

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



***EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL  
DE UN TUNEL DE SECCIÓN TIPO HERRADURA Y UN  
TUNEL DE SECCIÓN CON PAREDES VERTICALES CON  
DOMO ARQUEADO***

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**TESISTA: Bach. Ing. Nils Roy Cáceres Arroyo**

**ASESOR: MCS. Ing. Tito Chilón Camacho.**

**CAJAMARCA - PERU**

**2013**



## **DEDICATORIA**

### **A mis padres**

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, por la motivación constante que me ha permitido ser persona de bien, pero más que nada, por su gran amor. Siguiendo sus ejemplos de perseverancia.

### **A mis hermanos**

Para que siempre tengan en cuenta que todo lo que nos proponamos en la vida lo podemos lograr y sigamos el ejemplo de nuestros queridos padres.

### **A mis amigos.**

Que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional y que hasta ahora, seguimos siendo buenos amigos: Miguel Fustamante, Oscar Cercado, Hernan Villar, Mayle Fernández, Rodrigo Mamani, compartiendo buenos y malos momentos.



## **AGRADECIMIENTO**

### **A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

Que a través de su biblioteca de ingeniera civil pude obtener la información necesaria y suficiente para la elaboración de la tesis

### **AL ASESOR**

Ing. Tito Chillón Camacho por su paciencia, consejos y buen asesoramiento a lo largo del desarrollo de la tesis, con lo cual se pudo culminar la misma.

A mis amigos, amigas y personas que siempre estuvieron a mi lado; mostrándome su afecto y cariño incondicional, ya que gracias a ellos se lo que es la amistad verdadera y el respeto, valores importantes en mi vida.



**INDICE GENERAL:**

| <b>Contenido</b>                       | <b>Página</b> |
|--|---------------|
| Dedicatoria.....                       | i             |
| Agradecimientos.....                   | ii            |
| Índice de Tablas.....                  | v             |
| Índice de Figuras.....                 | vi            |
| Resumen.....                           | viii          |
| Abstract.....                          | ix            |
| Fundamentos de la Tesis.....           | 1             |
| Introducción.....                      | 1             |
| Planteamiento del problema.....        | 1             |
| Formulación del problema.....          | 2             |
| Justificación de la investigación..... | 2             |
| Alcances y limitaciones.....           | 3             |
| Objetivos.....                         | 3             |
| Objetivo general.....                  | 3             |
| Objetivo específico.....               | 3             |
| Hipótesis y variables.....             | 3             |
| Hipótesis.....                         | 4             |
| Variables.....                         | 4             |
| Tipo de investigación.....             | 4             |



|  |    |
|--|----|
| Localización.....                            | 5  |
| Población y muestra.....                     |    |
| <br>   |    |
| CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO.....               | 6  |
| Antecedentes.....                            | 6  |
| Bases Teóricas.....                          | 16 |
| <br>   |    |
| CAPÍTULO II. MODELAMIENTO DE LA ESTRUCTURA.  | 39 |
| <br>   |    |
| CAPÍTULO III. PRESENTACION DE RESULTADOS.... | 53 |
| <br>   |    |
| CONCLUSIONES.....                            | 73 |
| RECOMENDACIONES.....                         | 75 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....              | 76 |
| ANEXOS.....                                  | 77 |



## INDICE DE TABLAS

| Contenido   | Página |
|---|--------|
| <i>Tabla N° 01: Condiciones de roca según Terzaghi.....</i>   | 8      |
| <i>Tabla N° 02: Clasificación del terreno según Terzaghi.....</i>   | 9      |
| <i>Tabla N° 03: Factor y dimensión para la altura máxima descomprimida .....</i>                          | 9      |
| <i>Tabla N°04: Valor del coeficiente “f” de resistencia según tipo de suelo, según Protodyakonov.....</i> | 15     |
| <i>Tabla N°05: Valores de los desplazamientos obtenidos del análisis estructural.....</i>                 | 62     |
| <i>Tabla N° 05: Valores de los desplazamientos obtenidos del análisis estructural.....</i>                | 72     |



## INDICE DE FIGURAS

| Contenido   | Página |
|---|--------|
| <i>Figura N° 01: Secciones de un tunel según Terzaghi</i>   | 7      |
| <i>Figura N°02: Distribución cargas del terreno según Protodyakonov</i>   | 11     |
| <i>Figura N°03: Secciones del tunel según Protodyakonov</i>   | 11     |
| <i>Figura N° 04: Se observe la acotacion de la seccion del tunel para poder generar la malla en el programa SAP200</i>                                    | 42     |
| <i>Figura N° 05: Se observa la seccion del tunel a ser analizada</i>  | 45     |
| <i>Figura N° 06: Se define el tipo de concreto a usar <math>f_c=210 \text{ kg/cm}^2</math></i>  | 45     |
| <i>Figura N° 07 y 08: Se define las secciones del tunel</i>   | 46     |
| <i>Figura N° 09 y 10: Se define las secciones</i>   | 47     |
| <i>Figura N° 11, 12 y 13: Se define las secciones con las areas correspondientes</i>  | 48     |
| <i>Figura N° 14: Dividimos el area para tener un analizi mas exacto, a un espacio de 0.5 m</i>  | 48     |
| <i>Figura N° 15: Se observa que la seccion ha sido dividida para un mejor analisis de los elementos</i>   | 50     |
| <i>Figura N° 16: Se va a colocar las cargas a usar, en nuestro caso son las horizontales y verticales de las presiones del terreno.</i>                   | 50     |
| <i>Figura N° 17: Se observa el cuadro para editar las cargas a ser usadas</i>   | 51     |
| <i>Figura N° 18: El siguiente paso es el de crear las combinaciones de carga (COMBOS)</i>   | 51     |
| <i>Figura N° 19: Luego procedemos a hacer los combos, uno con carga de servicio y otro con la carga ultima..</i>  | 52     |
| <i>Figura N° 20: Una vez creado la combinacion de cargas, seleccionamos las areas previamente establecidas, para facilidad en la colocacion de cargas</i> | 52     |
| <i>Figura N° 21: Areas de influencia de las presiones verticales y horizontale en la seccion del tunel</i>  | 53     |
| <i>Figura N° 22: Se observa la deformacion del tunel</i>  | 54     |
| <i>Figura N° 23: Se observa las cargas de la fuerza axial y del momento</i>   | 54     |



*generado por las presiones del terreno*

**Figura N° 24:** *Se observa las cargas de la fuerza cortante y su deformada al costado, la cual es 0 en la cupula y tiene una valor minimo en las paredes del tunel.* 55

**Figura N° 25:** *Se observa el diagrama de fuerza axial y momento, se observa claramente que los valores maximos se dan en el punto de union de las paredes con la cupula del tunel* 55

**Figura N° 26:** *Se observa las cargas de la fuerza axial y su deformada al costado.* 56

**Figura N° 27 y 28:** *Se observa los puntos con sus respectivas deformaciones* 56

**Figura N° 29:** *Valores de los desplazamientos obtenidos del análisis estructural* 63

**Figura N° 30:** *Se observa la deformada de la sección del túnel.* 63

**Figura N° 31:** *Se las cargas de la fuerza axial y los momentos de la sección del tunel.* 64

**Figura N° 32:** *Se las cargas de la fuerza axial y los momentos de la sección del tunel.* 64

**Figura N° 33:** *Se las cargas de la fuerza axial y su deformada respectiva.* 65

**Figura N° 34:** *Diagrama de esfuerzo cortante de la sección de tunel.* 65

**Figura N° 35:** *Diagrama de esfuerzo axial de la sección del túnel.* 66

**Figura N° 36 y 37:** *Se observa los puntos con sus respectivas deformaciones.* 66

**Figura N° 38 y 39:** *Se observan los ejes locales, el color rojo representa al eje X, el color celeste al eje Z( eje vertical) y por ultimo el color verde representa el eje Y( eje horizontal)* 77





## **I. RESUMEN**

Esta investigación consiste en determinar la mejor sección de un túnel ante circunstancias determinadas, partiendo de 2 secciones diferentes del túnel a ser modelado estructuralmente, los cuales se usan para lo que son vía ductos, sometiéndolos a cargas según el tipo de sección, mediante el uso del programa SAP 2000 V 15, el lo cual nos va a dar una idea más clara del comportamiento estructural del mismo, pues los dos sistemas comparados son usados bajos las mismas condiciones del terreno, se tiene en cuenta en conjunto las teorías de Terzaghi y Protodyakonov para el cálculo respectivo de las cargas de diseño al que se someterá las secciones del túnel, en este caso el suelo CLACE F de Terzaghi , la cual es “Suelos cohesivos o rocas blandas: arcillas residuales y rocas descompuestas y en estado plástico, arenas húmedas”, en el túnel tipo herradura se registró un momento máximo de  $2.80 \times 10^6$  kgf, una fuerza axial de  $1.20 \times 10^6$  kgf y una fuerza cortante igual a cero, en el túnel de sección de pared vertical y domo arqueado se registró un momento máximo de  $3.00 \times 10^6$  kgf, una fuerza axial de  $0.9 \times 10^6$  kgf, lo cual nos da una idea de los comportamientos estructurales, pues el túnel de sección tipo herradura tiene un momento menor y una fuerza axial mayor que el túnel de sección de pared vertical con domo arqueado.

**Palabras clave:** Túnel, SAP 2000



## II. ABSTRACT

This research is to determine the best section of a tunnel to certain circumstances, starting from 2 different sections of the tunnel to be modeled structurally, which are used for what are viaducts, subjecting them to load depending on section program using SAP 2000 V 15, it will give us a clearer idea of the structural behavior of the same, as the two systems compared are the same conditions used low ground, is taken into account together theories Terzaghi and Protodyakonov for the respective calculation of design loads to be submitted to the tunnel sections, in this case the ground CLACE F of Terzaghi, the which is "cohesive soils or soft rocks: residual clays and rocks and broken plastic state , wet sand ", in the horseshoe tunnel was a moment maximum of  $2.80 \times 10^6$  kgf, an axial force of  $1.20 \times 10^6$  kgf, and a zero shear, and the tunnel wall section is vertical and arched dome was a momento maximum of  $3.00 \times 10^6$  kgf, an axial force of  $0.90 \times 10^6$  kgf, which gives us an idea of estrucurales behaviors, as the horseshoe section tunnel has a smaller moment and an axial force greater than the tunnel vertical wall section with arched dome.

**Key words:** Tunnel, SAP 2000.



## **FUNDAMENTOS DE LA TESIS**

### **1. Introduccion.**

#### **1.1 Planteamiento del problema**

Se conoce como túnel en el área de ingeniería y arquitectura, a la perforación que se hace en un terreno de forma horizontal a mano o con máquinas, en donde la longitud de éste domina las demás dimensiones. Para la construcción de un túnel se requiere una zanja a la que se confiere una cubierta de material de obra y luego se tapa con tierra.

Un túnel es una obra subterránea de carácter lineal, cuyo objeto es la comunicación de dos puntos, para realizar el transporte de personas, materiales entre otras cosas.

El Perú es considerado un país en vías de desarrollo, es por esa razón que en estos últimos años busca alcanzar los estándares de los países desarrollados mediante la construcción de infraestructura que permita a la población mejorar su calidad de vida, pues la construcción de un túnel da salida a muchas cosas, pues hay diferentes tipos de túneles, un túnel puede servir para peatones o ciclistas, aunque generalmente sirve para dar paso al tráfico, para vehículos de motor, para ferrocarril o para un canal. Algunos son acueductos, construidos para el transporte de agua (para consumo, para aprovechamiento hidroeléctrico o para el saneamiento). También hay túneles diseñados para servicios de telecomunicaciones.

Se ha visto en el Perú la construcción de varios tipos de túneles, pero aún no hay un análisis comparativo estructural para verificar la eficiencia entre un tipo de túnel y otro, someténdolos a cargas según el tipo de sección, lo cual nos va a dar una idea más clara del comportamiento estructural del mismo, pues los dos sistemas comparados son usados bajo las mismas condiciones del terreno, son los dos sistemas usados para la construcción de un viaducto.



## **1.2 Formulación del problema**

### **Pregunta general**

¿Qué tipo de sección de túnel tiene mejor comportamiento estructural frente a cargas y presión del terreno?

### **Preguntas específicas**

¿Cómo funciona estructuralmente el túnel tipo herradura?

¿Cómo funciona estructuralmente el túnel tipo pared vertical con domo arqueado?

## **1.3 Justificación de la investigación**

Los túneles son de suma importancia en la época actual, pues son las obras subterráneas más conocidas, pues encuentran una gran variedad de aplicaciones en ingeniería, llegando a tal importancia, que su desarrollo ha marcado la evolución y avance de las demás obras subterráneas.

Debido a que en la actualidad no existen estudios comparativos que hagan el cálculo de parámetros estructurales en los dos sistemas de túneles propuestos que den un alcance sobre qué tipo de túnel es conveniente utilizar; es que en el presente tema de tesis se presentará la información pertinente para tomar la mejor decisión en el momento de tener que elegir un tipo de túnel.



## **1.4 Alcances y limitaciones**

Este trabajo de investigación se centra en el análisis estructural del túnel con sección tipo herradura y con sección de pared vertical con domo arqueado, mediante el programa de ingeniería SAP 2000, este análisis estructural obviará el análisis de cimentación de la estructura y se centrará en el análisis del comportamiento de las paredes ante las presiones del terreno al que se encuentran sometidas, calculándose deformaciones y esfuerzos que permitan la comparación.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo General**

- ❖ Evaluar el comportamiento estructural del túnel tipo herradura y del tipo pared vertical con domo arqueado.

### **1.5.2 Objetivos Específicos**

- ❖ Que sección de túnel funciona mejor estructuralmente
- ❖ Que sección del túnel genera menores momentos
- ❖ Que sección del túnel genera fuerzas cortantes menores
- ❖ Que sección del túnel presenta deformaciones menores
- ❖ Que sección del túnel se deforma menos en la sección de la cupula



## **1.6 Hipótesis y variables**

### **1.6.1 Hipotesis**

El túnel tipo herradura tiene mejor comportamiento estructural que el túnel con sección de pared vertical y domo arqueado.

### **1.6.2 Variables**

#### **1.6.2.1 Variables dependientes**

- Mejor comportamiento estructural de un túnel

#### **1.6.2.2 Variables independientes**

- Túnel sección tipo herradura

#### **1.6.2.3 Variables intervinientes**

- Presión y carga del terreno (esfuerzo residual)

## **1.7 Tipo de investigación: Explicativa**

Es explicativa porque se intenta comprender el por qué el túnel tipo herradura tiene mejor comportamiento estructural que el túnel de sección con paredes verticales con domo arqueado frente a cargas y presión del terreno.

Esta teoría nos conducirá a un sistema explicativo global que apunta hacia la comprensión de la realidad del comportamiento estructural de los tipos de túneles considerados.

La causa efecto en nuestro tema se avizora, porque la elección del tipo de túnel, dará lugar a plasmar el efecto de tener un mejor comportamiento estructural, frente a cargas y presión del terreno.

La investigación realizada, pues, a la luz de las normas va a explicar el comportamiento estructural de los dos sistemas propuestos, en base a las variables intervinientes de carga y



presión del terreno; que permita al ingeniero estructural tener seguridad en la elección del tipo de túnel.

### 1.8 Localización

El área de estudio se encuentra en el distrito de Cajamarca, provincia del mismo nombre y departamento de Cajamarca, con las siguientes coordenadas UTM

|                        |         |
|------------------------|---------|
| <b>CORDENADA SUR</b>   | 9205426 |
| <b>CORDENADA ESTE:</b> | 776821  |

### 1.9 Población y muestra

#### 1.9.1 Poblacion

Nuestra población son los túneles de la ciudad de Cajamarca

#### 1.9.2 Muestra

Túnel con sección tipo herradura

Túnel con sección con paredes verticales y con domo arqueado



## CAPITULO I. MARCO TEORICO

### a) Antecedentes

Se tomó en cuenta para el desarrollo de esta tesis las teorías de Terzaghi y Protodyakonov, teniendo en cuenta su clasificación y criterios para el cálculo de las respectivas cargas a la que va a estar sometido el túnel.

#### 1.1. La Clasificación de Terzaghi

La clasificación geo mecánica de Terzaghi tiene como fecha de nacimiento 1946. Ese año, la “Commercial Shearing and Stamping Co.”, una importante empresa fabricante de cerchas de acero para la entibación de túneles, aceptó que Karl Terzaghi se encargara de la parte de geología de su manual de entibaciones, el “Rock Tunnelling with Steel Supports“, escrito por Proctor y White.

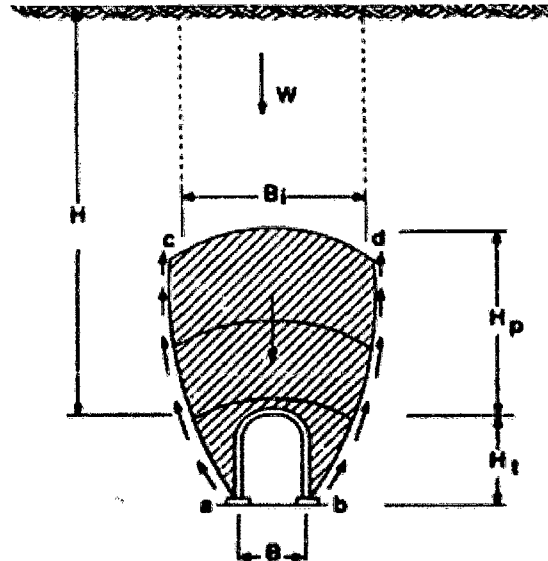
Proctor era el vicepresidente de la compañía y White el ingeniero estructural, y aunque los dos llevaban 20 años en el tema y más de 300 túneles hechos, seguían sin tener claros ciertos conceptos geotécnicos. Hasta tal punto que, tras las primeras dos horas de conversación con Proctor, Terzaghi declaró *“we both have the sensation that we lived for a long time in the same country but on opposite sides of an high wall“*.

Casi al mismo tiempo (aunque se publicó mucho después) escribieron una versión para suelos, el “Earth Tunnelling with Steel Supports“, manteniendo los autores originales y sin mencionar a Terzaghi como coautor, algo *“that seems somewhat*





*scandalous*” según Goodman, claro que Terzaghi decía de ellos que, pese a tener una buena capacidad de observación, eran “*abominable writers*”.



*Figura N° 01: Secciones de un túnel según Terzaghi*

Desarrollada, evidentemente, a partir de experiencias en túneles de ferrocarril con cerchas de acero, y basada únicamente en el tipo de terreno, a partir de la anchura y la altura del túnel, proporciona la carga sobre las cerchas metálicas, permitiendo así un rápido dimensionamiento (de ahí el concepto “clasificación”, ni más ni menos).

Según los expertos, para diámetros inferiores a 9 metros los resultados se pueden considerar buenos, incluso conservadores en de roca de buena calidad, pero no muy fiables en terrenos de comportamiento plástico o expansivo (además, como mantiene la tradición americana de usar mucho explosivo y la mayor cantidad posible de acero en las cerchas -lo más rígidas posible-, es demasiado



conservadora también para túneles excavados con limitación de explosivos, con microretardos o con voladuras de contorno).

| Condiciones de la roca                           | RQD    | Carga de la roca ( $R_c$ )           | Notas   |
|--|--------|--------------------------------------|---|
| 1. Dura e intacta                                | 95-100 | Cero                                 | Según Terzaghi (1946)                                   |
| 2. Estratificada dura o esquistosa               | 90-99  | 0-0.5 B                              | " " "   |
| 3. Masiva, no duramente diaclasada               | 85-95  | 0-0.25 B                             | " " "   |
| 4. Moderadamente en bloques y plegada            | 75-85  | 0.25- B-0.20 (B + $K_c$ )            | Tipos 4, 5 y 6 reducidos un 50% de los valores Terzaghi |
| 5. Muy en bloques y plegada                      | 30-75  | 0.20 -0.60 (B + $K_c$ )              |   |
| 6. Completamente triturada, químicamente intacta | 3-30   | (0.60-1.10) (B + $K_c$ )             |   |
| 6a. Arena y grava                                | 0-10   | (1.10-1.40) (B + $K_c$ )             |   |
| 7. Roca fluyente, profundidad moderada           | NA'    | (1.10-2.10) (B + $K_c$ )             | Según Terzaghi (1946)                                   |
| 8. Roca fluyente, gran profundidad               | NA'    | (2.10-4.50) (B + $K_c$ )             | " " "   |
| 9. Roca expansiva                                | NA'    | Hasta 75m. independ. de (B + $K_c$ ) | " " "   |

*Tabla N° 01: Condiciones de roca según Terzaghi*

Aunque la primera versión sólo era para roca (el cuadro superior no es el original, sino el modificado por Deere y Rose en 1982), hay también versiones para suelos, como el cuadro inferior, publicado por Manuel Romana en el año 2000, en un librito en el que tuve el placer de colaborar. *Quiéa dijo*

A continuación se observa la clasificación según el tipo de suelo que se encuentra.

| Tipificación   | Clase   |
|--|---------|
| Roca dura, masiva y sana: granitos, conglomeraos, basaltos, areniscas silíceas, calizas                            | Clase A |
| Rocas poco fracturadas, esquistosas: pizarras, esquistos, brechas  | Clase B |
| Rocas de Clase B con estratificación desfavorable, fracturas frecuentes: areniscas blandas, lutitas, conglomerados | Clase C |
| Sedimentos consolidados, roca muy fracturada: areniscas medias, tobas, pizarras. pequeñas                          | Clase D |



|  |         |
|--|---------|
| presiones laterales  |         |
| Rocas muy fracturadas o fisuradas, suelos: suelos granulares compactos con zonas de falla                        | Clase E |
| Suelos cohesivos o rocas blandas: arcillas residuales y rocas descompuestas y en estado plástico, arenas húmedas | Clase F |
| Depósitos cuaternarios flojos: arenas y gravas aluviales, arcillas y suelos colapsables, suelos vegetales        | Clase G |

*Tabla N° 02: Clasificación del terreno según Terzaghi*

Factor y dimensión para la altura máxima descomprimida teniendo en cuenta el cuadro anterior donde se clasifican los tipos de terreno

| Clasificación Terzaghi | $H_{p \text{ mín}}$ |           | $H_{p \text{ máx}}$ |           |
|------------------------|---------------------|-----------|---------------------|-----------|
|                        | Factor              | dimensión | factor              | dimensión |
| <b>A</b>               | 0.00                |           | 0.25                | B         |
| <b>B</b>               | 0.00                |           | 0.50                | B         |
| <b>C</b>               | 0.25                | B         | 0.35                | B+Ht      |
| <b>D</b>               | 0.35                | B+Ht      | 1.10                | B+Ht      |
| <b>E</b>               | 1.10                | B+Ht      | 1.10                | B+Ht      |
| <b>F</b>               | 1.10                | B+Ht      | 2.10                | B+Ht      |
| <b>G</b>               | 2.10                | B+Ht      | 4.50                | B+Ht      |
|                        |                     |           |                     |           |

*Tabla N° 03: Factor y dimensión para la altura máxima descomprimida <sup>1</sup>*

<sup>1</sup>. Romana M, Serón y Montalar, Eds., 2000. Clasificaciones Geomecánicas.



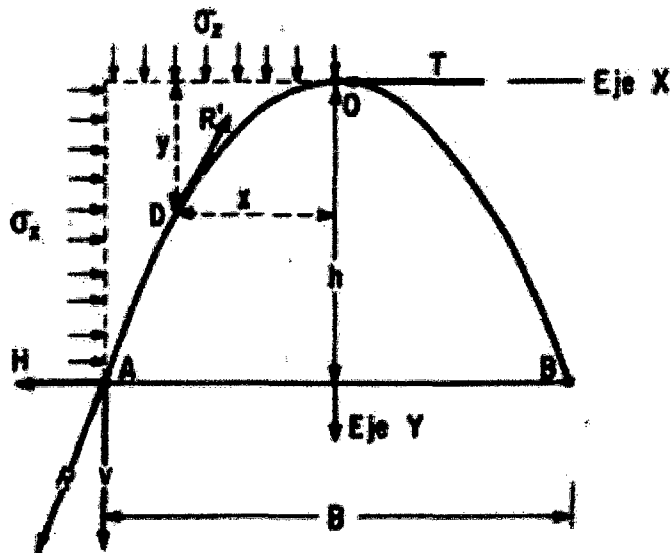
## 1.2. La Clasificación de Protodyakonov

La clasificación geo mecánica de Protodyakonov, permite calcular la carga que ejerce el terreno sobre el sostenimiento del túnel en función de dos factores, únicamente:

- La anchura del túnel (B)
- El coeficiente de resistencia (f)

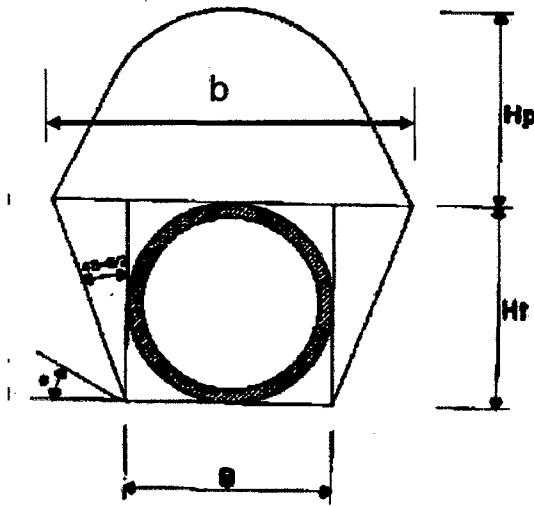
Este coeficiente depende de la resistencia a compresión simple (RCS), el ángulo de rozamiento interno ( $\phi$ ) y la cohesión (c) del terreno, de forma que para rocas, “f” vale una décima parte de la resistencia a compresión simple (en MPa), mientras que para suelos se toma  $f = \text{tg } \phi + c/\text{RCS}$

El planteamiento teórico del método es muy similar al utilizado posteriormente en la clasificación geo mecánica de Terzaghi, aunque Protodyakonov simplifica mucho las expresiones al considerar que las cargas de compresión creadas por el terreno se distribuyen de forma parabólica (como anti funicular de las cargas, evidentemente).





*Figura N°02: Distribución cargas del terreno según Protodyakonov*



*Figura N°03: Secciones del tunel según Protodyakonov*

A grandes rasgos, lo que hace es:

- Considerar un arco parabólico triarticulado trabajando a compresión.
- Plantear el equilibrio de fuerzas, compensando las cargas verticales y horizontales mediante el factor “f” (a modo de coeficiente de rozamiento).
- Buscar la mayor altura estable “h” que puede desarrollar el terreno, obteniendo así la igualdad  $h = B/2f$

Una vez conocida esa altura “auto-estable” (por llamarla de algún modo), tenemos delimitadas dos zonas con distinto comportamiento. Por encima de la parábola el terreno quedará sustentado por un “efecto arco” (también llamado “arqueado” o “efecto silo”), mientras que el terreno situado por debajo de la parábola cargará directamente sobre el sostenimiento.



Como se conoce la ecuación de esa parábola, se puede medir esta cantidad de terreno, obteniendo una carga total sobre el revestimiento de:

$$Q = \frac{1}{3} \cdot \gamma \cdot \frac{B^2}{f}$$

O, en términos de tensión sobre la sección:

$$P_v = \frac{\gamma \cdot B}{3f} \quad (\text{Siendo } \gamma \text{ la densidad del material})$$

Los coeficientes de empuje se obtienen tomando en cuenta el ángulo de fricción de terreno ( $\phi$ )

$$\text{Coeficiente empuje 1} = \tan\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) = Ce1$$

$$\text{Coeficiente empuje 2} = \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) = Ce2$$

**Altura de capa descomprimida ( $H_p$ ).**

$$H_p = \frac{2f}{3} (B + H_t \cdot Ce1)$$

Así mismo los valores de la altura de capa descomprimida máxima y mínimo lo obtenemos con los factores y la dimensión de acuerdo a la clasificación de Terzaghi.



**Presión lateral unitaria ( $P_h$ )**

$$P_h = \gamma \left( H p_{\max} + \frac{H_t}{2} \right) \cdot C e 2$$

**Relación de presiones ( $k$ )**

$$k = \left( \frac{P_h}{P_v} \right)$$

**Empuje horizontal ( $F_h$ )**

$$F_h = (P_h \cdot H_t)$$

**Empuje vertical ( $F_v$ )**

$$F_v = (P_v \cdot B)$$

**Momento máximo en la clave ( $M_c$ )**

Se tendrá en cuenta la relación entre la presión lateral unitaria y la presión vertical unitaria ( $k$ )

$$\text{Si: } P_h > P_v \quad \Rightarrow \quad M_c = \frac{P_v \cdot H_t^2}{12}$$

$$\text{Si: } P_h < P_v \quad \Rightarrow \quad M_c = 0.065(1-k) P_v B^2$$

**Momento último en la clave ( $M_{uc}$ )**

$$M_{uc} = 3M_c$$



### Momento máximo en paredes (Mp)

Se presenta bajo las siguientes condiciones:

$$\text{Si } P_v \geq P_h \quad \Longrightarrow \quad M_p = \frac{P_h \cdot H t^2}{12}$$

$$\text{Si } P_v < P_h \quad \Longrightarrow \quad M_p = M_c$$

### Momento último en paredes (Mp)

$$M_{up} = 3M_p$$

Espeor concreto calculado:

$$e = \frac{\left[ -Fh + \left( Fh^2 + 24F't \right)^2 \right]}{2F't}$$

Donde  $F't$  es la resistencia a la tracción directa del concreto

$$F't = f \sqrt{F'c}$$

Donde el valor del coeficiente  $f$  varía teniendo en cuenta los siguientes criterios:

Concreto peso normal  $\Rightarrow f = 0.80$  a  $1.33$

Concreto peso liviano  $\Rightarrow f = 0.53$  a  $0.80$

Resistencia a la tracción indirecta ( $f'ct$ ) tomando en cuenta los siguientes criterios

Concreto peso normal  $\Rightarrow f = 1.59$  a  $2.12$

Concreto peso liviano  $\Rightarrow f = 1.06$  a  $1.59$





Protodyakonov dio los siguientes valores para el coeficiente de resistencia “f”:

| Categoría            | Descripción   | f     |
|----------------------|---|-------|
| Excepcional          | Cuarzita, basaltos y rocas de resistencia excepcional                                     | 20    |
| Alta resistencia     | Gravos, areniscas silíceas y calizas muy compactas  | 15-10 |
| Resistencia media    | Caliza, granito algo alterado y areniscas   | 8-6   |
|                      | Areniscas medias y pizarras   | 5     |
|                      | Lutitas, areniscas flojas y conglomerados friables  | 4     |
|                      | Lutitas y esquistas, margas compactas   | 3     |
| Resistencia baja     | Calizas y lutitas blandas, margas, areniscas friables, gravas y bolos cementados, mocones | 2     |
|                      | Terrazas, lutitas suaves y rotas, gravas compactas y arcillas preconsolidadas             | 1,5   |
| Resistencia muy baja | Arcillas y gravas arcillosas  | 1,0   |
|                      | Suelos vegetales, turbas y arenas húmedas   | 0,6   |
|                      | Arenas y gravas finas, detritivos   | 0,5   |
|                      | Limos, loess, fangos, etc.  | 0,3   |

*Tabla N°04: Valor del coeficiente “f” de resistencia según tipo de suelo, según Protodyakonov<sup>2</sup>*

**b) Bases o modelo teórico**

**1.1. Concreto**

**Generalidades**

El concreto es un material de construcción bastante resistente, que se trabaja en su forma líquida, por lo que puede adoptar casi cualquier forma. Este material está constituido, básicamente de agua, cemento y otros añadidos, a los que posteriormente se les agrega un cuarto ingrediente denominado aditivo. Aunque comúnmente se le llama cemento, no se les debe confundir, y en verdad aquellas

<sup>2</sup> Alfonso Rico y Hermilo del Castillo .Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestre.Pag 386-394



mezclas que hacen los camiones tolva en las construcciones son en realidad concreto, es decir, cemento con aditivos para alterar sus propiedades.

Cuando todos los elementos de la mezcla se han incluido, se realiza la denominada revoltura del cemento, proceso mediante el cual se introduce el quinto elemento, el aire. Gracias a este procedimiento, el concreto se transforma en una masa que puede ser moldeada con facilidad, sin embargo, hay que procurar no tomarse mucho tiempo, ya que al cabo de unas horas, el concreto se endurece. Debido a esto, al correr el tiempo, este material va perdiendo su plasticidad, poniéndose cada vez más rígido hasta endurecerse por completo.

Existe la posibilidad de realizar ciertas modificaciones a las formas líquidas y sólidas del concreto. Lo anterior es realizable a partir de la adición de determinados elementos en forma dosificada, y de este modo, poder controlar, por ejemplo, el tiempo de endurecimiento de este material, acortándolo o alargarlo, según sean los requerimientos del constructor. Además gracias a este mismo mecanismo es posible reducir las demandas de agua de la mezcla, incluir más aire, o bien, aumentar las posibilidades de su trabajabilidad.

El concreto es un material de construcción muy popular que, gracias a la plasticidad de su forma líquida y la resistencia de su forma sólida, resulta ser el material ideal para el trabajo en exteriores. De este modo, el concreto se comporta como aquel material que nos permite vivir en casas firmes y llegar a ellas conduciendo por calles, autopistas y puentes. Se puede decir incluso, que es este el



elemento que le brinda la solidez a nuestros hogares, calles y muchos lugares más en los que desarrollamos nuestras vidas.

### **Materiales y requisitos**

#### **Requisitos del Concreto:**

Los trabajos de concreto, se ejecutarán de conformidad a las Especificaciones Técnicas, establecidas por los siguientes códigos y normas:

- Reglamento Nacional de Construcciones.
- ASTM

La calidad del concreto, cumplirá con los requisitos de resistencia a la compresión especificada ( $f_c$ ), la cual se ha tomado en cuenta para el diseño del túnel.

La resistencia especificada a la compresión, en  $\text{kg/cm}^2$ , se determinará por medio de Ensayos de Cilindros Standard de  $15 \times 30 \text{cm}$ , fabricados y envasados de acuerdo con la Norma ASTM-039, a los 7 y 28 días de edad; el número de muestras deberá ser fijado por el supervisor.

### **Materiales**

Los materiales cubiertos bajo este título son: Cemento, Agregados, Agua.

#### **a) Cemento**

El cemento, se conformará de acuerdo a las especificaciones del Cemento Portland Tipo I.

El cemento será transportado de la fábrica al lugar de la obra, de forma tal que no esté expuesto a la humedad y el sol; tan pronto llegue el cemento a obra, será al-



macenado en un lugar seco, cubierto y bien aislado de la intemperie, se rechazarán las bolsas rotas y/o con cemento en grumos, y no se arrumará a una altura mayor de 10 sacos.

Si se diera el caso de utilizar cemento de diferentes tipos, se almacenarán de manera que se evite la mezcla o el empleo de cemento equivocado. Si el cemento a usarse permaneciera almacenado por un lapso mayor a 30 días, se tendrá que comprobar su calidad mediante ensayos.

#### **b) Agregados**

Los agregados que se usarán serán el Agregado Fino o Arena y el Agregado Grueso (piedra chancada) o Grava limpia del río; en todo caso el Residente, realizará el estudio y selección de canteras para la obtención de agregados para concreto, que cumplan con los requerimientos de las Especificaciones ASTM - C 33.

- **Arena**

La gradación del agregado será continua, conteniendo partículas donde el tamaño nominal hasta el Tamiz N° 4, debiendo cumplir los límites de granulometría establecidos en las Especificaciones ASTM-C-33.

El Agregado fino (arena) deberá cumplir con lo siguiente:

- Grano duro y resistente.
- No contendrá un porcentaje con respecto al peso total de más del 5 % del material que pase por tamiz 200. (Serie U.S.) en caso contrario el exceso deberá ser eliminado mediante el lavado correspondiente.



- El porcentaje total de arena en la mezcla puede variar entre 30 % y 45 % de tal manera que consiga la consistencia deseada del concreto. El criterio general para determinar la consistencia será el emplear concreto tan consistente como se pueda, sin que deje de ser fácilmente trabajable dentro de las condiciones de llenado que se está ejecutando.
- La trabajabilidad del concreto es muy sensitiva a las cantidades de material que pasen por los tamices N° 50 y N° 100, una deficiencia de éstas medidas puede hacer que la mezcla necesite un exceso de agua y se produzca afloramiento y las partículas finas se separen y salgan a la superficie.
- El agregado fino no deberá contener arcillas o tierra, en porcentaje que exceda el 3% en peso, el exceso deberá ser eliminado con el lavado correspondiente.
- No debe haber menos del 15 % de agregado fino que pase por la malla N° 50, ni 5 % que pase por la malla N° 100. Esto debe tomarse en cuenta para el concreto expuesto.

- **Agregado Grueso**

Deberá ser de Piedra, Grava Rota o Chancada, de grano duro y compacto, limpia de polvo, materia orgánica, barro u otra sustancia de carácter deletreo. En general deberá estar de acuerdo con las normas ASTM C-33-61T, el tamaño máximo para losas y secciones delgadas, incluyendo paredes, columnas y vigas, deberán ser de 3.5cm; la forma de las partículas de los agregados deberá ser dentro de lo posible redonda cúbica.

Excepto lo permitido en la sección pertinente de la norma ACI 318, el tamaño máximo del agregado no será mayor de 1/5, de la separación menor entre los lados



de los encofrados del miembro, en el cual se va usar concreto; ni mayor que 3/4 partes del espaciamiento libre mínimo, entre varillas individuales o paquetes de varillas.

El contenido de sustancias nocivas en el agregado grueso, no excederá los siguientes límites expresados en % del peso de la muestra:

- Granos de Arcilla: 0,25 %
- Partículas Blandas: 5,00 %
- Partículas más finas que la Malla # 20: 1,0 %
- Carbón y Lignito: 0,5 %

El agregado grueso, sometido a cinco (05) Ciclos del ensayo de estabilidad, frente al sulfato de sodio, tendrá una pérdida no mayor del 12 %.

El agregado grueso, sometido al ensayo de abrasión de los Ángeles, debe tener un desgaste no mayor del 50 %.

- **Hormigón**

El hormigón será un material de río o de cantera, compuesta de partículas fuertes, duras y limpias, libre de cantidades perjudiciales de polvos blandos o escamosos, ácidos, materiales orgánicos o sustancias perjudiciales.



**c) Agua de Mezcla**

El agua usada en la mezcla debe ser limpia y libre de cantidades de ácido, álcalis, sales, grasas y materiales orgánicos u otras sustancias deletéreas, que puedan ser dañinas para el concreto y el acero.

**Almacenamiento de Cemento y Materiales**

**a) Almacenamiento del Cemento**

El cemento se almacenará en tal forma que no sea perjudicado o deteriorado por el clima, humedad, agua de lluvia, etc. y otros agentes exteriores, se cuidará que el cemento almacenado en bolsas no esté en contacto con la humedad del suelo o el agua libre que pueda correr en el mismo.

En general el cemento en bolsas se almacenará en un lugar techado, fresco, libre de humedad y contaminaciones. El cemento a granel, se almacenará en silos adecuados u otros elementos similares que no permitan la entrada de humedad.

**b) Almacenamiento de Agregados**

Los agregados en la zona de fabricación del concreto, se almacenarán en forma adecuada para evitar su deterioro o contaminación con sustancias extrañas; se descargarán de modo de evitar segregación de tamaños.

Los agregados almacenados en pilas o tolvas estarán protegidos del sol, para evitar su calentamiento. Cualquier material que se haya contaminado o deteriorado, no será usado para preparar concreto.



Los agregados deberán de ser almacenados o apilados, de forma de que se prevenga una segregación (separación de las partes gruesas de las finas) o contaminación excesiva con otros materiales o agregados de otras dimensiones.

Para asegurar que se cumplan estas condiciones, el Ingeniero Residente hará muestreos periódicos para la realización de ensayos de rutina, en lo que se refiere a la limpieza y granulometría.

La arena deberá dejarse drenar hasta que se haya llegado a un contenido de humedad uniforme.

#### **a) Clases de Concreto**

Para cada tipo de construcción en las obras, la calidad del concreto especificada en los planos, se establecerá según su clase, referida sobre la base de las siguientes condiciones:

-Resistencia a la compresión especificada  $f_c$  a los 28 días.

-Relación de Agua/Cemento máxima permisible en peso, incluyendo la humedad libre en los agregados, por requisitos de durabilidad e impermeabilidad.

-Consistencia de la mezcla de concreto, sobre la base del asentamiento máximo (SLUMP) permisible.





## **b) Diseño de Mezclas de Concreto**

La determinación de la proporción de agregados, cemento y agua del concreto, se realizará mediante mezclas de prueba, de modo que se logre cumplir con los requisitos de trabajabilidad, impermeabilidad, resistencia y durabilidad exigidos para cada clase de concreto.

Las series de mezclas de pruebas, se harán con el Cemento Portland Tipo I u otro especificado o señalado en los planos con proporciones y consistencias adecuadas para la colocación del concreto en obra, usando las relaciones Agua/Cemento establecidos, cubriendo los requisitos para cada clase de concreto.

### **Dosificación, Mezclado, Colocación y Consolidación del Concreto**

#### **a) Preparación del Equipo y los Lugares de Colocación**

Antes de colocar el concreto, todo el equipo para el mezclado y el transporte deberá estar limpio; se eliminarán todos los desperdicios que van a ser ocupados por el concreto, las superficies del encofrado deberán estar limpias, libres de cualquier material ajeno al concreto, luego se procederá al humedecimiento de las superficies de encofrado y superficies en general donde se vaciará el concreto.

#### **b) Dosificación del Concreto**

La proporción de mezclas de concreto se harán en peso, el equipo de dosificación permitirá que las proporciones de cada uno de los materiales que



componen la mezcla, puedan ser medidas en forma precisa y verificadas fácilmente en cualquier etapa del trabajo.

El cemento y los agregados se medirán por peso en forma separada; la medición del agua de mezclado se hará con medidores de volumen, con tanques de medición cilíndricos con una precisión del 1 %. La medición en peso se hará con una precisión dentro de 1 % para el cemento y 2 % para los agregados.

Antes de iniciar las operaciones de dosificación, se procederá a la verificación de la exactitud de pesado de las balanzas para el cemento y agregados, lo mismo que los equipos de medición de agua, dicho control se realizará con la debida frecuencia durante el tiempo que dure la fabricación del concreto, a fin de verificar la precisión del equipo de dosificación.

### **c) Mezclado de Concreto**

Todo el concreto se mezclará, hasta que exista una distribución uniforme de todos los materiales, y se descargará completamente antes de que la mezcladora se vuelva a cargar.

El equipo y los métodos para mezclar concreto, serán los que produzcan uniformidad en la consistencia, en los contenidos de cemento y agua, y en la graduación de los agregados, de principio a fin de cada revoltura en el momento de descargarse.

El mezclado del concreto, se hará en mezcladora del tipo aprobado; el volumen del material mezclado no excederá la capacidad garantizada por el fabricante o del 10% más de la capacidad nominal.



La velocidad del mezclado será la especificada por el fabricante. El tiempo de mezclado se medirá desde el momento en que todos los materiales sólidos se hallen en el tambor de mezclado, con la condición que todo el agua se haya añadido antes de transcurrido una cuarta parte del tiempo de mezclado.

Los tiempos mínimos de mezclados serán:

- Un minuto y medio para mezcladoras de 1,0 m<sup>3</sup> o menos de capacidad.
- Para mezcladoras con capacidades mayores de 1,0 m<sup>3</sup>, se aumentará el tiempo de mezclado, 15 segundos para cada metro cúbico o fracción adicional de capacidad.

El concreto premezclado, se preparará y entregará de acuerdo con los requisitos establecidos en la Norma ASTM - C94 de "*Especificaciones de Concreto Premezclado*".

La eficiencia del equipo de mezclado será controlada mediante la prueba de funcionamiento de la mezcladora, según la Norma USBR, designación 126 de esta prueba, del Concrete Manual.

Sobre la base de los resultados de esta prueba, el Supervisor podrá disponer el retiro o arreglo de la mezcladora, o bien determinar las condiciones de funcionamiento (carga máxima, velocidad de rotación, etc.) más aptas para poder garantizar la uniformidad de la calidad especificada del concreto.



#### **d) Transporte**

El transporte se hará por métodos que no permitan la pérdida del material, ni de la lechada del concreto; el tiempo que dure el transporte se procurará que sea el menor posible. No se permitirá transportar el concreto que haya iniciado su fragua o haya endurecido, ni aún parcialmente.

#### **e) Colocación del Concreto**

Antes del vaciado se removerán todos los materiales extraños que pueda haber en el espacio que va a ocupar el concreto antes que éste sea vaciado.

Además de lo expuesto y antes de proceder al vaciado del concreto, el inspector deberá aprobar la preparación de éste, después de haber controlado las superficies en las que se asienta el concreto, aprobando los equipos y sistemas de puesta en obra del concreto.

El concreto para rellenar algún volumen fuera de la sección que se indica en los planos, producido por sobre excavación, será de la misma calidad que el de la estructura adyacente.

El concreto debe ser puesto en obra inmediatamente después de mezclado, sin interrupciones y antes de manifestarse signos de fraguado.

#### **f) Consolidación del Concreto**

Todo el concreto será consolidado por medio de Vibradores Mecánicos internos, aplicados directamente dentro del concreto en posición vertical (Vibrador de Aguja).



La intensidad y duración de la vibración será suficiente para lograr que el concreto fluya, se compacte totalmente y embone a las armaduras, tubos, conductos, manguitos y otra forma similar. Los vibradores sin embargo, no deberán ser usados para mover el concreto, sino a una pequeña distancia horizontalmente.

El aparato vibrador deberá penetrar en la capa colocada previamente para que las dos capas sean adecuadamente consolidadas juntas, pero no deberá penetrar en las capas más bajas, que ya han obtenido la fragua inicial. La vibración será interrumpida inmediatamente cuando un viso de mortero aparezca en la superficie.

Se deberá disponer de un número suficiente de vibradores para proporcionar la seguridad de que el concreto que llegue pueda ser compactado adecuadamente dentro de los primeros 15 minutos después de colocado. La vibración será suplementada, si es necesario, por un varillado a mano o paleteado, sobre todo en las esquinas y ángulos de los encofrados, mientras el concreto se encuentre en el estado plástico y trabajable.

#### **g) Juntas de Construcción**

Las juntas de construcción se harán únicamente donde muestre el cuadro de rociado, preparado al efecto por el Ingeniero, y su disposición será previa orden de éste. El concreto deberá vaciarse continuamente de manera que la unidad de la base se conserve.



## **h) Prueba de Resistencia**

Con el fin de ratificar los resultados de las mezclas de prueba, se preparan series de pruebas a escala natural, para cada clase de concreto, en las mezcladoras o planta de mezclado que se usarán para la obra.

Los ensayos se harán con suficiente anticipación con el fin de disponer de resultados completos y aceptables antes de comenzar el vaciado de las obras.

Para una verificación continua de la calidad del concreto, se efectuarán ensayos de consistencia y pruebas de resistencia durante la operación de colocación del concreto en obra.

La prueba de resistencia a una edad determinada será el resultado del valor promedio del ensayo a la compresión de dos (02) especímenes cilíndricos de 6" y 12", de acuerdo con la Norma ASTM - C 33 del "*Método de Ensayo a Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto*", provenientes de una misma muestra de concreto, tomando de acuerdo con la Norma ASTM - C 172 del "*Método de Muestra de Concreto Fresco*".

Cada muestra de concreto estará constituida por seis (06) especímenes moldeados y curados de acuerdo con la Norma ASTM-C-33 del "*Método de Fabricación y Curado de Especímenes de Ensayo de Concreto, en el Campo*". Estos Especímenes serán curados bajo condiciones de obra y ensayados a los 7, 28 y 60 días.

El nivel de resistencia especificada  $f_c$ , para cada clase de concreto será considerado satisfactorio si cumple a la vez los siguientes requisitos:



Sólo una de diez (10) pruebas individuales consecutivas de resistencia, podrá ser mas baja que la resistencia especificada  $f_c$ .

Ninguna prueba individual de resistencia, podrá ser menor en  $35 \text{ kg/cm}^2$ , de la resistencia especificada.

A pesar de la comprobación del Supervisor, el Ing. Residente será total y exclusivamente responsable de conservar la calidad del concreto de acuerdo a las especificaciones.

Para el caso de las pruebas de resistencia de cilindros curados en el campo, que sirven para verificar la eficacia del curado y protección del concreto en obra, se deberá cumplir lo siguiente:➤

- Las pruebas de resistencia de cilindros curados en el campo, tendrán un valor igual o mayor que el 85 % de la resistencia de los cilindros de la misma mezcla pero curado en el laboratorio.

- Cuando las pruebas de resistencia de los cilindros son curadas en el laboratorio y dan valores apreciablemente más altos que  $f_c$ , los resultados de las pruebas de los cilindros curados en el campo se consideran satisfactorios, si exceden la resistencia de los especimenes de la misma mezcla curados en el laboratorio.

- Cuando las pruebas de resistencia no cumplan con los requisitos anteriormente indicados, o cuando los cilindros curados en el campo indiquen diferencias en la protección y el curado, el Supervisor ordenará al Residente ensayos de testigos (diamantinos) de concreto, de acuerdo con la Norma ASTM C-42 "Método de



***Obtención y Ensayo de Testigos Perforados y Vigas Cerradas de Concreto"***, para aquella área del concreto colocado que se encuentre en duda.

En cada caso, tres (03) testigos de concreto serán tomados por cada prueba de resistencia, cuyo valor sea  $35 \text{ kg/cm}^2$  menor que la resistencia especificada  $f_c$ .

El concreto del área de la estructura en duda y representados por los tres (03) testigos de concreto será satisfactorio si el valor promedio del ensayo de resistencia de los testigos es igual o mayor que el 85 % de  $f_c$ , y ningún valor de ensayo individual de los mismos sea menor que el 75 % de  $f_c$ .

En caso contrario, el Residente procederá a la eliminación y reposición de la parte afectada de la obra. Los métodos y procedimientos empleados para la reparación del concreto deberán cumplir con lo especificado por el Concrete Manual del Bureau of Reclamation (8va. Edición Capítulo VII).

Las pruebas de consistencia se efectuarán mediante el ensayo de asentamiento de acuerdo con la Norma ASTM-C-143 del "*Método de Ensayo de Asentamiento (SLUMP) de Concreto de Cemento Portland*". Los ensayos de asentamiento del concreto fresco se realizarán por lo menos durante el muestreo para las pruebas de resistencia y con una mayor frecuencia, según lo ordene el Supervisor, a fin de verificar la uniformidad de consistencia del concreto.

En todo caso el Residente supervisará las pruebas necesarias de los materiales y agregados de los diseños propuestos de mezcla y del concreto resultante,





para verificar el cumplimiento con los requisitos técnicos y especificaciones de la obra.

**i) Consistencia del Concreto y Asentamiento o "Slump"**

Las proporciones de Agregado – Cemento, serán tales que se pueda producir una mezcla fácilmente trabajable (y que además tengan la resistencia especificada), de manera que se acomode dentro de las esquinas y ángulos de las formas, y alrededor del refuerzo con el método de colocación empleado en la obra; pero que no permita que los materiales se segreguen o produzcan un exceso de agua libre en la superficie.

Se recomienda usar los mayores "SLUMP" para los muros delgados, para el concreto expuesto y zona con mucha armadura. El asentamiento o "SLUMP" será determinado de acuerdo a la Norma ASTM C-143.<sup>3</sup>

**1.2. Condiciones geológicas y geomecánicas del tunel**

Ampliaremos las condiciones geológicas y geomecánicas en la que se ha realizado esta investigación, la cual se basa en la clasificación de Terzaghi, el suelo CLACE F, el cual corresponde a "Suelos cohesivos o rocas blandas: arcillas residuales y rocas descompuestas y en estado plástico, arenas húmedas"

**1.2.1. Rocas blandas o suelos cohesivos.**

Se define como roca blanda a aquellos materiales de origen arcilloso o limoso que presentan una marcada cementación, y cuyo comportamiento mecánico se sitúa en un punto intermedio entre los suelos y las rocas. Dentro de este grupo

<sup>3</sup> ETG-OCA-01, Obras de Concreto Armado, 2009, Volumen II, Pag 1-10



se incluyen las argilitas, limolitas, margas, lutitas (shales) y lodolitas. La presencia de este tipo de materiales en las obras civiles es muy común, lo que hace de especial interés el estudio de su comportamiento bajo las olicitaciones de la obra que se pretende llevar a cabo.

La presencia de un agente cementante “pegando” las partículas de arcilla o limo, produce un comportamiento intermedio entre los característicos de las rocas y de los suelos. Por un lado, la cementación permite adquirir una mayor resistencia y rigidez, mejorando en general sus propiedades mecánicas. Por esta razón, su comportamiento se denomina comúnmente “tipo roca”. Sin embargo, los valores de resistencia que se alcanzan no son muy elevados, por lo que su comportamiento final acaba situándose en un punto intermedio entre el característico de “tipo roca” y el de “tipo suelo”.

Otra característica de especial relevancia de las rocas blandas es que son materiales muy evolutivos, ya que presentan una tendencia muy importante a modificar su comportamiento, pasando de uno cercano a “tipo roca” a uno tipo suelo” en un corto periodo de tiempo. Esta evolución en su comportamiento mecánico se denomina degradación. El fenómeno de degradación se caracteriza principalmente por la pérdida de resistencia del material, cambios en su volumen (expansiones irreversibles), pérdida de rigidez y la aparición de fisuras por agrietamiento (pérdida de continuidad de masa) (Alonso & Alcoverro, 2004).<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> S Gómez Ramírez. Efecto de los cambios de succión y tensión en la degradación de argilitas, – 2009 pag. 04



### **1.2.2. Rocas sedimentarias.**

Las rocas sedimentarias son rocas que se forman por acumulación de sedimentos que, sometidos a procesos físicos y químicos (diagénesis), dan lugar a materiales más o menos consolidados. Pueden formarse a las orillas de los ríos, en el fondo de barrancos, valles, lagos, mares, y en las desembocaduras de los ríos. Se hallan dispuestas formando capas o estratos.

Existen procesos geológicos externos actúan sobre las rocas preexistentes y las meteorizan, transportan y depositan en diferentes lugares dependiendo del agente que transporte (agua, viento, hielo). De igual manera, distintos organismos animales o vegetales pueden contribuir a la formación de rocas sedimentarias (fósiles). Las rocas sedimentarias pueden existir hasta una profundidad de diez kilómetros en la corteza terrestre. Estas rocas pueden presentarse sueltas o consolidadas, es decir, que han sido unidas a otras por procesos posteriores a la sedimentación, conocidos como diagénesis.

Las rocas sedimentarias cubren más del 75 % de la superficie terrestre, formando una cobertura sedimentaria sobre un zócalo formado por rocas ígneas y, en menor medida, metamórficas. Sin embargo su volumen total es pequeño cuando se comparan sobre todo con las rocas ígneas, que no sólo forman la mayor parte de la corteza, sino la totalidad del manto<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> Disponible en la pagina web: [http://es.wikipedia.org/wiki/Roca\\_sedimentaria](http://es.wikipedia.org/wiki/Roca_sedimentaria)



### **1.2.3. Arcillas residuales**

Las arcillas residuales o primarias son las que están formadas en el mismo lugar de sus rocas madres o afloramientos y han sido poco agredidas por los agentes atmosféricos, esto es que no han sido transportadas por el agua, el viento o glaciación. Éstas tienden a ser de grano grueso y relativamente no plásticas. Cuando han sido limpiadas de fragmentos de roca, son relativamente puras, blancas y libres de contaminación con materiales arcillosos y tienen un alto nivel de fusión.<sup>6</sup>

### **1.2.4. Defectos físicos de las rocas.**

Todas las rocas, independientemente de este tipo, tienen defectos físicos o estructurales que ejercen una considerable influencia en las operaciones de perforación de túneles. Estos defectos consisten en fracturas, cuyas magnitudes y espaciamiento varían considerablemente. Las fracturas simples se definen como juntas, mientras que las fracturas mayores, asociadas con desplazamiento relativamente grandes se definen como fallas.

#### **Las grietas.**

Son las superficies de fallas físicas o separaciones con muy poco o ningún desplazamiento entre los componentes de la roca en lados opuestos de la grieta.

---

<sup>6</sup> Disponible en la página web: <http://tunaceramica.com/teoria/arcillasytierras.htm>



Estas pueden existir en dos o tres planos aproximadamente ortogonales entre sí al perforar un túnel en una formación rocosa, la existencia de juntas afectará la cantidad de ademe que tenga que ponérsele al domo durante las operaciones de perforación del túnel. También, las juntas proporcionan un pasaje por donde puede filtrarse el agua subterránea en el túnel.

### **Fallas.**

Es una zona en una formación en donde ha ocurrido un gran desplazamiento a lo largo del plano de falla. El desplazamiento puede ser horizontal, vertical, o una combinación de las dos. Por lo general, una falla constituye un peligro indeseable en la perforación de un túnel. Debido a las enormes fuerzas que producen la falla, la formación de rocas en la zona de la falla estará quebrada. El material triturado puede variar de tamaño desde arenas finas hasta grandes bloques que tienden a caerse hacia adentro del túnel al estarlo perforando a través de la zona de falla.

Si existe agua freática en la formación, el material triturado dentro de la zona de falla proporcionará un excelente pasaje por el cual podrá fluir el agua al túnel a no ser que se tomen pasos correctivos antes de excavar en esa zona. Podrá llegar a ser necesario inyectarle concreto a la formación antes de perforar el túnel para eliminar el peligro del agua subterránea<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup> Robles Espinoza, Nerio. Lima: Concytec, 1994 Excavación y sostenimiento de túneles en roca.



### **1.2.5. Influencias de las condiciones geológicas.**

#### **Fenómenos de alivio de presión.**

Las rocas en la naturaleza, especialmente las que se encuentran bastante profundas, están afectadas por el peso de los estratos superiores a ellas y por su propio peso. Debido a estos factores se producen esfuerzos y deformaciones en la masa rocosa. Una partícula necesita cierta libertad para ser desplazada, si la roca esta confinada y por tanto su movimiento impedido habrá solo un corrimiento parcial de la roca, en caso de que se produzca alguno. El esfuerzo que no pudo producir deslizamiento, por la falta de espacio, permanece todavía en ella y se dice que está almacenado en la misma. A este esfuerzo se denomina esfuerzo residual. Al permitirse movimiento, este es el caso de una excavación para un túnel, la energía se libera en forma de deslizamientos, estos están en función del tipo de roca, profundidad, etc.<sup>8</sup>

### **1.2.6. Túnel que atraviesa zonas acuíferas**

#### **a. Rocas permeables**

Túnel en roca permeable por fisuración. En este caso el revestimiento es total y se estudiará un sistema de drenaje especial.

- Impermeabilización
- Inyecciones

---

<sup>8</sup> Manuel Romana Ruiz .Clasificaciones Geomecánicas., Eds. 2000. Pag 17-19 Gianfranco Perri, Clases de comportamiento y cargas de diseño para túneles excavados convencionalmente. Pag 3-5



- Drenaje
- Revestimiento

#### **b. Rocas parcialmente permeables**

Túnel en un horizonte acuífero. El revestimiento es parcial

- Controlable.
- Debe tratarse inmediatamente después de localizarlo.

#### **c. Suelos permeables.**

Túnel en suelo permeable por porosidad. Los métodos de avance son especiales como el de la congelación o el de cámara de presión<sup>2</sup>.

- El Revestimiento no falta.
- Difícil control geológico.
- El comportamiento depende del tipo del suelo.

Generalmente los túneles en suelos siempre representan mayores problemas que en Rocas, aquí para condiciones sísmicas existen códigos especiales<sup>9</sup>.

#### **1.2.7. Descripción de los procedimientos constructivos de un túnel**

Los elementos de un túnel son la bóveda, los hastiales y la solera. Todos estos elementos pueden ser construidos en una única etapa, con todo el espesor de hormigón y armaduras definitivas, o en dos etapas. En este último caso la primera etapa se ejecuta cerca del frente y tiene como función principal el

<sup>9</sup> Linares Sánchez Antonio. Túneles y obras subterráneas, Editores técnicos asociados SA Barcelona 1997. Pag 98-119



sostenimiento del suelo en el corto plazo. La segunda etapa, de terminación, se ejecuta dentro de un túnel limpio y seco, y por lo tanto tiene mejor calidad. Con frecuencia se exige que el análisis estructural del túnel se efectúe tomando en cuenta únicamente el revestimiento de segunda etapa.

Los métodos constructivos difieren en el orden en que se construyen los diferentes elementos del túnel y en cuantas etapas se divide cada uno. Descriptos de manera sucinta, los métodos de tonelería usados en el subterráneo son:

- Método Alemán (Línea B, 1998-2000): i) se construyen los hastiales definitivos con hormigón moldeado y longitud de veinte a cuarenta metros; ii) se construye la bóveda primaria con hormigón proyectado y avances de uno a dos metros; iii) se construye la bóveda secundaria con hormigón moldeado y avances de cuatro a seis metros; y iv) se construye la solera con hormigón moldeado y longitud de cinco a ocho metros.

- Método Belga (Líneas H y A, 2000-2006): i) se construye la bóveda primaria con hormigón proyectado y avances de uno a dos metros; ii) se construye la bóveda secundaria con hormigón moldeado y longitud de cuatro a seis metros; iii) se construyen los hastiales definitivos con hormigón moldeado y longitud de dos a tres metros; y iv) se construye la solera con hormigón moldeado y longitud de cinco a ocho metros.<sup>10</sup>

---

<sup>10</sup> Alejo O. Sfriso UBA, AOSA SRL y VS Consultores SA. Buenos Aire. Pag 02

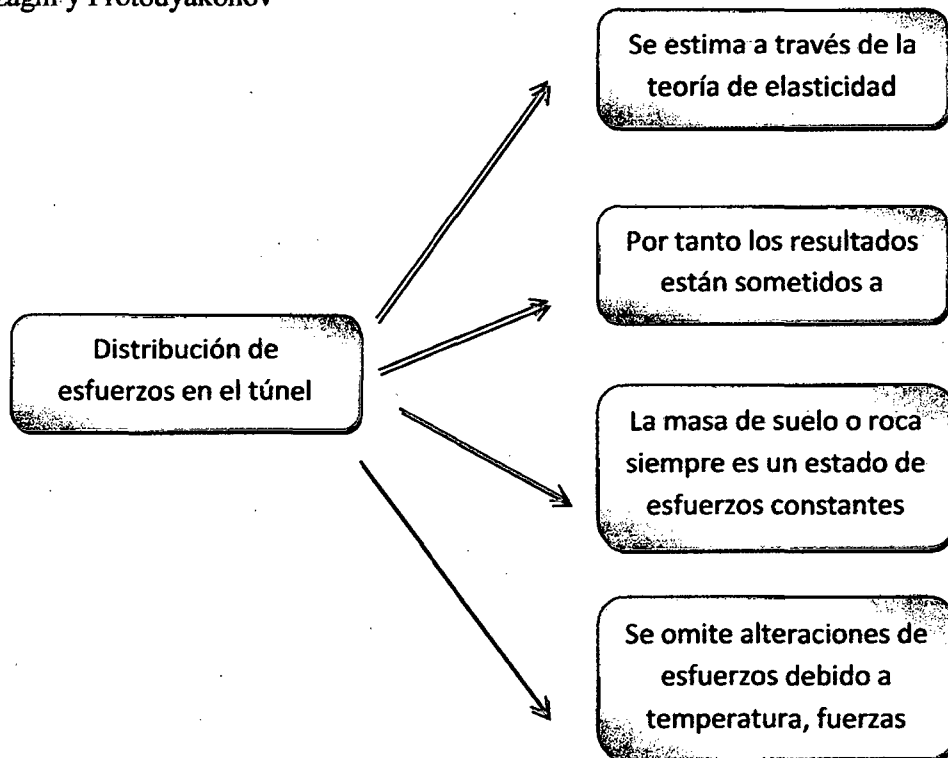




## CAPITULO II. MODELAMIENTO DE LA ESTRUCTURA

Una vez preseleccionado cualitativamente el soporte necesario a la adecuada estabilización el túnel, basado en la determinación de la clase de comportamiento de la excavación de acuerdo con las pautas establecidas con anterioridad, para elaborar un detallado diseño estructural es luego necesario proceder con los correspondientes análisis y cálculos, para lo cual el elemento básico lo constituye la determinación de las cargas actuantes sobre la estructura del soporte, además obviamente de la calibración de la rigidez de los terrenos que acogerán la misma estructura del soporte a diseñar.

Nos basaremos en la siguiente distribución de esfuerzos del túnel teniendo en cuenta la teoría de Terzaghi y Protodyakonov





Este trabajo de investigación se centra en el análisis estructural del túnel con sección tipo herradura y con sección de pared vertical con domo arqueado, mediante el programa de ingeniería SAP 2000 V 15, este análisis se centrará en el análisis del comportamiento de las paredes ante las presiones del terreno al que se encuentran sometidas, calculándose deformaciones y esfuerzos que permitan la comparación de los sistemas analizados, para todo esto debemos tener una idea muy clara del programa SAP 2000

SAP2000 es un programa de cálculo de estructuras por elementos finitos, para análisis estático y dinámico lineal y no lineal, el nombre SAP ha sido sinónimo de métodos analíticos-de-punta desde su introducción hace más de 30 años. SAP2000 sigue en la misma tradición con una interfaz de usuario muy sofisticadas, intuitiva y versátil impulsada por las herramientas de motor y diseño un análisis sin precedentes para ingenieros de trabajo sobre transporte, industrial, obras públicas, deportes y otras instalaciones.

De su objeto 3D basado gráfica de entorno a la amplia variedad de análisis y diseño opciones completamente integrada a través de una interfaz de usuario potente, de modelado SAP2000 ha demostrado para ser el propósito general más integrado, productivo y práctico programa estructural en el mercado de hoy.

Esta interfaz intuitiva permite crear modelos estructurales intuitivamente y rápidamente sin demoras larga curva de aprendizaje. Ahora usted puede aprovechar el poder de SAP2000 para todas las tareas de análisis y diseño, incluyendo pequeños problemas cotidianos. Modelos



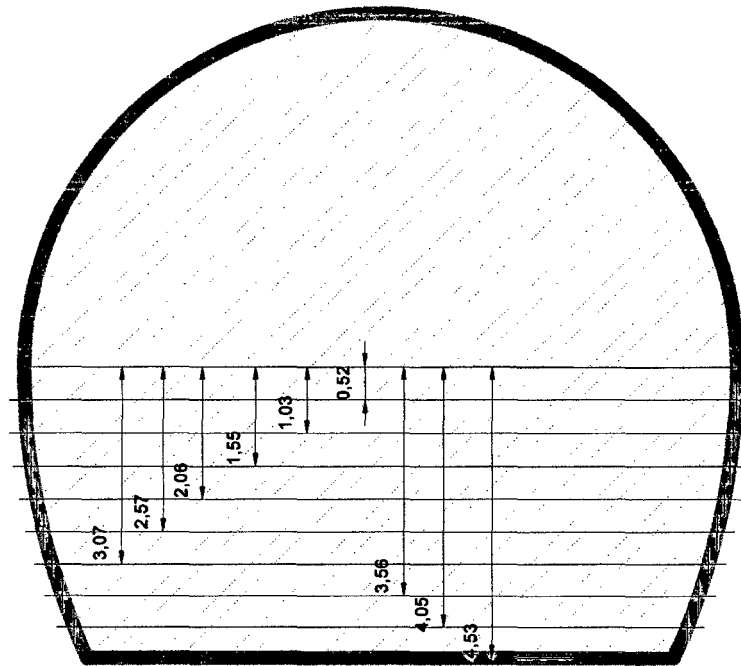
complejos pueden ser generados y entrelazados con poderosas plantillas integradas en la interfaz.

Las técnicas de analítica avanzada permiten paso a paso grandes deformaciones Analysis, múltiples P-Delta, Eigen y Ritz analysis, análisis de cable, tensión o compresión sólo análisis, análisis pandeo, Blast Analysis, Fast Nonlinear análisis para amortiguadores, Isolators de base y plasticidad de soporte, métodos de energía para el Control Drift y Glomeruloesclerosis de construcción de análisis.

Diseñadores de puente pueden utilizar plantillas de puente de SAP2000 de generar modelos de puente, automatizada puente Live carga análisis y diseño, aislamiento de base de puente, análisis de secuencias de construcción de puente, grandes deformaciones Cable Supported puente análisis y análisis de Pushover.

Una vez que ya tenemos una idea bien clara de lo que se va a ser, entonces procedemos a modelar las secciones del túnel de la siguiente manera:

1. Todo parte con ayuda del programa Autocad, con el cual se genero una malla, con coordenadas X, Y, para la ubicación de los puntos de la sección de los tuncles a modelar, con un espaciamiento máximo de 0.5m, para que el calculo sea mas exacto, para poder meter estos datos al programa SAP 2000, se genero la cúpula con el modelo *SHELL* y el sub modelo *BARREL SHELL*; lo que corresponde al cuerpo de la sección del túnel se hizo con los puntos tomados del autocad, luego unimos los puntos con el comando "Draw Frame", luego lo extruimos para convertirlo en área.



*Figura N° 04: Se observe la acotación de la sección del tunel para poder generar la malla en el programa SAP200*

2. Una vez generado ambas secciones de los tuneles se procede a calcular las cargas de diseño para la sección creada, tomando las teorías de Terzaghi y Protodyakonov, el cálculo de los mismos se detalla a continuación.

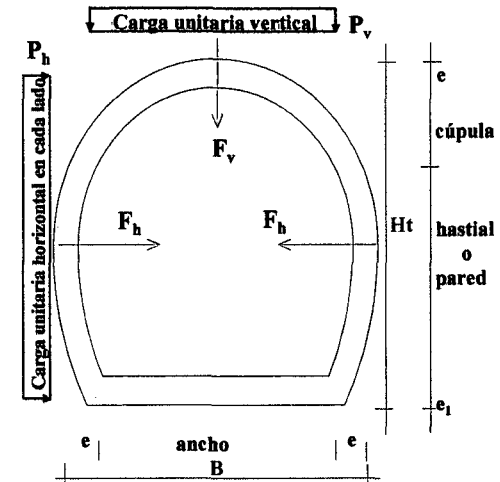
**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UN TUNEL DE SECCIÓN TIPO HERRADURA Y UN TUNEL DE SECCIÓN CON PAREDES VERTICALES CON DOMO ARQUEADO**

**CALCULO CARGAS Y PRESIONES DEL TUNELE TIPO HERRADURA**

| DATOS GENERALES                                  |        |                       |
|--|--------|-----------------------|
| Túnel tipo pared vertical domo arqueado          |        |                       |
| Altura del túnel (Ht)                            | 11.00  | [m]                   |
| Ancho del túnel (B)                              | 11.00  | [m]                   |
| Material fracturado ligeramente (L) mucho (M)    | L      |                       |
| Tipo de suelo según Terzaghi                     | F      | Clase                 |
| e mínimo recomendado (0.20 m tierra 0.15 m roca) | 0.20   | [m]                   |
| Resistencia compresión del concreto f'c          | 210.00 | [Kg/cm <sup>2</sup> ] |
| Esfuerzo de tracción del concreto (f't)          | 11.59  | [t/m <sup>2</sup> ]   |

| DATOS GEOTECNICOS                        |       |                       |
|--|-------|-----------------------|
| Peso específico del suelo (γs)           | 1.70  | (Ton/m <sup>3</sup> ) |
| Angulo de fricción interna del suelo (φ) | 28.00 | [°]                   |
| Coefficiente de Protodyakonov (f)        | 1.00  |                       |

| CONSTANTES DE CALCULO  |        |     |
|--|--------|-----|
| Coefficiente experimental de Protodyakonov                     | 1.00   |     |
| Coefficiente 1 de empuje del suelo [tan(45-φ/2)]               | 0.6009 |     |
| Coefficiente 2 de empuje del suelo [tan <sup>2</sup> (45-φ/2)] | 0.3610 |     |
| Espesor mínimo de revestimiento calculado                      | 0.92   | [m] |
| Altura calculada de capa descomprimida (Hp)                    | 11.74  | [m] |
| Altura mínima de capa descomprimida (Hp min)                   | 24.20  | [m] |
| Altura máxima de capa descomprimida (Hp max)                   | 46.20  | [m] |



| RESULTADOS                                     |                                      |                             |
|--|--------------------------------------|-----------------------------|
| <b>Observación:</b>                            | usar espesor calculado para el túnel |                             |
| Coefficiente de calidad del macizo             | 1.00                                 |                             |
| Altura de capa descomprimida (Hpu)             | 46.20                                | [m]                         |
| Presión lateral unitaria (Ph)                  | 31.73                                | [t/m] por metro de longitud |
| Presión vertical unitaria (Pv)                 | 6.23                                 | [t/m] por metro de longitud |
| Relación de presiones (K)                      | >1                                   | Ph>Pv                       |
| Empuje Horizontal (Fh)                         | 349.04                               | [t] por metro de longitud   |
| Empuje Vertical (Fv)                           | 68.57                                | [t] por metro de longitud   |
| Momento máximo en la clave (Mc)                | 62.85                                | [t.m] por metro de longitud |
| Momento último en clave (Muc=3*Mc)             | 188.56                               | [t.m] por metro de longitud |
| Momento máximo en paredes (Mp)                 | 62.85                                | [t.m] por metro de longitud |
| Momento último en paredes (Mup=3*Mp)           | 188.56                               | [t.m] por metro de longitud |
| Espesor calculado                              | 1.04                                 | [m]                         |
| Espesor mínimo a usarse                        | 1.04                                 | [m]                         |
| Espesor usado                                  | 0.92                                 | [m]                         |
| Esfuerzos en revestimiento [t/m <sup>2</sup> ] | 68.03                                | a compresión                |

cumple

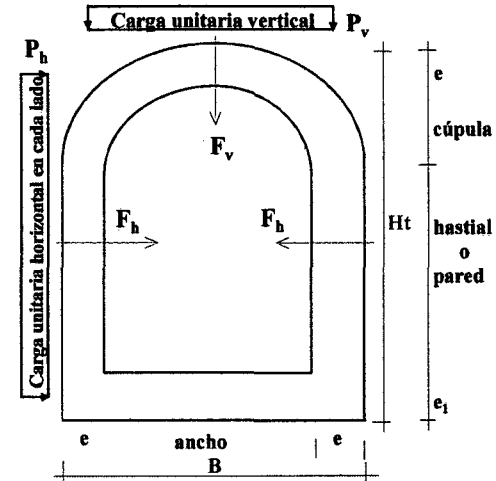
EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UN TUNEL DE SECCIÓN TIPO HERRADURA Y UN TUNEL DE SECCIÓN CON PAREDES VERTICALES CON DOMO ARQUEADO

CALCULO CARGAS Y PRESIONES DEL TUNELE TIPO PARED VERTICAL CON DOMO ARQUEADO

| DATOS GENERALES                                  |        |                       |
|--|--------|-----------------------|
| Tunel tipo pared vertical domo arqueado          |        |                       |
| Altura del túnel (Ht)                            | 11.00  | [m]                   |
| Ancho del túnel (B)                              | 11.00  | [m]                   |
| Material fracturado ligeramente (L) mucho (M)    | L      |                       |
| Tipo de suelo según Terzaghi                     | F      | Clase                 |
| e mínimo recomendado (0.20 m tierra 0.15 m roca) | 0.20   | [m]                   |
| Resistencia compresion del concreto f'c          | 210.00 | [Kg/cm <sup>2</sup> ] |
| Esfuerzo de tracción del concreto (f't)          | 11.59  | [t/m <sup>2</sup> ]   |

| DATOS GEOTÉCNICOS                        |       |                       |
|--|-------|-----------------------|
| Peso específico del suelo (γs)           | 1.70  | (Ton/m <sup>3</sup> ) |
| Angulo de fricción interna del suelo (φ) | 28.00 | [°]                   |
| Coefficiente de Protodyakonov (f)        | 1.00  |                       |

| CONSTANTES DE CALCULO  |        |     |
|--|--------|-----|
| Coefficiente experimental de Protodyakonov                     | 1.00   |     |
| Coefficiente 1 de empuje del suelo [tan(45-φ/2)]               | 0.6009 |     |
| Coefficiente 2 de empuje del suelo [tan <sup>2</sup> (45-φ/2)] | 0.3610 |     |
| Espesor mínimo de revestimiento calculado                      | 0.92   | [m] |
| Altura calculada de capa descomprimida (Hp)                    | 11.74  | [m] |
| Altura mínima de capa descomprimida (Hp min)                   | 24.20  | [m] |
| Altura máxima de capa descomprimida (Hp max)                   | 46.20  | [m] |



| RESULTADOS                                     |   |                             |
|--|---|-----------------------------|
| <b>Observación:</b>                            | <b>usar espesor calculado para el túnel</b> |                             |
| Coefficiente de calidad del macizo             | 1.00  |                             |
| Altura de capa descomprimida (Hpu)             | 46.20                                       | [m]                         |
| Presión lateral unitaria (Ph)                  | 31.73                                       | [t/m] por metro de longitud |
| Presión vertical unitaria (Pv)                 | 6.23  | [t/m] por metro de longitud |
| Relación de presiones (K)                      | >1  | Ph>Pv                       |
| Empuje Horizontal (Fh)                         | 349.04                                      | [t] por metro de longitud   |
| Empuje Vertical (Fv)                           | 68.57                                       | [t] por metro de longitud   |
| Momento máximo en la clave (Mc)                | 62.85                                       | [t.m] por metro de longitud |
| Momento último en clave (Muc=3*Mc)             | 188.56                                      | [t.m] por metro de longitud |
| Momento máximo en paredes (Mp)                 | 62.85                                       | [t.m] por metro de longitud |
| Momento último en paredes (Mup=3*Mp)           | 188.56                                      | [t.m] por metro de longitud |
| Espesor calculado                              | 1.04  | [m]                         |
| Espesor mínimo a usarse                        | 1.04  | [m]                         |
| Espesor usado                                  | 0.92  | [m]                         |
| Esfuerzos en revestimiento [t/m <sup>2</sup> ] | 68.03                                       | a compresión                |

cumple



3. Ya teniendo las cargas al cual están sometidos los tuneles, se procede a colocar estas cargas en el modelo generado en el programa SAP 2000, teniendo en cuenta como afecta a la sección del túnel.

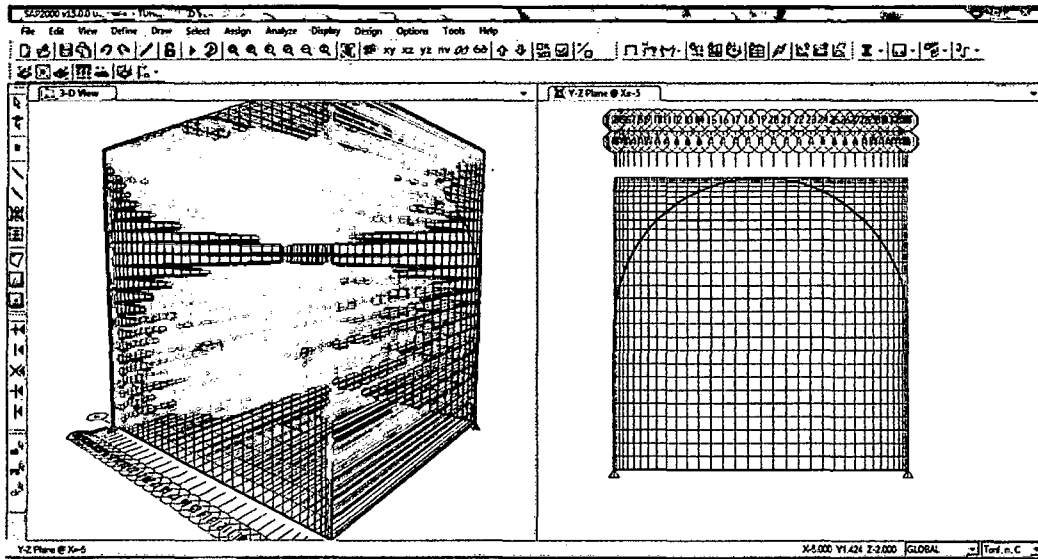


Figura N° 05: Se observa la seccion del tunnel a ser analizada

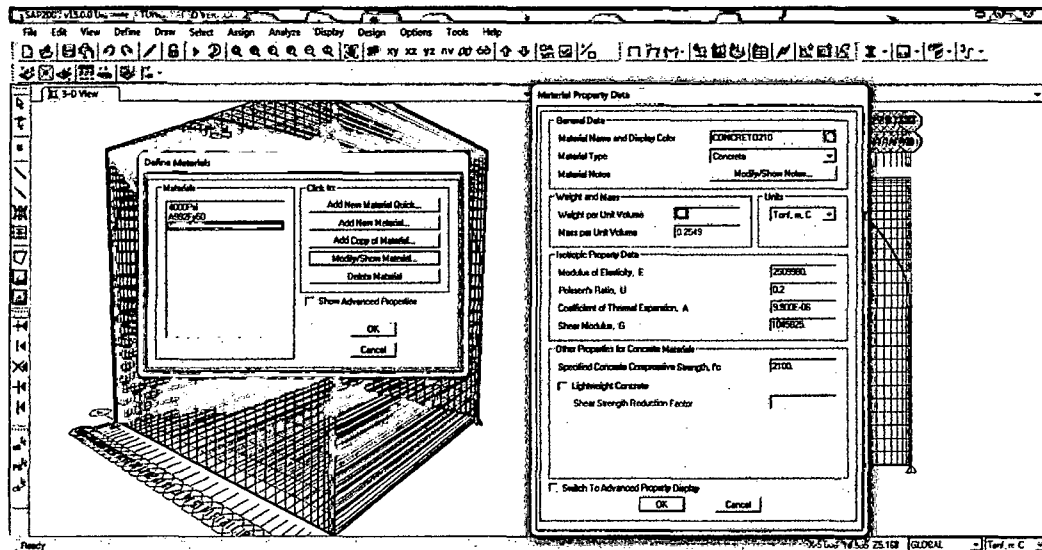


Figura N° 06: Se define el tipo de concreto a usar  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

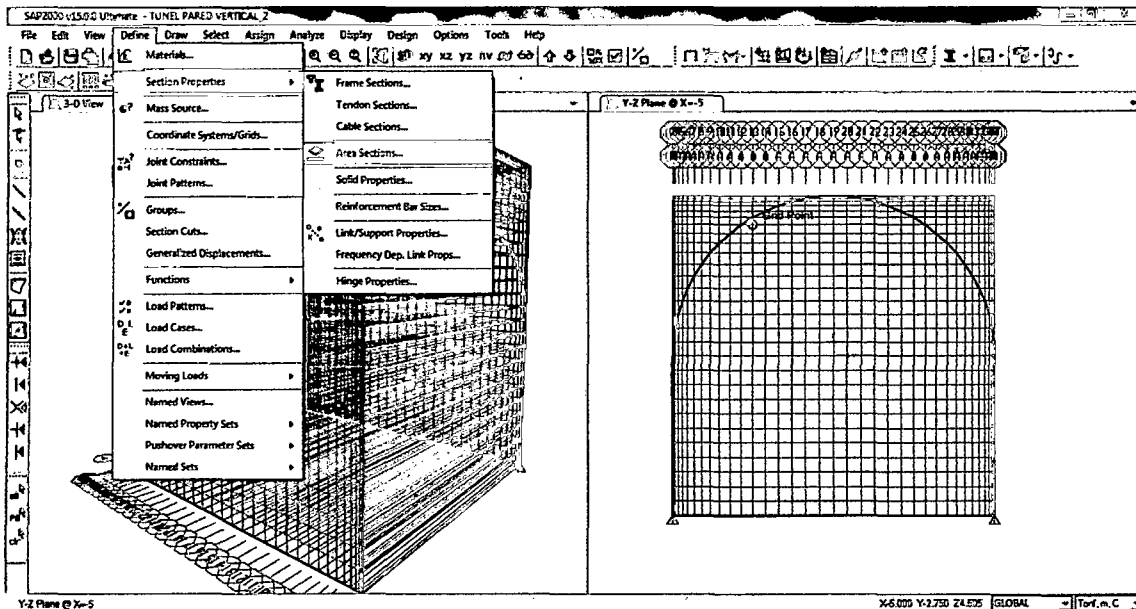
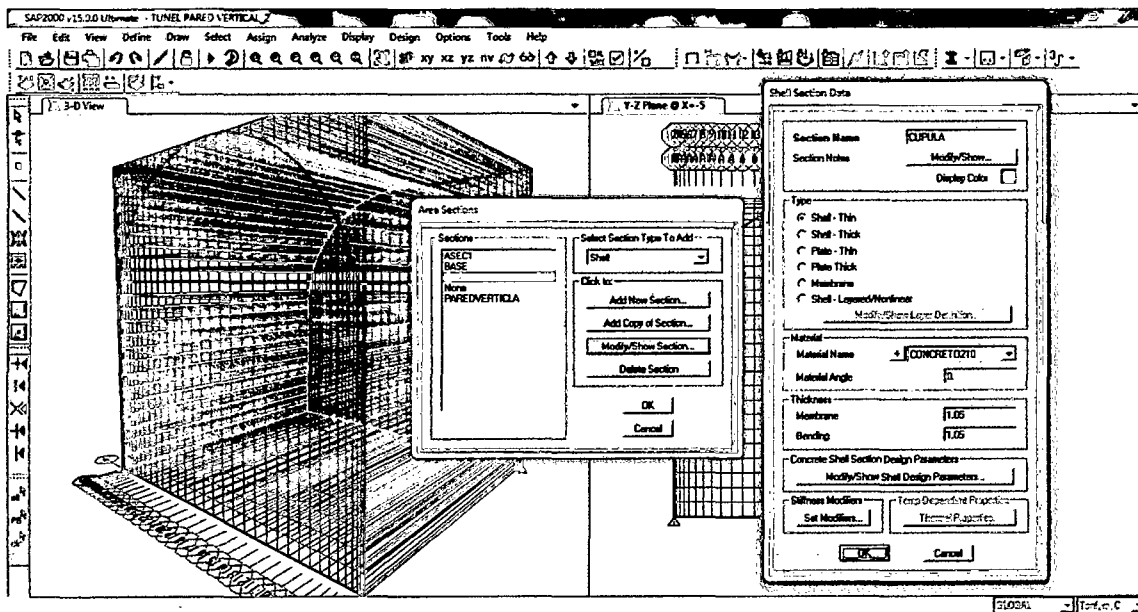


Figura N° 07 y 08: Se define las secciones del tunnel





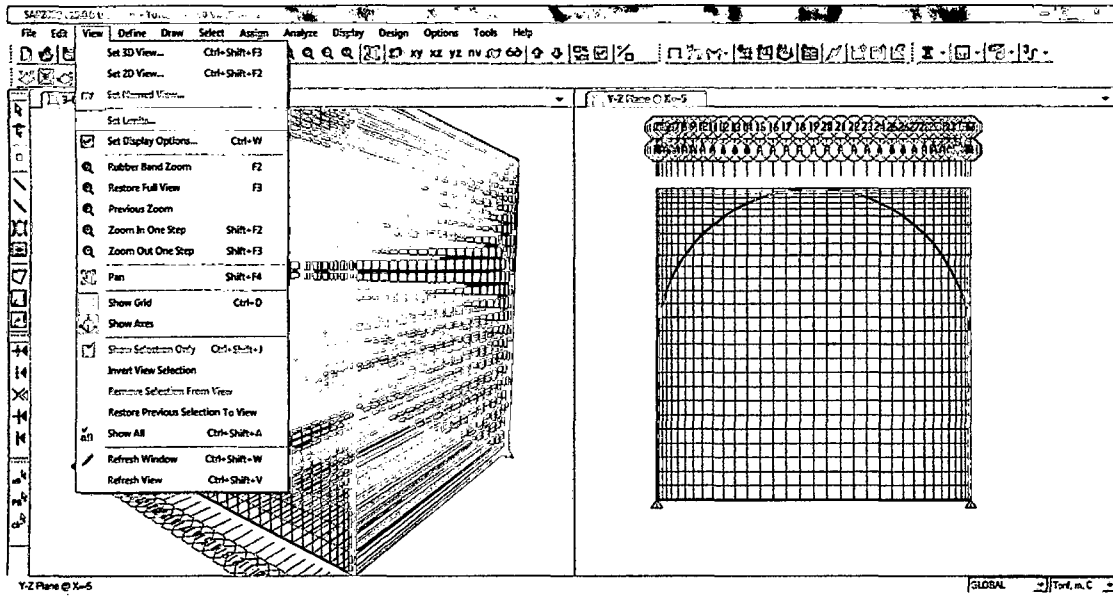
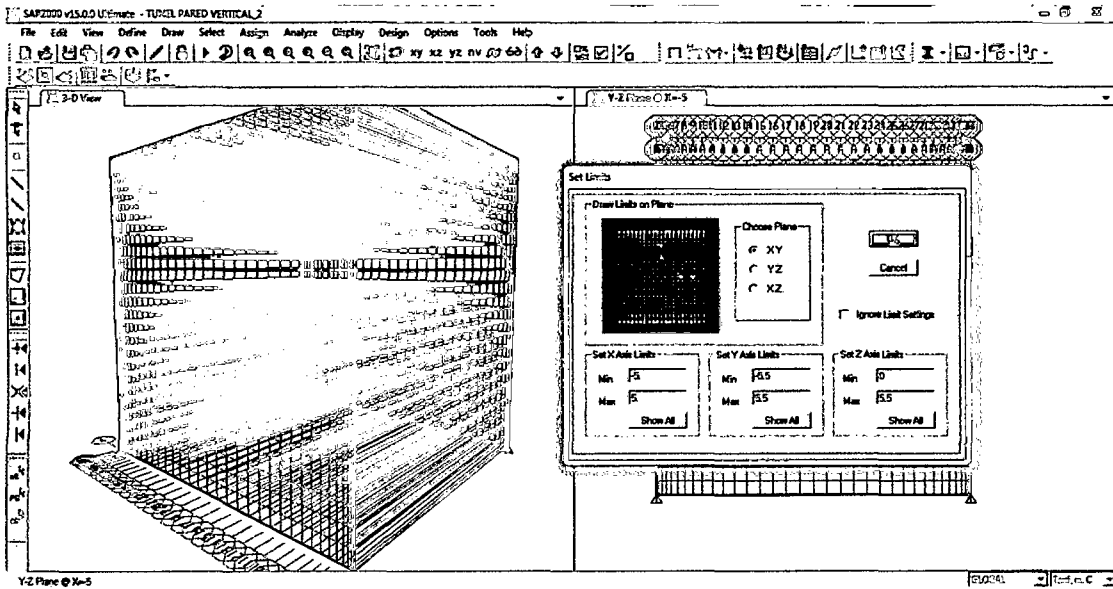


Figura N° 09 y 10: Se define las secciones



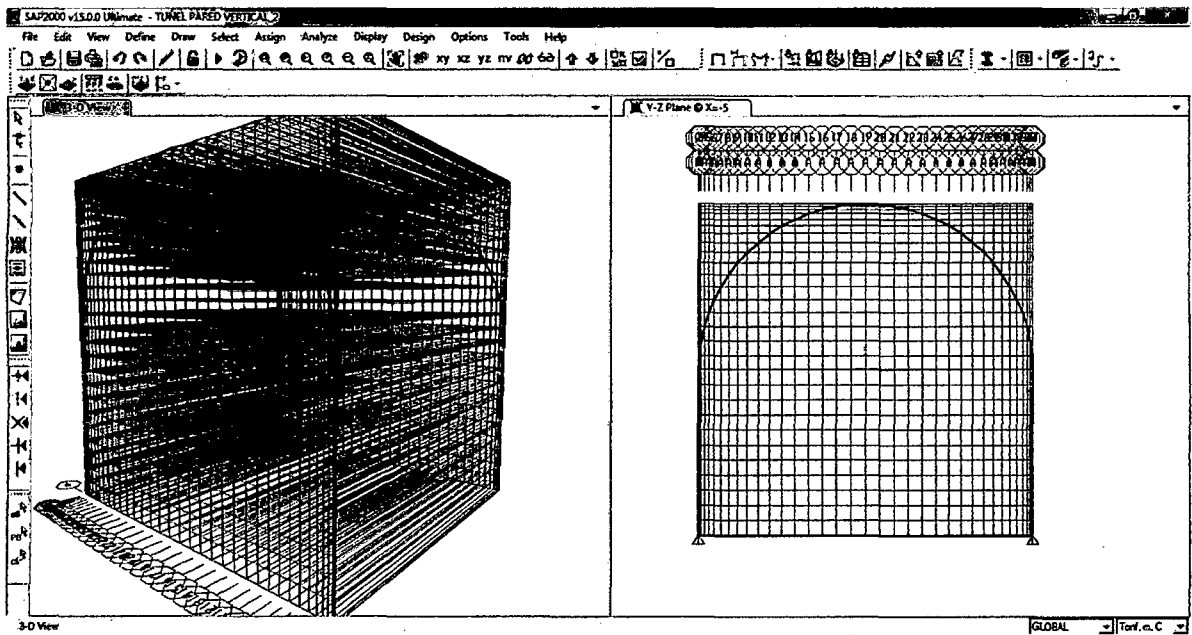
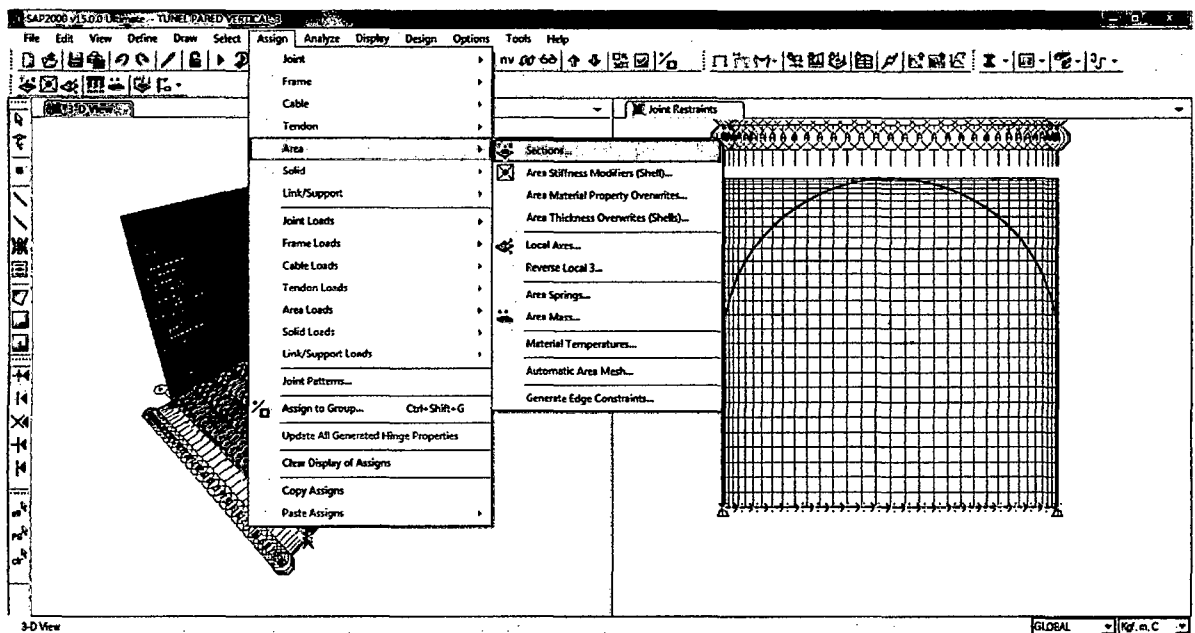


Figura N° 11, 12 y 13: Se define las secciones con las areas correspondientes



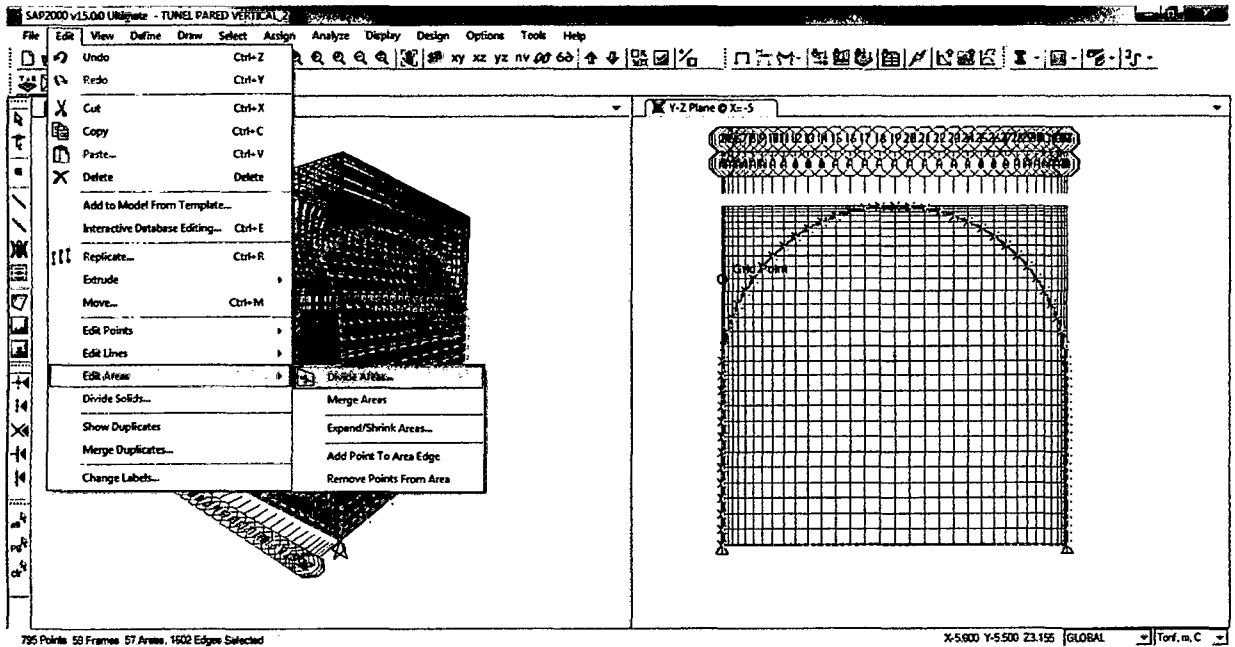
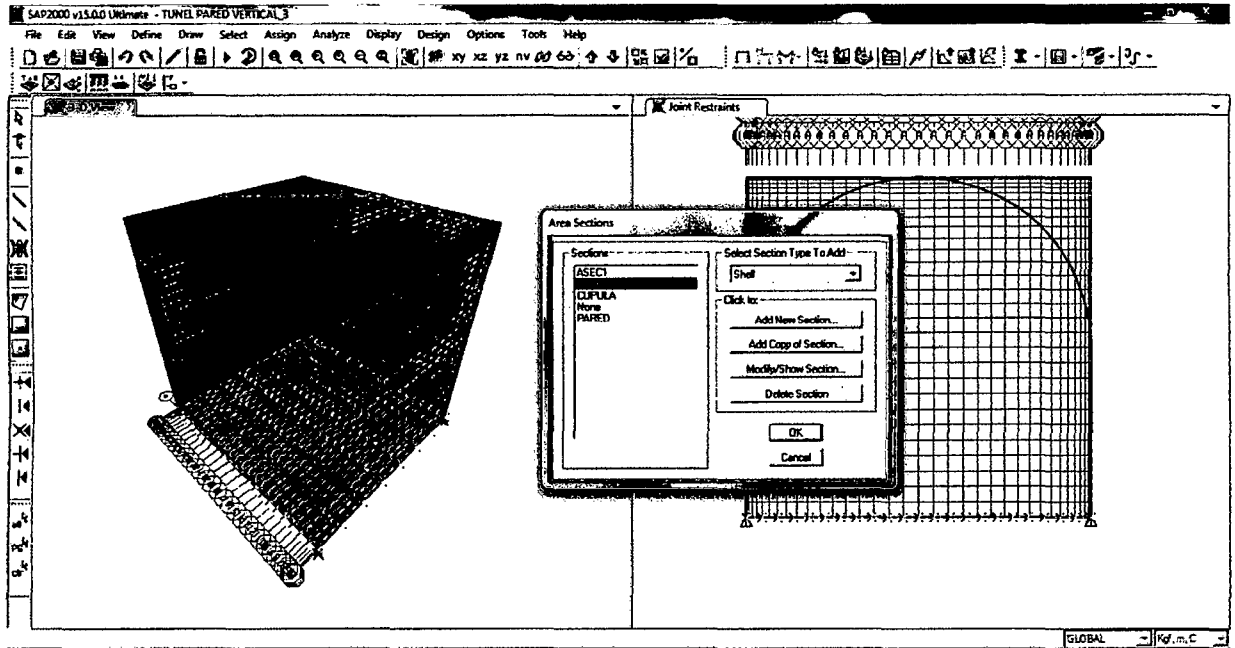


Figura N° 14: Dividimos el area para tener un analzi mas exacto, a un espacio de 0.5 m

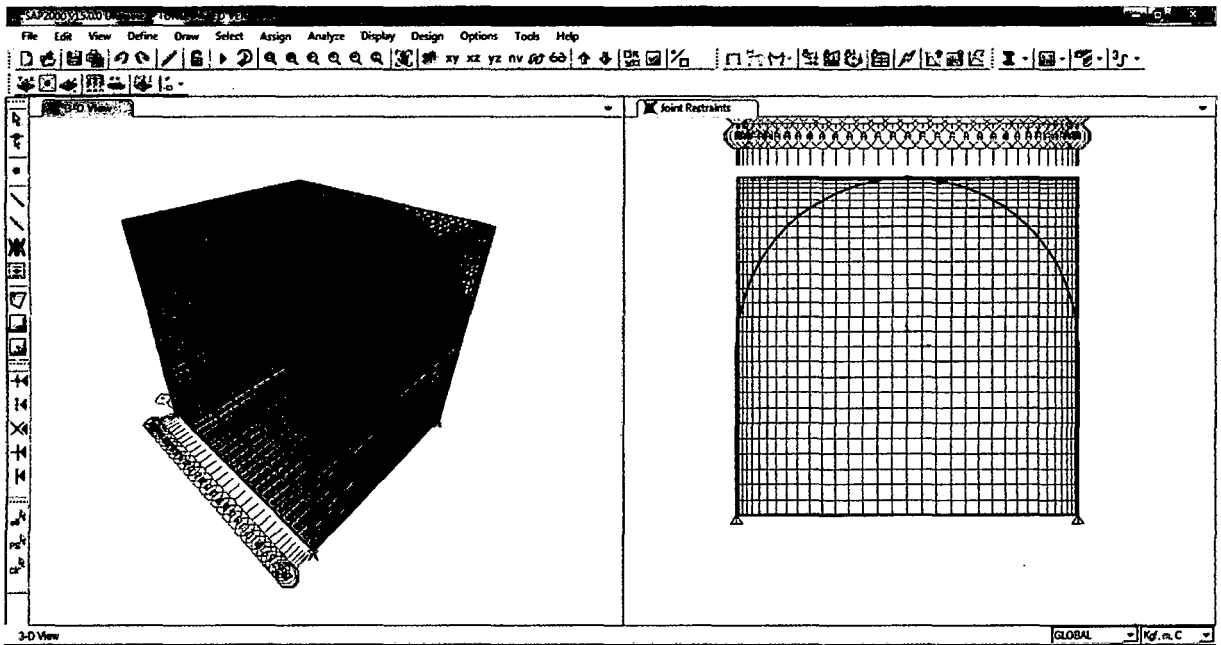


Figura N° 15: Se observa que la seccion ha sido dividida para un mejor analisis de los elementos

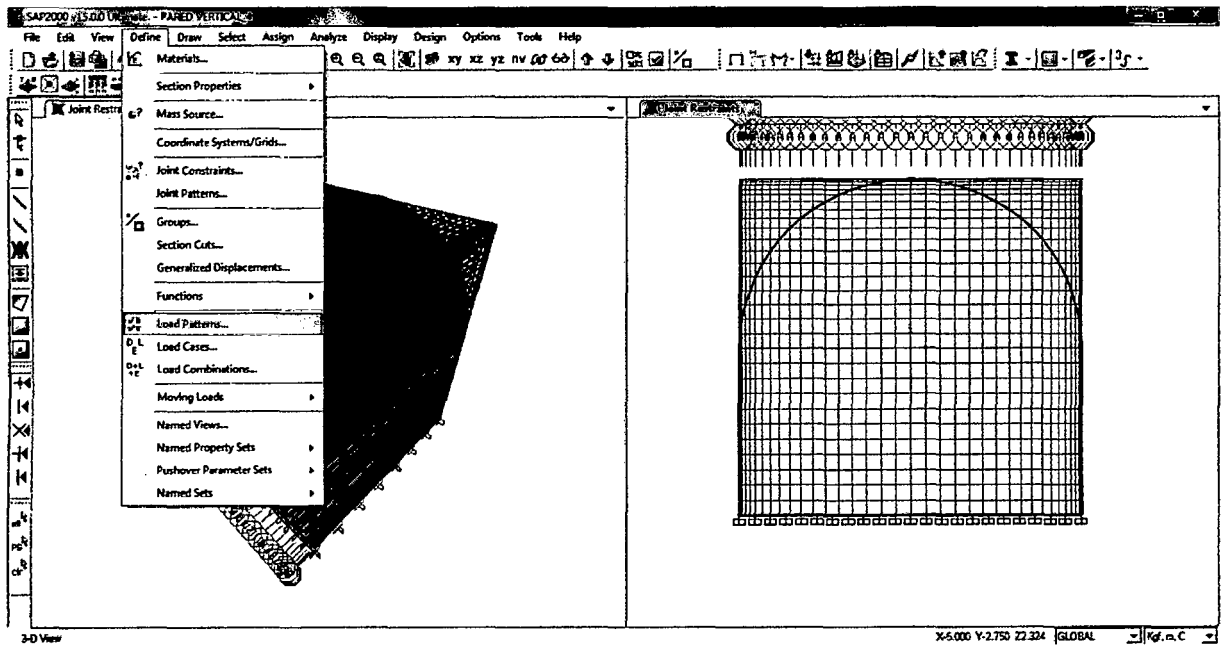


Figura N° 16: Se va a colocar las cargas a usar, en nuestro caso son las horizontales y verticales de las presiones del terreno.

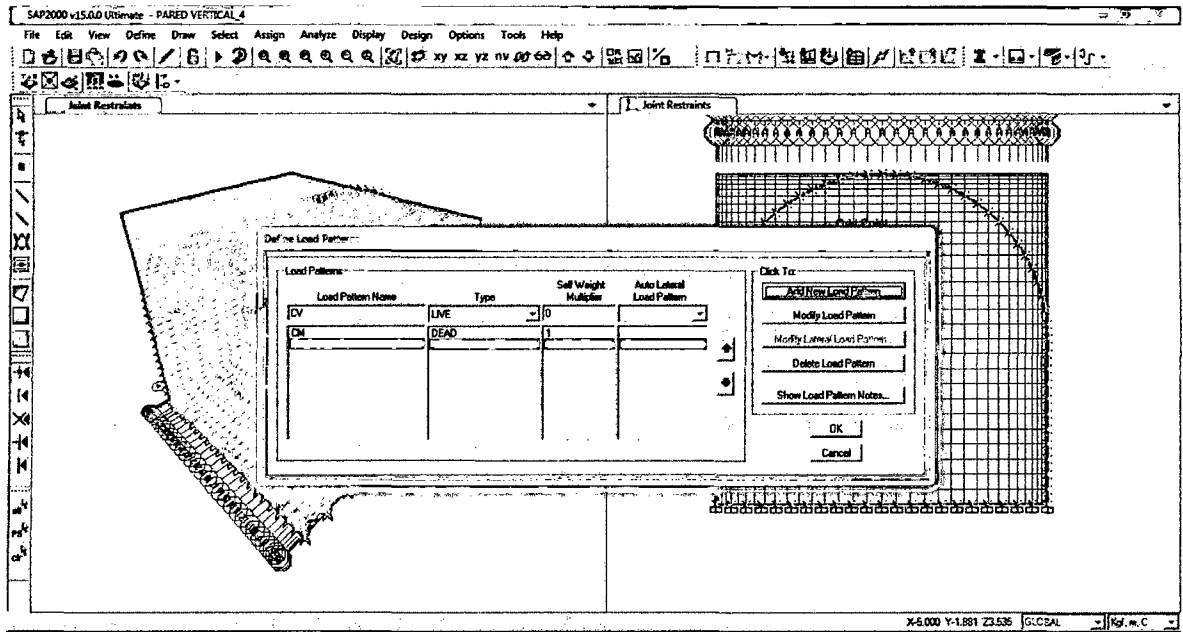


Figura N° 17: Se observa el cuadro para editar las cargas a ser usadas

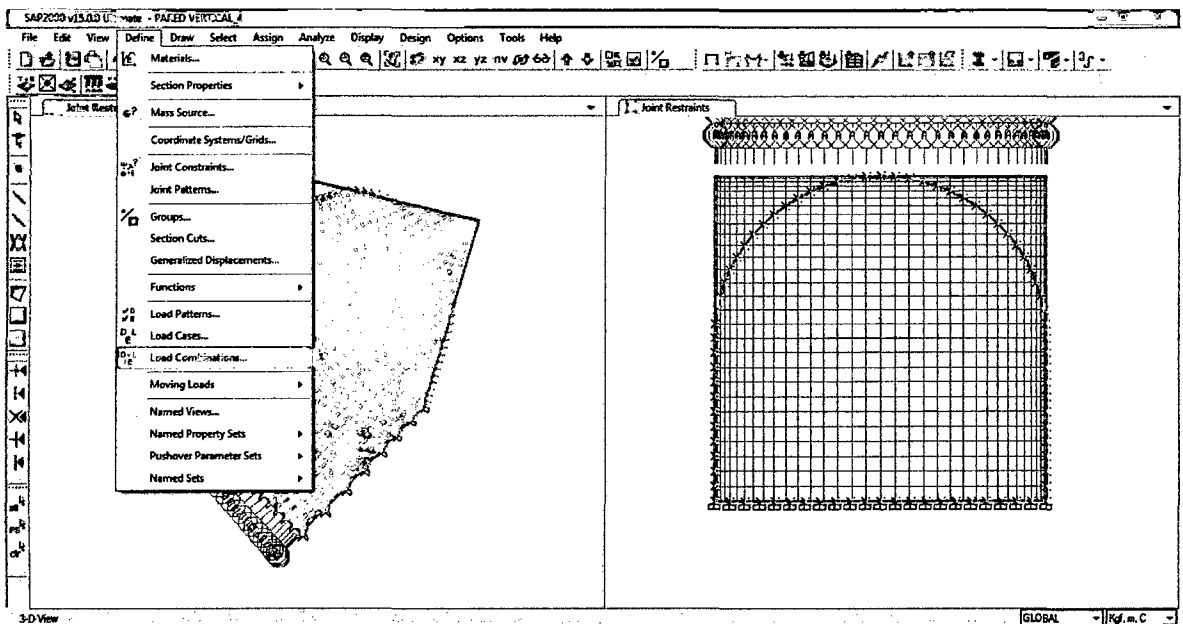


Figura N° 18: El siguiente paso es el de crear las combinaciones de carga (COMBOS)

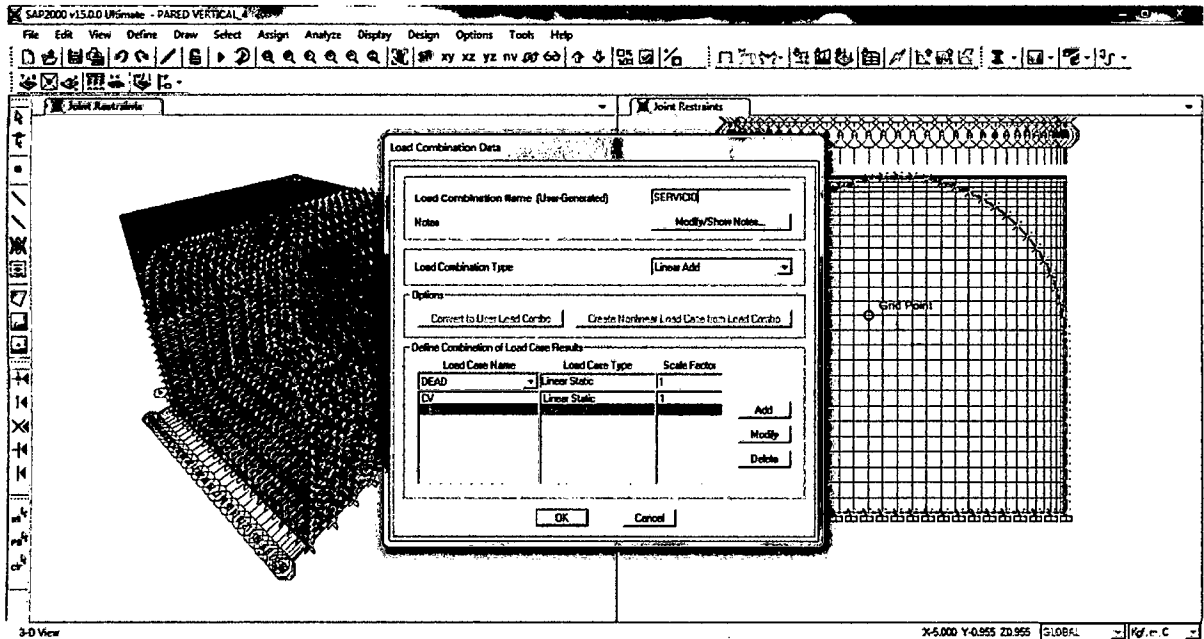


Figura N° 19: Luego procedemos a hacer los combos, uno con carga de servicio y otro con la carga ultima.

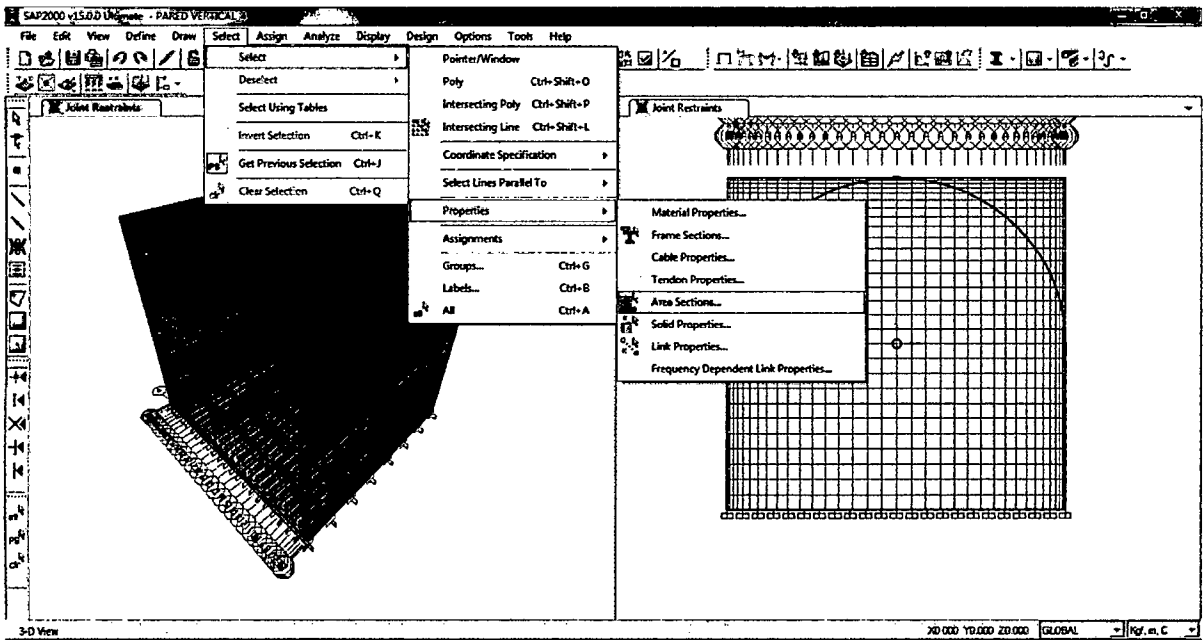


Figura N° 20: Una vez creado la combinacion de cargas, seleccionamos las areas previamente establecidas, para facilidad en la colocacion de cargas.



### CAPITULO III. PRESENTACION DE RESULTADOS

Al ser analizado las secciones del programa se obtuvo desplazamiento tanto en el eje X, eje Y y el eje Z, teniendo valores negativos por la dirección de los ejes locales al que corresponden cada una, a continuación se detalla los resultados finales obtenidos:

#### Túnel sección de pared vertical con domo arqueado:

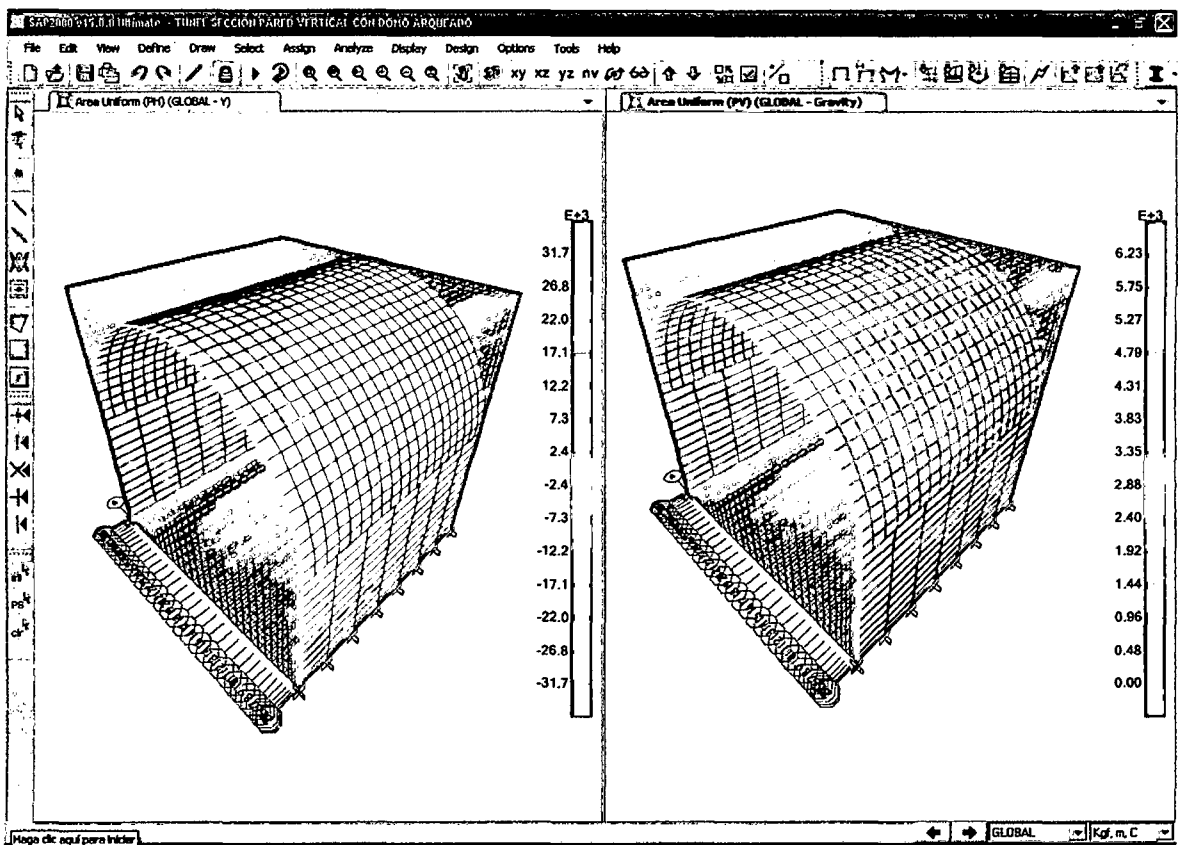


Figura N° 21: Areas de influencia de las presiones verticales y horizontale en la seccion del tunel.

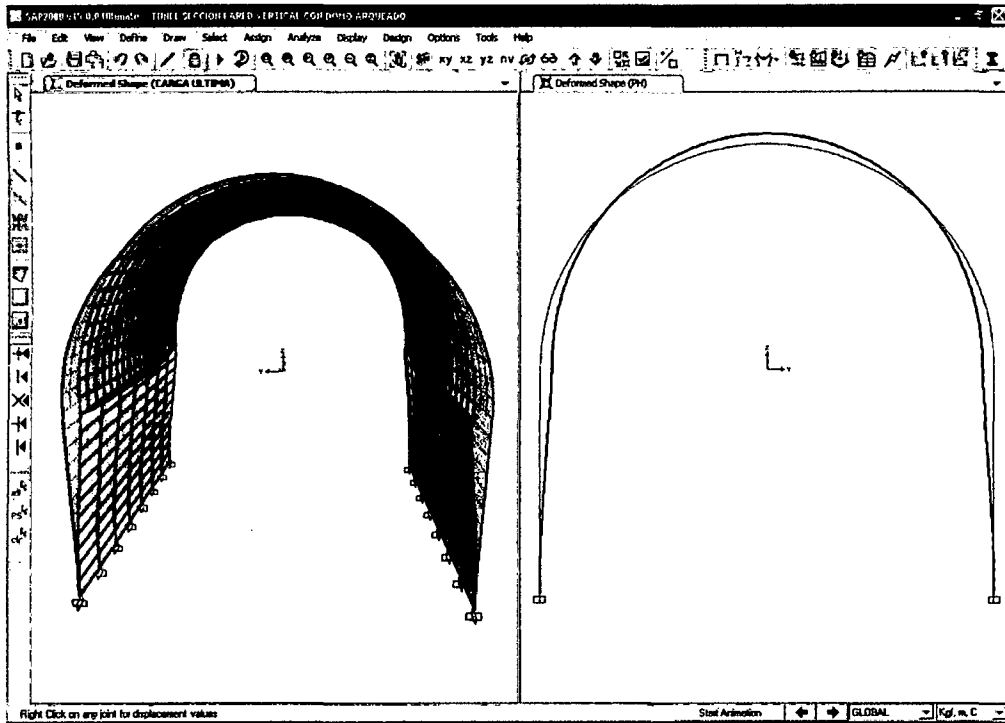


Figura N° 22: Se observa la deformacion del tunnel

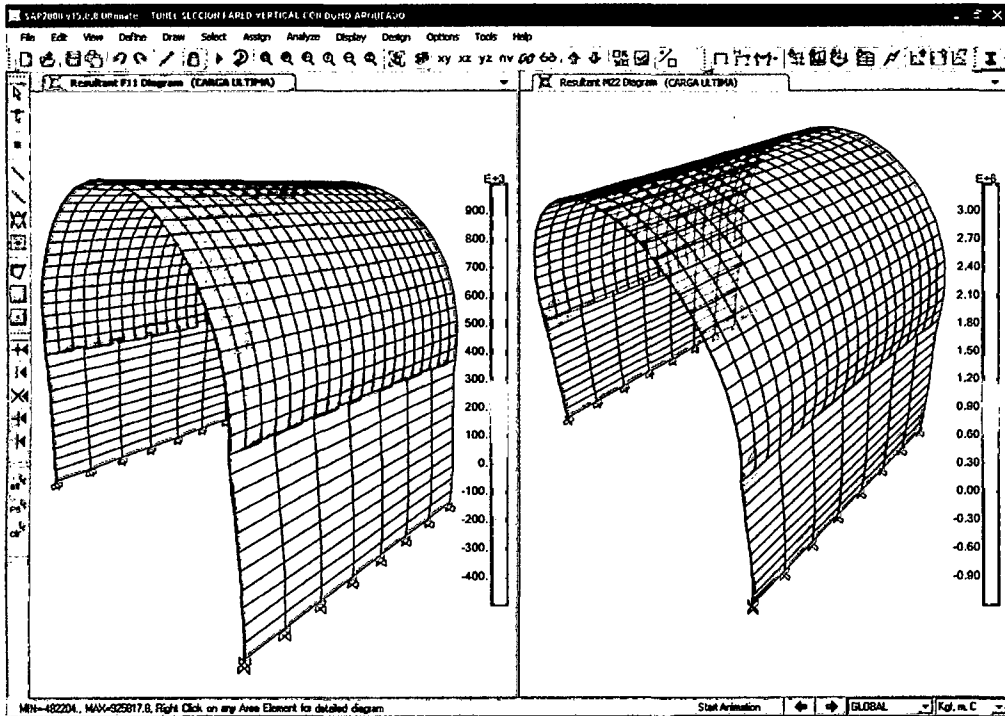


Figura N° 23: Se observa las cargas de la fuerza axial y del momento generado por las presiones del terreno.



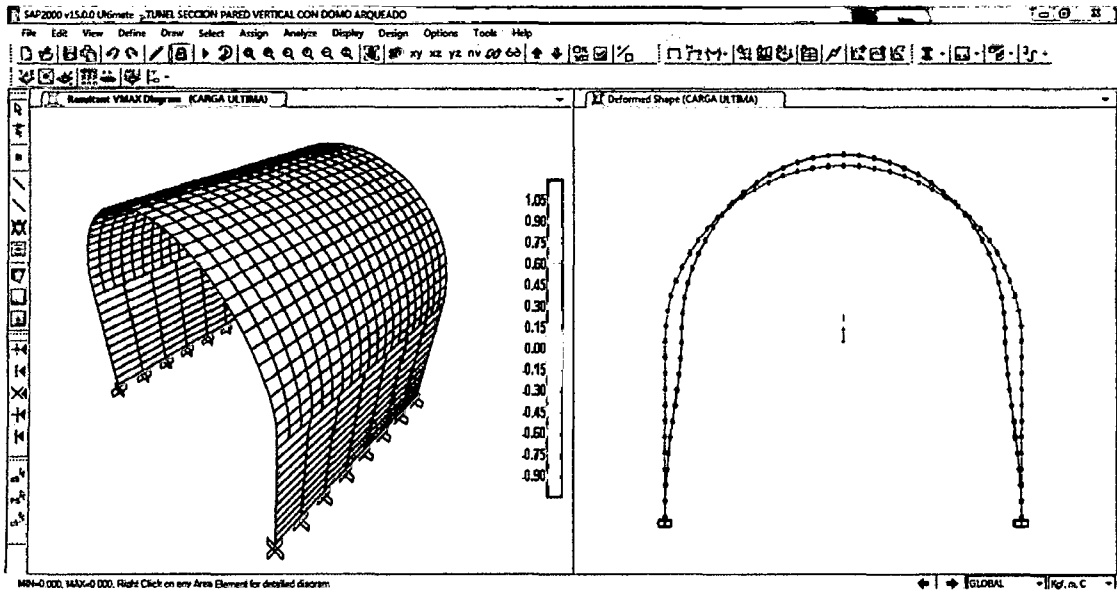


Figura N° 24: Se observa las cargas de la fuerza cortante y su deformada al costado, la cual es 0 en la cupula y tiene una valor minimo en las paredes del tunel.

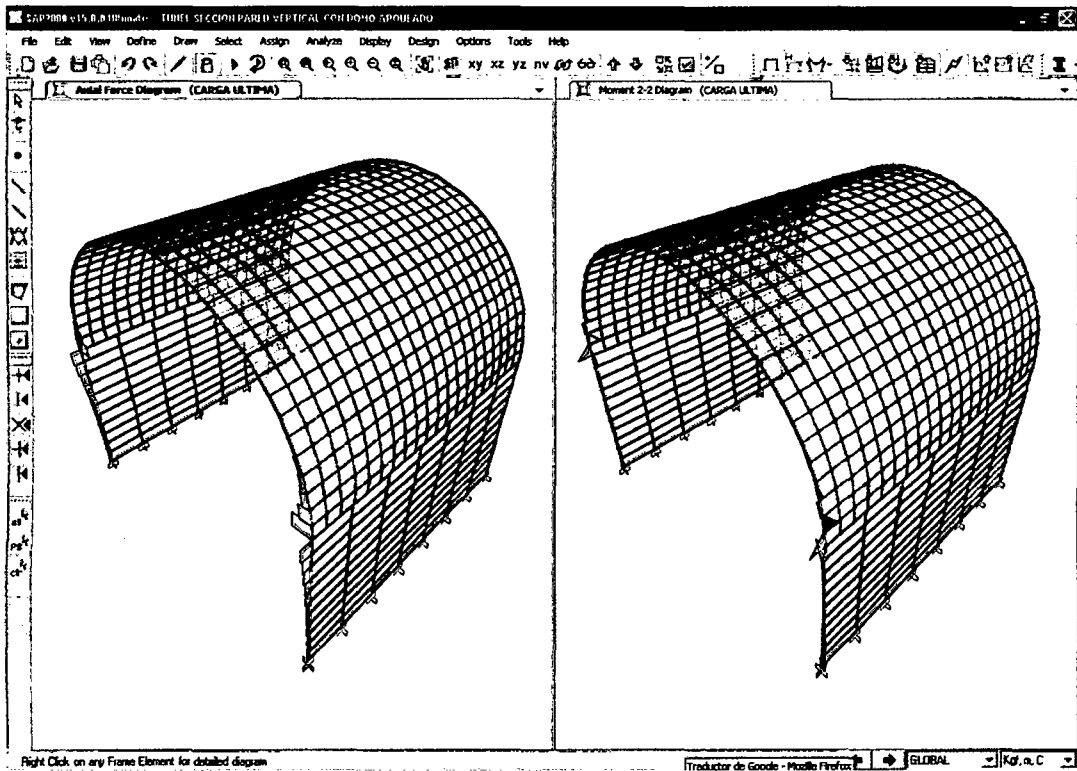


Figura N° 25: Se observa el diagrama de fuerza axial y momento, se observa claramente que los valores maximos se dan en el punto de union de las paredes con la cupula del tunel

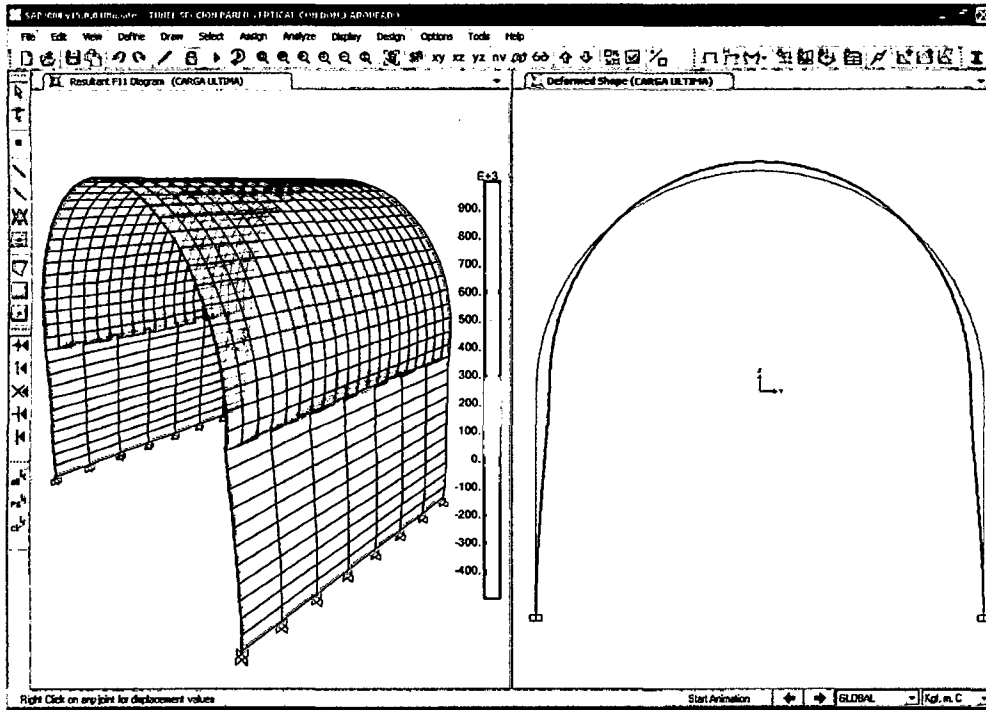


Figura N° 26: Se observa las cargas de la fuerza axial y su deformada al costado.

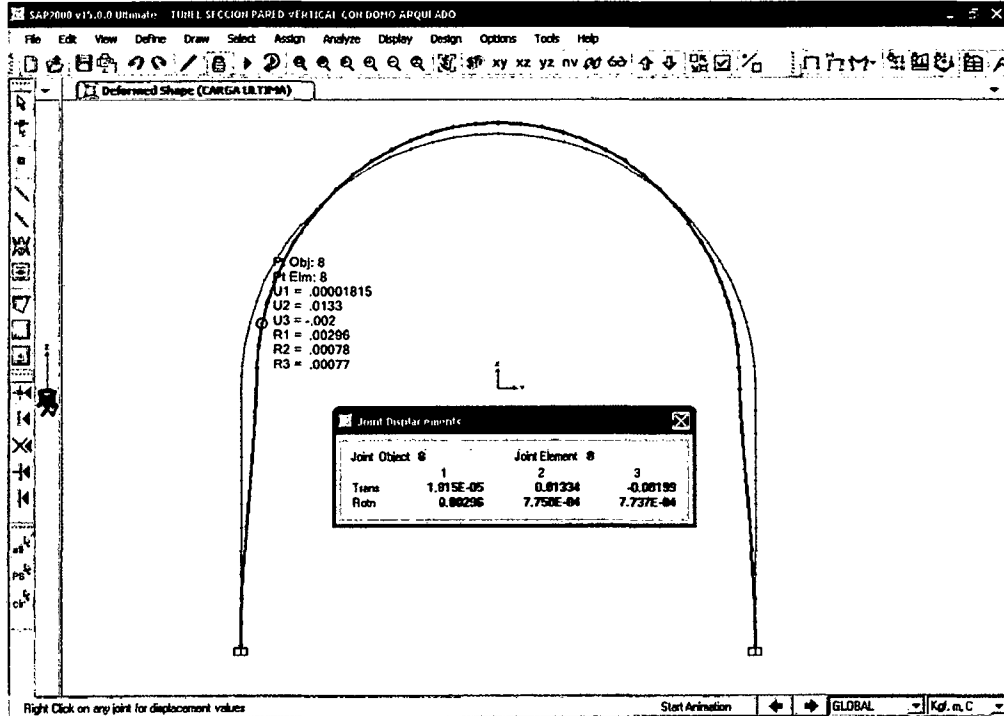
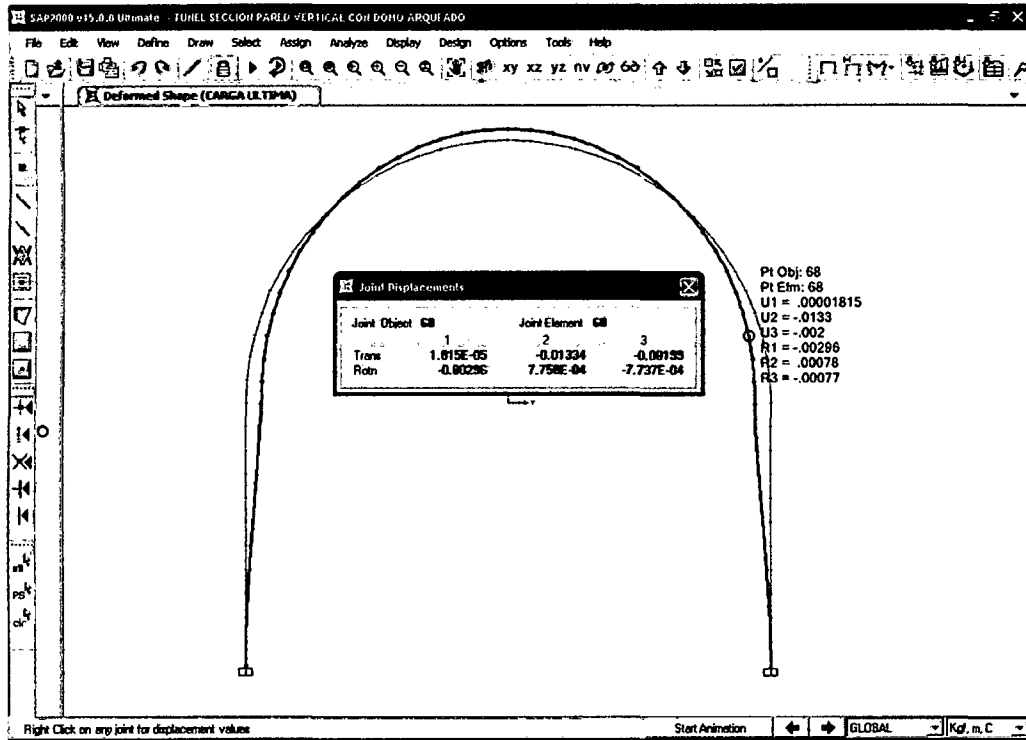


Figura N° 27 y 28: Se observa los puntos con sus respectivas deformaciones.



**TABLE: Desplazamientos**

| Joint | OutputCase   | CaseType    | U1       | U2      | U3       | R1       | R2       | R3       |
|-------|--------------|-------------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|
| Text  | Text         | Text        | m        | m       | m        | Radians  | Radians  | Radians  |
| 1     | SERVICIO     | Combination | -7.2E-04 | 1.2E-02 | -1.1E-03 | -8.4E-04 | -4.3E-05 | 9.0E-04  |
| 1     | CARGA ULTIMA | Combination | -1.0E-03 | 1.6E-02 | -1.5E-03 | -1.2E-03 | -6.0E-05 | 1.3E-03  |
| 2     | SERVICIO     | Combination | 7.6E-04  | 1.2E-02 | -1.1E-03 | -8.6E-04 | -4.2E-04 | -8.8E-04 |
| 2     | CARGA ULTIMA | Combination | 1.1E-03  | 1.6E-02 | -1.6E-03 | -1.2E-03 | -5.9E-04 | -1.2E-03 |
| 3     | SERVICIO     | Combination | 3.1E-04  | 1.1E-02 | -1.5E-03 | 1.5E-03  | -1.2E-03 | -6.3E-04 |
| 3     | CARGA ULTIMA | Combination | 4.4E-04  | 1.6E-02 | -2.2E-03 | 2.1E-03  | -1.7E-03 | -8.9E-04 |
| 4     | SERVICIO     | Combination | -3.2E-04 | 1.1E-02 | -1.4E-03 | 1.5E-03  | 1.3E-03  | 6.3E-04  |
| 4     | CARGA ULTIMA | Combination | -4.5E-04 | 1.6E-02 | -2.0E-03 | 2.0E-03  | 1.9E-03  | 8.9E-04  |
| 5     | SERVICIO     | Combination | 1.1E-04  | 1.1E-02 | -1.7E-03 | 1.8E-03  | -2.0E-04 | -6.6E-04 |
| 5     | CARGA ULTIMA | Combination | 1.5E-04  | 1.5E-02 | -2.3E-03 | 2.6E-03  | -2.9E-04 | -9.3E-04 |
| 6     | SERVICIO     | Combination | -9.7E-05 | 1.0E-02 | -1.5E-03 | 1.8E-03  | 2.0E-04  | 6.7E-04  |
| 6     | CARGA ULTIMA | Combination | -1.4E-04 | 1.5E-02 | -2.1E-03 | 2.6E-03  | 2.8E-04  | 9.4E-04  |
| 7     | SERVICIO     | Combination | 9.7E-06  | 9.5E-03 | -1.6E-03 | 2.1E-03  | -5.0E-04 | -5.5E-04 |
| 7     | CARGA ULTIMA | Combination | 1.4E-05  | 1.3E-02 | -2.2E-03 | 3.0E-03  | -7.0E-04 | -7.8E-04 |
| 8     | SERVICIO     | Combination | 1.3E-05  | 9.5E-03 | -1.4E-03 | 2.1E-03  | 5.5E-04  | 5.5E-04  |
| 8     | CARGA ULTIMA | Combination | 1.8E-05  | 1.3E-02 | -2.0E-03 | 3.0E-03  | 7.8E-04  | 7.7E-04  |
| 9     | SERVICIO     | Combination | -5.2E-05 | 8.5E-03 | -1.3E-03 | 2.3E-03  | -2.2E-04 | -5.6E-04 |



|    |              |             |          |         |          |         |          |          |
|----|--------------|-------------|----------|---------|----------|---------|----------|----------|
| 9  | CARGA ULTIMA | Combination | -7.2E-05 | 1.2E-02 | -1.9E-03 | 3.2E-03 | -3.1E-04 | -7.8E-04 |
| 10 | SERVICIO     | Combination | 8.9E-05  | 8.5E-03 | -1.2E-03 | 2.3E-03 | 2.5E-04  | 5.7E-04  |
| 10 | CARGA ULTIMA | Combination | 1.3E-04  | 1.2E-02 | -1.6E-03 | 3.2E-03 | 3.4E-04  | 7.9E-04  |
| 11 | SERVICIO     | Combination | -7.4E-05 | 7.4E-03 | -9.4E-04 | 2.5E-03 | -3.2E-04 | -4.5E-04 |
| 11 | CARGA ULTIMA | Combination | -1.0E-04 | 1.0E-02 | -1.3E-03 | 3.4E-03 | -4.4E-04 | -6.4E-04 |
| 12 | SERVICIO     | Combination | 1.2E-04  | 7.4E-03 | -7.9E-04 | 2.5E-03 | 3.5E-04  | 4.6E-04  |
| 12 | CARGA ULTIMA | Combination | 1.7E-04  | 1.0E-02 | -1.1E-03 | 3.4E-03 | 4.9E-04  | 6.4E-04  |
| 13 | SERVICIO     | Combination | -7.8E-05 | 6.3E-03 | -4.1E-04 | 2.6E-03 | -2.1E-04 | -4.4E-04 |
| 13 | CARGA ULTIMA | Combination | -1.1E-04 | 8.9E-03 | -5.7E-04 | 3.6E-03 | -3.0E-04 | -6.1E-04 |
| 14 | SERVICIO     | Combination | 1.4E-04  | 6.3E-03 | -2.6E-04 | 2.6E-03 | 2.4E-04  | 4.4E-04  |
| 14 | CARGA ULTIMA | Combination | 2.0E-04  | 8.9E-03 | -3.6E-04 | 3.6E-03 | 3.4E-04  | 6.2E-04  |
| 15 | SERVICIO     | Combination | -6.4E-05 | 5.3E-03 | 2.5E-04  | 2.6E-03 | -2.4E-04 | -3.6E-04 |
| 15 | CARGA ULTIMA | Combination | -9.0E-05 | 7.4E-03 | 3.5E-04  | 3.7E-03 | -3.4E-04 | -5.0E-04 |
| 16 | SERVICIO     | Combination | 1.4E-04  | 5.3E-03 | 4.0E-04  | 2.6E-03 | 2.7E-04  | 3.6E-04  |
| 16 | CARGA ULTIMA | Combination | 1.9E-04  | 7.4E-03 | 5.5E-04  | 3.7E-03 | 3.8E-04  | 5.1E-04  |
| 17 | SERVICIO     | Combination | -4.2E-05 | 4.3E-03 | 1.0E-03  | 2.6E-03 | -2.0E-04 | -3.4E-04 |
| 17 | CARGA ULTIMA | Combination | -5.9E-05 | 6.0E-03 | 1.4E-03  | 3.7E-03 | -2.8E-04 | -4.7E-04 |
| 18 | SERVICIO     | Combination | 1.3E-04  | 4.3E-03 | 1.2E-03  | 2.6E-03 | 2.3E-04  | 3.4E-04  |
| 18 | CARGA ULTIMA | Combination | 1.8E-04  | 6.0E-03 | 1.6E-03  | 3.7E-03 | 3.2E-04  | 4.7E-04  |
| 19 | SERVICIO     | Combination | -1.5E-05 | 3.3E-03 | 1.9E-03  | 2.6E-03 | -2.1E-04 | -2.8E-04 |
| 19 | CARGA ULTIMA | Combination | -2.0E-05 | 4.7E-03 | 2.6E-03  | 3.7E-03 | -3.0E-04 | -3.9E-04 |
| 20 | SERVICIO     | Combination | 1.1E-04  | 3.3E-03 | 2.0E-03  | 2.6E-03 | 2.4E-04  | 2.8E-04  |
| 20 | CARGA ULTIMA | Combination | 1.5E-04  | 4.7E-03 | 2.8E-03  | 3.7E-03 | 3.4E-04  | 3.9E-04  |
| 21 | SERVICIO     | Combination | 1.5E-05  | 2.5E-03 | 2.8E-03  | 2.5E-03 | -2.0E-04 | -2.5E-04 |
| 21 | CARGA ULTIMA | Combination | 2.1E-05  | 3.5E-03 | 3.9E-03  | 3.6E-03 | -2.8E-04 | -3.6E-04 |
| 22 | SERVICIO     | Combination | 8.9E-05  | 2.5E-03 | 2.9E-03  | 2.5E-03 | 2.3E-04  | 2.6E-04  |
| 22 | CARGA ULTIMA | Combination | 1.3E-04  | 3.5E-03 | 4.1E-03  | 3.5E-03 | 3.2E-04  | 3.6E-04  |
| 23 | SERVICIO     | Combination | 4.5E-05  | 1.8E-03 | 3.7E-03  | 2.4E-03 | -2.1E-04 | -2.1E-04 |
| 23 | CARGA ULTIMA | Combination | 6.3E-05  | 2.5E-03 | 5.2E-03  | 3.4E-03 | -2.9E-04 | -3.0E-04 |
| 24 | SERVICIO     | Combination | 6.7E-05  | 1.8E-03 | 3.9E-03  | 2.4E-03 | 2.4E-04  | 2.2E-04  |
| 24 | CARGA ULTIMA | Combination | 9.3E-05  | 2.5E-03 | 5.4E-03  | 3.4E-03 | 3.3E-04  | 3.0E-04  |
| 25 | SERVICIO     | Combination | 7.4E-05  | 1.2E-03 | 4.7E-03  | 2.2E-03 | -2.1E-04 | -1.9E-04 |
| 25 | CARGA ULTIMA | Combination | 1.0E-04  | 1.7E-03 | 6.5E-03  | 3.1E-03 | -3.0E-04 | -2.6E-04 |
| 26 | SERVICIO     | Combination | 4.5E-05  | 1.2E-03 | 4.8E-03  | 2.2E-03 | 2.4E-04  | 1.9E-04  |
| 26 | CARGA ULTIMA | Combination | 6.3E-05  | 1.7E-03 | 6.7E-03  | 3.1E-03 | 3.4E-04  | 2.7E-04  |
| 27 | SERVICIO     | Combination | 9.9E-05  | 7.3E-04 | 5.5E-03  | 1.9E-03 | -2.2E-04 | -1.6E-04 |
| 27 | CARGA ULTIMA | Combination | 1.4E-04  | 1.0E-03 | 7.8E-03  | 2.7E-03 | -3.1E-04 | -2.2E-04 |
| 28 | SERVICIO     | Combination | 2.5E-05  | 7.3E-04 | 5.7E-03  | 1.9E-03 | 2.5E-04  | 1.6E-04  |
| 28 | CARGA ULTIMA | Combination | 3.5E-05  | 1.0E-03 | 8.0E-03  | 2.7E-03 | 3.5E-04  | 2.2E-04  |
| 29 | SERVICIO     | Combination | 1.2E-04  | 4.0E-04 | 6.3E-03  | 1.6E-03 | -2.3E-04 | -1.3E-04 |
| 29 | CARGA ULTIMA | Combination | 1.7E-04  | 5.6E-04 | 8.9E-03  | 2.3E-03 | -3.2E-04 | -1.8E-04 |
| 30 | SERVICIO     | Combination | 7.4E-06  | 4.0E-04 | 6.5E-03  | 1.6E-03 | 2.6E-04  | 1.3E-04  |



|    |              |             |          |          |         |          |          |          |
|----|--------------|-------------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|
| 30 | CARGA ULTIMA | Combination | 1.0E-05  | 5.5E-04  | 9.1E-03 | 2.3E-03  | 3.6E-04  | 1.8E-04  |
| 31 | SERVICIO     | Combination | 1.4E-04  | 1.8E-04  | 7.0E-03 | 1.3E-03  | -2.4E-04 | -9.9E-05 |
| 31 | CARGA ULTIMA | Combination | 2.0E-04  | 2.6E-04  | 9.8E-03 | 1.8E-03  | -3.4E-04 | -1.4E-04 |
| 32 | SERVICIO     | Combination | -7.3E-06 | 1.8E-04  | 7.1E-03 | 1.3E-03  | 2.7E-04  | 1.0E-04  |
| 32 | CARGA ULTIMA | Combination | -1.0E-05 | 2.6E-04  | 1.0E-02 | 1.8E-03  | 3.8E-04  | 1.4E-04  |
| 33 | SERVICIO     | Combination | 1.5E-04  | 6.5E-05  | 7.5E-03 | 8.8E-04  | -2.5E-04 | -6.8E-05 |
| 33 | CARGA ULTIMA | Combination | 2.2E-04  | 9.2E-05  | 1.1E-02 | 1.2E-03  | -3.5E-04 | -9.6E-05 |
| 34 | SERVICIO     | Combination | -1.9E-05 | 6.4E-05  | 7.6E-03 | 8.8E-04  | 2.8E-04  | 6.9E-05  |
| 34 | CARGA ULTIMA | Combination | -2.6E-05 | 9.0E-05  | 1.1E-02 | 1.2E-03  | 3.9E-04  | 9.7E-05  |
| 35 | SERVICIO     | Combination | 1.6E-04  | 1.6E-05  | 7.8E-03 | 4.5E-04  | -2.6E-04 | -3.5E-05 |
| 35 | CARGA ULTIMA | Combination | 2.3E-04  | 2.2E-05  | 1.1E-02 | 6.3E-04  | -3.6E-04 | -4.9E-05 |
| 36 | SERVICIO     | Combination | -2.6E-05 | 1.5E-05  | 8.0E-03 | 4.5E-04  | 2.9E-04  | 3.5E-05  |
| 36 | CARGA ULTIMA | Combination | -3.6E-05 | 2.1E-05  | 1.1E-02 | 6.3E-04  | 4.0E-04  | 5.0E-05  |
| 37 | SERVICIO     | Combination | 1.7E-04  | -5.5E-15 | 7.9E-03 | -6.5E-16 | -2.6E-04 | 9.3E-17  |
| 37 | CARGA ULTIMA | Combination | 2.3E-04  | -7.7E-15 | 1.1E-02 | -9.1E-16 | -3.7E-04 | 1.3E-16  |
| 38 | SERVICIO     | Combination | -2.8E-05 | -6.4E-15 | 8.1E-03 | -4.2E-16 | 2.9E-04  | 1.3E-16  |
| 38 | CARGA ULTIMA | Combination | -4.0E-05 | -9.0E-15 | 1.1E-02 | -5.9E-16 | 4.0E-04  | 1.8E-16  |
| 39 | SERVICIO     | Combination | 1.6E-04  | -1.6E-05 | 7.8E-03 | -4.5E-04 | -2.6E-04 | 3.5E-05  |
| 39 | CARGA ULTIMA | Combination | 2.3E-04  | -2.2E-05 | 1.1E-02 | -6.3E-04 | -3.6E-04 | 4.9E-05  |
| 40 | SERVICIO     | Combination | -2.6E-05 | -1.5E-05 | 8.0E-03 | -4.5E-04 | 2.9E-04  | -3.5E-05 |
| 40 | CARGA ULTIMA | Combination | -3.6E-05 | -2.1E-05 | 1.1E-02 | -6.3E-04 | 4.0E-04  | -5.0E-05 |
| 41 | SERVICIO     | Combination | 1.5E-04  | -6.5E-05 | 7.5E-03 | -8.8E-04 | -2.5E-04 | 6.8E-05  |
| 41 | CARGA ULTIMA | Combination | 2.2E-04  | -9.2E-05 | 1.1E-02 | -1.2E-03 | -3.5E-04 | 9.6E-05  |
| 42 | SERVICIO     | Combination | -1.9E-05 | -6.4E-05 | 7.6E-03 | -8.8E-04 | 2.8E-04  | -6.9E-05 |
| 42 | CARGA ULTIMA | Combination | -2.6E-05 | -9.0E-05 | 1.1E-02 | -1.2E-03 | 3.9E-04  | -9.7E-05 |
| 43 | SERVICIO     | Combination | 1.4E-04  | -1.8E-04 | 7.0E-03 | -1.3E-03 | -2.4E-04 | 9.9E-05  |
| 43 | CARGA ULTIMA | Combination | 2.0E-04  | -2.6E-04 | 9.8E-03 | -1.8E-03 | -3.4E-04 | 1.4E-04  |
| 44 | SERVICIO     | Combination | -7.3E-06 | -1.8E-04 | 7.1E-03 | -1.3E-03 | 2.7E-04  | -1.0E-04 |
| 44 | CARGA ULTIMA | Combination | -1.0E-05 | -2.6E-04 | 1.0E-02 | -1.8E-03 | 3.8E-04  | -1.4E-04 |
| 45 | SERVICIO     | Combination | 1.2E-04  | -4.0E-04 | 6.3E-03 | -1.6E-03 | -2.3E-04 | 1.3E-04  |
| 45 | CARGA ULTIMA | Combination | 1.7E-04  | -5.6E-04 | 8.9E-03 | -2.3E-03 | -3.2E-04 | 1.8E-04  |
| 46 | SERVICIO     | Combination | 7.4E-06  | -4.0E-04 | 6.5E-03 | -1.6E-03 | 2.6E-04  | -1.3E-04 |
| 46 | CARGA ULTIMA | Combination | 1.0E-05  | -5.5E-04 | 9.1E-03 | -2.3E-03 | 3.6E-04  | -1.8E-04 |
| 47 | SERVICIO     | Combination | 9.9E-05  | -7.3E-04 | 5.5E-03 | -1.9E-03 | -2.2E-04 | 1.6E-04  |
| 47 | CARGA ULTIMA | Combination | 1.4E-04  | -1.0E-03 | 7.8E-03 | -2.7E-03 | -3.1E-04 | 2.2E-04  |
| 48 | SERVICIO     | Combination | 2.5E-05  | -7.3E-04 | 5.7E-03 | -1.9E-03 | 2.5E-04  | -1.6E-04 |
| 48 | CARGA ULTIMA | Combination | 3.5E-05  | -1.0E-03 | 8.0E-03 | -2.7E-03 | 3.5E-04  | -2.2E-04 |
| 49 | SERVICIO     | Combination | 7.4E-05  | -1.2E-03 | 4.7E-03 | -2.2E-03 | -2.1E-04 | 1.9E-04  |
| 49 | CARGA ULTIMA | Combination | 1.0E-04  | -1.7E-03 | 6.5E-03 | -3.1E-03 | -3.0E-04 | 2.6E-04  |
| 50 | SERVICIO     | Combination | 4.5E-05  | -1.2E-03 | 4.8E-03 | -2.2E-03 | 2.4E-04  | -1.9E-04 |
| 50 | CARGA ULTIMA | Combination | 6.3E-05  | -1.7E-03 | 6.7E-03 | -3.1E-03 | 3.4E-04  | -2.7E-04 |
| 51 | SERVICIO     | Combination | 4.5E-05  | -1.8E-03 | 3.7E-03 | -2.4E-03 | -2.1E-04 | 2.1E-04  |



|    |              |             |          |          |          |          |          |          |
|----|--------------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 51 | CARGA ULTIMA | Combination | 6.3E-05  | -2.5E-03 | 5.2E-03  | -3.4E-03 | -2.9E-04 | 3.0E-04  |
| 52 | SERVICIO     | Combination | 6.7E-05  | -1.8E-03 | 3.9E-03  | -2.4E-03 | 2.4E-04  | -2.2E-04 |
| 52 | CARGA ULTIMA | Combination | 9.3E-05  | -2.5E-03 | 5.4E-03  | -3.4E-03 | 3.3E-04  | -3.0E-04 |
| 53 | SERVICIO     | Combination | 1.5E-05  | -2.5E-03 | 2.8E-03  | -2.5E-03 | -2.0E-04 | 2.5E-04  |
| 53 | CARGA ULTIMA | Combination | 2.1E-05  | -3.5E-03 | 3.9E-03  | -3.6E-03 | -2.8E-04 | 3.6E-04  |
| 54 | SERVICIO     | Combination | 8.9E-05  | -2.5E-03 | 2.9E-03  | -2.5E-03 | 2.3E-04  | -2.6E-04 |
| 54 | CARGA ULTIMA | Combination | 1.3E-04  | -3.5E-03 | 4.1E-03  | -3.5E-03 | 3.2E-04  | -3.6E-04 |
| 55 | SERVICIO     | Combination | -1.5E-05 | -3.3E-03 | 1.9E-03  | -2.6E-03 | -2.1E-04 | 2.8E-04  |
| 55 | CARGA ULTIMA | Combination | -2.0E-05 | -4.7E-03 | 2.6E-03  | -3.7E-03 | -3.0E-04 | 3.9E-04  |
| 56 | SERVICIO     | Combination | 1.1E-04  | -3.3E-03 | 2.0E-03  | -2.6E-03 | 2.4E-04  | -2.8E-04 |
| 56 | CARGA ULTIMA | Combination | 1.5E-04  | -4.7E-03 | 2.8E-03  | -3.7E-03 | 3.4E-04  | -3.9E-04 |
| 57 | SERVICIO     | Combination | -4.2E-05 | -4.3E-03 | 1.0E-03  | -2.6E-03 | -2.0E-04 | 3.4E-04  |
| 57 | CARGA ULTIMA | Combination | -5.9E-05 | -6.0E-03 | 1.4E-03  | -3.7E-03 | -2.8E-04 | 4.7E-04  |
| 58 | SERVICIO     | Combination | 1.3E-04  | -4.3E-03 | 1.2E-03  | -2.6E-03 | 2.3E-04  | -3.4E-04 |
| 58 | CARGA ULTIMA | Combination | 1.8E-04  | -6.0E-03 | 1.6E-03  | -3.7E-03 | 3.2E-04  | -4.7E-04 |
| 59 | SERVICIO     | Combination | -6.4E-05 | -5.3E-03 | 2.5E-04  | -2.6E-03 | -2.4E-04 | 3.6E-04  |
| 59 | CARGA ULTIMA | Combination | -9.0E-05 | -7.4E-03 | 3.5E-04  | -3.7E-03 | -3.4E-04 | 5.0E-04  |
| 60 | SERVICIO     | Combination | 1.4E-04  | -5.3E-03 | 4.0E-04  | -2.6E-03 | 2.7E-04  | -3.6E-04 |
| 60 | CARGA ULTIMA | Combination | 1.9E-04  | -7.4E-03 | 5.5E-04  | -3.7E-03 | 3.8E-04  | -5.1E-04 |
| 61 | SERVICIO     | Combination | -7.8E-05 | -6.3E-03 | -4.1E-04 | -2.6E-03 | -2.1E-04 | 4.4E-04  |
| 61 | CARGA ULTIMA | Combination | -1.1E-04 | -8.9E-03 | -5.7E-04 | -3.6E-03 | -3.0E-04 | 6.1E-04  |
| 62 | SERVICIO     | Combination | 1.4E-04  | -6.3E-03 | -2.6E-04 | -2.6E-03 | 2.4E-04  | -4.4E-04 |
| 62 | CARGA ULTIMA | Combination | 2.0E-04  | -8.9E-03 | -3.6E-04 | -3.6E-03 | 3.4E-04  | -6.2E-04 |
| 63 | SERVICIO     | Combination | -7.4E-05 | -7.4E-03 | -9.4E-04 | -2.5E-03 | -3.2E-04 | 4.5E-04  |
| 63 | CARGA ULTIMA | Combination | -1.0E-04 | -1.0E-02 | -1.3E-03 | -3.4E-03 | -4.4E-04 | 6.4E-04  |
| 64 | SERVICIO     | Combination | 1.2E-04  | -7.4E-03 | -7.9E-04 | -2.5E-03 | 3.5E-04  | -4.6E-04 |
| 64 | CARGA ULTIMA | Combination | 1.7E-04  | -1.0E-02 | -1.1E-03 | -3.4E-03 | 4.9E-04  | -6.4E-04 |
| 65 | SERVICIO     | Combination | -5.2E-05 | -8.5E-03 | -1.3E-03 | -2.3E-03 | -2.2E-04 | 5.6E-04  |
| 65 | CARGA ULTIMA | Combination | -7.2E-05 | -1.2E-02 | -1.9E-03 | -3.2E-03 | -3.1E-04 | 7.8E-04  |
| 66 | SERVICIO     | Combination | 8.9E-05  | -8.5E-03 | -1.2E-03 | -2.3E-03 | 2.5E-04  | -5.7E-04 |
| 66 | CARGA ULTIMA | Combination | 1.3E-04  | -1.2E-02 | -1.6E-03 | -3.2E-03 | 3.4E-04  | -7.9E-04 |
| 67 | SERVICIO     | Combination | 9.7E-06  | -9.5E-03 | -1.6E-03 | -2.1E-03 | -5.0E-04 | 5.5E-04  |
| 67 | CARGA ULTIMA | Combination | 1.4E-05  | -1.3E-02 | -2.2E-03 | -3.0E-03 | -7.0E-04 | 7.8E-04  |
| 68 | SERVICIO     | Combination | 1.3E-05  | -9.5E-03 | -1.4E-03 | -2.1E-03 | 5.5E-04  | -5.5E-04 |
| 68 | CARGA ULTIMA | Combination | 1.8E-05  | -1.3E-02 | -2.0E-03 | -3.0E-03 | 7.8E-04  | -7.7E-04 |
| 69 | SERVICIO     | Combination | 1.1E-04  | -1.1E-02 | -1.7E-03 | -1.8E-03 | -2.0E-04 | 6.6E-04  |
| 69 | CARGA ULTIMA | Combination | 1.5E-04  | -1.5E-02 | -2.3E-03 | -2.6E-03 | -2.9E-04 | 9.3E-04  |
| 70 | SERVICIO     | Combination | -9.7E-05 | -1.0E-02 | -1.5E-03 | -1.8E-03 | 2.0E-04  | -6.7E-04 |
| 70 | CARGA ULTIMA | Combination | -1.4E-04 | -1.5E-02 | -2.1E-03 | -2.6E-03 | 2.8E-04  | -9.4E-04 |
| 71 | SERVICIO     | Combination | 3.1E-04  | -1.1E-02 | -1.5E-03 | -1.5E-03 | -1.2E-03 | 6.3E-04  |
| 71 | CARGA ULTIMA | Combination | 4.4E-04  | -1.6E-02 | -2.2E-03 | -2.1E-03 | -1.7E-03 | 8.9E-04  |
| 72 | SERVICIO     | Combination | -3.2E-04 | -1.1E-02 | -1.4E-03 | -1.5E-03 | 1.3E-03  | -6.3E-04 |



|    |              |             |          |          |          |          |          |          |
|----|--------------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 72 | CARGA ULTIMA | Combination | -4.5E-04 | -1.6E-02 | -2.0E-03 | -2.0E-03 | 1.9E-03  | -8.9E-04 |
| 73 | SERVICIO     | Combination | 7.6E-04  | -1.2E-02 | -1.1E-03 | 8.6E-04  | -4.2E-04 | 8.8E-04  |
| 73 | CARGA ULTIMA | Combination | 1.1E-03  | -1.6E-02 | -1.6E-03 | 1.2E-03  | -5.9E-04 | 1.2E-03  |
| 74 | SERVICIO     | Combination | -7.2E-04 | -1.2E-02 | -1.1E-03 | 8.4E-04  | -4.3E-05 | -9.0E-04 |
| 74 | CARGA ULTIMA | Combination | -1.0E-03 | -1.6E-02 | -1.5E-03 | 1.2E-03  | -6.0E-05 | -1.3E-03 |
| 75 | SERVICIO     | Combination | 0.0E+00  | 0.0E+00  | 0.0E+00  | 0.0E+00  | 0.0E+00  | 0.0E+00  |
| 75 | CARGA ULTIMA | Combination | 0.0E+00  | 0.0E+00  | 0.0E+00  | 0.0E+00  | 0.0E+00  | 0.0E+00  |
| 76 | SERVICIO     | Combination | 0.0E+00  | 0.0E+00  | 0.0E+00  | 0.0E+00  | 0.0E+00  | 0.0E+00  |
| 76 | CARGA ULTIMA | Combination | 0.0E+00  | 0.0E+00  | 0.0E+00  | 0.0E+00  | 0.0E+00  | 0.0E+00  |
| 77 | SERVICIO     | Combination | 0.0E+00  | 0.0E+00  | 0.0E+00  | 0.0E+00  | 0.0E+00  | 0.0E+00  |
| 77 | CARGA ULTIMA | Combination | 0.0E+00  | 0.0E+00  | 0.0E+00  | 0.0E+00  | 0.0E+00  | 0.0E+00  |
| 78 | SERVICIO     | Combination | 0.0E+00  | 0.0E+00  | 0.0E+00  | 0.0E+00  | 0.0E+00  | 0.0E+00  |
| 78 | CARGA ULTIMA | Combination | 0.0E+00  | 0.0E+00  | 0.0E+00  | 0.0E+00  | 0.0E+00  | 0.0E+00  |
| 79 | SERVICIO     | Combination | 1.2E-07  | 2.0E-04  | -4.3E-05 | -8.0E-04 | -1.1E-05 | 1.6E-04  |
| 79 | CARGA ULTIMA | Combination | 1.6E-07  | 2.8E-04  | -6.0E-05 | -1.1E-03 | -1.5E-05 | 2.3E-04  |
| 80 | SERVICIO     | Combination | 4.5E-06  | 7.9E-04  | -9.1E-05 | -1.5E-03 | -1.3E-06 | 1.6E-04  |
| 80 | CARGA ULTIMA | Combination | 6.3E-06  | 1.1E-03  | -1.3E-04 | -2.1E-03 | -1.8E-06 | 2.2E-04  |
| 81 | SERVICIO     | Combination | 1.3E-05  | 1.7E-03  | -1.4E-04 | -2.1E-03 | 1.4E-06  | 1.5E-04  |
| 81 | CARGA ULTIMA | Combination | 1.8E-05  | 2.4E-03  | -2.0E-04 | -2.9E-03 | 2.0E-06  | 2.1E-04  |
| 82 | SERVICIO     | Combination | 1.0E-05  | 2.8E-03  | -2.1E-04 | -2.5E-03 | -4.8E-05 | 1.2E-04  |
| 82 | CARGA ULTIMA | Combination | 1.5E-05  | 4.0E-03  | -2.9E-04 | -3.5E-03 | -6.7E-05 | 1.7E-04  |
| 83 | SERVICIO     | Combination | 8.1E-06  | 4.1E-03  | -2.7E-04 | -2.7E-03 | -1.0E-05 | 8.3E-05  |
| 83 | CARGA ULTIMA | Combination | 1.1E-05  | 5.8E-03  | -3.8E-04 | -3.8E-03 | -1.4E-05 | 1.2E-04  |
| 84 | SERVICIO     | Combination | -1.2E-05 | 5.5E-03  | -3.5E-04 | -2.9E-03 | -1.3E-04 | 4.7E-05  |
| 84 | CARGA ULTIMA | Combination | -1.7E-05 | 7.8E-03  | -5.0E-04 | -4.0E-03 | -1.8E-04 | 6.5E-05  |
| 85 | SERVICIO     | Combination | -3.6E-05 | 7.0E-03  | -4.5E-04 | -2.9E-03 | -3.7E-05 | 1.8E-05  |
| 85 | CARGA ULTIMA | Combination | -5.1E-05 | 9.8E-03  | -6.3E-04 | -4.0E-03 | -5.2E-05 | 2.5E-05  |
| 86 | SERVICIO     | Combination | -1.0E-04 | 8.4E-03  | -5.6E-04 | -2.8E-03 | -3.3E-04 | -1.2E-07 |
| 86 | CARGA ULTIMA | Combination | -1.4E-04 | 1.2E-02  | -7.9E-04 | -3.9E-03 | -4.6E-04 | -1.7E-07 |
| 87 | SERVICIO     | Combination | -1.8E-04 | 9.7E-03  | -7.1E-04 | -2.5E-03 | -3.8E-05 | 2.7E-05  |
| 87 | CARGA ULTIMA | Combination | -2.5E-04 | 1.4E-02  | -9.9E-04 | -3.5E-03 | -5.3E-05 | 3.8E-05  |
| 88 | SERVICIO     | Combination | -3.8E-04 | 1.1E-02  | -8.8E-04 | -2.0E-03 | -1.0E-03 | 8.5E-05  |
| 88 | CARGA ULTIMA | Combination | -5.4E-04 | 1.5E-02  | -1.2E-03 | -2.8E-03 | -1.4E-03 | 1.2E-04  |
| 89 | SERVICIO     | Combination | -1.1E-06 | 2.0E-04  | -4.3E-05 | -8.0E-04 | 1.4E-06  | -1.6E-04 |
| 89 | CARGA ULTIMA | Combination | -1.5E-06 | 2.8E-04  | -6.1E-05 | -1.1E-03 | 2.0E-06  | -2.3E-04 |
| 90 | SERVICIO     | Combination | -1.9E-06 | 7.9E-04  | -9.2E-05 | -1.5E-03 | 3.2E-05  | -1.6E-04 |
| 90 | CARGA ULTIMA | Combination | -2.7E-06 | 1.1E-03  | -1.3E-04 | -2.1E-03 | 4.5E-05  | -2.2E-04 |
| 91 | SERVICIO     | Combination | -1.4E-05 | 1.7E-03  | -1.5E-04 | -2.1E-03 | -6.0E-05 | -1.5E-04 |
| 91 | CARGA ULTIMA | Combination | -2.0E-05 | 2.4E-03  | -2.0E-04 | -2.9E-03 | -8.5E-05 | -2.1E-04 |
| 92 | SERVICIO     | Combination | -6.5E-06 | 2.8E-03  | -2.1E-04 | -2.5E-03 | 1.4E-04  | -1.2E-04 |
| 92 | CARGA ULTIMA | Combination | -9.2E-06 | 4.0E-03  | -2.9E-04 | -3.5E-03 | 2.0E-04  | -1.7E-04 |
| 93 | SERVICIO     | Combination | -1.1E-05 | 4.1E-03  | -2.8E-04 | -2.7E-03 | -1.3E-04 | -8.1E-05 |



|     |              |             |          |          |          |          |          |          |
|-----|--------------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 93  | CARGA ULTIMA | Combination | -1.6E-05 | 5.8E-03  | -3.9E-04 | -3.8E-03 | -1.8E-04 | -1.1E-04 |
| 94  | SERVICIO     | Combination | 1.8E-05  | 5.6E-03  | -3.6E-04 | -2.9E-03 | 3.3E-04  | -4.5E-05 |
| 94  | CARGA ULTIMA | Combination | 2.6E-05  | 7.8E-03  | -5.0E-04 | -4.0E-03 | 4.7E-04  | -6.2E-05 |
| 95  | SERVICIO     | Combination | 3.1E-05  | 7.0E-03  | -4.6E-04 | -2.9E-03 | -2.4E-04 | -1.5E-05 |
| 95  | CARGA ULTIMA | Combination | 4.3E-05  | 9.8E-03  | -6.4E-04 | -4.1E-03 | -3.3E-04 | -2.0E-05 |
| 96  | SERVICIO     | Combination | 1.1E-04  | 8.4E-03  | -5.8E-04 | -2.8E-03 | 7.1E-04  | 4.1E-06  |
| 96  | CARGA ULTIMA | Combination | 1.6E-04  | 1.2E-02  | -8.1E-04 | -3.9E-03 | 9.9E-04  | 5.8E-06  |
| 97  | SERVICIO     | Combination | 1.7E-04  | 9.8E-03  | -7.3E-04 | -2.5E-03 | -4.3E-04 | -2.1E-05 |
| 97  | CARGA ULTIMA | Combination | 2.4E-04  | 1.4E-02  | -1.0E-03 | -3.5E-03 | -6.0E-04 | -3.0E-05 |
| 98  | SERVICIO     | Combination | 3.9E-04  | 1.1E-02  | -9.1E-04 | -2.0E-03 | 1.6E-03  | -7.9E-05 |
| 98  | CARGA ULTIMA | Combination | 5.5E-04  | 1.5E-02  | -1.3E-03 | -2.8E-03 | 2.2E-03  | -1.1E-04 |
| 99  | SERVICIO     | Combination | 1.2E-07  | -2.0E-04 | -4.3E-05 | 8.0E-04  | -1.1E-05 | -1.6E-04 |
| 99  | CARGA ULTIMA | Combination | 1.6E-07  | -2.8E-04 | -6.0E-05 | 1.1E-03  | -1.5E-05 | -2.3E-04 |
| 100 | SERVICIO     | Combination | 4.5E-06  | -7.9E-04 | -9.1E-05 | 1.5E-03  | -1.3E-06 | -1.6E-04 |
| 100 | CARGA ULTIMA | Combination | 6.3E-06  | -1.1E-03 | -1.3E-04 | 2.1E-03  | -1.8E-06 | -2.2E-04 |
| 101 | SERVICIO     | Combination | 1.3E-05  | -1.7E-03 | -1.4E-04 | 2.1E-03  | 1.4E-06  | -1.5E-04 |
| 101 | CARGA ULTIMA | Combination | 1.8E-05  | -2.4E-03 | -2.0E-04 | 2.9E-03  | 2.0E-06  | -2.1E-04 |
| 102 | SERVICIO     | Combination | 1.0E-05  | -2.8E-03 | -2.1E-04 | 2.5E-03  | -4.8E-05 | -1.2E-04 |
| 102 | CARGA ULTIMA | Combination | 1.5E-05  | -4.0E-03 | -2.9E-04 | 3.5E-03  | -6.7E-05 | -1.7E-04 |
| 103 | SERVICIO     | Combination | 8.1E-06  | -4.1E-03 | -2.7E-04 | 2.7E-03  | -1.0E-05 | -8.3E-05 |
| 103 | CARGA ULTIMA | Combination | 1.1E-05  | -5.8E-03 | -3.8E-04 | 3.8E-03  | -1.4E-05 | -1.2E-04 |
| 104 | SERVICIO     | Combination | -1.2E-05 | -5.5E-03 | -3.5E-04 | 2.9E-03  | -1.3E-04 | -4.7E-05 |
| 104 | CARGA ULTIMA | Combination | -1.7E-05 | -7.8E-03 | -5.0E-04 | 4.0E-03  | -1.8E-04 | -6.5E-05 |
| 105 | SERVICIO     | Combination | -3.6E-05 | -7.0E-03 | -4.5E-04 | 2.9E-03  | -3.7E-05 | -1.8E-05 |
| 105 | CARGA ULTIMA | Combination | -5.1E-05 | -9.8E-03 | -6.3E-04 | 4.0E-03  | -5.2E-05 | -2.5E-05 |
| 106 | SERVICIO     | Combination | -1.0E-04 | -8.4E-03 | -5.6E-04 | 2.8E-03  | -3.3E-04 | 1.2E-07  |
| 106 | CARGA ULTIMA | Combination | -1.4E-04 | -1.2E-02 | -7.9E-04 | 3.9E-03  | -4.6E-04 | 1.7E-07  |
| 107 | SERVICIO     | Combination | -1.8E-04 | -9.7E-03 | -7.1E-04 | 2.5E-03  | -3.8E-05 | -2.7E-05 |
| 107 | CARGA ULTIMA | Combination | -2.5E-04 | -1.4E-02 | -9.9E-04 | 3.5E-03  | -5.3E-05 | -3.8E-05 |
| 108 | SERVICIO     | Combination | -3.8E-04 | -1.1E-02 | -8.8E-04 | 2.0E-03  | -1.0E-03 | -8.5E-05 |
| 108 | CARGA ULTIMA | Combination | -5.4E-04 | -1.5E-02 | -1.2E-03 | 2.8E-03  | -1.4E-03 | -1.2E-04 |

*Tabla N° 05: Valores de los desplazamientos obtenidos del análisis estructural*



Túnel sección tipo herradura:

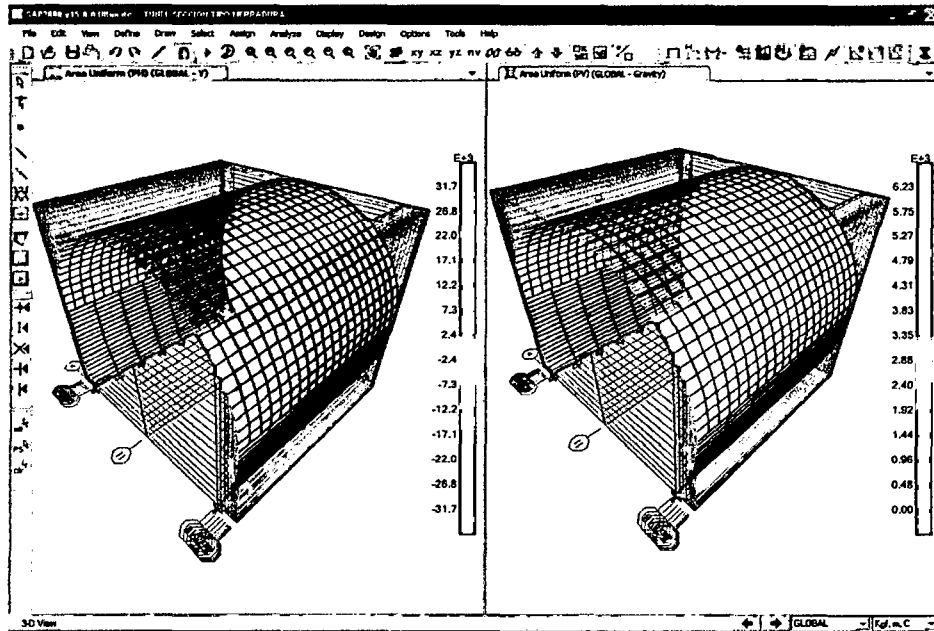


Figura N° 29: Valores de los desplazamientos obtenidos del análisis estructural

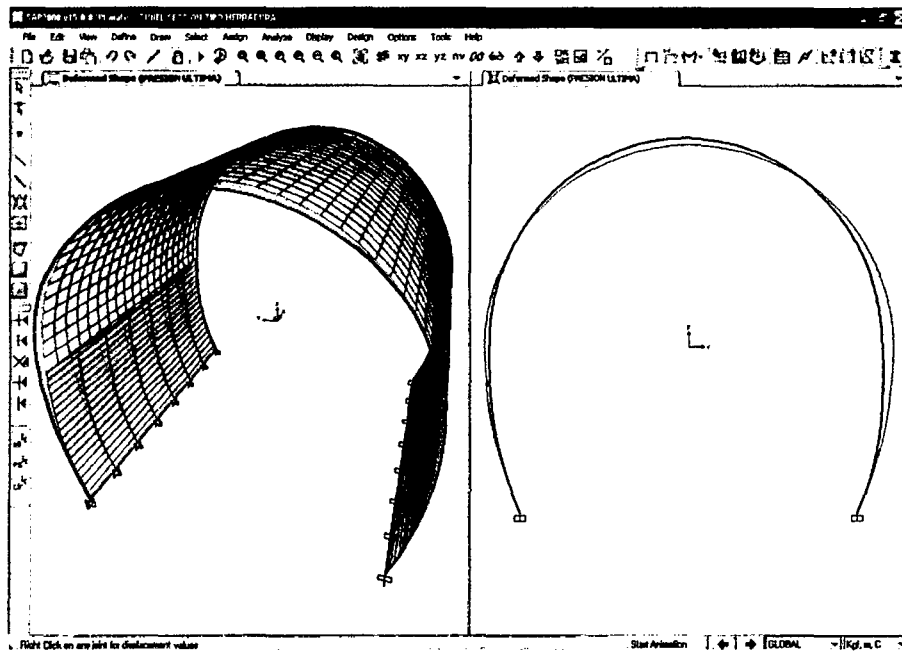


Figura N° 30: Se observa la deformada de la sección del túnel.

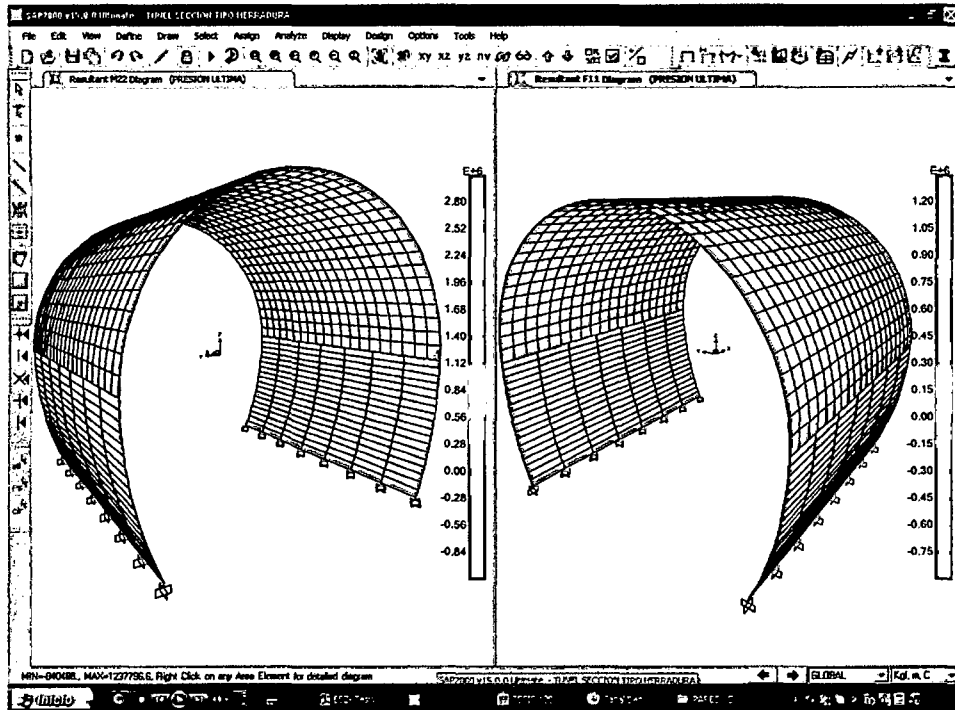


Figura N° 31: Se las cargas de la fuerza axial y los momentos de la sección del tunnel.

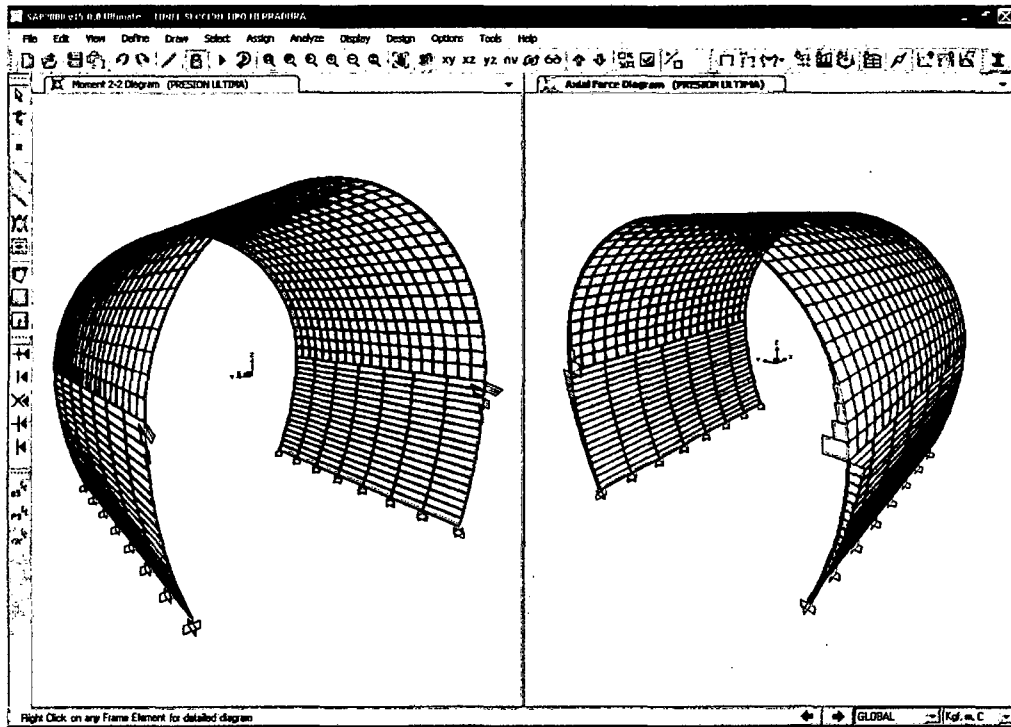


Figura N° 32: Se las cargas de la fuerza axial y los momentos de la sección del tunnel.

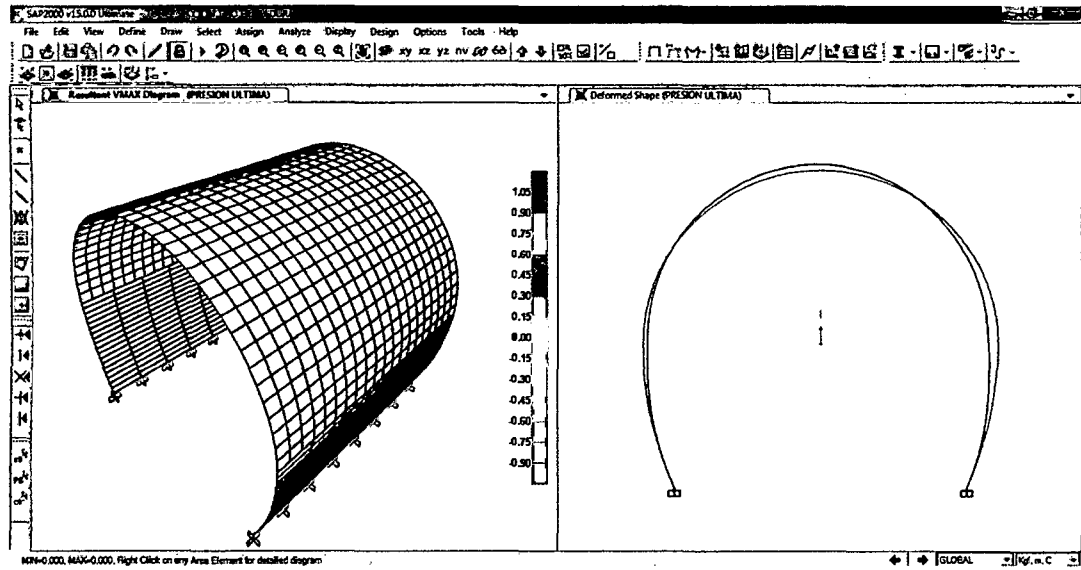


Figura N° 33: Se las cargas de la fuerza axial y su deformada respectiva.

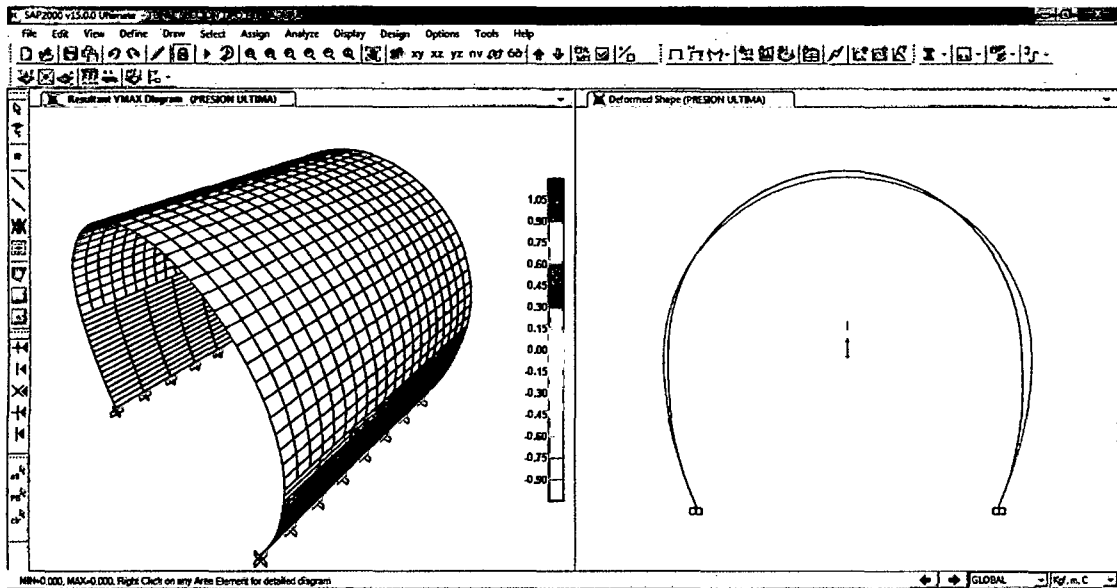
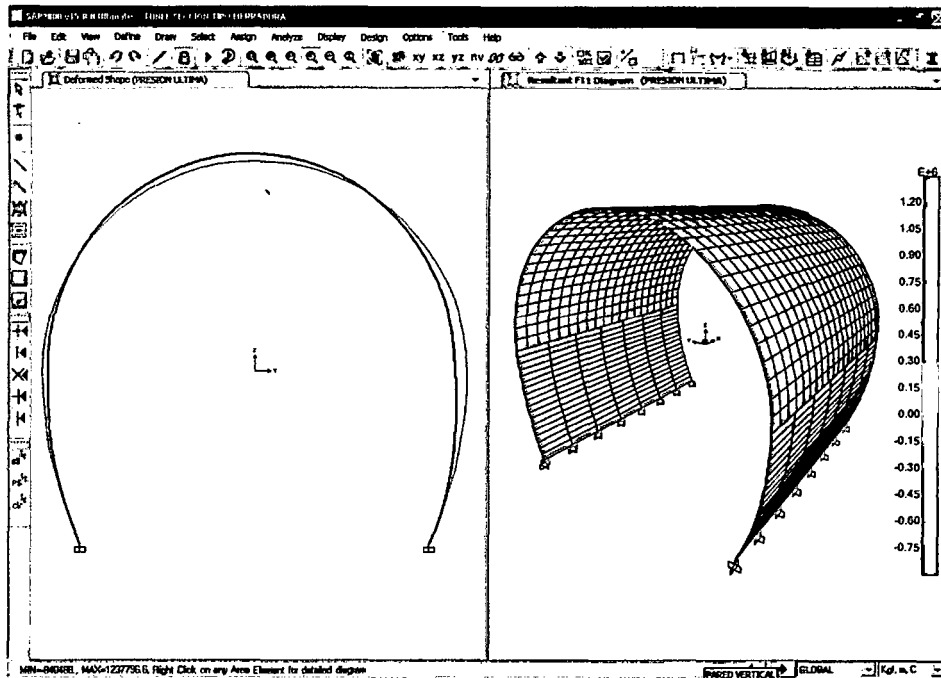
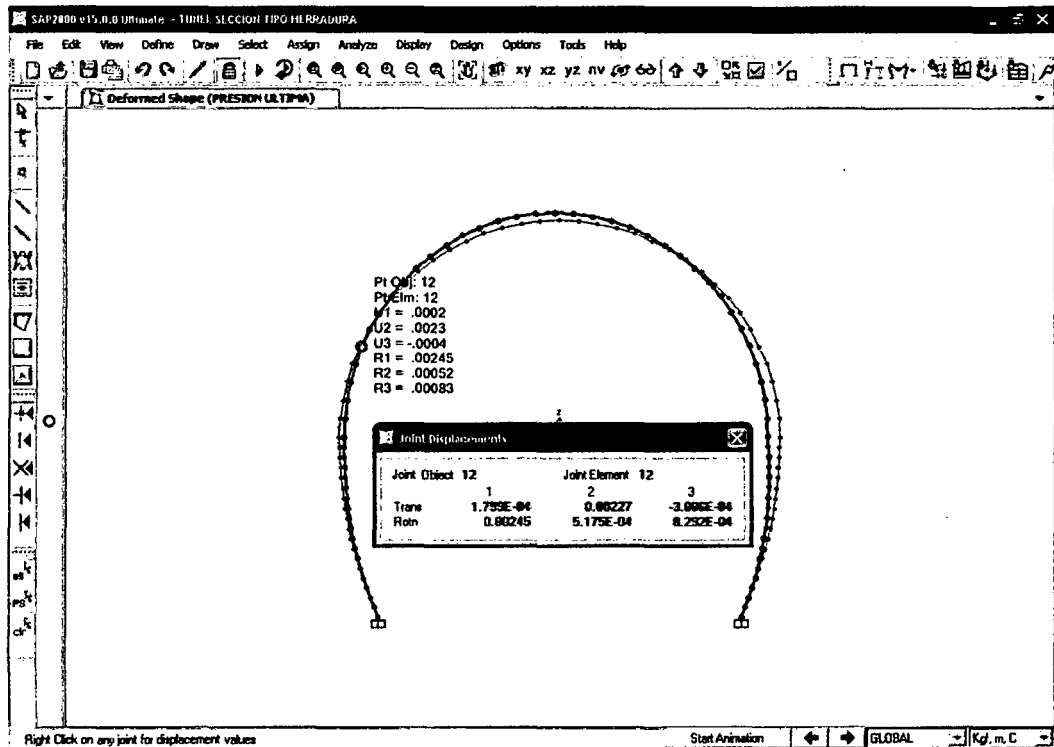


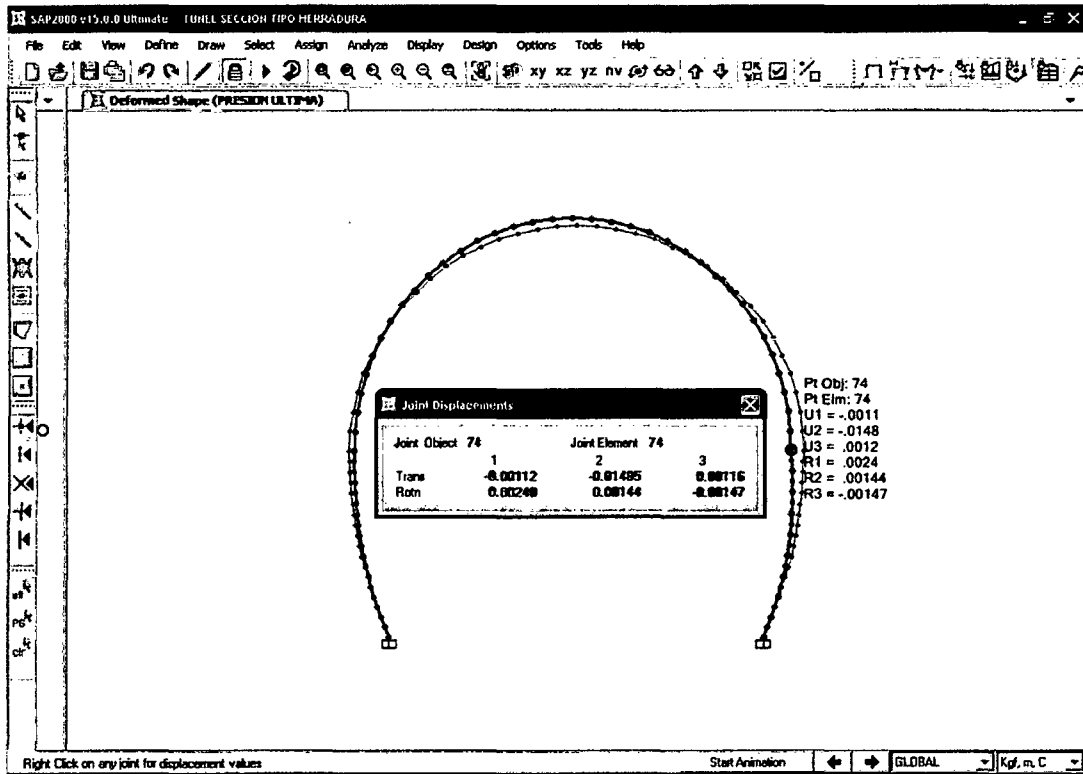
Figura N° 34: Diagrama de esfuerzo cortante de la sección de tunnel.



*Figura N° 35: Diagrama de esfuerzo axial de la sección del túnel.*



*Figura N° 36 y 37: Se observa los puntos con sus respectivas deformaciones.*



**TABLE: Desplazamientos**

| Joint | OutputCase     | CaseType    | U1        | U2       | U3        | R1        | R2        | R3        |
|-------|----------------|-------------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Text  | Text           | Text        | m         | m        | m         | Radians   | Radians   | Radians   |
| 1     | SERVICIO       | Combination | -8.18E-04 | 4.65E-03 | -2.45E-04 | -4.44E-04 | 1.06E-03  | 9.59E-04  |
| 1     | PRESION ULTIMA | Combination | -1.15E-03 | 6.50E-03 | -3.43E-04 | -6.22E-04 | 1.48E-03  | 1.34E-03  |
| 2     | SERVICIO       | Combination | 8.53E-04  | 4.69E-03 | -2.91E-04 | -4.54E-04 | -1.45E-03 | -9.37E-04 |
| 2     | PRESION ULTIMA | Combination | 1.20E-03  | 6.56E-03 | -4.07E-04 | -6.36E-04 | -2.03E-03 | -1.31E-03 |
| 3     | SERVICIO       | Combination | 3.48E-04  | 4.41E-03 | -7.21E-04 | 1.05E-03  | -9.09E-04 | -9.46E-04 |
| 3     | PRESION ULTIMA | Combination | 4.87E-04  | 6.17E-03 | -1.01E-03 | 1.47E-03  | -1.27E-03 | -1.32E-03 |
| 4     | SERVICIO       | Combination | -3.52E-04 | 4.37E-03 | -6.01E-04 | 1.04E-03  | 1.01E-03  | 9.48E-04  |
| 4     | PRESION ULTIMA | Combination | -4.93E-04 | 6.12E-03 | -8.41E-04 | 1.45E-03  | 1.41E-03  | 1.33E-03  |
| 5     | SERVICIO       | Combination | 1.32E-04  | 3.82E-03 | -8.68E-04 | 1.29E-03  | -5.10E-04 | -8.55E-04 |
| 5     | PRESION ULTIMA | Combination | 1.84E-04  | 5.35E-03 | -1.22E-03 | 1.81E-03  | -7.14E-04 | -1.20E-03 |
| 6     | SERVICIO       | Combination | -1.19E-04 | 3.79E-03 | -7.28E-04 | 1.28E-03  | 5.03E-04  | 8.65E-04  |
| 6     | PRESION ULTIMA | Combination | -1.67E-04 | 5.31E-03 | -1.02E-03 | 1.80E-03  | 7.04E-04  | 1.21E-03  |
| 7     | SERVICIO       | Combination | 1.40E-05  | 3.14E-03 | -8.44E-04 | 1.48E-03  | -4.52E-04 | -7.75E-04 |
| 7     | PRESION ULTIMA | Combination | 2.00E-05  | 4.40E-03 | -1.18E-03 | 2.08E-03  | -6.33E-04 | -1.09E-03 |
| 8     | SERVICIO       | Combination | 1.10E-05  | 3.12E-03 | -6.99E-04 | 1.48E-03  | 5.08E-04  | 7.73E-04  |
| 8     | PRESION ULTIMA | Combination | 1.50E-05  | 4.36E-03 | -9.79E-04 | 2.07E-03  | 7.11E-04  | 1.08E-03  |
| 9     | SERVICIO       | Combination | -5.00E-05 | 2.41E-03 | -6.92E-04 | 1.63E-03  | -3.59E-04 | -6.87E-04 |



|    |                |             |           |           |           |          |           |           |
|----|----------------|-------------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| 9  | PRESION ULTIMA | Combination | -7.10E-05 | 3.37E-03  | -9.69E-04 | 2.28E-03 | -5.02E-04 | -9.62E-04 |
| 10 | SERVICIO       | Combination | 9.00E-05  | 2.39E-03  | -5.46E-04 | 1.62E-03 | 3.80E-04  | 6.95E-04  |
| 10 | PRESION ULTIMA | Combination | 1.25E-04  | 3.34E-03  | -7.65E-04 | 2.27E-03 | 5.31E-04  | 9.73E-04  |
| 11 | SERVICIO       | Combination | -7.70E-05 | 1.64E-03  | -4.23E-04 | 1.76E-03 | -3.31E-04 | -5.92E-04 |
| 11 | PRESION ULTIMA | Combination | -1.08E-04 | 2.29E-03  | -5.92E-04 | 2.46E-03 | -4.63E-04 | -8.29E-04 |
| 12 | SERVICIO       | Combination | 1.29E-04  | 1.62E-03  | -2.78E-04 | 1.75E-03 | 3.70E-04  | 5.92E-04  |
| 12 | PRESION ULTIMA | Combination | 1.80E-04  | 2.27E-03  | -3.89E-04 | 2.45E-03 | 5.18E-04  | 8.29E-04  |
| 13 | SERVICIO       | Combination | -7.90E-05 | 8.54E-04  | -4.40E-05 | 1.86E-03 | -2.84E-04 | -5.16E-04 |
| 13 | PRESION ULTIMA | Combination | -1.10E-04 | 1.20E-03  | -6.20E-05 | 2.61E-03 | -3.98E-04 | -7.22E-04 |
| 14 | SERVICIO       | Combination | 1.42E-04  | 8.40E-04  | 1.00E-04  | 1.86E-03 | 3.11E-04  | 5.21E-04  |
| 14 | PRESION ULTIMA | Combination | 1.99E-04  | 1.18E-03  | 1.40E-04  | 2.60E-03 | 4.36E-04  | 7.29E-04  |
| 15 | SERVICIO       | Combination | -6.30E-05 | 7.80E-05  | 4.38E-04  | 1.94E-03 | -2.65E-04 | -4.39E-04 |
| 15 | PRESION ULTIMA | Combination | -8.80E-05 | 1.09E-04  | 6.14E-04  | 2.72E-03 | -3.70E-04 | -6.14E-04 |
| 16 | SERVICIO       | Combination | 1.37E-04  | 6.60E-05  | 5.80E-04  | 1.94E-03 | 2.97E-04  | 4.40E-04  |
| 16 | PRESION ULTIMA | Combination | 1.92E-04  | 9.20E-05  | 8.13E-04  | 2.71E-03 | 4.15E-04  | 6.16E-04  |
| 17 | SERVICIO       | Combination | -3.60E-05 | -6.73E-04 | 1.01E-03  | 1.99E-03 | -2.40E-04 | -3.80E-04 |
| 17 | PRESION ULTIMA | Combination | -5.10E-05 | -9.42E-04 | 1.42E-03  | 2.79E-03 | -3.37E-04 | -5.32E-04 |
| 18 | SERVICIO       | Combination | 1.21E-04  | -6.83E-04 | 1.15E-03  | 1.99E-03 | 2.68E-04  | 3.83E-04  |
| 18 | PRESION ULTIMA | Combination | 1.69E-04  | -9.56E-04 | 1.62E-03  | 2.78E-03 | 3.75E-04  | 5.36E-04  |
| 19 | SERVICIO       | Combination | -3.74E-06 | -1.38E-03 | 1.67E-03  | 2.01E-03 | -2.31E-04 | -3.25E-04 |
| 19 | PRESION ULTIMA | Combination | -5.24E-06 | -1.93E-03 | 2.33E-03  | 2.81E-03 | -3.23E-04 | -4.55E-04 |
| 20 | SERVICIO       | Combination | 9.70E-05  | -1.39E-03 | 1.80E-03  | 2.00E-03 | 2.60E-04  | 3.26E-04  |
| 20 | PRESION ULTIMA | Combination | 1.36E-04  | -1.94E-03 | 2.53E-03  | 2.80E-03 | 3.63E-04  | 4.57E-04  |
| 21 | SERVICIO       | Combination | 3.10E-05  | -2.02E-03 | 2.38E-03  | 1.98E-03 | -2.25E-04 | -2.83E-04 |
| 21 | PRESION ULTIMA | Combination | 4.40E-05  | -2.83E-03 | 3.33E-03  | 2.77E-03 | -3.14E-04 | -3.96E-04 |
| 22 | SERVICIO       | Combination | 7.00E-05  | -2.02E-03 | 2.51E-03  | 1.97E-03 | 2.51E-04  | 2.85E-04  |
| 22 | PRESION ULTIMA | Combination | 9.80E-05  | -2.83E-03 | 3.52E-03  | 2.76E-03 | 3.51E-04  | 3.99E-04  |
| 23 | SERVICIO       | Combination | 6.60E-05  | -2.58E-03 | 3.12E-03  | 1.90E-03 | -2.28E-04 | -2.44E-04 |
| 23 | PRESION ULTIMA | Combination | 9.30E-05  | -3.61E-03 | 4.37E-03  | 2.65E-03 | -3.19E-04 | -3.42E-04 |
| 24 | SERVICIO       | Combination | 4.30E-05  | -2.58E-03 | 3.26E-03  | 1.89E-03 | 2.54E-04  | 2.45E-04  |
| 24 | PRESION ULTIMA | Combination | 6.00E-05  | -3.61E-03 | 4.56E-03  | 2.65E-03 | 3.55E-04  | 3.43E-04  |
| 25 | SERVICIO       | Combination | 1.00E-04  | -3.04E-03 | 3.87E-03  | 1.77E-03 | -2.36E-04 | -2.12E-04 |
| 25 | PRESION ULTIMA | Combination | 1.39E-04  | -4.26E-03 | 5.42E-03  | 2.47E-03 | -3.30E-04 | -2.96E-04 |
| 26 | SERVICIO       | Combination | 1.60E-05  | -3.04E-03 | 4.00E-03  | 1.76E-03 | 2.61E-04  | 2.13E-04  |
| 26 | PRESION ULTIMA | Combination | 2.20E-05  | -4.26E-03 | 5.60E-03  | 2.46E-03 | 3.65E-04  | 2.98E-04  |
| 27 | SERVICIO       | Combination | 1.30E-04  | -3.40E-03 | 4.59E-03  | 1.58E-03 | -2.49E-04 | -1.80E-04 |
| 27 | PRESION ULTIMA | Combination | 1.81E-04  | -4.77E-03 | 6.43E-03  | 2.22E-03 | -3.48E-04 | -2.51E-04 |
| 28 | SERVICIO       | Combination | -9.24E-06 | -3.41E-03 | 4.72E-03  | 1.58E-03 | 2.73E-04  | 1.80E-04  |
| 28 | PRESION ULTIMA | Combination | -1.30E-05 | -4.77E-03 | 6.60E-03  | 2.21E-03 | 3.83E-04  | 2.52E-04  |
| 29 | SERVICIO       | Combination | 1.56E-04  | -3.67E-03 | 5.24E-03  | 1.35E-03 | -2.64E-04 | -1.48E-04 |
| 29 | PRESION ULTIMA | Combination | 2.18E-04  | -5.14E-03 | 7.34E-03  | 1.89E-03 | -3.70E-04 | -2.08E-04 |
| 30 | SERVICIO       | Combination | -3.10E-05 | -3.67E-03 | 5.37E-03  | 1.35E-03 | 2.88E-04  | 1.49E-04  |



|    |                |             |           |           |          |           |           |           |
|----|----------------|-------------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| 30 | PRESION ULTIMA | Combination | -4.30E-05 | -5.14E-03 | 7.52E-03 | 1.88E-03  | 4.03E-04  | 2.09E-04  |
| 31 | SERVICIO       | Combination | 1.77E-04  | -3.84E-03 | 5.80E-03 | 1.07E-03  | -2.80E-04 | -1.15E-04 |
| 31 | PRESION ULTIMA | Combination | 2.48E-04  | -5.37E-03 | 8.12E-03 | 1.50E-03  | -3.92E-04 | -1.61E-04 |
| 32 | SERVICIO       | Combination | -4.90E-05 | -3.84E-03 | 5.92E-03 | 1.07E-03  | 3.03E-04  | 1.16E-04  |
| 32 | PRESION ULTIMA | Combination | -6.90E-05 | -5.38E-03 | 8.29E-03 | 1.49E-03  | 4.25E-04  | 1.62E-04  |
| 33 | SERVICIO       | Combination | 1.94E-04  | -3.93E-03 | 6.23E-03 | 7.55E-04  | -2.93E-04 | -8.00E-05 |
| 33 | PRESION ULTIMA | Combination | 2.71E-04  | -5.51E-03 | 8.72E-03 | 1.06E-03  | -4.10E-04 | -1.12E-04 |
| 34 | SERVICIO       | Combination | -6.30E-05 | -3.93E-03 | 6.35E-03 | 7.52E-04  | 3.16E-04  | 8.10E-05  |
| 34 | PRESION ULTIMA | Combination | -8.90E-05 | -5.51E-03 | 8.89E-03 | 1.05E-03  | 4.43E-04  | 1.13E-04  |
| 35 | SERVICIO       | Combination | 2.04E-04  | -3.97E-03 | 6.51E-03 | 4.11E-04  | -3.02E-04 | -4.20E-05 |
| 35 | PRESION ULTIMA | Combination | 2.86E-04  | -5.56E-03 | 9.11E-03 | 5.75E-04  | -4.22E-04 | -5.80E-05 |
| 36 | SERVICIO       | Combination | -7.30E-05 | -3.97E-03 | 6.63E-03 | 4.09E-04  | 3.24E-04  | 4.20E-05  |
| 36 | PRESION ULTIMA | Combination | -1.02E-04 | -5.56E-03 | 9.28E-03 | 5.73E-04  | 4.54E-04  | 5.90E-05  |
| 37 | SERVICIO       | Combination | 2.08E-04  | -3.98E-03 | 6.62E-03 | 5.30E-05  | -3.03E-04 | -1.00E-06 |
| 37 | PRESION ULTIMA | Combination | 2.92E-04  | -5.57E-03 | 9.27E-03 | 7.40E-05  | -4.24E-04 | -1.40E-06 |
| 38 | SERVICIO       | Combination | -7.70E-05 | -3.98E-03 | 6.74E-03 | 5.20E-05  | 3.26E-04  | 1.27E-06  |
| 38 | PRESION ULTIMA | Combination | -1.07E-04 | -5.57E-03 | 9.43E-03 | 7.30E-05  | 4.56E-04  | 1.78E-06  |
| 39 | SERVICIO       | Combination | 2.05E-04  | -3.98E-03 | 6.56E-03 | -3.04E-04 | -2.97E-04 | 3.90E-05  |
| 39 | PRESION ULTIMA | Combination | 2.87E-04  | -5.58E-03 | 9.18E-03 | -4.26E-04 | -4.16E-04 | 5.50E-05  |
| 40 | SERVICIO       | Combination | -7.40E-05 | -3.99E-03 | 6.68E-03 | -3.04E-04 | 3.20E-04  | -3.90E-05 |
| 40 | PRESION ULTIMA | Combination | -1.03E-04 | -5.58E-03 | 9.35E-03 | -4.25E-04 | 4.47E-04  | -5.50E-05 |
| 41 | SERVICIO       | Combination | 1.95E-04  | -4.02E-03 | 6.33E-03 | -6.44E-04 | -2.84E-04 | 7.60E-05  |
| 41 | PRESION ULTIMA | Combination | 2.73E-04  | -5.62E-03 | 8.87E-03 | -9.01E-04 | -3.98E-04 | 1.07E-04  |
| 42 | SERVICIO       | Combination | -6.50E-05 | -4.02E-03 | 6.45E-03 | -6.43E-04 | 3.07E-04  | -7.60E-05 |
| 42 | PRESION ULTIMA | Combination | -9.10E-05 | -5.62E-03 | 9.03E-03 | -9.00E-04 | 4.29E-04  | -1.07E-04 |
| 43 | SERVICIO       | Combination | 1.79E-04  | -4.10E-03 | 5.96E-03 | -9.54E-04 | -2.66E-04 | 1.09E-04  |
| 43 | PRESION ULTIMA | Combination | 2.51E-04  | -5.74E-03 | 8.34E-03 | -1.34E-03 | -3.73E-04 | 1.53E-04  |
| 44 | SERVICIO       | Combination | -5.20E-05 | -4.10E-03 | 6.08E-03 | -9.51E-04 | 2.89E-04  | -1.09E-04 |
| 44 | PRESION ULTIMA | Combination | -7.30E-05 | -5.74E-03 | 8.51E-03 | -1.33E-03 | 4.05E-04  | -1.53E-04 |
| 45 | SERVICIO       | Combination | 1.58E-04  | -4.25E-03 | 5.46E-03 | -1.22E-03 | -2.46E-04 | 1.40E-04  |
| 45 | PRESION ULTIMA | Combination | 2.22E-04  | -5.96E-03 | 7.64E-03 | -1.71E-03 | -3.45E-04 | 1.95E-04  |
| 46 | SERVICIO       | Combination | -3.50E-05 | -4.25E-03 | 5.58E-03 | -1.22E-03 | 2.70E-04  | -1.40E-04 |
| 46 | PRESION ULTIMA | Combination | -4.80E-05 | -5.96E-03 | 7.81E-03 | -1.71E-03 | 3.78E-04  | -1.96E-04 |
| 47 | SERVICIO       | Combination | 1.33E-04  | -4.49E-03 | 4.86E-03 | -1.44E-03 | -2.27E-04 | 1.67E-04  |
| 47 | PRESION ULTIMA | Combination | 1.86E-04  | -6.29E-03 | 6.81E-03 | -2.02E-03 | -3.18E-04 | 2.34E-04  |
| 48 | SERVICIO       | Combination | -1.40E-05 | -4.49E-03 | 4.99E-03 | -1.44E-03 | 2.51E-04  | -1.67E-04 |
| 48 | PRESION ULTIMA | Combination | -1.90E-05 | -6.29E-03 | 6.98E-03 | -2.02E-03 | 3.51E-04  | -2.34E-04 |
| 49 | SERVICIO       | Combination | 1.04E-04  | -4.83E-03 | 4.21E-03 | -1.61E-03 | -2.10E-04 | 1.94E-04  |
| 49 | PRESION ULTIMA | Combination | 1.45E-04  | -6.76E-03 | 5.89E-03 | -2.26E-03 | -2.94E-04 | 2.72E-04  |
| 50 | SERVICIO       | Combination | 1.00E-05  | -4.83E-03 | 4.33E-03 | -1.61E-03 | 2.34E-04  | -1.95E-04 |
| 50 | PRESION ULTIMA | Combination | 1.40E-05  | -6.76E-03 | 6.06E-03 | -2.25E-03 | 3.28E-04  | -2.73E-04 |
| 51 | SERVICIO       | Combination | 7.20E-05  | -5.25E-03 | 3.53E-03 | -1.73E-03 | -1.99E-04 | 2.22E-04  |



|    |                |             |           |           |          |           |           |           |
|----|----------------|-------------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| 51 | PRESION ULTIMA | Combination | 1.00E-04  | -7.35E-03 | 4.94E-03 | -2.42E-03 | -2.79E-04 | 3.10E-04  |
| 52 | SERVICIO       | Combination | 3.60E-05  | -5.25E-03 | 3.65E-03 | -1.72E-03 | 2.25E-04  | -2.22E-04 |
| 52 | PRESION ULTIMA | Combination | 5.10E-05  | -7.35E-03 | 5.11E-03 | -2.41E-03 | 3.14E-04  | -3.10E-04 |
| 53 | SERVICIO       | Combination | 3.70E-05  | -5.76E-03 | 2.85E-03 | -1.78E-03 | -1.93E-04 | 2.55E-04  |
| 53 | PRESION ULTIMA | Combination | 5.20E-05  | -8.06E-03 | 3.99E-03 | -2.50E-03 | -2.71E-04 | 3.56E-04  |
| 54 | SERVICIO       | Combination | 6.30E-05  | -5.76E-03 | 2.98E-03 | -1.78E-03 | 2.19E-04  | -2.56E-04 |
| 54 | PRESION ULTIMA | Combination | 8.80E-05  | -8.06E-03 | 4.17E-03 | -2.49E-03 | 3.07E-04  | -3.58E-04 |
| 55 | SERVICIO       | Combination | 2.95E-06  | -6.34E-03 | 2.21E-03 | -1.79E-03 | -1.98E-04 | 2.90E-04  |
| 55 | PRESION ULTIMA | Combination | 4.13E-06  | -8.87E-03 | 3.10E-03 | -2.51E-03 | -2.78E-04 | 4.07E-04  |
| 56 | SERVICIO       | Combination | 8.90E-05  | -6.33E-03 | 2.35E-03 | -1.78E-03 | 2.26E-04  | -2.91E-04 |
| 56 | PRESION ULTIMA | Combination | 1.25E-04  | -8.86E-03 | 3.28E-03 | -2.50E-03 | 3.16E-04  | -4.07E-04 |
| 57 | SERVICIO       | Combination | -2.90E-05 | -6.96E-03 | 1.64E-03 | -1.75E-03 | -2.06E-04 | 3.39E-04  |
| 57 | PRESION ULTIMA | Combination | -4.10E-05 | -9.75E-03 | 2.29E-03 | -2.45E-03 | -2.89E-04 | 4.75E-04  |
| 58 | SERVICIO       | Combination | 1.13E-04  | -6.96E-03 | 1.77E-03 | -1.74E-03 | 2.33E-04  | -3.41E-04 |
| 58 | PRESION ULTIMA | Combination | 1.58E-04  | -9.74E-03 | 2.48E-03 | -2.44E-03 | 3.26E-04  | -4.78E-04 |
| 59 | SERVICIO       | Combination | -5.60E-05 | -7.62E-03 | 1.14E-03 | -1.67E-03 | -2.31E-04 | 3.91E-04  |
| 59 | PRESION ULTIMA | Combination | -7.80E-05 | -1.07E-02 | 1.59E-03 | -2.34E-03 | -3.23E-04 | 5.48E-04  |
| 60 | SERVICIO       | Combination | 1.29E-04  | -7.61E-03 | 1.28E-03 | -1.66E-03 | 2.62E-04  | -3.92E-04 |
| 60 | PRESION ULTIMA | Combination | 1.81E-04  | -1.06E-02 | 1.79E-03 | -2.33E-03 | 3.66E-04  | -5.49E-04 |
| 61 | SERVICIO       | Combination | -7.20E-05 | -8.28E-03 | 7.32E-04 | -1.55E-03 | -2.50E-04 | 4.63E-04  |
| 61 | PRESION ULTIMA | Combination | -1.01E-04 | -1.16E-02 | 1.03E-03 | -2.17E-03 | -3.50E-04 | 6.48E-04  |
| 62 | SERVICIO       | Combination | 1.35E-04  | -8.26E-03 | 8.72E-04 | -1.54E-03 | 2.77E-04  | -4.67E-04 |
| 62 | PRESION ULTIMA | Combination | 1.89E-04  | -1.16E-02 | 1.22E-03 | -2.16E-03 | 3.87E-04  | -6.54E-04 |
| 63 | SERVICIO       | Combination | -7.20E-05 | -8.92E-03 | 4.28E-04 | -1.40E-03 | -3.00E-04 | 5.34E-04  |
| 63 | PRESION ULTIMA | Combination | -1.01E-04 | -1.25E-02 | 5.99E-04 | -1.97E-03 | -4.21E-04 | 7.47E-04  |
| 64 | SERVICIO       | Combination | 1.23E-04  | -8.90E-03 | 5.69E-04 | -1.40E-03 | 3.37E-04  | -5.34E-04 |
| 64 | PRESION ULTIMA | Combination | 1.73E-04  | -1.25E-02 | 7.96E-04 | -1.95E-03 | 4.72E-04  | -7.47E-04 |
| 65 | SERVICIO       | Combination | -4.80E-05 | -9.52E-03 | 2.29E-04 | -1.23E-03 | -3.28E-04 | 6.27E-04  |
| 65 | PRESION ULTIMA | Combination | -6.70E-05 | -1.33E-02 | 3.20E-04 | -1.72E-03 | -4.59E-04 | 8.78E-04  |
| 66 | SERVICIO       | Combination | 8.70E-05  | -9.50E-03 | 3.70E-04 | -1.22E-03 | 3.49E-04  | -6.34E-04 |
| 66 | PRESION ULTIMA | Combination | 1.22E-04  | -1.33E-02 | 5.19E-04 | -1.71E-03 | 4.88E-04  | -8.88E-04 |
| 67 | SERVICIO       | Combination | 1.40E-05  | -1.01E-02 | 1.39E-04 | -1.02E-03 | -4.29E-04 | 7.13E-04  |
| 67 | PRESION ULTIMA | Combination | 1.90E-05  | -1.41E-02 | 1.94E-04 | -1.43E-03 | -6.01E-04 | 9.99E-04  |
| 68 | SERVICIO       | Combination | 1.20E-05  | -1.00E-02 | 2.80E-04 | -1.01E-03 | 4.82E-04  | -7.12E-04 |
| 68 | PRESION ULTIMA | Combination | 1.70E-05  | -1.40E-02 | 3.91E-04 | -1.41E-03 | 6.75E-04  | -9.97E-04 |
| 69 | SERVICIO       | Combination | 1.27E-04  | -1.05E-02 | 1.65E-04 | -7.41E-04 | -4.82E-04 | 7.99E-04  |
| 69 | PRESION ULTIMA | Combination | 1.77E-04  | -1.47E-02 | 2.31E-04 | -1.04E-03 | -6.75E-04 | 1.12E-03  |
| 70 | SERVICIO       | Combination | -1.13E-04 | -1.05E-02 | 3.02E-04 | -7.29E-04 | 4.77E-04  | -8.08E-04 |
| 70 | PRESION ULTIMA | Combination | -1.59E-04 | -1.47E-02 | 4.22E-04 | -1.02E-03 | 6.68E-04  | -1.13E-03 |
| 71 | SERVICIO       | Combination | 3.37E-04  | -1.08E-02 | 3.46E-04 | -3.79E-04 | -8.95E-04 | 8.93E-04  |
| 71 | PRESION ULTIMA | Combination | 4.72E-04  | -1.51E-02 | 4.84E-04 | -5.31E-04 | -1.25E-03 | 1.25E-03  |
| 72 | SERVICIO       | Combination | -3.40E-04 | -1.08E-02 | 4.63E-04 | -3.59E-04 | 9.85E-04  | -8.98E-04 |





|    |                |             |           |           |           |           |           |           |
|----|----------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 72 | PRESION ULTIMA | Combination | -4.76E-04 | -1.51E-02 | 6.48E-04  | -5.03E-04 | 1.38E-03  | -1.26E-03 |
| 73 | SERVICIO       | Combination | 8.32E-04  | -1.07E-02 | 7.82E-04  | 1.72E-03  | -1.40E-03 | 1.02E-03  |
| 73 | PRESION ULTIMA | Combination | 1.17E-03  | -1.49E-02 | 1.09E-03  | 2.41E-03  | -1.97E-03 | 1.43E-03  |
| 74 | SERVICIO       | Combination | -7.97E-04 | -1.06E-02 | 8.26E-04  | 1.71E-03  | 1.03E-03  | -1.05E-03 |
| 74 | PRESION ULTIMA | Combination | -1.12E-03 | -1.48E-02 | 1.16E-03  | 2.40E-03  | 1.44E-03  | -1.47E-03 |
| 75 | SERVICIO       | Combination | -7.69E-04 | 5.35E-03  | -1.14E-03 | 1.16E-03  | 1.46E-03  | 1.58E-03  |
| 75 | PRESION ULTIMA | Combination | -1.08E-03 | 7.49E-03  | -1.59E-03 | 1.63E-03  | 2.04E-03  | 2.21E-03  |
| 76 | SERVICIO       | Combination | -3.16E-04 | 4.85E-03  | -1.09E-03 | 1.12E-03  | 7.16E-04  | 1.08E-03  |
| 76 | PRESION ULTIMA | Combination | -4.42E-04 | 6.80E-03  | -1.52E-03 | 1.56E-03  | 1.00E-03  | 1.51E-03  |
| 77 | SERVICIO       | Combination | -6.72E-04 | 6.12E-03  | -1.55E-03 | 1.38E-03  | 5.13E-04  | 1.51E-03  |
| 77 | PRESION ULTIMA | Combination | -9.41E-04 | 8.56E-03  | -2.16E-03 | 1.93E-03  | 7.19E-04  | 2.11E-03  |
| 78 | SERVICIO       | Combination | -3.45E-04 | 5.43E-03  | -1.53E-03 | 1.47E-03  | 8.98E-04  | 1.18E-03  |
| 78 | PRESION ULTIMA | Combination | -4.83E-04 | 7.60E-03  | -2.14E-03 | 2.06E-03  | 1.26E-03  | 1.65E-03  |
| 79 | SERVICIO       | Combination | -6.01E-04 | 6.85E-03  | -1.89E-03 | 1.74E-03  | 7.82E-04  | 1.42E-03  |
| 79 | PRESION ULTIMA | Combination | -8.41E-04 | 9.59E-03  | -2.65E-03 | 2.44E-03  | 1.09E-03  | 1.98E-03  |
| 80 | SERVICIO       | Combination | -3.23E-04 | 6.02E-03  | -1.87E-03 | 1.74E-03  | 5.13E-04  | 1.18E-03  |
| 80 | PRESION ULTIMA | Combination | -4.53E-04 | 8.43E-03  | -2.62E-03 | 2.43E-03  | 7.18E-04  | 1.66E-03  |
| 81 | SERVICIO       | Combination | -5.32E-04 | 7.53E-03  | -2.20E-03 | 1.97E-03  | 4.79E-04  | 1.29E-03  |
| 81 | PRESION ULTIMA | Combination | -7.44E-04 | 1.05E-02  | -3.08E-03 | 2.76E-03  | 6.70E-04  | 1.80E-03  |
| 82 | SERVICIO       | Combination | -2.93E-04 | 6.59E-03  | -2.17E-03 | 1.96E-03  | 6.19E-04  | 1.08E-03  |
| 82 | PRESION ULTIMA | Combination | -4.11E-04 | 9.22E-03  | -3.04E-03 | 2.75E-03  | 8.67E-04  | 1.51E-03  |
| 83 | SERVICIO       | Combination | -4.59E-04 | 8.13E-03  | -2.46E-03 | 2.17E-03  | 5.33E-04  | 1.11E-03  |
| 83 | PRESION ULTIMA | Combination | -6.43E-04 | 1.14E-02  | -3.45E-03 | 3.04E-03  | 7.47E-04  | 1.55E-03  |
| 84 | SERVICIO       | Combination | -3.59E-04 | -9.43E-03 | 1.02E-03  | 2.66E-03  | 3.48E-04  | -2.80E-04 |
| 84 | PRESION ULTIMA | Combination | -5.02E-04 | -1.32E-02 | 1.43E-03  | 3.73E-03  | 4.87E-04  | -3.92E-04 |
| 85 | SERVICIO       | Combination | -1.94E-04 | -7.94E-03 | 1.08E-03  | 3.05E-03  | -1.01E-04 | -2.10E-04 |
| 85 | PRESION ULTIMA | Combination | -2.71E-04 | -1.11E-02 | 1.51E-03  | 4.27E-03  | -1.42E-04 | -2.93E-04 |
| 86 | SERVICIO       | Combination | -1.01E-04 | -6.30E-03 | 1.04E-03  | 3.16E-03  | -1.92E-04 | -2.26E-04 |
| 86 | PRESION ULTIMA | Combination | -1.41E-04 | -8.82E-03 | 1.45E-03  | 4.42E-03  | -2.69E-04 | -3.17E-04 |
| 87 | SERVICIO       | Combination | -4.90E-05 | -4.69E-03 | 9.02E-04  | 3.06E-03  | -1.91E-04 | -2.65E-04 |
| 87 | PRESION ULTIMA | Combination | -6.80E-05 | -6.57E-03 | 1.26E-03  | 4.28E-03  | -2.67E-04 | -3.71E-04 |
| 88 | SERVICIO       | Combination | -2.40E-05 | -3.17E-03 | 6.77E-04  | 2.78E-03  | -1.72E-04 | -3.02E-04 |
| 88 | PRESION ULTIMA | Combination | -3.40E-05 | -4.44E-03 | 9.48E-04  | 3.89E-03  | -2.41E-04 | -4.22E-04 |
| 89 | SERVICIO       | Combination | -1.70E-05 | -1.87E-03 | 4.03E-04  | 2.31E-03  | -1.47E-04 | -3.21E-04 |
| 89 | PRESION ULTIMA | Combination | -2.40E-05 | -2.62E-03 | 5.64E-04  | 3.23E-03  | -2.06E-04 | -4.49E-04 |
| 90 | SERVICIO       | Combination | -1.70E-05 | -8.69E-04 | 1.76E-04  | 1.66E-03  | -1.16E-04 | -3.12E-04 |
| 90 | PRESION ULTIMA | Combination | -2.40E-05 | -1.22E-03 | 2.46E-04  | 2.33E-03  | -1.63E-04 | -4.37E-04 |
| 91 | SERVICIO       | Combination | -2.55E-04 | 7.10E-03  | -2.43E-03 | 2.15E-03  | 4.26E-04  | 9.53E-04  |
| 91 | PRESION ULTIMA | Combination | -3.57E-04 | 9.93E-03  | -3.41E-03 | 3.00E-03  | 5.97E-04  | 1.33E-03  |
| 92 | SERVICIO       | Combination | -2.00E-05 | -2.24E-04 | 1.70E-05  | 8.44E-04  | -5.90E-05 | -2.60E-04 |
| 92 | PRESION ULTIMA | Combination | -2.80E-05 | -3.14E-04 | 2.30E-05  | 1.18E-03  | -8.20E-05 | -3.64E-04 |
| 93 | SERVICIO       | Combination | 0.00E+00  | 0.00E+00  | 0.00E+00  | 0.00E+00  | 0.00E+00  | 0.00E+00  |



|     |                |             |           |          |           |           |           |          |          |
|-----|----------------|-------------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| 93  | PRESION ULTIMA | Combination | 0.00E+00  | 0.00E+00 | 0.00E+00  | 0.00E+00  | 0.00E+00  | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| 94  | SERVICIO       | Combination | -3.66E-04 | 4.22E-03 | -2.80E-05 | -1.09E-03 | 3.91E-04  | 2.32E-04 |          |
| 94  | PRESION ULTIMA | Combination | -5.13E-04 | 5.91E-03 | -3.90E-05 | -1.52E-03 | 5.47E-04  | 3.25E-04 |          |
| 95  | SERVICIO       | Combination | -1.97E-04 | 3.58E-03 | 1.03E-04  | -1.35E-03 | -7.50E-05 | 1.67E-04 |          |
| 95  | PRESION ULTIMA | Combination | -2.76E-04 | 5.01E-03 | 1.45E-04  | -1.89E-03 | -1.05E-04 | 2.33E-04 |          |
| 96  | SERVICIO       | Combination | -1.01E-04 | 2.83E-03 | 1.69E-04  | -1.42E-03 | -1.68E-04 | 1.66E-04 |          |
| 96  | PRESION ULTIMA | Combination | -1.42E-04 | 3.97E-03 | 2.36E-04  | -1.99E-03 | -2.35E-04 | 2.32E-04 |          |
| 97  | SERVICIO       | Combination | -4.80E-05 | 2.10E-03 | 1.76E-04  | -1.37E-03 | -1.59E-04 | 1.79E-04 |          |
| 97  | PRESION ULTIMA | Combination | -6.70E-05 | 2.94E-03 | 2.46E-04  | -1.92E-03 | -2.22E-04 | 2.50E-04 |          |
| 98  | SERVICIO       | Combination | -2.10E-05 | 1.41E-03 | 1.31E-04  | -1.23E-03 | -1.29E-04 | 1.87E-04 |          |
| 98  | PRESION ULTIMA | Combination | -2.90E-05 | 1.97E-03 | 1.84E-04  | -1.72E-03 | -1.81E-04 | 2.62E-04 |          |
| 99  | SERVICIO       | Combination | -1.20E-05 | 8.25E-04 | 5.80E-05  | -1.00E-03 | -9.60E-05 | 1.83E-04 |          |
| 99  | PRESION ULTIMA | Combination | -1.70E-05 | 1.15E-03 | 8.10E-05  | -1.40E-03 | -1.34E-04 | 2.57E-04 |          |
| 100 | SERVICIO       | Combination | -1.20E-05 | 3.83E-04 | 1.41E-06  | -7.01E-04 | -6.10E-05 | 1.64E-04 |          |
| 100 | PRESION ULTIMA | Combination | -1.60E-05 | 5.36E-04 | 1.97E-06  | -9.82E-04 | -8.50E-05 | 2.30E-04 |          |
| 101 | SERVICIO       | Combination | -1.50E-05 | 1.02E-04 | -2.80E-05 | -3.39E-04 | -1.20E-05 | 1.26E-04 |          |
| 101 | PRESION ULTIMA | Combination | -2.10E-05 | 1.43E-04 | -3.90E-05 | -4.75E-04 | -1.70E-05 | 1.77E-04 |          |
| 102 | SERVICIO       | Combination | 0.00E+00  | 0.00E+00 | 0.00E+00  | 0.00E+00  | 0.00E+00  | 0.00E+00 |          |

**Tabla N° 06: Valores de los desplazamientos obtenidos del análisis estructural**



## CONCLUSIONES.

- Se concluyó que el túnel de sección tipo de herradura genera fuerzas axiales mayores,  $1.20 \times 10^6$  kgf como máximo, mientras que la sección con pared vertical y domo arqueado nos da una fuerza axial máxima de  $9 \times 10^5$  kgf, esto es de suma importancia pues como apreciamos que la sección tipo herradura se comporta netamente axialmente, es decir la estructura está trabando a compresión y teniendo en cuenta que el diseño se ha hecho con concreto simple, entonces el concreto está funcionando como debe ser.
- La sección tipo herradura genera momentos menores,  $2.80 \times 10^6$  kgf como máximo, que la sección de pared vertical con domo arqueado, la cual llega a un momento máximo de  $3.00 \times 10^6$  kgf
- La sección de pared vertical con domo arqueado genera cortante, mientras que la sección tipo herradura genera una fuerza cortante nula, lo que implica que en la sección de pared vertical con domo arqueado hay fuerzas perpendiculares al plano de la sección del túnel, lo cual genera un desplazamiento mayor en el eje Y
- La sección tipo herradura presenta deformaciones menores en el eje Y, tomamos como referencia el Pto. 04 de ambas secciones, el cual corresponde a la parte de las paredes del túnel, la sección tipo herradura tiene una deformación de  $6.12 \times 10^{-3}$ ,



mientras que la sección de pared vertical con domo arqueado tiene una deformación de  $1.6 \times 10^{-2}$

- En lo que respecta a la cúpula, esta presenta una deformación menor en el eje Z , en la sección tipo herradura, tomamos el Pto 38 de ambas secciones, el cual corresponde a la cúpula, en la sección tipo herradura presenta una deformación de  $9.43 \times 10^{-3}$  , mientras que la sección de pared vertical con domo arqueado presenta una deformación de  $1.1 \times 10^{-2}$



## **RECOMENDACIONES.**

- Es necesario fomentar la investigación en el Pre grado, por lo cual habría más conciencia que nos permita un mayor conocimiento de temas de los cuales hay poca información y además no han sido desarrollados a lo largo de la carrera.
- Se debería estandarizar en el Perú reglamento acerca de este tipo de estructuras, pues la bibliografía obtenida es de otros países.
- En lo que respecta al desarrollo de la tesis se debe hacer más combinaciones con las cargas, teniendo en cuenta otros factores, tal como la carga de agua que pudiera existir.
- A la hora de cargar el modelo del túnel tener cuidado con las cargas que actúan sobre la cúpula, pues ellas generan presiones verticales y horizontales conjuntamente.
- Tomar como referencia este trabajo para ampliar otras investigaciones, así como puede ser con una platea de cimentación como base de la estructura.



## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Alejo O. Sfriso UBA, AOSA SRL y VS Consultores SA. Buenos Aire. Pag 02

Alexandre Plaza Castel. Análisis Del Comportamiento De Un Túnel Excavado En  
Rocas Altamente Expansivas, Enero 2008. Pag 01-06

Alfonso Rico y Hermilo del Castillo .Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestre.Pag  
386-394

*ETG-OCA-01, Obras de Concreto Armado, 2009, Volumen II, Pag 1-10*

Gianfranco Perri, Clases de comportamiento y cargas de diseño para túneles  
excavados convencionalmente. Pag 3-5

Linares Sánchez Antonio. Túneles y obras subterráneas, Editores técnicos asociados  
SA Barcelona 1997. Pag 98-119

Manuel Romana Ruiz .Clasificaciones Geomecánicas., Eds. 2000. Pag 17-19

Paginas web:

[http://es.wikipedia.org/wiki/Roca\\_sedimentaria](http://es.wikipedia.org/wiki/Roca_sedimentaria)

<http://tunaceramica.com/teoria/arcillasytierras.htm>

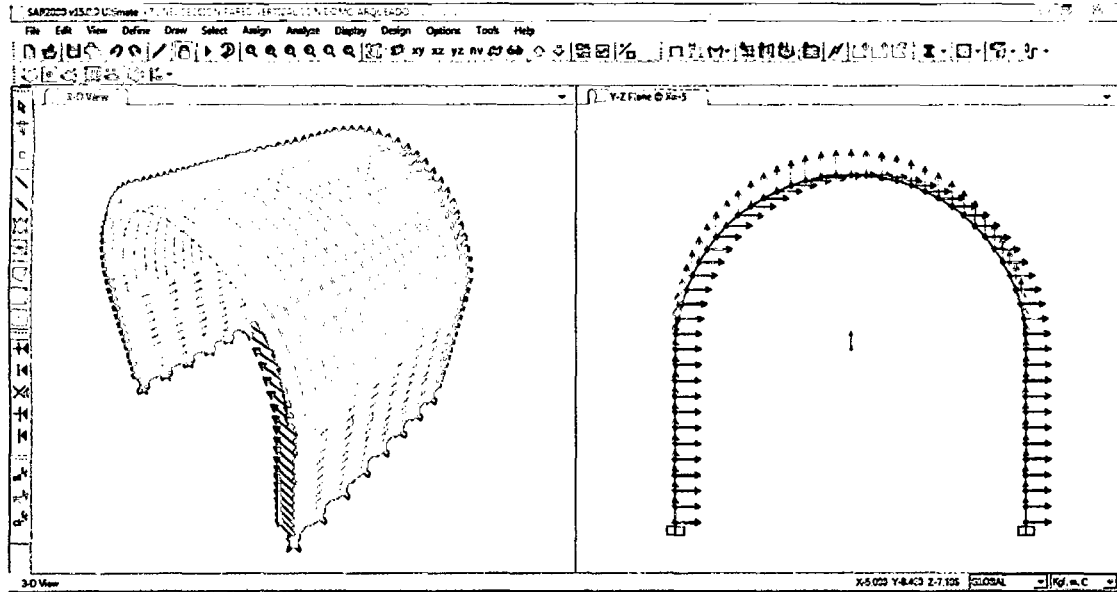
Robles Espinoza, Nerio. Lima. Concytec. 1994 Excavación y sostenimiento de túneles  
en roca.

Romana M, Serón y Montalar, Eds., 2000. Clasificaciones Geomecánicas

S Gómez Ramírez. Efecto de los cambios de succión y tensión en la degradación de  
argilitas, – 2009 pag. 04



**ANEXOS**



*Figura N° 38 y 39: Se observan los ejes locales, el color rojo representa al eje X, el color celeste al eje Z (eje vertical) y por ultimo el color verde representa el eje Y (eje horizontal)*

