE DOMINIO.....	27
2.1 Introducción.....	27

<u>2.2 Definición de las entidades y los conceptos principales.....</u>	<u>27</u>
<u>2.3 Representación del modelo del dominio.....</u>	<u>28</u>
<u>2.4 Requerimientos Funcionales y no Funcionales del Sistema.....</u>	<u>28</u>
2.4.1 Requisitos Funcionales.....	28
2.4.2 Requisitos no Funcionales.....	29
2.4.2.1 Usabilidad.....	29
2.4.2.2 Apariencia o interfaz externa.....	29
2.4.2.3 Rendimiento.....	29
2.4.2.4 Portabilidad.....	29
2.4.2.5 Ayuda y documentación en línea.....	30
2.4.2.6 Software.....	30
<u>2.5 Conclusiones.....</u>	<u>30</u>
<u>CAPÍTULO III: METODOLOGÍAS DE DESARROLLO PARA EL CÁLCULO DE LAS FORTIFICACIONES.....</u>	<u>31</u>
<u>3.1 Introducción.....</u>	<u>31</u>
<u>3.2 Actores del sistema.....</u>	<u>31</u>
<u>3.3 Diagramas de casos de uso del sistema.....</u>	<u>32</u>
<u>3.4 Descripción de los casos de uso del sistema.....</u>	<u>32</u>
<u>3.5 Diseño de la Interfaz Gráfica con el Usuario (IGU).....</u>	<u>40</u>
3.5.1 Ventana principal.....	41
3.5.2 Diálogos de mensajes.....	42
3.5.2 Ventanas de manipulación de datos persistentes externos.....	42
3.5.4 Ventanas de cálculo.....	43
<u>3.6 Modelación y descripción de la forma de almacenamiento de los datos.....</u>	<u>45</u>
<u>3.6 Modelación y Descripción de la forma de almacenamiento de los datos.....</u>	<u>45</u>
3.6.1 Modelación de la forma de almacenamiento de los datos.....	46
<u>3.7 Algoritmos de desarrollo de las principales metodologías a implementar.....</u>	<u>47</u>

3.7.1 Algoritmo de desarrollo de la fortificación de hormigón.....	48
3.7.2 Algoritmo de desarrollo de la fortificación de madera.....	49
3.8 Conclusiones.....	50
CAPÍTULO IV: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD.....	51
4.1 Introducción.....	51
4.2 Efectos económicos.....	51
4.3 Beneficios y costos intangibles en el proyecto	53
4.4 Ficha de costo	54
4.5 Conclusiones	57
CONCLUSIONES.....	58
RECOMENDACIONES.....	59
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60
BIBLIOGRAFÍA.....	61
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	62

Introducción

Desde los orígenes de la humanidad el hombre en su afán de supervivencia se ha visto en la necesidad de recurrir a tomar todo lo que le brinda la naturaleza con el fin de poder subsistir y desarrollarse. Desde luego que en este proceso el dominio y obtención de productos minerales ha marcado el propio desarrollo de La Humanidad.

La situación económica y social que caracteriza a la sociedad moderna genera profundos cambios en todos los frentes de trabajo. Grandes gastos de recursos minerales, que son necesarios e indispensables para el desarrollo de la vida moderna. Por todo esto se necesitan encontrar nuevos yacimientos de minerales y lograr una mejor y racional explotación de dichos recursos. El advenimiento y desarrollo de la industria minera y las difíciles condiciones minero-geológicas en la actualidad han contribuido a que aumenten las zonas a fortificar en las excavaciones subterráneas y contar con una mayor confiabilidad y precisión en los cálculos de dichos sostenimientos. Por otra parte se estima que: “en el macizo montañoso Moa-Mayarí en los próximos veinte años se construyan mas de 200 km de túneles” [1].

Con respecto a la definición de "**fortificación**", diversos autores coinciden en que: “la fortificación de minas es una construcción artificial que se hace en excavaciones subterráneas para prevenir la destrucción y deformación de la roca circundante, y preservar las dimensiones de la sección transversal de la excavación.” [2].

En la teoría para el desarrollo de una buena fortificación se deben tener en cuenta diversos factores como: la elección del tipo de material de fortificación, elección de la forma de la sección, determinación de las dimensiones de la sección transversal, clasificación y exigencias que debe satisfacer la fortificación y los tipos de fortificaciones que se emplean en las excavaciones horizontales con sus respectivos cálculos.

La segunda mitad del siglo XX fue testigo de algunos hechos concretos que propiciaron grandes cambios, entre ellos: la aparición de las computadoras, el crecimiento acelerado de su velocidad de procesamiento y capacidad para el almacenamiento de datos, además de la facilidad de interconexión, sin dudas, ha posibilitado disponer de servicios de acceso en línea a bases de datos y ha provocado una gran explosión de información que

rebase la capacidad de procesamiento de las organizaciones y la búsqueda de herramienta para el manejo de estos grandes volúmenes de información. Todo esto, unido al incremento de la competencia a nivel mundial, impulsado por el dominio de las trasnacionales, ha originado desde las décadas de los setenta y los ochenta, un contexto de creciente necesidad de dotarse de técnicas de captación y análisis de información sobre el entorno competitivo y tecnológico y, en particular, de formas de cálculo y herramientas que faciliten dicho objetivo.

Uno de los factores mas importantes en el desarrollo de las minerías antigua y moderna es el empleo de las fortificaciones y de la seriedad del tipo de elección, instalación, calidad y seguridad de los diferentes software en el caso de las actuales, relacionados con el campo de acción donde se enmarcan.

Apoyándonos en todo lo antes mencionados y analizando la necesidad de integrar las herramientas informáticas de las cuales disponemos; se puede afirmar que la utilización de sistemas informáticos para el cálculo de fortificaciones en excavaciones subterráneas horizontales ha dado como resultado un gran paso de avance dentro de la minería por las siguientes razones:

1. Se simplifica enormemente los procedimientos de cálculos matemáticos y como consecuencia se emplean técnicas modernas que antes eran muy difícil aplicarlas.
2. Se pasa del cálculo manual tradicional al cálculo por ordenador lo que supone una mayor rapidez en la obtención de los resultados, mayor fiabilidad, mejor manejo de estos procedimientos y una gran facilidad de aplicación.
3. Proporciona una nueva herramienta capaz de brindar y facilitar un resultado de confiabilidad y exigencia al los profesionales de la rama minera, ayudándole a ganar tiempo a la hora de un correcto diseño.

A pesar de las favorables condiciones que nos brindan las nuevas tecnologías existen elementos que dificultan un mejor desempeño del profesional a la hora del cálculo, como es la integración de las herramientas informáticas.

En la actualidad existen softwares que facilitan el cálculo de las fortificaciones mineras pero a medida que estos se desarrollan necesitan ordenadores con condiciones más exigentes. A

medida que se desarrolla la industria minera aumenta considerablemente la extensión de las excavaciones a fortificar, lo cual va ligado a que cada vez las condiciones minero-geológicas se vayan haciendo más difíciles, debido a que se pasa a laborear excavaciones profundas y nuevos yacimientos con características más complejas.

Por estas causas las exigencias para la fortificación van creciendo, lo cual trae consigo la necesidad de que se vayan perfeccionando las variantes de fortificación a usar y a pesar de esto existe una insuficiente implementación de sistemas informáticos que permitan el cálculo de los sostenimientos en excavaciones subterráneas, por lo que esto nos conlleva a plantear el **problema** siguiente:

La necesidad de contar con un sistema que permita el cálculo de fortificaciones en excavaciones subterráneas que simplifique y agilice el diseño de los sostenimientos.

Por lo antes referido se toma como **objeto de investigación** *las metodologías para el cálculo de fortificaciones existentes en excavaciones subterráneas.*

Históricamente, puede decirse que nacen estas metodologías con Terzaghi a mediados de los años 40, ya que su clasificación, aunque pueda llamarse simplista, sigue dando hoy en día, en general, resultados del lado de la seguridad, pese a dicha simplicidad, y no cabe duda de su aplicabilidad al diseño de los sostenimientos; lo mismo se podría decir de otras clasificaciones desarrolladas en los años 50 y 60 (Lauffer, Protodyakanov, etc.).

No obstante estos precedentes históricos reales, que se emplearon con profusión particular en la minería y en especial en la construcción de sostenimientos para excavaciones subterráneas, se considera que la consagración universal de las modernas Clasificaciones geotécnicas tiene lugar con la publicación de las de Baratón y de las de Bieniawski mediados de los años 70, y presentadas ambas al Congreso Internacional de Mecánicas de Rocas de 1979, celebrado en Montreux.

Por lo que nuestro **campo de acción** en esta investigación se enmarca en *las fortificaciones en excavaciones subterráneas horizontales.*

Para la solución del problema antes mencionado nos trazamos como **objetivo** implementar un sistema informático que permita el cálculo de fortificaciones en excavaciones subterráneas horizontales.

Para dar cumplimiento de este último no hemos propuesto cumplir los siguientes **objetivos específicos**:

1. Definición de la arquitectura funcional del sistema de cálculo de fortificaciones en excavaciones subterráneas horizontales.
2. Diseñar e implementar un sistema informático que permita calcular las fortificaciones en excavaciones subterráneas horizontales.

Como **hipótesis** se parte de la idea de que *si se implementa un sistema informático con las diferentes metodologías de cálculo de fortificaciones en excavaciones subterráneas entonces se podrá obtener diseños y sostenimientos más eficientes.*

Para cumplir con nuestros objetivos y resolver la situación problemática planteada, se proponen las siguientes **tareas**:

1. Análisis de la literatura existente relacionadas con las diferentes metodologías de cálculo de las fortificaciones en excavaciones subterráneas horizontales.
2. Adquirir el conocimiento suficiente de las diferentes metodologías de cálculo de las fortificaciones subterráneas para una correcta implementación.
3. Realizar el análisis diseño e implementación del sistema informático que permita calcular las fortificaciones en excavaciones subterráneas horizontales.
4. Realizar el manual de usuario.

El presente trabajo consta de esta introducción, cuatro capítulos, conclusiones, recomendaciones, bibliografía y glosario de términos:

En el Capítulo I, Fundamentación, se ofrece una breve descripción del objeto de estudio, el flujo de los procesos en los que interviene el mismo y un análisis crítico al respecto. Se brinda además una panorámica de los sistemas automatizados existentes vinculados al campo de acción y las tendencias y tecnologías actuales así como un análisis crítico de las fuentes utilizadas.

En el Capítulo II, Modelo del Dominio, se explica el bajo nivel de estructuración del negocio y la necesidad de utilizar un modelo de domino para mostrar la dinámica del sistema, se definen las entidades y conceptos principales y las reglas de negocio a considerar así como la representación del modelo de dominio.

En el Capítulo III, Metodologías de desarrollo para el cálculo de las fortificaciones, se describen en detalles los flujos de trabajos relacionados a estas etapas de diseño e implementación de la metodología utilizada, RUP.

En el Capítulo IV, Estudio de Factibilidad, se presenta el estudio de factibilidad de este proyecto, se utilizara la Metodología, Costo, Efectividad (Beneficio); la cual plantea la conveniencia de la ejecución del proyecto. Para concluir se muestran las Conclusiones a las que se arribaron, las Recomendaciones que se proponen, la Bibliografía utilizada, Anexos con información necesaria sobre el trabajo y el Glosario de Términos.

Capítulo I: Fundamentación

1.1 Introducción

En el presente capítulo se brinda una visión general de los aspectos relacionados con el cálculo de fortificaciones en excavaciones subterráneas horizontales. Se abordan las pautas específicas que constituyen los fundamentos teóricos sobre los que se apoya nuestra propuesta, además se realiza un análisis de las herramientas más comunes para el desarrollo de aplicaciones y se fundamenta la elección del lenguaje, así como la metodología a utilizar. Por otra parte, se hace una valoración de las características de los softwares que han trabajado la temática, analizando las desventajas de los mismos, así como los beneficios de nuestro sistema informático.

1.2 Estado del arte

1.2.1 Conceptos fundamentales

El cálculo de las fortificaciones en las excavaciones subterráneas horizontales debe de responder a una serie de exigencias como las siguientes:

- ✓ Exigencias Técnicas.
- ✓ Exigencias de Producción.
- ✓ Exigencias Económicas.

Se hará un mayor énfasis en las exigencias económicas que es uno de los parámetros más significativos para decidir por la mejor opción de fortificar. Teniendo en cuenta las exigencias planteadas es posible elegir el tipo óptimo de fortificación a usar. La elección de un tipo u otro de fortificación para condiciones concretas debe ser avalada por el cálculo económico. El empleo de un tipo de fortificación se puede considerar racional si la suma de los gastos en su construcción, mantenimiento y reparación durante toda su vida de servicio es menor en comparación con otros tipos de fortificación.

Denominamos:

S1 a la suma de los gastos en construcción, mantenimiento y reparación para 1 metro de excavación en todo el periodo de explotación para la fortificación.

S2 a la suma de los gastos en construcción, mantenimiento y reparación para 1 metro de excavación en todo el periodo de explotación.

Podemos decir que:

$$S1 = K1 + R1 \frac{T}{t} + P1 \frac{n1}{100} T$$

$$S2 = K2 + R2 \frac{T}{t} + P2 \frac{n2}{100} T$$

donde:

K1 – costo de fortificación de 1 m de excavación del tipo 1.

K2 – costo de fortificación de 1 m de excavación del tipo 2.

R1– costo de refortificación de 1m de excavación para el tipo de fortificación 1.

R2– costo de refortificación de 1m de excavación para el tipo 2.

P1– costo de reparaciones al año de 1 m de excavación para el tipo 1.

P2– costo de reparaciones al año de 1 m de excavación para el tipo 2.

R1– volumen de reparaciones anuales (en %) según el tipo 1.

R2– volumen de reparaciones anuales (en %) según el tipo 2

T– vida de servicio de la excavación.

t– vida de servicio de la fortificación hasta que se hace necesario su cambio.

Por ende:

$\frac{T}{t}$ – números de cambios de fortificación necesarios.

Conociendo los valores de S1 y S2 elegimos el menor valor; de esta comparación se ve que un papel importante lo representa el valor de T.

A continuación se realizará un estudio más detallado de los procesos que serán objeto de automatizar en los cuales encontramos, a modo de ejemplo el cálculo de la fortificación de madera.

1.2.2 Metodologías de cálculo.

1.2.2.1 Cálculo de la fortificación de madera

Para este caso se puede considerar que la fortificación va a estar sometida a la acción de una carga por el techo con una distribución parabólica o a la acción de cargas por el techo y lados de la excavación. Para el primer caso se toma para el cálculo de la carga sobre la fortificación la hipótesis de presión minera de M.M Protodiakonov :

Se tiene que:
$$Q = \frac{4}{3} \delta \frac{a^2}{f}, \text{ kgf/m}$$

Donde:

Q _ presión minera por el techo según Protodiakonov por unidad de longitud de la excavación, kgf/m.

a_ semiancho de la excavación por el techo, m.

b _ altura de la bóveda de destrucción, m.

f _ fortaleza de la roca.

δ _ coeficiente volumétrico de la roca, kgf/m .

Una vez conocida la carga sobre al fortificación (que se supone igual a la presión minera) y la forman que actúa se puede calcular el momento flector máximo (Mfmax) que se produce en el sombrero.

$$Mfmax = \frac{5}{32} Q \cdot 2^a \cdot L, \text{ kgf/m} .$$

Siendo:

L - Distancias entre los centros de cuadrados de fortificación, m.

El momento de resistencia (W) de la sección del sombrero se halla por la expresión:

$$W = \frac{M_{fmax}}{\{\theta f\}}$$

donde:

θf - Tensión permisible a la flexión en kgf/cm² que depende del tipo de madera usada.

Obteniendo el valor del momento de resistencia y conociendo la forma del elemento usado como sombrero es posible hallar su espesor por una de las siguientes fórmulas:

Elemento redondo $W = \frac{\pi d^3}{32}$

Elemento rectangular $W = \frac{ce^3}{6}$

Elemento cuadrado $W = \frac{e^3}{6}$

donde:

d _ diámetro del elemento redondo, cm

c _ ancho del elemento rectangular, cm

e_ espesor del elemento, cm

Los peones de esta fortificación se calculan sometidos a la compresión axial teniendo en cuenta la flexión longitudinal que sufren.

$$\frac{P}{F\varphi} \leq [\theta c]$$

donde:

P _ fuerza de compresión axial en kgf; se calcula por la expresión $P = \frac{Q}{2c \cos \alpha}$ para una sección

trapezoidal y $P = \frac{Q}{2}$ para una sección rectangular

siendo:

α _ la inclinación de los peones, en grados

F _ la sección que debe de tener el peón, cm²

φ _ coeficiente que tiene en cuenta la disminución de la resistencia del peón a causa de su

flexión. El valor φ puede ser hallado por la siguiente expresión:

Para $\lambda = 5$ a 100 $\varphi = 1 - 0.007 \frac{l_0}{i}$

Y para $\lambda > 100$ $\varphi = 3000 / (l_0/i)^2$

donde:

Lo _ longitud libre del peón, cm

i _ radio inercial mínimo de la sección del peón, cm

Para el segundo caso o sea considerando una carga uniformemente distribuida por el techo y empuje lateral primeramente se halla la intensidad de la presión que actúa por el techo para lo que se usa la hipótesis de Tsimbarievich.

$$q = b_1 \cdot \delta \cdot L, \text{ kgf/m}.$$

donde:

b_1 - altura de la bóveda de destrucción, m

$$b_1 = \frac{a_1}{f}$$

a_1 - semiancho de la zona de destrucción por el techo, m

f - coeficiente de fortaleza de la roca

δ - peso volumétrico de la roca, kg/m^3

Conocida la intensidad de la carga actuante es posible hallar el momento flector máximo (M_{fmax}):

$$M_{fmax} = \frac{q(2a)^2}{8}, \text{ kgf/m}$$

Con este valor se puede hallar el momento de resistencia (W) del sombrero concluyéndose el cálculo como en el caso anterior.

En este caso el cálculo de los peones se hace considerando una carga longitudinal y una transversal por la siguiente expresión:

$$\frac{P}{F\varphi} \pm \frac{M'_{fmax}}{W} \leq [\theta c]$$

donde:

p _ fuerza axial de compresión, kgf, su valor se calcula por la expresión

$$P = \frac{q \cdot l}{2 \cos \alpha} \text{ para la sección trapezoidal y } p = \frac{q \cdot l}{2} \text{ para sección rectangular.}$$

L _ ancho de la excavación por el techo

$$M'_{fmax} = \frac{Pl \cdot C \cdot d}{l'} \cos \alpha$$

donde :

Pl _ fuerza lateral que se puede hallar por la expresión:

$$Pl = \frac{\zeta l}{2} (2h_0 + h) \cdot h T g^2 \frac{(90^\circ - \theta l)}{2}$$

C y d _ brazos de la aplicación de la fuerza Pl, cm

L´ _ longitud real del peón, cm

θl _ peso volumétrico de las rocas laterales, kg/cm³

h _ altura de la excavación, cm

Pl _ ángulo de fricción interna de las rocas laterales, grados

h0 _ altura referida al peso volumétrico de las rocas laterales.

$$h0 = h \frac{\zeta r}{\zeta L}$$

Con respecto al cálculo del encamado o revestimiento este se realiza como el de una viga que descansa en 2 apoyos (los 2 sombreros contiguos) y va a soportar una carga una carga uniformemente distribuida

La carga (p) uniformemente distribuida se puede calcular por la expresión:

$$P = b * \sigma \zeta$$

Aquí para el caso de carga parabólica se debe de tomar el valor de b máximo o sea el que corresponde al centro de la parábola.

Conociendo la carga (p) el valor del espesor del encamado se puede hallar por la expresión:

$$C_0 = KL \sqrt{\frac{p * n}{[\sigma_f]}}$$

Donde:

K – Coeficiente que tiene en cuenta la forma del elemento

n – Coeficiente de sobrecarga; se toma = 1,2

$[\sigma_f]$ - resistencia a la flexión de la madera usada, Kgf/ cm²

1.2.2.2 Fortificación metálica.

Esta fortificación esta muy difundida ya que es resistente, duradera, se puede emplear para cualquier forma de sección, sus elementos pueden usarse reiteradamente y exige menos trabajo de mantenimiento.

La fortificación metálica puede construirse rígida, de charnela y flexible. La fortificación rígida se usa con las siguientes formas: de cuadro trapezoidal, arqueada circular y de blindas.

La fortificación charnela puede ser anular y circular con un número de charnelas que va de 2 a 7, siendo la más utilizadas las de 2, 3 y 4 charnelas.

La fortificación flexible se hace con perfiles especiales y se usan dos tipos de nudos de flexibilidad, el de deslizamiento y el de espárrago.

En la actualidad para la preparación de la fortificación metálica se usan fundamentalmente los perfiles especiales del tipo de 17, 22 y 27 Kg/m.

A manera de ilustración se procede a desarrollar algunas metodologías de cálculo de diferentes tipos de fortificaciones metálicas.

1.2.2.3 Cálculo de la fortificación metálica de sección trapezoidal.

Aquí se puede suponer, como en el cálculo de la fortificación trapezoidal, dos casos, o sea carga solo por el techo con una distribución parabólica y carga por el techo (con distribución uniforme) y por los lados.

Se procede igual que en caso de la fortificación de madera hasta hallar el valor del momento de resistencia del elemento que sirve de sombrero y entonces, conociendo el tipo de perfil que se va usar (si es acanalado, T T, especial) se va ala tabla y se toma el perfil que satisfaga las exigencias. Para los peones y revestimiento se procede de forma análoga a la estudiada en la fortificación madera.

Cálculo de la fortificación metálica arqueada rígida.

Para el cálculo de esta fortificación se considera que ella va estar sometida por el techo a la sección de una carga de intensidad (q) uniformemente distribuida.

Las reacciones de los apoyos serian:

$$R_A = R_B = \frac{ql}{2}$$

Y el empuje lateral (H) se pude hallar por la expresión:

$$H = \frac{ql_2}{8f_0}$$

donde:

$$f_0 = h + R$$

Para hallar el momento flector máximo que se produce, se calcula previamente el momento flector que tienen lugar en una sección D situada a una distancia X del eje vertical y a una distancia Y del eje horizontal, o sea:

$$M_f = \frac{ql}{2} \left(\frac{1}{2} - X \right) - \frac{q}{2} \left(\frac{1}{2} - X \right)^2 - HY$$

Sustituyendo los valores de Y y H por las expresiones:

$$H = \frac{ql^2}{8f_0}$$

$$Y = R^2 - X^2 + h$$

se obtiene:

$$M_f = \frac{ql}{2} \left(\frac{1}{2} - X \right) - \frac{q}{2} \left(\frac{1}{2} - X \right)^2 - \frac{ql^2}{8f_0} (R^2 - X^2 + h)$$

Tomando la primera derivada de M con respecto a X e igualándola a cero se obtiene el valor de X_0 para el cual el momento flector será máximo.

$$\frac{dM_f}{dX} = 0$$

Se obtiene:

$$X_0 = \sqrt{R^2 - \frac{l^4}{64f_0^2}}$$

Y correspondientemente:

$$Y_0 = \sqrt{R^2 - X_0^2 + h}$$

Sustituyendo en la ecuación de momentos los valores de X_0 e Y_0 que corresponden a la sección más peligrosa se obtienen la expresión de cálculo del momento flector máximo:

$$M_{f_{max}} = \frac{ql}{2} \left(\frac{1}{2} - X \right) - \frac{q}{2} \left(\frac{1}{2} - X \right)^2 - HY_0$$

De ahí es posible ir conociendo el tipo de acero y perfil, calcular el número de perfil que se necesita por la expresión:

$$W = \frac{M_{fmax}}{\sigma_t}$$

1.2.2.4 Cálculo de la fortificación metálica arqueada de 3 charnelas.

Como datos para el cálculo de esta fortificación se tienen su ancho (l) por la base, la altura de sus apoyos (h) y el radio(R) de la parte abovedada.

Aquí se tienen en cuenta 2 casos:

- Carga uniformemente distribuida por el techo.
- Carga uniformemente distribuida por el techo y lados.

Para el primer caso: se tiene que (q) es una carga que solo actúa por el techo. Se determinan las reacciones de apoyo.

$$R_A = R_B = \frac{ql}{2}$$

Y luego tenemos que:

$$M_C = R_a \frac{1}{2} - q \frac{1}{2} * \frac{1}{4} * Hf_0 = 0$$

donde: (H) es el valor del empuje.

siendo:

$$f_0 = h + R$$

Sustituyendo el valor obtenido de R_a y despejando H se obtiene:

$$H = \frac{ql^2}{8f}$$

Igual resultado se alcanza tomando la suma de los momentos producidos por las fuerzas situadas a la derecha de la charnela (C).

Para hallar los momentos que se producen en la parte arqueada de la fortificación se toma una sección D cualquiera, situada a una distancia X del apoyo A y se halla el valor de los momentos situados a la izquierda de dicha sección:

$$M_D = V_A * X - q * x * \frac{x}{2} - H (y + h)$$

siendo:

y – distancia entre la sección D y la base de la parte arqueada poniendo los valores de X e Y en función de R y γ se obtiene:

$$X = R(1 - \cos\alpha) \quad Y = R \operatorname{sen}\alpha$$

$$M_D = \frac{ql}{2} * R(1 - \cos\alpha) - \frac{qR^2}{2} (1 - \cos\alpha)^2 - H(h + R\operatorname{sen}\alpha)$$

Aquí se le da distintos valores al ángulo α , en los apoyos el momento surge a causa del empuje (H) y varía según una ley lineal desde $M = H * h$.

La fuerza cortante Q en la sección D será igual a la suma de las proyecciones, de todas las fuerzas situadas a la izquierda de D, sobre el eje de las fuerzas al cortante.

$$Q_D = V_a \cos\varphi - q * x \operatorname{sen}\varphi - H\operatorname{sen}\varphi$$

Sustituyendo los valores

$$Q_D = \frac{ql}{2} \cos\varphi - qR(1 - \cos\alpha)\cos\varphi - H\operatorname{sen}\varphi$$

Conociendo que $\varphi = 90 - \alpha$ y dándole valores a φ se obtienen los valores de Q para la parte izquierda del arco. Para la parte derecha del arco se tiene:

$$Q_D = \frac{ql}{2} \cos\varphi + qR(1 - \cos\alpha)\cos\varphi + H\operatorname{sen}\varphi$$

Y dándole valores a φ ó α se obtendrán los valores de Q.

La fuerza cortante (Q) en los apoyos será igual al empuje (H), o sea:

$$Q = H$$

La fuerza normal (N) en la sección (D) es igual a la suma de las proyecciones de todas las fuerzas situadas a la izquierda de D sobre el eje N.

$$\overleftarrow{N}_D = -V_A \operatorname{sen}\varphi + qx \operatorname{sen}\varphi - H \cos\varphi$$

$$N_D = -\frac{ql}{2} \operatorname{sen}\varphi + q * R(1 - \cos\alpha)\operatorname{sen}\varphi - H \cos\varphi$$

Dándole valores a φ ó α obtenemos el valor de N para la parte izquierda del arco, pero debido a la simetría será igual para la parte derecha. En los apoyos el valor de la fuerza normal será igual a la reacción de los apoyos, o sea:

$$N = R_A + R_B$$

Una vez calculado los valores de M, Q y N podemos, conociendo el tipo de perfil que se va usar y la marca del acero, se pasa a elegir el número de perfil; para ello se usa la expresión:

$$\frac{M_{fmax}}{W} = [\mu_f]$$

El momento flector máximo se va a producir en la sección en que las fuerzas al cortante Q es cero. El perfil de debe comprobar teniendo en cuenta la fuerza normal (N) para la cual se usa la expresión:

$$\pm \frac{M_{fmax}}{W} - \frac{N}{F} \leq [\sigma_f]$$

De no cumplirse esta condición es necesario aumentar el perfil hasta que se cumpla.

1.2.2.5 Cálculo de la fortificación metálica arqueada flexible

Aquí, igual que en caso anterior, se supone que la fortificación va a recibir una carga vertical de intensidad (q) uniformemente distribuida. Las reacciones de los apoyos se calculan por la expresión:

$$R_A = R_B = \frac{ql}{2}$$

y el empuje lateral en este caso se halla por la formula:

$$H = \frac{ql^2}{8f_o} - \frac{Q}{f_o}$$

Siendo:

Q – magnitud elástica de empuje de las rocas laterales se obtienen por la expresión:

$$Q = K_s \frac{q}{100}$$

Siendo K_s - el coeficiente de empuje de las rocas laterales que depende de la sección de la excavación.

El momento flector que se produce en una sección D del arco será:

$$M_f = \frac{ql}{2} \left(\frac{1}{2} - X \right) - \frac{q}{2} \left(\frac{1}{2} - X \right)^2 - H_y - Q'(y - h)$$

Para hallar el momento flector máximo se necesita primero hallar las coordenadas (X_0, Y_0) de la sección en que el se produce. Para ello se sustituye el valor de Y por:

$$Y_0 = h + \sqrt{R^2 - X_0^2}$$

Y se deriva la expresión con respecto a X i se iguala a esta primera derivada a cero.

Se obtiene que:

$$X_0 = \sqrt{\frac{q^2 R^2 - (H + Q')^2}{q^2}}$$

e

$$Y_0 = \sqrt{R^2 - X_0^2} + h$$

Por lo que:

$$M_{fmax} = \frac{ql}{2} \left(\frac{1}{2} - Y_0 \right) - \frac{q}{2} \left(\frac{1}{2} - X_0 \right)^2 - H Y_0 - Q(Y_0 - h)$$

Y el número de perfil necesario lo hallamos por la expresión:

$$W \geq \frac{M_{fmax}}{[\sigma_t]}$$

Encontrando el esfuerzo axial en la sección peligrosa por la expresión:

$$N_{x0} = \frac{ql X_0}{2 R} + q \left(\frac{1}{2} - X_0 \right) - H \frac{Y_0 - h}{R} - Q \frac{Y_0 - h}{R}$$

Se puede determinar la tensión real en la sección más peligrosa.

$$\sigma = \frac{M_{fmax}}{W} \pm \frac{N_{x0}}{F} \leq [\sigma_t]$$

1.2.2.6 Fortificación de hormigón

Es una fortificación continua que recubre totalmente el techo y los lados de las excavaciones y en ocasiones el piso. Esta fortificación casi siempre consta de cimientos, paredes y de la bóveda, ya que habitualmente esta es de la forma que se le da a la sección de la excavación debido a que con ello se logra que el hormigón trabaje a compresión. La bóveda puede ser circular y con altura disminuida o aumentada.

Habitualmente la forma de la bóveda viene dada por la relación entre su altura (h_0) y su ancho en la base (L); si así se tiene que en el caso de la bóveda circular $h_0 = \frac{L}{2}$; en la disminuida $h_0 < \frac{L}{2}$ y en la aumentada $h_0 > \frac{L}{2}$.

Muy usada en la práctica es la altura de la bóveda $h_0 = \frac{L}{3}$ en rocas de fortaleza entre 4 y 10.

En caso de rocas fuertes (valores de $f > 9$) y excavaciones estables se permite utilizar para excavaciones maestras bóvedas disminuidas con una relación altura-ancho de $h_0 = \frac{L}{4}$ a $\frac{L}{6}$.

Según la experiencia práctica se obtiene que el espesor de esta fortificación y en particular el de la parte abovedada oscile entre 20 y 50 cm

1.2.3 Antecedentes.

Como antecedentes de este tipo de aplicación se cuenta con un software desarrollado en nuestro centro por parte de un diplomante de la carrera de minería llamado *Aplicación de métodos computarizados en el proyecto de cálculo de las fortificaciones subterráneas horizontales*. Este software constituye el único desarrollado por una institución educacional civil en Cuba, puesto que las instituciones docentes de las FAR cuentan con softwares similares para impartir los cursos a los ingenieros en fortificaciones y debido a limitantes obvias no se pudo tener acceso a los mismos.

1.2.3.1 Sistemas automatizados existentes vinculados al campo de acción

Con el desarrollo de las nuevas tecnologías el universo de información ha crecido exponencialmente, provocando que los especialistas se vean en la necesidad de hacer uso cada vez más frecuentes de las ventajas que nos brindan los sistemas informáticos en los cálculos de las fortificaciones subterráneas y en la solución de problemas de estos tipos.

En la actualidad no existe software especializado únicamente en el cálculo de sostenimientos; a no ser un software llamado Aplicación de métodos computarizados en el proyecto de cálculo de las fortificaciones subterráneas horizontales, desarrollado en nuestro propio instituto, a excepción de este y la propuesta a desarrollar todos se enmarcan globalmente dentro de la minería; entre estos software están: DIPS , UNWEDGE , SOSTENIM , PHASES , SWEDGE y uno de los más empleados y populares es el FLAC. Este es un software que permite incorporar y analizar los comportamientos no lineales de una estructura conformada por materiales geológicos, simular la presencia de fortificaciones y evaluar cómo estas resistirán a las situaciones que pueden verse expuestas.

FLAC es un poderoso programa de moldeamiento bidimensional de medios continuos, para suelos, rocas y comportamiento estructural. Usado interactivamente o en modo de archivo de datos, es una poderosa herramienta de diseño y análisis general para ingenieros geotécnicos, civiles y de minas, que puede ser aplicada a una amplia variedad de de problemas en estudios de ingeniería.

El método de diferencia finitas explícito utilizado por FLAC, lo hace idealmente apropiado para modelar problemas geomecánicos que consisten en varias etapas, tales como excavaciones secuenciales, rellenos y cargas de diversa naturaleza. El método puede aceptar grandes desplazamientos, deformaciones y comportamiento no lineal del material, aún cuando el fallamiento abarque una gran área. El programa trae incorporado un lenguaje de programación desarrollado por Itasca, que permite agregar capacidades de análisis y procesamiento de los modelos acorde con los requerimientos específicos de los diversos usuarios.

La más reciente incorporación a la familia de software geomecánico de Itasca es el programa FLAC/Slope, el cual constituye un modelador de propósito especial diseñado para realizar

cálculos de factor de seguridad en análisis de estabilidad de taludes. FLAC/Slope se encuentra disponible desde Enero del 2002 y es incluido como parte de la licencia de FLAC estándar. Todos estos software anteriormente mencionados y vinculados con el campo de acción proponen el calculo de los sostenimientos a partir del estudio de la estabilidad de la roca circundante a la excavación, pero la principal ventaja de la implementación de el software propuesto es que el usa solo la presión minera para efectuar el cálculo.

1.3 Tendencias relativas sobre tecnologías de cómputo contemporáneas.

1.3.1 Python como lenguaje de programación.

Los lenguajes de programación son el alma de las soluciones informáticas en todos los tiempos pues no solo determinan aspectos cruciales para un producto como eficiencia, velocidad, tamaño, amigabilidad en sus interfaces, sino que sus características propias como lenguajes llegan a determinar muchas veces las propias potencialidades y limitaciones de las aplicaciones que sobre ellos se desarrollan; la forma en qué evolucionarán para dar paso a nuevas o mejores prestaciones, etc. Pero como resultado de la propia adaptación del fenómeno de la programación y modelación computacional de problemas muy diversos, se ha generado una explosión en diversidad y estilo de lenguajes de programación, algunos que vendrían a ser si miramos de manera equivalente en la vida práctica como dialectos de idiomas originales, aunque constantemente estén también apareciendo nuevos y muy originales lenguajes de programación.

Es por todo esto que en la actualidad es un problema en sí misma la selección de la herramienta lingüística sobre la cual desarrollar la solución informática. Aun siendo el problema muy específico y raro (que no es el caso) pueden aparecer varios buenos candidatos.

¿Cuál sería el adecuado entonces para la solución que acá se intenta obtener?

Sin grandes comparaciones ni molestas e ineficaces justificaciones, en nuestro caso se tomó a Python por ser un lenguaje imperativo de muy alto nivel, de propósito general, orientado a objetos, con una sintaxis clara y simple, multiplataforma, debido a que es interpretado sobre máquina virtual, siéndolo así también sus soluciones visuales sobre TKinter (aunque tiene

bibliotecas para otras muchas plataformas) la sencilla tecnología que permite IGUs simples y poderosas, además de ser de tipo GPL (software libre) y debido a la gran cantidad de librerías embebidas que atacan casi cualquier problema a informatizar.

De cualquier manera es bueno abundar en las características, bondades y desventajas del lenguaje en cuestión.

1.3.1.1 Características y paradigmas de Python.

Python es un lenguaje de programación multiparadigma. Esto significa que más que forzar a los programadores a adoptar un estilo particular de programación, permite varios estilos: programación orientada a objetos, programación estructurada y programación funcional. Otros muchos paradigmas más están soportados mediante el uso de extensiones. Python usa tipo de dato dinámico y contadores de referencias para el manejo de la memoria y el control de la basura en tanto es un lenguaje donde no se declaran tipos explícitamente, aunque sí es fuertemente tipado.

Una característica importante de Python es la resolución dinámica de nombres, lo que enlaza un método y un nombre de variable durante la ejecución del programa (también llamado ligadura dinámica de métodos).

Otro objetivo del diseño del lenguaje era la facilidad de extensión. Nuevos módulos se pueden escribir fácilmente en C o C++. Python puede utilizarse como un lenguaje de extensión para módulos y aplicaciones que necesitan de una interfaz programable. Aunque el diseño de Python es de alguna manera hostil a la programación funcional tradicional del Lisp, existen bastantes analogías entre Python y los lenguajes minimalistas de la familia del Lisp como puede ser Scheme.

1.3.2 Metodologías para el desarrollo de Sistemas Informáticos.

Unified Modeling Language (UML) o Lenguaje Unificado de Modelado es un lenguaje de modelado visual que se usa para especificar, visualizar, construir y documentar artefactos de un sistema de software. Se usa para entender, diseñar, configurar, mantener y controlar la información sobre los sistemas a construir.

UML capta la información sobre la estructura estática y el comportamiento dinámico de un sistema. Un sistema se modela como una colección de objetos discretos que interactúan para realizar un trabajo que finalmente beneficia a un usuario externo. El lenguaje de modelado pretende unificar la experiencia pasada sobre técnicas de modelado e incorporar las mejores prácticas actuales en un acercamiento estándar. UML no es un lenguaje de programación. Las herramientas pueden ofrecer generadores de código de UML para una gran variedad de lenguaje de programación, así como construir modelos por ingeniería inversa a partir de programas existentes. Es un lenguaje de propósito general para el modelado orientado a objetos. UML es también un lenguaje de modelamiento visual que permite una abstracción del sistema y sus componentes.

Objetivos del UML

- ✓ UML es un lenguaje de modelado de propósito general que pueden usar todos los modeladores. No tiene propietario y está basado en el común acuerdo de gran parte de la comunidad informática.
- ✓ UML no pretende ser un método de desarrollo completo. No incluye un proceso de desarrollo paso a paso. UML incluye todos los conceptos que se consideran necesarios para utilizar un proceso moderno iterativo, basado en construir una sólida arquitectura para resolver requisitos dirigidos por casos de uso.
- ✓ Ser tan simple como sea posible pero manteniendo la capacidad de modelar toda la gama de sistemas que se necesita construir. UML necesita ser lo suficientemente expresivo para manejar todos los conceptos que se originan en un sistema moderno, tales como la concurrencia y distribución, así como también los mecanismos de la ingeniería de software, como son la encapsulación y el manejo de componentes.
- ✓ Debe ser un lenguaje universal, como cualquier lenguaje de propósito general.
- ✓ Imponer un estándar mundial.

1.3.2.1 Fundamentación de la metodología a utilizar para el modelado.

Existen varias metodologías que usan el lenguaje UML para indicar el camino a seguir para el desarrollo de sistemas de informáticos las cuales han ido evolucionando. Algunas de

ellas son: OMT, XP, Microsoft Solution Framework, OBJECTORY, BOOCH, RUP y AUP. Para el desarrollo de este proyecto hemos tomado en consideración utilizar algunos diagramas de la metodología de Proceso Unificado del Racional (RUP) para el cual se hace una caracterización a continuación. Los aspectos que definen el Proceso Unificado se resumen en tres frases claves:

- ✓ Dirigido por casos de uso
- ✓ Centrado en la arquitectura
- ✓ Iterativo e incremental

Un **caso de uso** es un fragmento de funcionalidad del sistema que proporciona al usuario un resultado importante. Los casos de uso representan los requisitos funcionales. Todos los casos de uso juntos constituyen el **modelo de casos de uso** que describe la funcionalidad total del sistema.

Los casos de uso guían el proceso entero de desarrollo.

La **arquitectura del software** es una vista del diseño completo con las características más importantes resaltadas, dejando los detalles de lado.

Cada producto tiene una función y una forma. Ninguna es suficiente por sí misma, debiendo interactuar entre ellas y evolucionar en paralelo. La función corresponde a los casos de uso y la forma a la arquitectura. Para encontrar la forma, la arquitectura, los arquitectos deben trabajar sobre la comprensión de los casos de uso claves que vienen a suponer entre el 5 y el 10 por ciento del total de casos de uso.

El Proceso Unificado es iterativo e incremental lo que supone dividir el proyecto en pequeñas partes denominadas mini-proyectos. Cada mini-proyecto es una iteración que genera un incremento. Las iteraciones hacen referencia a pasos en el flujo de trabajo y los incrementos al crecimiento del producto. Las iteraciones deben ser controladas, deben ser seleccionadas y ejecutarse de forma planificada. Por estas razones son consideradas mini-proyectos.

Una iteración trata un conjunto de casos de uso que amplían la utilidad del producto desarrollado hasta ese momento. Cada iteración gestiona los riesgos identificados más importantes. Este proceso iterativo trae como beneficios:

- ✓ Reduce el riesgo a los costes de un solo incremento.

- ✓ Reduce el riesgo de no sacar el producto en plazo.
- ✓ Los trabajadores son más eficientes al trabajar para obtener resultados a corto plazo.
- ✓ Buena adaptación a los requisitos cambiantes.

La **arquitectura** proporciona la estructura sobre la que guiar las **iteraciones**, mientras que los **casos de uso** definen los objetivos y dirigen el trabajo de cada **iteración**.

- ✓ El Proceso Unificado se repite a lo largo de una serie de ciclos que constituyen la vida de un sistema. Cada ciclo concluye con una nueva versión del producto. El producto terminado incluye los requisitos, casos de uso, especificaciones no funcionales, casos de prueba, código fuente incluido en componentes ejecutables, manuales, el modelo de arquitectura y el modelo visual (modelos UML).

1.3.2.2 Descripción de las fases del ciclo

Cada ciclo consta de cuatro fases: Inicio, Elaboración, Construcción y Transición.

Cada fase, a su vez, se subdivide en iteraciones. Cada fase debe terminar en un hito que contemple la disponibilidad de ciertos modelos o documentos. El hito implica la toma de decisiones. Una iteración típica dentro de una fase pasa por los siguientes flujos de trabajo:

- ✓ Requisitos
- ✓ Análisis
- ✓ Diseño
- ✓ Implementación
- ✓ Prueba

1.3.2.2.1 Fase de INICIO

- ✓ Se desarrolla una descripción del producto final y se presenta el análisis de negocio para el producto.
- ✓ Se construye un modelo de casos de uso simplificado.
- ✓ Se esbozan los subsistemas más importantes lo que origina una arquitectura provisional.

- ✓ Se identifican los riesgos más importantes.
- ✓ Se planifica la fase de ELABORACIÓN.
- ✓ Se estima el proyecto de manera aproximada.

1.3.2.2.2 Fase de ELABORACIÓN

- ✓ Se especifican en detalle la mayoría de los casos de uso del producto.
- ✓ Se diseña la arquitectura del sistema a través de vistas de todos los modelos del sistema (análisis, diseño, implementación y despliegue), obteniéndose una línea base de la arquitectura.
- ✓ Se realizan los casos de uso más críticos identificados en la **Fase de INICIO**.
- ✓ El jefe del proyecto ya está en disposición de planificar y estimar los recursos necesarios para terminar el proyecto.

1.3.2.2.3 Fase de Construcción

- ✓ Se crea el producto.
- ✓ La línea base de la arquitectura crece hasta convertirse en el sistema completo.
- ✓ La descripción evoluciona hasta convertirse en un producto preparado para entregarse al usuario.
- ✓ Al final de esta fase, el producto contiene todos los casos de uso acordados con el usuario, aunque puede que no estén libres de defectos.
- ✓ Muchos de los defectos se descubrirán y solucionarán

1.3.2.2.4 Fase de TRANSICIÓN.

- ✓ Cubre el período en que el producto se convierte en versión beta.
- ✓ Los desarrolladores corrigen los defectos detectados e incorporan algunas mejoras.
- ✓ Esta fase conlleva a actividades de fabricación, formación a usuarios, corrección de defectos tras la entrega.

- ✓ El equipo de mantenimiento valora los defectos tras la entrega en dos categorías: los que tienen suficiente impacto para justificar una versión incrementada y los que pueden corregirse en la siguiente versión normal.

1.4 Conclusiones

En el presente capítulo se realiza un análisis completo de las tecnologías que serán utilizadas a lo largo del desarrollo del sistema propuesto, y se fundamentan las elecciones del lenguaje de programación, el sistema gestor de bases de datos, y la metodología a utilizar. Una vez conocidas las herramientas óptimas, y los conceptos a utilizar podemos empezar a desarrollar la propuesta de sistema.

Capítulo II: Modelo de dominio

2.1 Introducción

Haciendo un análisis de la descripción de los procesos realizada en el capítulo I, llegamos a la conclusión de que el negocio que se está estudiando tiene muy bajo nivel de estructuración, RUP propone para estos casos realizar un modelo del dominio; que no es más que una representación visual de las clases conceptuales u objetos del mundo real en un dominio de interés, por lo que permite mostrar al usuario los principales conceptos que se manejan en el dominio del sistema en desarrollo. Tal modelo no incluye las responsabilidades que llevan a cabo las personas.

En el presente capítulo se especificará lo siguiente:

1. Definición de entidades y los conceptos principales. Las cuales se definirán a partir de su símbolo, su intención, y su extensión.
 - ✓ Símbolo: Palabra que representa el concepto
 - ✓ Intención: La definición del concepto
 - ✓ Extensión: El conjunto de ejemplos a que se aplica el concepto
2. Diagrama del Modelo del Dominio.
3. Representación de los requerimientos funcionales y no funcionales del sistema.

2.2 Definición de las entidades y los conceptos principales

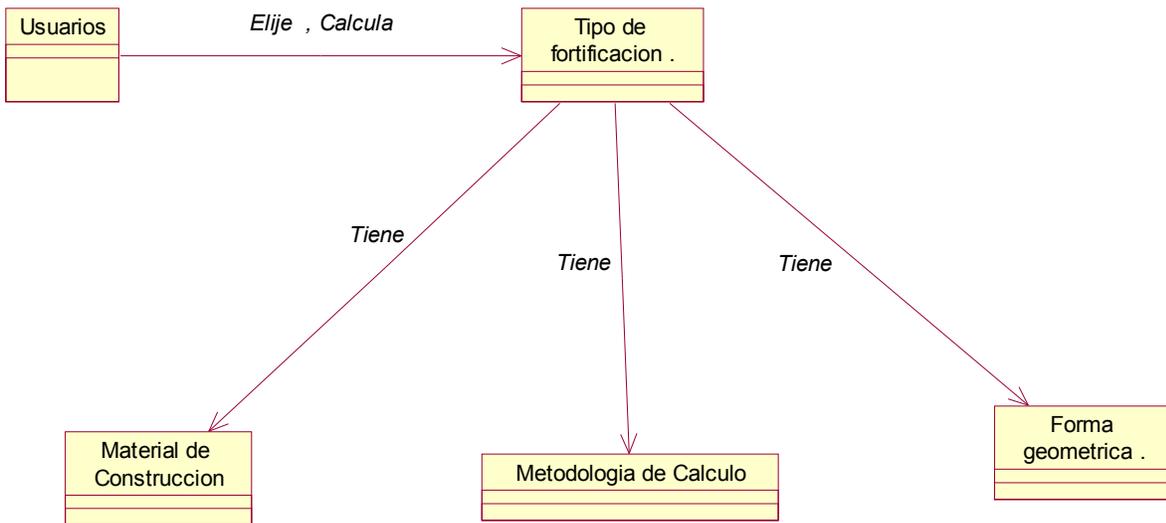
Tabla 1 Entidades y conceptos del dominio.

Símbolo	Intención	Extensión
Usuario	Se le denomina usuarios a todas aquellas personas que interactúan con el sistema.	Personas
Tipo de Fortificación	Se refiere al nombre específico de cada sostenimiento	Sostenimientos
Material de construcción	Se refiere específicamente a los Materiales que lleva cada sostenimiento.	Materiales

Metodologías de cálculo	Se refiere a una serie de pasos Lógicos para el desarrollo de los Sostenimientos.	Ecuaciones Matemáticas.
Forma geométrica	Se refiere a la forma que van a tomar los sostenimientos.	Geometría

2.3 Representación del modelo del dominio.

Figura 1 Diagrama del Modelo del Dominio.



2.4 Requerimientos Funcionales y no Funcionales del Sistema.

2.4.1 Requisitos Funcionales

Los requerimientos funcionales van a determinar el futuro comportamiento del sistema. Posteriormente estos requisitos serán modelados a través del diagrama de casos de uso del sistema.

El sistema cuenta con solo 3 requerimientos funcionales; que son los siguientes:

1. Captación de todos los datos de entrada del sistema
2. Calcular.
3. Mostrar resultado.
 - 3.1. Mostrar el resultado de la presión minera.
 - 3.2. Mostrar el resultado del momento flector máximo.
 - 3.3. Mostrar el resultado momento de tensión en el sombrero.
4. Guardar resultado.

2.4.2 Requisitos no Funcionales

Los requerimientos no funcionales son propiedades o cualidades que el producto debe tener. Debe pensarse en estas propiedades como las características que hacen al producto atractivo, usable, rápido o confiable.

2.4.2.1 Usabilidad.

El sistema podrá ser usado solo por personas que tengan conocimientos básicos en el manejo de la computadora y que cuenten con conocimientos mineros.

2.4.2.2 Apariencia o interfaz externa.

La interfaz debe ser sencilla y agradable a la vista del usuario final del producto.

La respuesta del sistema ha de ser rápida.

2.4.2.3 Rendimiento.

Esta aplicación debe tener un rendimiento óptimo. Debe ser rápida y el tiempo de respuesta debe ser el mínimo posible.

2.4.2.4 Portabilidad.

El sistema es multiplataforma, probado en Windows XP y LINUX.

2.4.2.5 Ayuda y documentación en línea.

El sistema cuenta con una opción de ayuda y un manual de usuario en versión digital, la cual guía al usuario en el funcionamiento del sistema.

2.4.2.6 Software

Se necesita tener instalado el Python versión 2.5.2 o superior aunque existen mecanismos para distribuir el software de manera autónoma sin que la máquina virtual del lenguaje esté instalado.

2.5 Conclusiones.

En este capítulo se realizó una descripción del funcionamiento del sistema representado por un modelo de dominio, así como se definieron los requerimientos funcionales y no funcionales del sistema propuesto, obteniéndose a partir del análisis de los procesos del dominio, la cual permitirá elaborar el Diagrama de Casos de Uso.

Capítulo III: Metodologías de desarrollo para el cálculo de las fortificaciones

3.1 Introducción

En el presente capítulo se emplearán algunos diagramas de UML y algunos aspectos que dentro de la metodología de ingeniería del software han sido empleadas, brindando así informaciones específicas para el correcto entendimiento de la solución propuesta. Se definirán los actores del sistema, se realizará una representación del diagrama de Casos de Uso con los que interactúa el usuario, así como también los componentes de la solución final: estructura de la aplicación y sus componentes lógicos (librerías, ficheros externos imprescindibles, directorios o carpetas, etc.), y se mostraran algunas de las principales metodologías de desarrollo para el cálculo de las fortificaciones.

3.2 Actores del sistema

Nombre del actor	Descripción
Usuario	Se le denomina usuario a todas aquellas personas que interactúan con el sistema.

Tabla 2. Definición del actor del sistema a automatizar

3.3 Diagramas de casos de uso del sistema

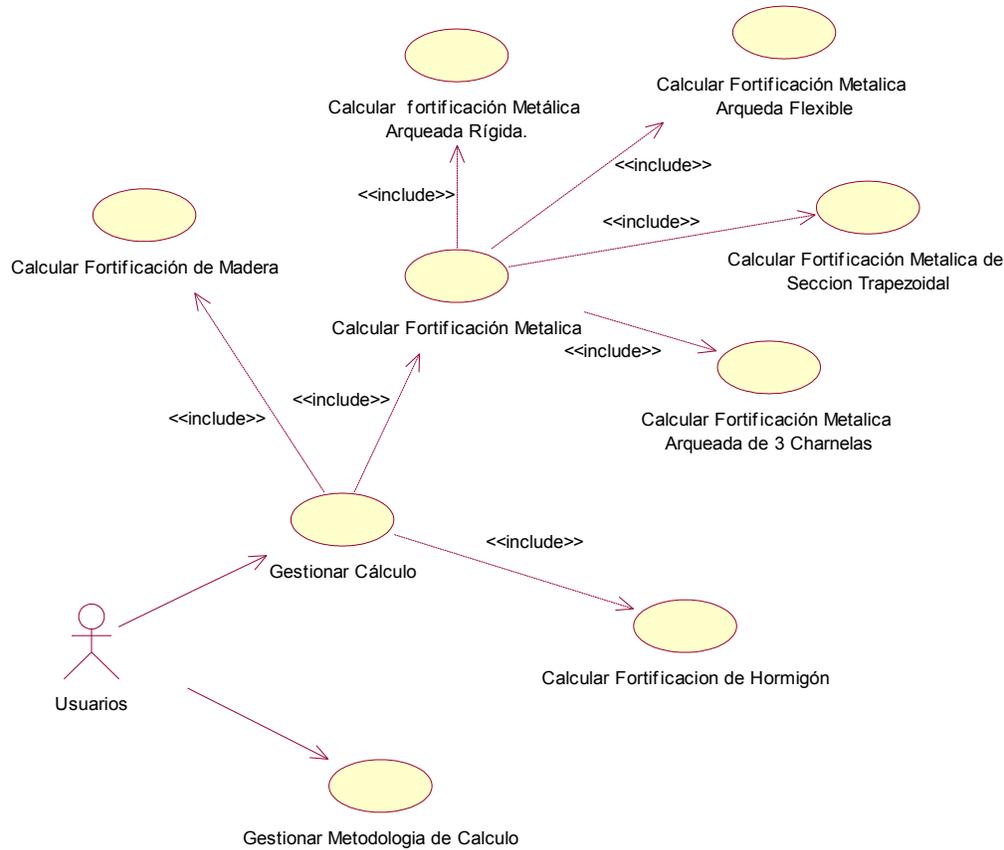


Figura 3.1 Diagrama de casos de uso del sistema.

3.4 Descripción de los casos de uso del sistema

Tabla 3. Descripción del caso de uso “Gestionar Cálculo”

Nombre del caso de uso	Gestionar Cálculo
Actores	Usuario (inicia)
Resumen	Este caso de uso lo inicia el usuario cuando decide el tipo de cálculo que va a efectuar.
Referencias	R1
Precondiciones	El usuario tiene que hacer una correcta elección Del cálculo que va a efectuar.

Pos condiciones	Queda seleccionado el cálculo para ser efectuado.
Requisitos especiales	Es necesario que se introduzcan todos los datos correctamente.

Tabla 4. Descripción del caso de uso “Gestionar Metodología de cálculo”

Nombre del caso de uso	Gestionar Metodologías de Cálculo
Actores	Usuario (inicia)
Resumen	Este caso de uso lo inicia el usuario cuando decide el tipo de metodología va a emplear.
Referencias	-
Precondiciones	El usuario tiene que hacer una correcta elección De la metodología a usar.
Pos condiciones	Queda seleccionada la metodología correcta para ser utilizada.
Requisitos especiales	Es necesario que la metodología de cálculo corresponda con el tipo de fortificación a emplear.

Tabla 5. Descripción del caso de uso “Calcular fortificación de madera”

Nombre del caso de uso	Calcular fortificación de madera
Actores	Usuario (inicia)
Resumen	Este caso de uso lo inicia el usuario cuando ha decidido que la madera es el material correcto para utilizar en la construcción del sostenimiento.
Referencias	R1
Precondiciones	El usuario tiene que hacer una correcta elección del material de construcción a usar.
Poscondiciones	Queda seleccionado el tipo de madera para ser utilizada.
Requisitos especiales	Es necesario que la madera y su capacidad portadora correspondan con el tipo de sección a emplear.

Tabla 6. Descripción del caso de uso “Calcular fortificación metálica”

Nombre del caso de uso	Calcular fortificación metálica
Actores	Usuario (inicia)
Resumen	Este caso de uso lo inicia el usuario cuando ha decidido que el metal es el material correcto para utilizar en la construcción del sostenimiento.
Referencias	R1
Precondiciones	El usuario tiene que hacer una correcta elección Del material de construcción a usar.
Poscondiciones	Queda seleccionado el tipo de metal y la forma de este para ser utilizado.
Requisitos especiales	Es necesario que el tipo de metal y su resistencia corresponda con el tipo de sección a emplear.

Tabla 7. Descripción del caso de uso “Calcular fortificación metálica arqueada flexible”

Nombre del caso de uso	Calcular fortificación metálica arqueada flexible
Actores	Usuario (inicia)
Resumen	Este caso de uso lo inicia el usuario cuando ha comprobado que la forma arqueada flexible es la idónea para utilizar en la construcción del sostenimiento.
Referencias	R1
Precondiciones	El usuario tiene que hacer una correcta elección del material de construcción a usar.
Poscondiciones	Queda seleccionado el tipo de metal y la forma de este para ser utilizado.
Requisitos especiales	Es necesario que el tipo de metal y su resistencia correspondan con el tipo de sección a emplear.

Tabla 8. Descripción del caso de uso “Calcular fortificación metálica arqueada rígida”

Nombre del caso de uso	Calcular fortificación metálica arqueada rígida
Actores	Usuario (inicia)
Resumen	Este caso de uso lo inicia el usuario cuando ha comprobado que la forma arqueada rígida es la idónea para utilizar en la construcción del sostenimiento.
Referencias	R1
Precondiciones	El usuario tiene que hacer una correcta elección del material de construcción a usar.
Poscondiciones	Queda seleccionado el tipo de metal y la forma de este para ser utilizado.
Requisitos especiales	Es necesario que el tipo de metal y su resistencia correspondan con el tipo de sección a emplear.

Tabla 9. Descripción del caso de uso “Calcular fortificación metálica sección trapezoidal”

Nombre del caso de uso	Calcular fortificación metálica de sección trapezoidal
Actores	Usuario (inicia)
Resumen	Este caso de uso lo inicia el usuario cuando ha comprobado que la forma geométrica de sección trapezoidal es la correcta para utilizar en la construcción del sostenimiento.
Referencias	R1
Precondiciones	El usuario tiene que hacer una correcta elección del material de construcción a usar.
Poscondiciones	Queda seleccionado el tipo de metal y la forma de este para ser utilizado.
Requisitos especiales	Es necesario que el tipo de metal, su resistencia y forma geométrica corresponda con el tipo de sección a emplear.

Tabla 10. Descripción del caso de uso “Calcular fortificación metálica arqueada de 3 charnelas”

Nombre del caso de uso	Calcular fortificación metálica arqueada de 3 charnelas.
Actores	Usuario (inicia)
Resumen	Este caso de uso lo inicia el usuario cuando ha comprobado que la forma arqueada de 3 charnelas es la correcta para utilizar en la construcción del sostenimiento.
Referencias	R1
Precondiciones	El usuario tiene que hacer una correcta elección De la forma y el material de construcción a usar.
Poscondiciones	Queda seleccionado el tipo de metal y la forma arqueada para ser utilizado.
Requisitos especiales	Es necesario que el tipo de metal, su resistencia y forma geométrica corresponda con el tipo de sección a emplear.

Tabla 11. Descripción del caso de uso “Calcular fortificación de hormigón”

Nombre del caso de uso	Calcular fortificación de hormigón.
Actores	Usuario (inicia)
Resumen	Este caso de uso lo inicia el usuario cuando ha comprobado que el hormigón es el material correcto para utilizar en la construcción del sostenimiento.
Referencias	R1
Precondiciones	El usuario tiene que hacer una correcta elección de la forma y el tipo hormigón a usar.
Poscondiciones	Queda seleccionado el tipo de hormigón y la forma de este para ser utilizado.
Requisitos especiales	Es necesario que el tipo de hormigón, su resistencia y forma corresponda con el tipo de sección a emplear.

3.5 Diseño de la Interfaz Gráfica con el Usuario (IGU)

El diseño de la IGU para Fortikal 1.00 es de una apariencia muy elemental en tanto el alcance predefinido para esta primera aproximación no permitía un desglose exhaustivo de posibilidades visuales, ni funcionales. También se tuvieron en cuenta las limitaciones que impone una herramienta de creación de IGUs como el Tkinter que sacrifica mucho de las potencialidades visuales propias de cada plataforma gráfica en pos de una uniformidad general debido a su carácter multisistema.

3.5.1 Ventana principal.

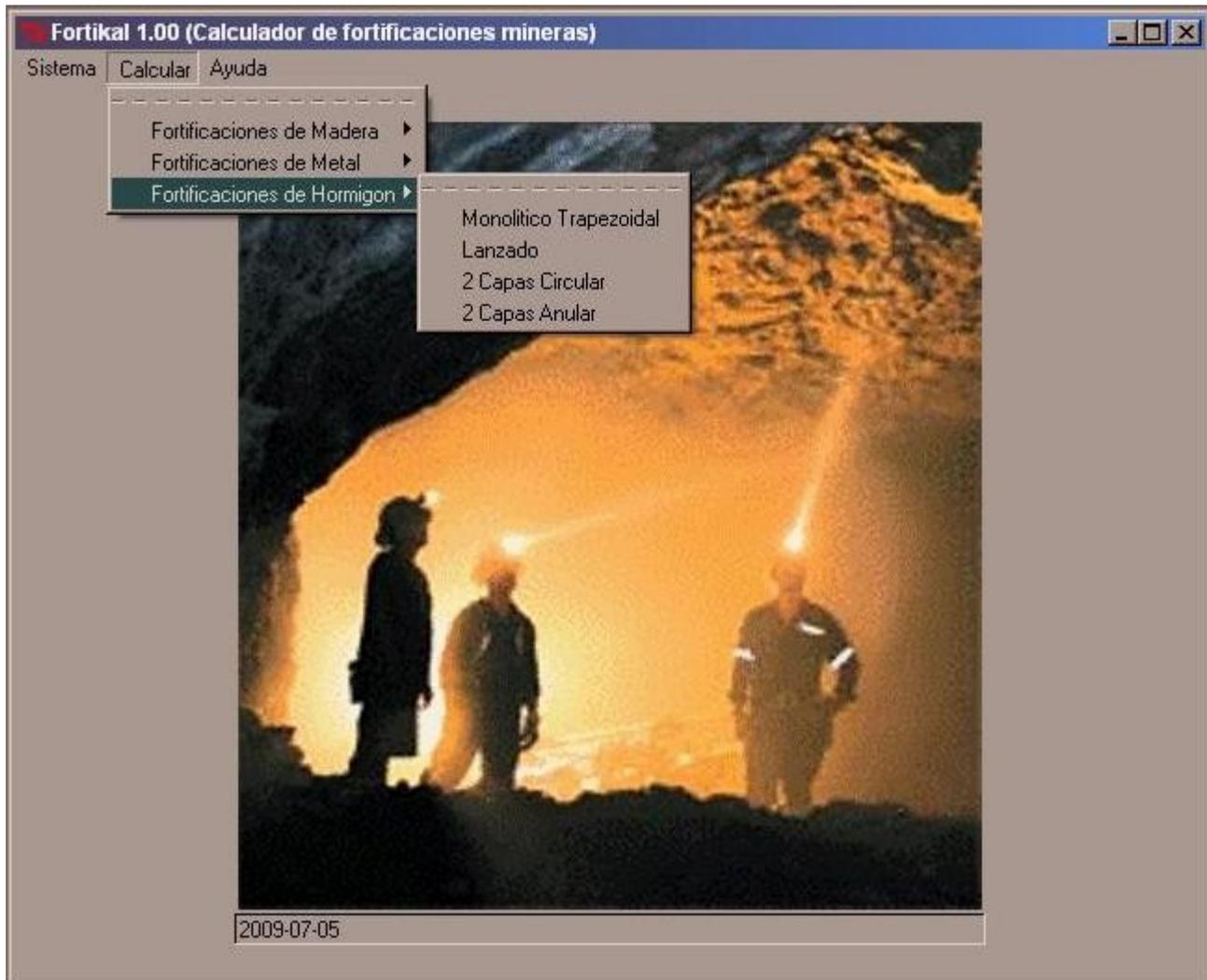


Figura 3.2 Ventana principal de la aplicación con uno de los submenús de cálculo desplegados.

La ventana principal del Fortikal 1.00 (ver figura 3.2) posee un menú de sistema de tres opciones:

- ✓ Sistema.
- ✓ Calcular.
- ✓ Ayuda.

Donde cada uno conduce a las principales variaciones de ventanas tipo diálogos y a otras opciones propias de cada menú.

A saber, se reconocen los siguientes tipos de diálogos del sistema:

1. Diálogos de mensajes de error, aviso e información.
2. Ventanas de manipulación de datos externos.
3. Ventanas de cálculo.

Veamos cada caso.

3.5.2 Diálogos de mensajes.

El esquema general de estos se corresponde en el caso más general con el de diálogo de Aviso o Warning en inglés (figura 3.3).



Figura 3.3. Ventana de diálogo tipo Aviso.

En la misma se reconoce un título, una imagen de logo, un mensaje textual y los botones de confirmación (Sí) o denegación (No).

3.5.2 Ventanas de manipulación de datos persistentes externos.

Este grupo de ventanas, accesibles desde las opciones correspondientes del menú **Sistema**, tienen, aparte de la titulación adecuada de la ventana, una serie evidente de características comunes:

- ✓ Un área de texto editable donde se carga el contenido actual del fichero de datos en cuestión para su visualización y edición por parte del usuario del sistema.
- ✓ Un área inferior de botones compuesto en el caso máximo por cuatro componentes:

- **Grabar:** Una vez comprobada la exactitud de los cambios hechos en los datos persistentes, los almacena en el fichero en cuestión. Luego cierra la ventana.
- **Revisar:** Revisa la sintaxis básica de los datos en el área editable.
- **Reiniciar:** Carga la versión inicial de los datos del fichero.
- **Cancelar:** Cierra la ventana sin hacer ningún cambio en el fichero.



Figura 3.4 Ventana de dialogo para la visualización y edición de datos persistentes de la madera.

El usuario deberá revisar en el manual las características sintácticas de los datos correspondientes a cada caso.

3.5.4 Ventanas de cálculo.

Para el diseño de las ventanas de cálculo tomemos como ejemplo el caso de la ventana de cálculo de madera con presión solo por el techo o Protodyakonov (figura 3.4).

En la misma aparte del titulo de identificación del material y tipo de fortificación a calcular en la barra de título, se aprecian dos áreas principales:

1. El formulario de entrada y salida de los datos.
2. El área de botones.

The screenshot shows a software window titled "Calculo Madera Protodiakonov". The interface is organized into several sections. At the top, there are input fields for "Semiancho laboreo de excavacion (cm)*", "Coeficiente de Fortaleza de la roca*", and "Masa volumetrica de la roca (kg/cm)". Below these is a label "Presion minera(Q)(kg/cm)=" followed by an input field. Next is "Distancia entre los cuadros de fortificacion (cm)*" with an input field. Then "Momento flector maximo(Mfmax)(kg* cm)=" with an input field. Below that is "Tipo de madera del sombrero*" with an input field. The next section is "Modulo de seccion del sombrero(W)(cm3)" with an input field. This is followed by a section titled "Escoja la forma del elemento del sombrero" which contains three radio buttons: "Redonda", "Cuadrada", and "Rectangular". Each radio button has associated input fields: "Diametro (cm)", "Espesor (cm)", "Largo (cm)", and "Espesor (cm)". Below this is another section titled "Escoja la forma del peon" with three radio buttons: "Redonda", "Cuadrada", and "Rectangular". Each has associated input fields: "Diametro del peon (cm)", "Espesor del peon (cm)", "Largo del peon (cm)", and "Espesor del peon (cm)". At the bottom of the window are four buttons: "Grabar", "Calcular", "Reiniciar", and "Cancelar".

Figura 3.5 Ventana de cálculo de madera con presión solo por el techo.

En la primera es fácil reconocer tres tipos de componentes básicos a la hora de entrar o mostrar información:

- ✓ **Componentes de entrada de valores alfanuméricos:** Son pares de etiquetas (Label) y de entradas de texto (Entry) unilineales que se reconocen por poder ser alterables y

que tienen un color más claro y el tipo de letra es la estándar para la plataforma¹ en cuestión.

- ✓ **Componentes de salida:** Son por lo general pares de etiquetas y entradas de texto donde ambas tienen el tipo de letra alterada para señalarlos a la vista del usuario y en el caso de las entradas de texto están desactivadas.
- ✓ **Componentes de selección:** Se implementan con radiobuttons y permiten elegir entre diversos flujos de cálculo o materiales o formas de los elementos de la fortificación.

Para el caso del área de botones siempre van a estar presentes:

- ✓ **Grabar:** Una vez realizada la operación de cálculo se le permite al usuario guardar todos los resultados y entradas en el fichero histórico y luego salir de la ventana.
- ✓ **Calcular:** Implementa la metodología de cálculo en cuestión y arroja los resultados en los componentes de salida. Si falla produce un mensaje de error.
- ✓ **Reiniciar:** Este botón conduce al vaciado de todas las entradas y salidas de información del formulario.
- ✓ **Cancelar:** Termina el trabajo con la ventana inmediatamente. No guarda resultados aunque se hayan hecho los cálculos.

3.6 Modelación y descripción de la forma de almacenamiento de los datos.

3.6 Modelación y Descripción de la forma de almacenamiento de los datos.

Haciendo un profundo análisis en el desarrollo de la solución propuesta para este trabajo se llegó a la conclusión que la forma idónea para almacenar los datos sería mediante ficheros de escritura y lectura debido a que la complejidad de los mismos no requieren de un sistema gestor de bases de datos a gran escala, lo que le daría una complejidad que no sería necesaria y de esta forma no se ajustaría a las exigencias del cliente; por lo que a continuación se muestra un diagrama donde se visualiza la interacción de dichos ficheros con la aplicación y se dará una breve explicación de cada uno de estos ficheros .

¹ Recuérdese que estos componentes visuales son exportables a varios sistemas operativos, teniendo en cada uno su representación estándar específica.

1. **Fichero de resistencia de compresión de la madera:** en dicho fichero se guardan todos los datos de resistencia de compresión de la madera que se emplea para el calculo de la fortificación a emplear de acuerdo con el tipo de madera ; puesto que estas tienen características específicas teniendo en cuenta la presión minera actuante y es solamente de lectura.
2. **Ficheros de los coeficientes de resistencia de los elementos metálicos:** En estos ficheros se guardan todos los datos necesarios para que la aplicación pueda ejecutar los cálculos de las fortificaciones metálicas cualquiera de sus variantes y en dependencia del tipo de perfil a usar y al igual que el anterior es de lectura.
3. **Fichero histórico:** en este fichero se van a guardar todos los resultados de los cálculos de las fortificaciones efectuados, con su nombre, fecha y resultado matemático y es de lectura.

3.6.1 Modelación de la forma de almacenamiento de los datos.

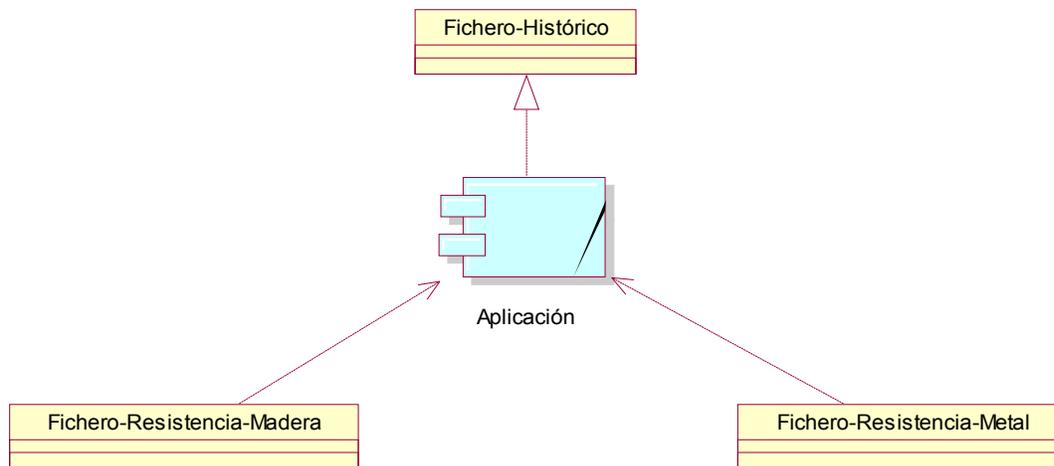


Figura 3.6 Modelo relacional entre los datos y la aplicación.

3.7 Algoritmos de desarrollo de las principales metodologías a implementar.

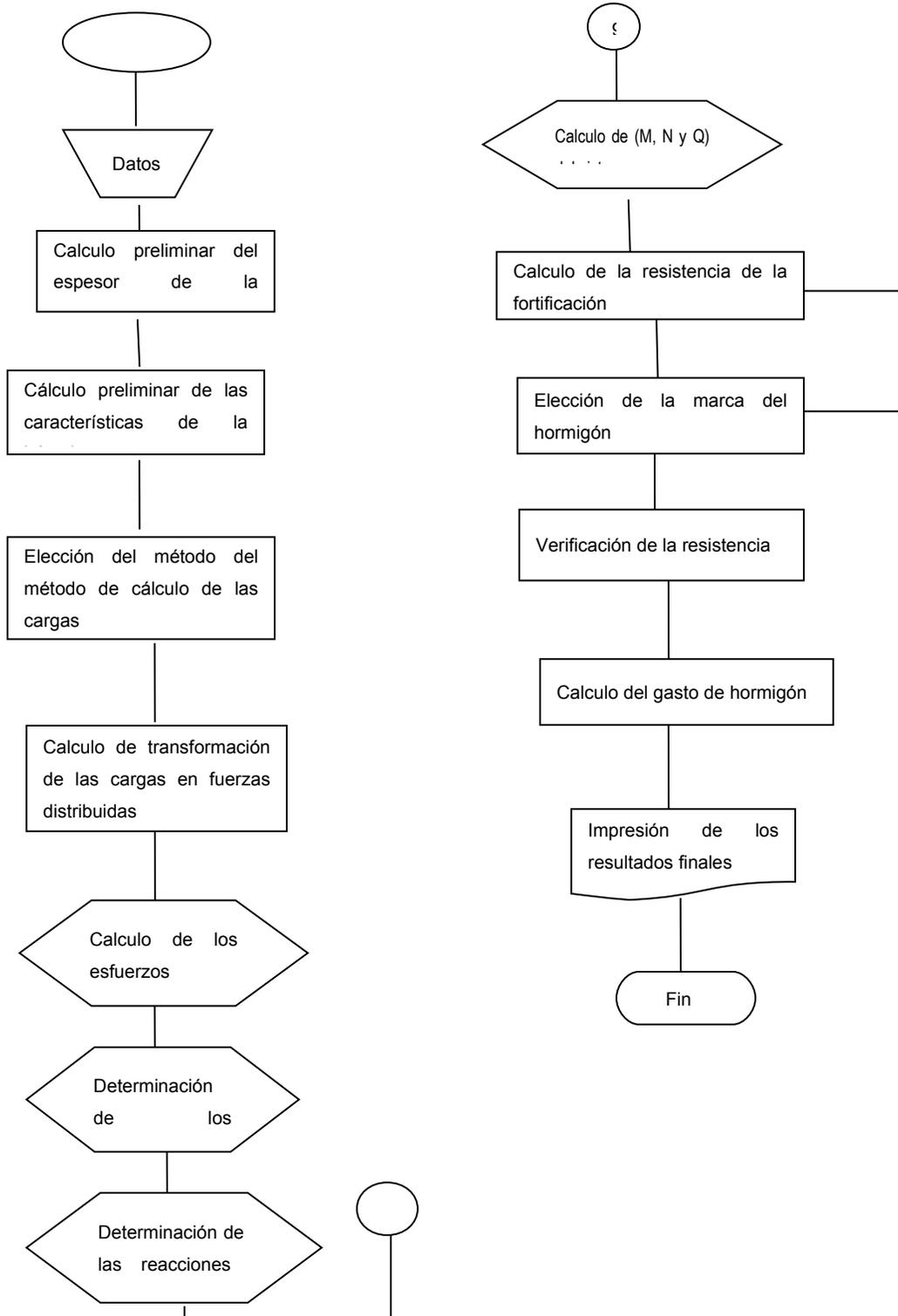
En general, los algoritmos de las distintas metodologías de cálculo son bastante simples y por lo regular lineales, es decir, primero se entran los datos se obtienen los resultados que juntos a otras entradas servirán para un nuevo cálculo y así hasta el final.

No se percibe por lo general otra estructura más compleja que la alternativa y esta de hecho es muy aislada.

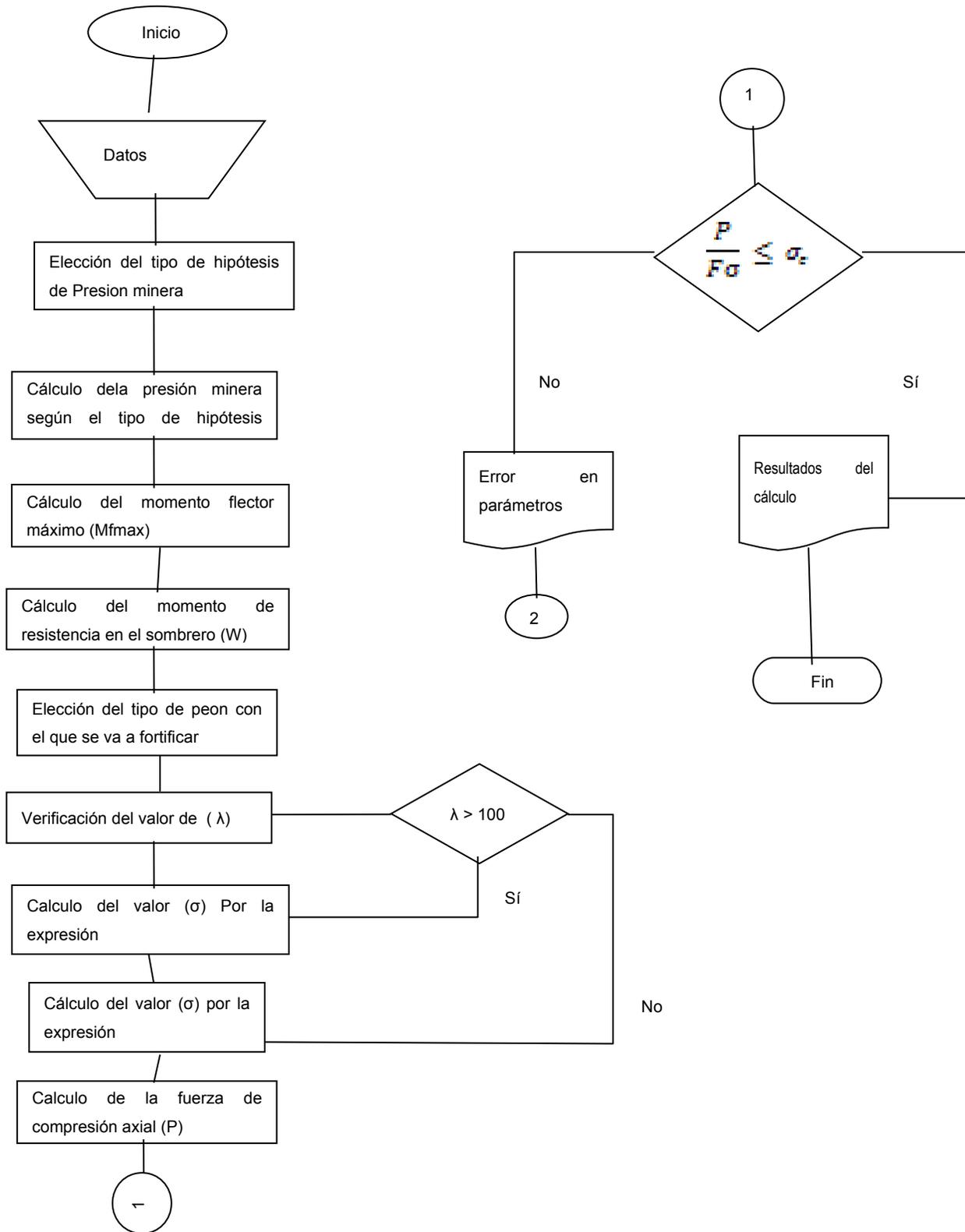
Por la relativamente alta cantidad de entradas se vuelve necesario a veces hacer conversiones y verificaciones de rango de los datos entrados, pero nada realmente creativo para un lenguaje como Python, previsto para casos más elaborados.

A continuación se exponen una versión en diagramas de flujo de algunos de los métodos de cálculo.

3.7.1 Algoritmo de desarrollo de la fortificación de hormigón.



3.7.2 Algoritmo de desarrollo de la fortificación de madera.



3.8 Conclusiones.

En este capítulo se ofrecen algunos aspectos que fueron utilizadas dentro de la metodología de ingeniería del software empleada, brindando informaciones específicas para el correcto entendimiento de la solución propuesta a partir del análisis. Se definió el actor del sistema, se modeló el Diagrama de Casos de uso que representa las funcionalidades del sistema, se definió el Diagrama de interacción de los ficheros con el sistema, las metodologías de cálculo de los diferentes tipos de fortificaciones.

Capítulo IV: Estudio de factibilidad

4.1 Introducción

Para el estudio de factibilidad de este proyecto se utilizará la Metodología Costo Efectividad (Beneficio), la cual plantea que la conveniencia de la ejecución de un proyecto se determina por la observación conjunta de dos factores:

- ✓ **El costo:** que involucra la implementación de la solución informática, adquisición y puesta en marcha del sistema hardware/software y los costos de operación asociados
- ✓ **La efectividad:** que se entiende como la capacidad del proyecto para satisfacer la necesidad, solucionar el problema o lograr el objetivo para el cual se ideó, es decir, un proyecto será más o menos efectivo con relación al mayor o menor cumplimiento que alcance en la finalidad para la cual fue ideado (costo por unidad de cumplimiento del objetivo).

4.2 Efectos económicos

- ✓ Efectos directos
- ✓ Efectos indirectos
- ✓ Efectos externos
- ✓ Intangibles

1Efectos directos:

Positivos:

- ✓ Se permitirá resolver problemas sobre el cálculo de fortificaciones en excavaciones subterráneas que son engorrosas realizar de forma manual.
- ✓ Se ganará en velocidad de computo agilizándose estos mediante la ayuda del ordenador mejorando grandemente el tiempo para solucionar cualquier tipo de cálculo .
- ✓ Se dejará de utilizar papel y lápiz para resolver estos tipos de cálculo.

Negativos:

- ✓ Para el empleo de la aplicación es imprescindible el uso de un ordenador, aparejado a los gastos que este trae de consumo de corriente eléctrica y mantenimiento.

Efecto Indirecto:

Los efectos económicos observados que pudiera repercutir sobre otros mercados no son perceptibles, aunque este proyecto no está construido con la finalidad de comercializarse.

Externalidades:

Se contará con una herramienta disponible que apoyará a los especialistas en minería a mejorar la precisión y los diseños de los sostenimientos.

Intangibles:

En la valoración económica siempre hay elementos perceptibles por una comunidad como perjuicio o beneficio, pero al momento de ponderar en unidades monetarias esto resulta difícil o prácticamente imposible. A fin de medir con precisión los efectos, deberán considerarse tres situaciones:

✓ **SITUACIÓN SIN PROYECTO**

Para llevar a cabo la solución de un cálculo de fortificación sin proyecto debemos seguir los siguientes pasos:

1. Conocer las características del tipo de material con el que se desea fortificar. Para este tipo de elección deben de seguirse los siguientes pasos:
 - a. Conocer la resistencia del tipo de material a usar.
 - b. Conocer el coeficiente de fortaleza de la roca circundante.
2. Calcular el tipo de presión minera actuante. Para este tipo de calculo deben de seguirse los siguientes pasos:
 - a. Conocer el semiancho de la excavación por el techo.
 - b. Conocer el coeficiente de fortaleza de la roca.
 - c. Conocer la distancia entre los cuadros de fortificación.
3. Calcular el momento flector Máximo. Para este tipo de calculo deben de seguirse los siguientes pasos:
 - a. Debe emplearse también la distancia entre los cuadros de fortificación
 - b. Debe conocerse el momento de resistencia que existe en el sombrero.

4. Escoger el tipo de sección que debe de tener el peón. Para esta elección hay que tener en cuenta lo siguiente:
 - a. Escoger elementos redondos.
 - b. Escoger elementos cuadrados.
 - c. Escoger elementos rectangulares.
5. Comparación de la resistencia de los elementos. Para este tipo de comprobación se sigue este paso:
 - a. Comprobar los coeficientes de resistencia de los peones con el momento flector.

✓ **SITUACIÓN CON PROYECTO**

Para llevar acabo el cálculo de la fortificación con proyecto debemos seguir los siguientes pasos:

1. Elección del tipo de fortificación a calcular. En la elección del tipo de fortificación se deben seguir los siguientes pasos:
 - a. Elección de la fortificación de madera .
 - b. Elección de la fortificación de metal.
 - c. Elección de la fortificación de hormigón.
2. Solucionar cálculo de fortificación.
 - a. Ejecutar el menú **Cálculo**.
 - b. Introducir los datos en la aplicación.
 - c. Pulsar el botón **Calcular**.
 - d. Pulsar el botón **Guardar**.

4.3 Beneficios y costos intangibles en el proyecto

COSTOS:

- ✓ Resistencia al cambio.

BENEFICIOS:

- ✓ Mejora en la calidad de la realización de los cálculos brindando así una mejor información y confiabilidad en los cálculos realizados.

- ✓ Mayor comodidad de los usuarios
- ✓ Mejor imagen de la institución.

4.4 Ficha de costo

Para determinar el costo económico del proyecto se utilizará el procedimiento para elaborar Una Ficha De Costo de un Producto Informático [Dra. Ana Ma. Gracia Pérez, UCLV].

Para la elaboración de la ficha se consideran los siguientes elementos de costo desglosados en moneda libremente convertible y moneda nacional.

Costos en Moneda Libremente Convertible:

- Costos Directos.

1. Compra de equipos de cómputo: No procede.
2. Alquiler de equipos de cómputo: No procede.
3. Compra de licencia de Software: No procede.
4. Depreciación de equipos: \$ 65.27.
5. Materiales directos: No procede.

Total: \$ 65.27.

- Costos Indirectos

1. Formación del personal que elabora el proyecto: No procede.
2. Gastos en llamadas telefónicas: No procede.
3. Gastos para el mantenimiento del centro: No procede.
4. Know How: No procede.
5. Gastos en representación: No procede.

Total: \$0.00.

- Gastos de distribución y venta.
 1. Participación en ferias o exposiciones: No procede.
 2. Gastos en transportación: No procede.
 3. Compra de materiales de propagandas: No procede.

Total: \$0.00

Costos en Moneda Nacional:

• **Costos Directos.**

1. Salario del personal que laborará en el proyecto: \$125.00.
2. El 12% del total de gastos por salarios se dedica a la seguridad social: No procede.
3. El 0.09% de salario total, por concepto de vacaciones a acumular: No procede.
4. Gasto por consumo de energía eléctrica: \$ 4.95.
5. Gastos en llamadas telefónicas: No procede.
6. Gastos administrativos: No procede.

• **Costos Indirectos.**

1. Know How: \$ 112,63.

Total: \$ 242.68

Como se hizo referencia anteriormente, la técnica seleccionada para evaluar la factibilidad del proyecto es la Metodología Costo-Efectividad. Dentro de esta metodología la técnica de punto de equilibrio aplicable a proyectos donde los beneficios tangibles no son evidentes el análisis se basa exclusivamente en los costos. Para esta técnica es imprescindible definir una variable discreta que haga variar los costos. Teniendo en cuenta que el costo para este proyecto es despreciable, tomaremos como costo el tiempo en horas empleado para

resolver un cálculo manual de una fortificación y la variable sería la cantidad de entradas del problema para lo cual tenemos cinco valores.

Valores de la variable (Solución manual):

- 1 cálculo de hasta 4 entradas. (35 min.)
- 1 cálculo de hasta 6 entradas. (50 min.)
- 1 cálculo de hasta 9 entradas. (75min.)
- 1 cálculo de hasta 12 entradas. (90 min.)
- 1 cálculo de hasta 15 entradas. (120 min.)

Valores de la variable (Solución con el software):

- 1 cálculo de hasta 4 entradas. (0.1 min.)
- 1 cálculo de hasta 6 entradas. (0.2 min.)
- 1 cálculo de hasta 9 entradas. (0.3 min.)
- 1 cálculo de hasta 12 entradas. (0.4 min.)
- 1 cálculo de hasta 15 entradas. (0.5 min.)

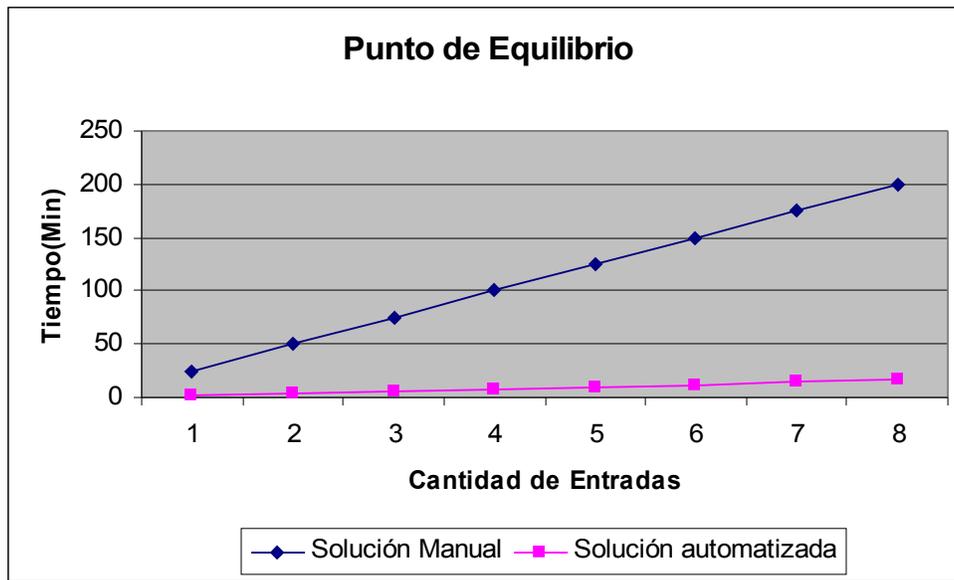


Figura 4.1 Punto de equilibrio.

Teniendo en cuenta los resultados reflejados en la gráfica en cuanto al Punto de Equilibrio queda demostrada la factibilidad del sistema evidenciado por la relación entre la complejidad del calculo (cantidad de entradas y tiempo de ejecución) y el tiempo que demora la solución del mismo de forma manual y automatizada.

4.5 Conclusiones

En este capítulo se realizó el estudio de factibilidad mediante La Metodología Costo Efectividad (Beneficio), se analizó los efectos económicos, los beneficios y costos intangibles, así como se calculó el costo de ejecución del proyecto mediante la ficha de costo arrojando como resultado \$65.27 CUC. y \$242.68 MN demostrándose la conveniencia de la elaboración del sistema.

Conclusiones

La investigación realizada parte del problema de la insuficiente integración de las herramientas informáticas relacionadas con el cálculo de fortificaciones en excavaciones subterráneas horizontales dificultando los cálculos y diseños en las diferentes ramas mineras. Al hacerse un estudio bibliográfico de los referentes teóricos sobre el problema en cuestión y diagnosticar la situación actual que presenta la minería en nuestro país al no contar de herramientas que faciliten el cálculo de dichos sostenimientos; se considera necesaria la elaboración una propuesta de un sistema informático para el cálculo de fortificaciones en excavaciones subterráneas horizontales, con su puesta en uso se van a beneficiar diferentes ramas de la Minería como el diseño de túneles y refugios de alta confiabilidad respondiendo así a una necesidad de la defensa en nuestro país, para la realización de proyectos viales en carreteras y vías de todo el país, etc. Por otra parte se cuenta con una herramienta multiplataforma ampliando así su compatibilidad con otros sistemas operativos. Constituye un material didáctico y metodológico para los profesores que imparten la disciplina de Fortificaciones Mineras.

Recomendaciones

Con el objetivo de perfeccionar y beneficiarnos con el sistema recomendamos:

1. Proponer el sistema a los profesores que imparten la asignatura de Fortificaciones Subterráneas, como una herramienta más para el desarrollo de esta asignatura .
2. Realizar un estudio más profundo de este sistema en vista a perfeccionarlo y extenderlo en nuevas versiones del software.
3. Crear la ayuda y documentación en línea, para que el usuario cuente con una amplia documentación.
4. Realizar las pruebas concernientes a la compatibilidad de la aplicación con Sistema Operativo que soporten Python 2.5

Referencias bibliográficas

- [1]. Recursos hidráulicos. Informe de planificación de trasvase Este – Oeste. Holguín, 2002. pp. 3.
- [2]. López Giménez. Manual de Túneles. Editorial Madrid, 2000. pp. 182.

Bibliografía

1. Blanco Torrens, Roberto. Fortificaciones de excavaciones horizontales. Editorial Félix Varela, La Habana, 1985.
2. Blanco Torrens, Roberto. Fortificaciones de excavaciones subterráneas. Editorial Pueblo y Educación, La Habana, 1984.
3. Blanco Torrens, Roberto. Proyecto de construcción subterráneas. Editorial Félix Varela, 1993.
4. Cartaya Pire, Maday. Aplicación de métodos computadorizados en el proyecto de cálculo de las fortificaciones subterráneas horizontales. Trabajo de diploma, ISMMM, 1994.
5. Documentación lenguaje Python 2.5. <http://www.python.org/docs>
6. Lenguaje de programación Python. Enciclopedia Online Wikipedia. <http://es.wikipedia.org/Python>.
7. P. A. Stiopin. Resistencia de los materiales. Editorial Mir, Moscú, 1985.

Glosario de términos

Entibamiento: Véase *Fortificación*.

Fortificación: la fortificación de minas es una construcción artificial que se hace en las excavaciones subterráneas para prevenir la destrucción y deformación de la roca circundante, y preservar las dimensiones de la sección transversal de la excavación.

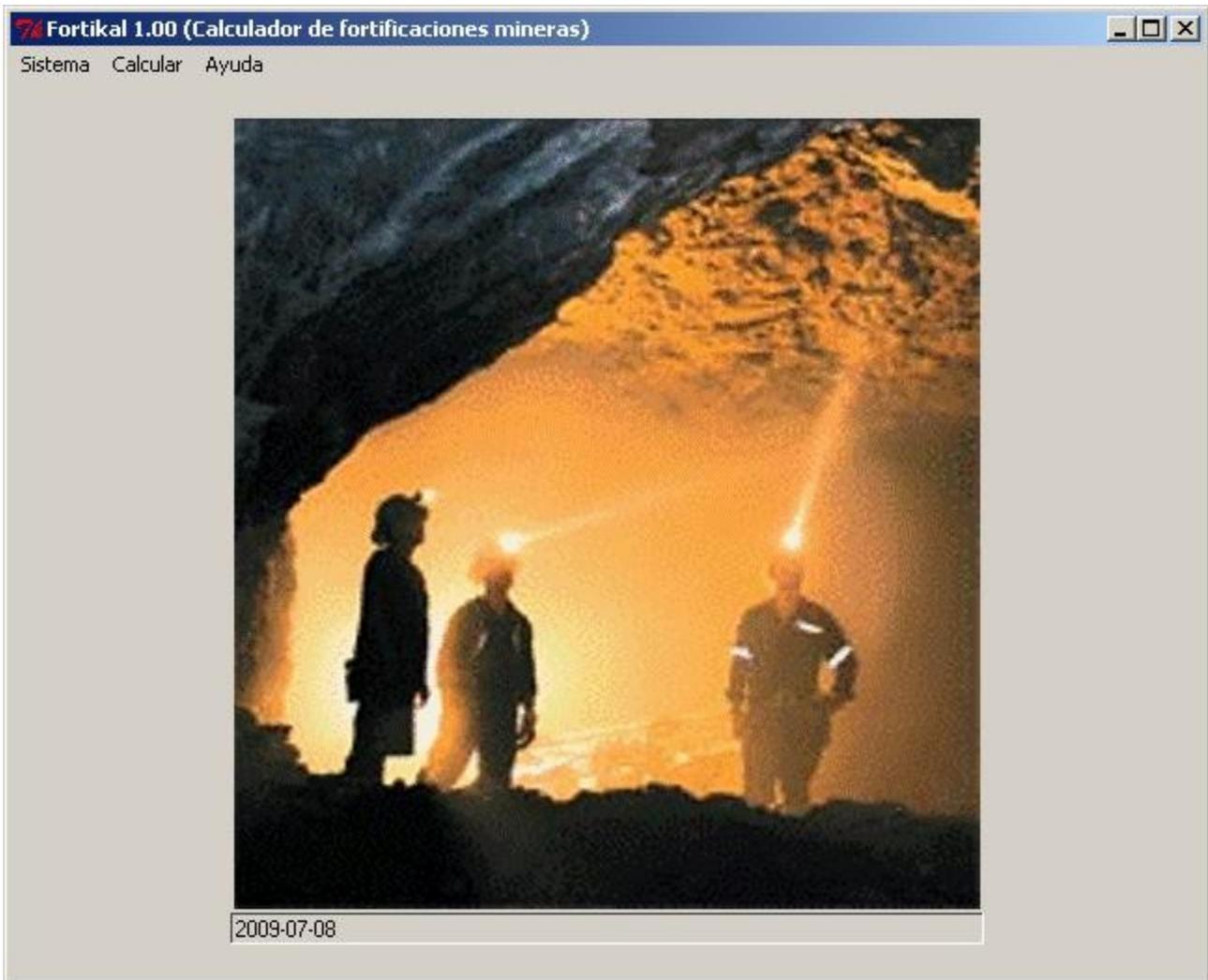
GNU GPL: Conjunto de programas desarrollados por la Fundación por el Software Libre; es de uso libre.

Software Libre: es el software que, una vez obtenido, puede ser usado, copiado, estudiado, modificado y redistribuido libremente, aunque conserve su carácter de libre, puede ser vendido comercialmente.

UML: Es el lenguaje de modelado de sistemas de software más conocido en la actualidad; es el estándar internacional aprobado por la OMG (Object Management Group). UML son un grupo de especificaciones de notación orientadas a Objeto, las cuales están compuesta por distintos diagramas, que representan las diferentes etapas del desarrollo de un proyecto de software.

Fortikal 1.00

MANUAL DE USUARIO



Aplicación para el cálculo de fortificaciones mineras subterráneas horizontales

Contenidos

Definición de Fortikal.....	3
Preliminares.....	3
Ficheros externos.....	3
Resistencias de maderas.....	3
Perfiles doble T.	4
Perfiles acanalados.	4
Perfiles L.....	4
Registro histórico de resultados de cálculos.....	4
Calculando en el Fortikal.....	5
Cálculo de las fortificaciones de madera.....	6
Cálculo de las fortificaciones de metal.....	7
Fortificaciones trapezoidales con presión por el techo.....	7
Fortificaciones trapezoidales con presión por el techo y los lados.	7
Fortificaciones arqueadas rígidas con presión por el techo.....	8
Fortificaciones arqueadas rígidas con presión por el techo y los lados.....	8
Fortificaciones arqueadas flexibles con presión por el techo.....	8
Fortificaciones arqueadas flexibles con presión por el techo y los lados.....	9
Cálculo de las fortificaciones de hormigón.....	9
Fortificaciones de hormigón monolítico trapezoidal.....	9
Fortificaciones de hormigón lanzado.....	9
Fortificaciones de 2 capas circular.	9
Fortificaciones de 2 capas anular.....	9

Definición de Fortikal.

Es una aplicación que asiste al ingeniero en minas en el cálculo de los elementos de soporte y construcción de fortificaciones mineras horizontales con varios materiales.

Preliminares.

Antes de exponer los detalles del software, deben aclararse una serie de informaciones preliminares acerca del alcance de la aplicación.

Debe saberse por ejemplo que muchos de los cálculos que se resuelven en Fortikal requieren de datos externos conservados en ficheros de texto que pueden manipularse con editores externos o directamente en la aplicación.

Ficheros externos.

Para el trabajo de varios cálculos que se realizan en esta aplicación, son necesarias una serie de datos que vienen en tablas u otras formas de registro. En esta primer versión se incluyen los siguientes ficheros:

- Tabla de resistencia de maderas.
- Datos tabulados de perfiles metálicos:
 - Doble T.
 - Acanalado.
 - En forma de L.
- Registro histórico de cálculos “*historiko.for*”.

Resistencias de maderas.

En este archivo externo llamado “*madera.for*” se mantienen los datos de resistencia de los distintos tipos de maderas en registros lineales de la forma:

nombre_madera peso_volumétrico resistencia_compresión resistencia_flexión resistencia_tracción

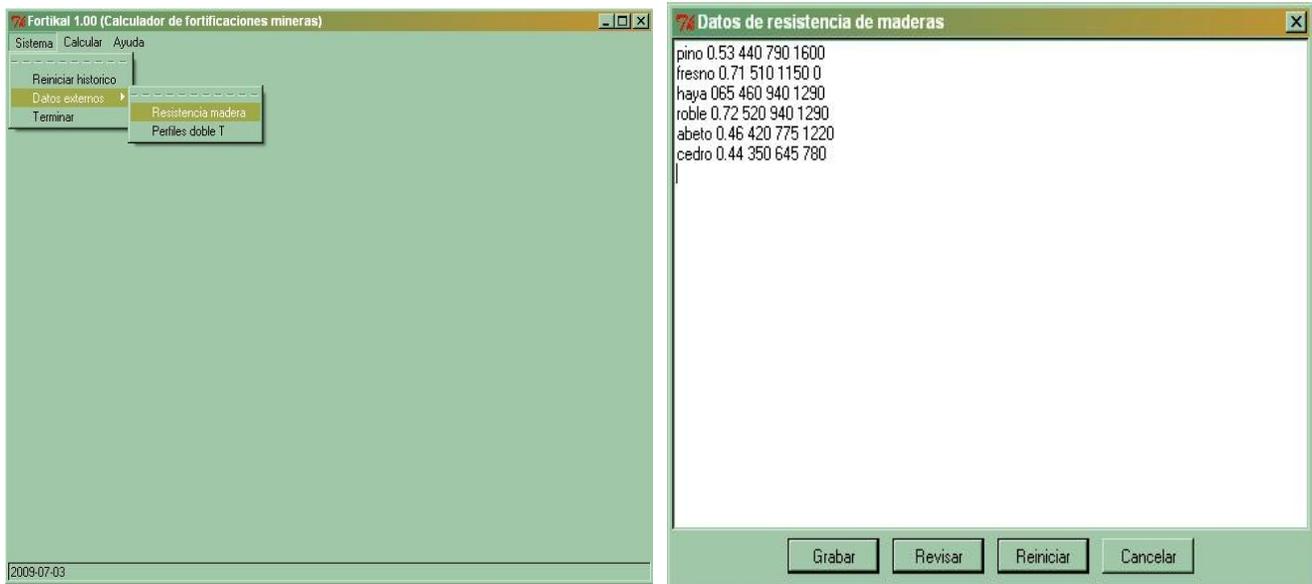
donde el *nombre_madera* es una palabra de texto como *pino*, *cedro*, etc. Los demás son valores numéricos.

Magnitud	Unidad
peso_volumétrico	kg/cm ³
resistencia_compresión	kg/cm ²
resistencia_flexión	kg/cm ²
resistencia_tracción	kg/cm ²

A manera de ejemplo se describe la definición inicial.

pino 0.53 440 790 1600
 fresno 0.71 510 1150 0
 haya 0.65 460 940 1290
 roble 0.72 520 940 1290
 abeto 0.46 420 775 1220
 cedro 0.44 350 645 780

Tómese esto en cuenta al modificar los valores, para más información consulte los manuales y textos de *Resistencia de materiales*.



En el menú *Sistema/Datos externos/Resistencia madera* se levanta un diálogo que permite la manipulación directa de estos datos, así como un analizador sintáctico sencillo que permite corroborar la calidad de los datos introducidos o editados.

Perfiles doble T.

Los datos de los distintos modelos de perfiles doble T se almacenan en el fichero "*metal_doblet.for*".

Hasta el nivel de cálculo desarrollado en los métodos metálicos un registro normal de este fichero está compuesto por los siguientes campos:

Código perfil	Área de la sección (cm2)	Wx (cm3)
---------------	--------------------------	----------

De los cuales los más importantes son el código del perfil y Wx pues a la hora de los cálculos con elementos metálicos según el valor de Wx se devuelve el código correspondiente.

Fortikal cuenta en el menú de Sistema/Datos externos/Perfiles doble T con una ventana para la visualización y edición de esos valores.

Perfiles acanalados.

Los datos de los distintos modelos de perfiles acanalados se almacenan en el fichero

“metal_acanalados.for”.

Hasta el nivel de cálculo desarrollado en los métodos metálicos un registro normal de este fichero está compuesto por los siguientes campos:

Código perfil	Wx (cm3)
---------------	----------

De los cuales los más importantes son el código del perfil y Wx pues a la hora de los cálculos con elementos metálicos según el valor de Wx se devuelve el código correspondiente. Fortikal cuenta en el menú de Sistema/Datos externos/Perfiles acanaladosT con una ventana para la visualización y edición de esos valores.

Registro histórico de resultados de cálculos.

De manera general, en el fichero “*historiko.for*” se guardan registros ordenados por fecha y hora de los datos de entrada, los tipos de cálculo y las salidas producidas. En esta primera versión solo pueden una vez producidos revisarse en modo de consulta. El mismo puede visualizarse con el comando del menú *Sistema/Mostrar histórico*.

A manera de ejemplos se muestra un extracto del archivo:

```
Madera Protodiakonov
fecha y hora:2009-06-16 13:28:21.484000
{'a': 0.699999999999999996, 'psi': 0.946799999999999997, 'alfa': 80.0, 'f': 6.0, 'sigmaf': 790.0, 'L':
0.66000000000000000003, 'sigmac': 440.0, 'Q': 244.99999999999994, 'P': 705.44938418509469, 'ganma': 2250.0,
'W': 0.044774525316455691, 'Mfmax': 35.3718749999999996, 'diametro': 0.64524910907294164, 'diametro1':
1.3013001099263548, 'lambda': 7.5999999999999996}
fin de registro
Madera Protodiakonov
fecha y hora:2009-06-16 22:26:10.421000
{'a': 0.80000000000000000004, 'psi': 0.961999999999999997, 'alfa': 80.0, 'f': 5.0, 'sigmaf': 775.0, 'L':
0.55000000000000000004, 'sigmac': 420.0, 'Q': 382.29333333333341, 'P': 1100.7697819512948, 'ganma': 2240.0,
'W': 0.067826236559139816, 'Mfmax': 52.565333333333356, 'diametro': 0.74105366054289401, 'diametro1':
1.8624778974521814, 'lambda': 5.4285714285714288}
fin de registro
Hormigon monolitico con presion por arriba
fecha y hora:2009-06-25 01:16:57.546000
{'qr': 5.8304737642856761, 'L0': 1.0, 'f': 3.0, 'h0': 0.57735026918962584, 'sigmac': 5.0, 'perfil': '', 'ganma': 3.0,
'rho': 8.0, 'e0': 1.0, 'd0': 0.61015792142855863}
fin de registro
Hormigon monolitico con presion por arriba
fecha y hora:2009-06-25 01:17:43.312000
{'qr': 522223206.6654682, 'L0': 12.0, 'f': 3.0, 'h0': 6.9282032302755097, 'sigmac': 89.0, 'perfil': '', 'ganma':
235.0, 'rho': 6.0, 'e0': 2222222.0, 'd0': 0.41134241894060131}
fin de registro
```

Desde el menú *Sistema/Reiniciar histórico* puede vaciarse el fichero. Esto es recomendable pues si se acepta el mensaje de advertencia se pierde toda la información contenida.

Calculando en el Fortikal.

En general la forma en que se procede en el Fortikal para realizar los cálculos reconoce tres niveles de clasificación:

1. Según los materiales de construcción: madera, metal y hormigón.

2. En cada material sus variantes.
3. Dependiendo si la fortificación recibe presión por el techo (Protodiakanov) o por el techo y lados (Tsimbarevich).

Fortikal está diseñado para especialistas, por tanto, deben saber en cada situación la opción a escoger.

En esta la primera aproximación se incluyen los siguientes cálculos:

- 1 Fortificaciones de madera.
 - 1.1 Con presión por el techo.
 - 1.2 Con presión por los lados y el techo.

- 2 Fortificaciones de metal.
 - 2.1 Trapezoidal con presión por el techo.
 - 2.2 Trapezoidal con presión por los lados y el techo.
 - 2.3 Arqueada rígida con presión por el techo.
 - 2.4 Arqueada rígida con presión por los lados y el techo.
 - 2.5 Arqueada flexible con presión por el techo.
 - 2.6 Arqueada flexible con presión por los lados y el techo.

- 3 Fortificaciones de hormigón.
 - 3.1 Monolítico trapezoidal.
 - 3.2 Hormigón lanzado.
 - 3.3 2 capas circular.
 - 3.4 2 capas anular.

A continuación se exponen detalles de cada uno.

Cálculo de las fortificaciones de madera.

Este es un cálculo clásico dentro de todas las fortificaciones debido a que la madera fue el primer material con el que se empezó a fortificar desde tiempos inmemorables; para su cálculo se procede de la siguiente manera:

Calculo Madera Protodiakonov

Semiancho laboreo de excavacion (cm)*

Coficiente de Fortaleza de la roca*

Masa volumetrica de la roca (kg/cm)

Presion minera(Q)(kg/cm)=

Distancia entre los cuadros de fortificacion (cm)*

Momento flector maximo(Mfmax)(kg*cm)=

Tipo de madera del sombrero*

Modulo de seccion del sombrero(W)(cm3)

Escoja la forma del elemento del sombrero

Redonda
Diametro (cm)

Cuadrada
Espesor (cm)

Rectangular
Largo (cm)
Espesor (cm)

Inclinacion de los peones (grados)
Longitud del peon (cm)
Radio de inercia de la seccion (cm)
Tipo de madera de los peones*

Escoja la forma del peon

Redonda
Diametro del peon (cm)

Cuadrada
Espesor del peon (cm)

Rectangular
Largo del peon (cm)
Espesor del peon (cm)

Grabar Calcular Reiniciar Cancelar

Calculo Madera Tsimbarevich

Semiancho laboreo de excavacion (cm)*

Coficiente de Fortaleza de la roca (cm)*

Masa volumetrica de la roca (kg/cm3)*

Distancia entre los cuadros de fortificacion (cm)*

Altura de la excavacion (cm)*

Angulo de friccion int de las rocas (grados)*

Angulo de inclinacion del peon (grados)*

Intensidad de carga en techo(Q) (kg/cm)=

Momento flector maximo(Mfmax) (kg*cm)=

Resistencia del material a la flexion(σ_{mf})(kg/cm):

Modulo de seccion del sombrero(W)

Escoja la forma del elemento del sombrero

Redonda
Diametro (cm)

Cuadrada
Espesor (cm)

Rectangular
Largo (cm)

Grabar Calcular Reiniciar Cancelar

- 1 Se introducen todos los datos de entrada tales como.
 - 1.1 Semiancho del laboreo de la excavación.
 - 1.2 Coeficiente de fortaleza de la roca.
 - 1.3 Masa volumétrica de la roca.
 - 1.4 Distancia entre los cuadros de fortificación.
 - 1.5 Tipo de madera del sombrero.
 - 1.5.1 Aquí se toman solo 6 nombres de maderas (pino, abeto, fresno, haya, roble y cedro).

- 1.5.2 Se pueden introducir también los números directamente los números de los coeficientes de la madera.
 - 1.6 Inclínación de los peones (grados).
 - 1.7 Longitud del peón.
 - 1.8 Radio de inercia de la sección.
 - 1.9 Tipo de madera de los peones (aquí pasa lo mismo que en el 1.5).
- 2 Para escoger la forma del elemento que va a formar el sombrero se procede así.
 - 2.1 Si se quiere que el elemento redondo se dé clic en **Elemento redondo**.
 - 2.2 Si se quiere que el elemento cuadrado se da clic en **Elemento cuadrado**.
 - 2.3 Para el elemento rectangular es igual que los 2 anteriores solo hay que poner el largo.
 - 3 Para escoger la forma del peón (Se sigue los mismos pasos que para escoger los elementos que van a formar el techo).
 - 4 Luego de introducir y seleccionar todos estos datos se pulsa el botón calcular y de esta manera nos brinda resultados de salida importantes tales como:
 - 4.1 Presión minera.
 - 4.2 Momento flector máximo.
 - 4.3 Módulo de la sección del sombrero.
 - 4.4 El valor de la forma del elemento del sombrero.
 - 4.5 Por último el resultado más importante que es el valor mínimo que debe tener el peón con el que se va a fortificar.
 - 5 Si se quiere hacer un nuevo cálculo de la misma fortificación se pulsa el botón **Restaurar**.

Cálculo de las fortificaciones de metal.

En el caso de las fortificaciones de metal en general los cálculos solo pretenden determinar en función de las presiones que recibirá la estructura el tipo de perfil más conveniente para el caso.

Fortificaciones trapezoidales con presión por el techo.

1. Se introducen todos los datos de entrada tales como:
 - 1.1 Semiancho del laboreo de la excavación.
 - 1.2 Coeficiente de fortaleza de la roca.
 - 1.3 Masa volumétrica de la roca.
 - 1.4 Distancia entre los cuadros de fortificación.
 - 1.5 Resistencia del material a la flexión.
2. Luego de introducidos estos datos se pasa a escoger el tipo de perfil con el cual se quiere fortificar, para esto se tienen diferentes opciones de perfiles tales como :
 - Doble T.
 - Canal.
3. Luego de seleccionar el tipo de perfil dando clic sobre los radiobutton que correspondan con Doble T o Canal se pulsa el botón **Calcular** y entonces se muestra

el tipo de perfil aconsejable para fortificar de acuerdo con el **W** calculado.

Calculo Metal Trapezoidal Protodiakonov

Semiancho laboreo de excavacion*

Coeficiente de Fortaleza de la roca*

Masa volumetrica de la roca*

Presion minera(Q)=

Distancia entre los cuadros de fortificacion*

Momento flector maximo(Mfmax)=

Resistencia del material a la flexion(sigma_f):

Modulo de seccion del sombrero(W)

Escoja la forma del perfil

Doble T Canal

Fortificaciones trapezoidales con presión por el techo y los lados.

Este tipo de cálculo es muy similar al cálculo anterior y a todos los cálculos que se efectúan de metal.

1. Se introducen todos los datos de entrada tales como:
 - 1.1 Semiancho del laboreo de la excavación.
 - 1.2 Coeficiente de fortaleza de la roca.
 - 1.3 Masa volumétrica de la roca.
 - 1.4 Distancia entre los cuadros de fortificación.
 - 1.5 Altura de la excavación.
 - 1.6 Angulo de fricción interno de las rocas.
 - 1.7 Angulo de inclinación del peón.
 - 1.8 Resistencia del material a la flexión.
2. Luego de introducidos estos datos se pasa a escoger el tipo de perfil con el cual se quiere fortificar, para esto se tienen diferentes opciones de perfiles tales como:
 - Doble T.
 - Canal.
 - En forma de L.
3. Luego de seleccionar el tipo de perfil dando clic sobre los radiobutton que correspondan con Doble T, Canal o en forma de L se pulsa el botón **Calcular** y entonces se muestra el tipo de perfil aconsejable para fortificar el sombrero de acuerdo con el **W** calculado.

Fortificaciones arqueadas rígidas con presión por el techo.

Para este tipo de cálculo se necesitan las entradas siguientes :

1. Se introducen todos los datos de entrada tales como:
 - 1.1 Semiancho del laboreo de la excavación.
 - 1.2 Coeficiente de fortaleza de la roca.
 - 1.3 Masa volumétrica de la roca.
 - 1.4 Distancia entre los cuadros de fortificación.
 - 1.5 Altura .
 - 1.6 Radio de la bóveda.
 - 1.7 Resistencia del material a la flexión .
2. Luego de introducidos estos datos se pasa a escoger el tipo de perfil con el cual se quiere fortificar , para esto se tienen diferentes opciones de perfiles tales como :
 - Doble T.
 - Canal.
3. Luego de seleccionar el tipo de perfil dando clic sobre los radiobutton que correspondan con Doble T o Canal se pulsa el botón **Calcular** y entonces se muestra el tipo de perfil aconsejable para fortificar de acuerdo con el **W** calculado.

Fortificaciones arqueadas rígidas con presión por el techo y los lados.

Para el cálculo de este tipo de fortificación hay que tener en cuenta se asemeja al los anteriores cálculos realizados , pero con la diferencia de que actúa presión minera por los lados y por el techo.

1. Se introducen todos los datos de entrada tales como:
 - 1.1 Semiancho del laboreo de la excavación.
 - 1.2 Distancia entre los cuadros de fortificación.
 - 1.3 Masa volumétrica de la roca.
 - 1.4 Altura .
 - 1.5 Radio de la bóveda.
 - 1.6 Resistencia del material a la flexión .
2. Luego de introducidos estos datos se pasa a escoger el tipo de perfil con el cual se quiere fortificar , para esto se tienen diferentes opciones de perfiles tales como :
 - Doble T.
 - Canal.
3. Luego de seleccionar el tipo de perfil dando clic sobre los radiobutton que correspondan con Doble T o Canal se pulsa el botón **Calcular** y entonces se muestra el tipo de perfil aconsejable para fortificar de acuerdo con el **W** calculado.

Fortificaciones arqueadas flexibles con presión por el techo.

Para este tipo de cálculo se necesitan las entradas siguientes :

1. Se introducen todos los datos de entrada tales como:
 - 1.1 Semiancho del laboreo de la excavación.
 - 1.2 Coeficiente de fortaleza de la roca.
 - 1.3 Masa volumétrica de la roca.
 - 1.4 Distancia entre los cuadros de fortificación.
 - 1.5 Coeficiente de empuje lateral .
 - 1.6 Altura .
 - 1.7 Radio de la bóveda .
 - 1.8 Resistencia del material a la flexión .
2. Luego de introducidos estos datos se pasa a escoger el tipo de perfil con el cual se quiere fortificar , para esto se tienen diferentes opciones de perfiles tales como :
 - Doble T.
 - Canal.
3. Luego de seleccionar el tipo de perfil dando clic sobre los radiobutton que correspondan con Doble T o Canal se pulsa el botón **Calcular** y entonces se muestra el tipo de perfil aconsejable para fortificar de acuerdo con el **W** calculado.

Fortificaciones arqueadas flexibles con presión por el techo y los lados.

Para el cálculo de este tipo de fortificación hay que tener en cuenta se asemeja al los anteriores cálculos realizados , pero con la diferencia de que actúa presión minera por los lados y por el techo.

1. Se introducen todos los datos de entrada tales como:
 - 1.1 Semiancho del laboreo de la excavación.
 - 1.2 Distancia entre los cuadros de fortificación.
 - 1.3 Masa volumétrica de la roca.
 - 1.4 Coeficiente e empuje lateral.
 - 1.5 Altura.
 - 1.6 Radio de la bóveda.
 - 1.7 Resistencia del material a la flexión.
2. Luego de introducidos estos datos se pasa a escoger el tipo de perfil con el cual se quiere fortificar , para esto se tienen diferentes opciones de perfiles tales como :
 - Doble T.
 - Canal.
3. Luego de seleccionar el tipo de perfil dando clic sobre los radiobutton que correspondan con Doble T o Canal se pulsa el botón **Calcular** y entonces se muestra el tipo de perfil aconsejable para fortificar de acuerdo con el **W** calculado.

Cálculo de las fortificaciones de hormigón.

Este es un tipo de fortificación que es muy empleada en la actualidad y cuenta con una variada y diversa forma de empleo y de tipos, a los cuales nos referiremos en cuanto a la realización de sus respectivos cálculos.

Fortificaciones de hormigón monolítico trapezoidal.

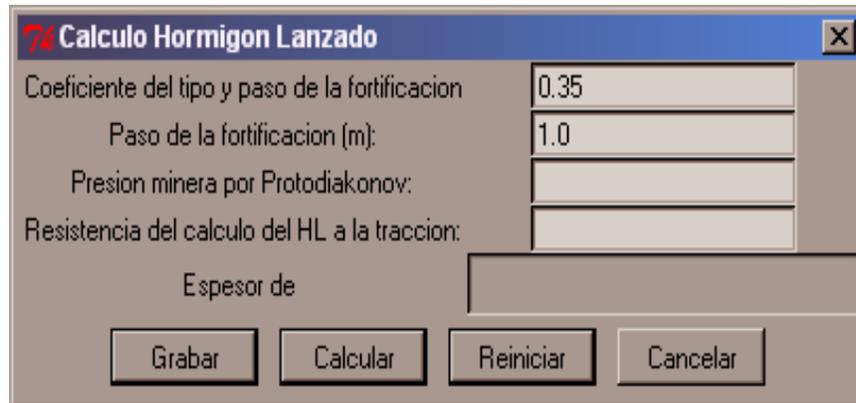
1. Para este tipo de calculo se introducen todos los datos de entrada tales como:
 - 1.1 Ancho de la excavacion .
 - 1.2 Fortaleza de la roca del techo.
 - 1.3 Angulo de fricción interna de la roca por el techo .
 - 1.4 Coeficiente de compresión del hormigón (esto se saca de una tabla) .
 - 1.5 Masa volumetrica de la roca .
 - 1.6 Espesor del relleno .
 - 1.7 Resistencia del material a la flexión.
2. Luego de entrada todos los datos se procede a pulsar el botón **Calcular** .

Fortificaciones de hormigón lanzado.

Para este tipo de calculo en particular el tiene por defecto las entradas que corresponden al coeficiente del tipo y paso de la fortificación y paso de la fortificación con los valores que se necesitan para este calculo; es decir que el usuario solamente debe de introducir para el calculo los siguiente datos de entrada :

1. La presión minera previamente calculada por Protodyakonov .
2. La resistencia del cálculo del HL a la tracción.

Luego de entrada los datos se procede a pulsar el botón **Calcular** y aparecerá el espesor que debe de tener dicha fortificación.



Label	Value
Coeficiente del tipo y paso de la fortificacion	0.35
Paso de la fortificacion (m):	1.0
Presion minera por Protodiakonov:	
Resistencia del calculo del HL a la traccion:	
Espesor de	

Fortificaciones de 2 capas circular.

1. Para este tipo de calculo se introducen todos los datos de entrada tales como:
 - 1.1 Ancho del laboreo de la excavación.
 - 1.2 Profundidad de la excavación .
 - 1.3 Masa volumetrica de la roca .
 - 1.4 Resistencia a la compresión de la roca .
 - 1.5 Altura del laboreo de la excavación.
 - 1.6 Resistencia convencional de las rocas.
 - 1.7 Capacidad portadora por el techo.
 - 1.8 Capacidad portadora por los lados.
 - 1.9 Radio de la excavación.

Luego de entrada los datos se procede a pulsar el botón **Calcular** y aparecerá el espesor que debe de tener la capa de hormigón para dicha fortificación y aparecerán otros datos de salida de importancia para el usuario .

Fortificaciones de 2 capas anular.

1. Para este tipo de calculo se introducen todos los datos de entrada tales como:

- 1.1 Ancho del laboreo de la excavación.
- 1.2 Profundidad de la excavación .
- 1.3 Masa volumétrica de la roca .
- 1.4 Resistencia a la compresión de la roca .
- 1.5 Altura del laboreo de la excavación.
- 1.6 Resistencia convencional de las rocas.
- 1.7 Capacidad portadora por el techo.
- 1.8 Capacidad portadora por los lados.
- 1.9 Radio de la excavación.

Luego de entrada los datos se procede a pulsar el botón Calcular y aparecerá el espesor

que debe de tener la capa de hormigón para dicha fortificación y aparecerán otros datos de salida de importancia para el usuario.