



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

**ÁREA DE ENERGÍA, INDUSTRIAS Y
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES**

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**“DISEÑO DE AISLAMIENTO SÍSMICO PARA CUBIERTAS DE
ESTRUCTURA METÁLICA”**

AUTOR:

LUIS FELIPE HERRERA VEGA

DIRECTOR:

ING. MILTON LEÓN

**LOJA – ECUADOR
2004**

CERTIFICA:

Que el presente proyecto “Aislamiento Sísmico de Estructuras Metálicas”, previa a la obtención del título de Ing. Electromecánico fue revisado cuidadosamente, por lo que me permito Autorizar la presentación de la misma para la sustentación y graduación correspondiente.

Loja, 19 octubre de 2004

.....
Ing. Milton León
DIRECTOR

AUTORIA

La investigación, análisis y conclusiones del presente trabajo son propiedad exclusiva del autor, a favor de La Universidad Nacional de Loja, el cual podrá hacer uso del mismo con la finalidad que estime conveniente.

.....
Egdo. Luis Felipe Herrera Vega

AGRADECIMIENTO

Expreso mis sinceros agradecimientos a todos los catedráticos que a lo largo de nuestros años de estudio supieron impartirnos sus valiosos conocimientos; en la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Nacional de Loja por habernos permitido nuestra formación profesional.

De manera especial al Ing. Milton León, Director de Tesis, quien con sus amplios conocimientos me brindó una valiosa y acertada orientación en la realización y culminación del presente trabajo.

El Autor

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico:

A mis padres, quienes con esfuerzo y sacrificio me han sabido guiar y apoyar en cada momento de mi vida.

A toda mi familia y la mujer que amo que de una u otra forma brindaron su ayuda para culminar mi formación profesional.

Luis Felipe H.

INDICE

CERTIFICACIÓN

AUTORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
DEDICATORIA.....	V
RESUMEN.....	VI
INDICE.....	VIII
INTRODUCCIÓN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
HIPÓTESIS.....	XVI

RESUMEN

El presente trabajo se titula: "Diseño de un Aislamiento Sísmico para Cubiertas de Estructuras Metálicas", con el se trata de analizar y obtener resultados de acuerdo al diseño, para seleccionar las propiedades del material que son de interés al momento de estudiarse su capacidad estructural, su forma y su comportamiento.

En el cálculo del proyecto se tomó en cuenta los conjuntos de fuerzas actuantes en una edificación no resistente a sismos y proponemos el diseño de un aislamiento sísmico, para rescatar las estructuras metálicas de estas edificaciones, para reducir las pérdidas económicas y salvaguardarlas, ofreciendo un avance tecnológico en nuestra ciudad.

El diseño del aislamiento debe resultar en un Standard de acuerdo con el tipo de edificación y su ubicación. Para escoger los materiales necesarios del proyecto el ingeniero se puede apoyar en los avances informáticos ofrecidos por paquetes de programas. MATLAB6.5, COSMOSDesignSTAR 4.0 se utiliza para calcular la resistencia del diseño, hecho en AUTOCAD 2004, con la unión de cada una de sus partes. Del análisis y la comparación de los resultados obtenidos se confirma la resistencia a fuerzas vibratorias de la edificación.

SUMMARY

This work is titled: "Seismic Isolation for Metallic Structure Coverings Design". With this project we are trying to analyze and obtain results related with the design in order to select the material and its properties most important when we are trying to study their structural capacities, their shapes and behaviours.

During the calculation of this project we took in account all the forces that act on the building which do not withstand seismic and we are proposing the design of the Seismic Insulation, to rescue the metallic structure of these buildings, to save and reduce the economic loses and to save the technologic advances in the city.

The insulation design should result in standards related with the building types and location. To select the necessary materials of this project, the electromechanic engineering field could be supported by the informatic advances given by programs. *MATLAB6.5*, *COSMOSDesignSTART 4.0* are used to calculate the design resistance, made in *AUTOCAD 2004*, with the union of each one of these parts. From the analysis and comparison of the results obtained, the resistance to vibratory forces in the building is confirm.

INDICE

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1. AMENAZA Y RIESGO SÍSMICO.....	17
1.1. RIESGO SÍSMICO.....	17
1.1.1. MARCO TEÓRICO GENERAL.....	17
1.1.2. ESTUDIO DE SISMICIDAD DEL PAÍS.....	18
1.1.2.1. Sismo tectónica de Ecuador.....	18
1.1.2.2. Determinación de las Áreas sismo génicas del país.....	19
1.1.2.3. Determinación de los parámetros de sismicidad en cada área fuente.....	20
1.1.3 CURVAS DE ATENUACIÓN.....	21
1.1.3.1. Curvas de atenuación de intensidades.....	21
1.1.3.2. Curvas de atenuación de aceleración.....	22
1.1.4. Valores esperados en cada sitio.....	23
1.2. AMENAZA SÍSMICA (PELIGROSIDAD).....	24
1.2.1. Zonas Fuentes.....	24
1.2.1.1. Mapa Tectónico.....	25
1.2.1.2. Información Sísmica.....	26
1.2.1.3. Mapa sismo - tectónico.....	26
1.2.1.4. Zonas fuentes.....	26
1.2.1.5. Potencial Sísmico.....	27
1.2.2. Leyes de Atenuación.....	28
1.2.2.1. Dispersión Geométrica.....	29
1.2.2.2. Atenuación Anelástica.....	30
1.2.2.3. Atenuación de energía.....	31
1.2.2.4. Relación entre Parámetros Sísmicos.....	33
1.2.3. Evaluación.....	34
1.2.3.1. Valor de Aceleración.....	34
1.2.3.2. Forma del Espectro.....	35

CAPITULO II

2. ELEMENTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL AISLAMIENTO...	37
2.1. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO.....	37
2.2. DETERMINACIÓN DE MATERIALES.....	37
2.2.1. NEOPRENO.....	37
2.2.2.1. CARACTERÍSTICAS DEL NEOPRENO.....	38
2.2.2.2. PROPIEDADES DEL NEOPRENO (Estándares Internacionales).....	39
2.2.2.3. CARGAS DEL NEOPRENO (Modulo de Elasticidad).....	39
2.2.2. ACERO INOXIDABLE AISE 310S.....	40
2.2.2.1. COMPOSICIÓN DEL ACERO INOXIDABLE AISE 310S.....	40
2.2.2.2. Nomenclatura de los Aceros Sistema S.A.E - A.I.S.I.....	42
2.2.2.3. ANÁLISIS Y APLICACIONES DE LOS ACEROS.....	42
2.2.2.4. ACEROS INOXIDABLES FERRÍTICOS.....	43
2.2.3. PROPIEDADES DEL ACERO AISI 310S.....	43
2.2.3.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACERO AISI 310S.....	43
2.2.3.2. EQUIVALENTES EN OTRAS NORMAS PARA EL ACERO AISI 310S.....	44
2.2.3.3. PROPIEDADES FÍSICAS DEL ACERO AISI 310S.....	42
2.2.3.4. PROPIEDADES MECÁNICAS A LA TEMPERATURA AMBIENTE DEL ACERO AISI 310S.....	45
2.2.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL ACERO.....	47

CAPITULO III

3. CÁLCULOS, MODELACIÓN MATEMÁTICA DEL AISLADOR.....	48
3.1. CÁLCULO DE LA ENERGÍA POTENCIAL DEL DESLIZAMIENTO DE LOS MATERIALES (NEOPRENO Y AISI 310S).....	48
3.2. CÁLCULO DE FIJACIÓN DE LOS ANCLAJES DEL AISLADOR.....	49
3.3. MODELACIÓN MATEMATICA DEL AISLAMIENTO.....	53
3.3.1. PROCESOS DE AMORTIGUACIÓN.....	53
3.3.2. REPRESENTACIÓN DEL DISEÑO Y MODELO.....	55
3.3.3. RESOLUCIÓN DE TRANSFORMADA RESPECTO A LA TRANSFORMADA DE LAS FUNCIONES DEL MOVIMIENTO.....	56
3.3.3.1. DETERMINACIÓN DEL MOVIMIENTO DEL SISTEMA.....	58
3.3.3.1.2. Movimiento del sistema, al ser nulas las condiciones iniciales.....	58
3.3.3.1.3. Movimiento del sistema con el Aislamiento, si la Perturbación es un salto unitario.....	64

CAPITULO IV

4. MANEJO DE SOTFWARES PARA REPRESENTAR LA RESPUESTA DEL AMORTIGUADOR.....	68
4.1. SISTEMA UTILIZADO EN ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS MODELOS MATEMATICOS POR MEDIO DEL SIMULINK.....	68
4.2. METODOLOGÍA DE RESPUESTA DEL AMORTIGUADOR...	69
4.2.1. RESPUESTA DE ECUACION DE MOVIMIENTO.....	69
4.2.2. REPRESENTACIÓN DE LAS ECUACIONES DEL MOVIMIENTO DEL SISTEMA PARA EL AMORTIGUADOR.....	72

4.2.3. Movimiento del sistema, al ser nulas las condiciones iniciales.....	72
4.2.3.1. REPRESENTACIÓN EN SIMULINK DEL MOVIMIENTO DEL SISTEMA.....	73
4.2.4. Movimiento del sistema con el Aislamiento, si la perturbación es un salto unitario.....	78
4.2.5. PROCESOS DE AMORTIGUACIÓN DE OSCILACIONES.....	82
4.3. ANALISIS DEL AISLAMIENTO MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS.....	82
4.3.1. ESTUDIO DEL AISLAMIENTO CON EL SOFTWARE COSMOSDesignSTAR 4.0.....	82
4.3.2. CARACTERISTICAS DEL ANALISIS PARA EL AISLAMIENTO.....	83
4.4. ANÁLISIS DEL AISLAMIENTO CON EL COSMOSDesignSTAR 4.0.....	84
4.4.1. Referencia Geométrica del Aislamiento.....	85
4.4.2. REPORTE DEL ANALISIS.....	85
4.4.2.1. MATERIALES DE CADA ELEMENTO DEL AISLAMIENTO.....	85
4.4.2.1.2. DETALLES DE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN EL AISLAMIENTO.....	86
4.4.2.2. PARTES DEL AISLAMIENTO.....	88
4.4.3. Empotrado o Refrenamiento (restraint) del Aislamiento.....	89
4.4.4. Carga (Load) del Aislamiento	90
4.4.5. ESTUDIO DE PROPIEDADES EN MALLA EN EL AISLAMIENTO.....	90

CAPITULO V

5. ANÁLISIS Y VALORACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	93
5.1. ANÁLISIS Y RESULTADOS DE SISTEMAS SINUSOIDAL Y RESONANCIA.....	93

5.2. ANÁLISIS Y RESULTADOS CON EXISTENCIA DE RESONANCIA.....	95
5.3. ANALISIS DE LA RESPUESTA DEL MOVIMIENTO QUE EXISTIRA, INTERCEDIENDO EL AMORTIGUADOR.....	98
5.4. INFLUENCIA EJERCIDA POR LA FUERZA DE RESISTENCIA, PROPORCIONAL AL TIEMPO, SOBRE LAS OSCILACIONES FORZADAS DEL PUNTO MATERIAL.....	101
5.5. RESULTADOS DE ANÁLISIS DEL AISLAMIENTO MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS.....	102
5.5.1. RESULTADOS DE LA TENSIÓN.....	103
5.5.2. RESULTADOS DEL DESPLAZAMIENTO.....	104
5.5.3. RESULTADOS DE LA TENSIÓN EQUIVALENTE.....	105
5.5.4. RESULTADOS DE LA DEFORMACIÓN.....	106

CAPITULO VI

6. VALORACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA.....	107
6.1. INTRODUCCIÓN.....	107
6.2. VALORACIÓN ECONOMICA.....	107
6.2.1. CÁLCULO DE LOS COSTOS DE OPERACIÓN.....	109
6.2.2. COSTOS TOTALES DE OPERACIÓN.....	109
6.2.3. CALCULO DEL VALOR ACTUAL NETO (VAN) Y LA TASA INTERNA DE RETORNO (TIR).....	110
6.3. BENEFICIOS DEL AISLAMIENTO.....	111
6.4. COSTO DE MATERIALES PARA EL ESTUDIO DEL AISLAMIENTO.....	112
6.5. VALORACIÓN TÉCNICA.....	112
6.6. VALORACIÓN TECNOLÓGICA.....	113

INTRODUCCIÓN

Nuestro país se encuentra ubicado dentro de una zona de alto riesgo sísmico, por tal razón, las edificaciones deben cumplir con requisitos de resistencia y seguridad, pudiendo implementarse sistemas de control en las estructuras para poder responder de mejor manera ante estas solicitaciones.

Las estructuras convencionales pueden sufrir elevadas aceleraciones de ruptura, si es rígida, o también por grandes desplazamientos laterales, ya que el material utilizado no posee flexibilidad. En el presente estudio se propone la siguiente alternativa: **separar la estructura del suelo, de tal manera que el movimiento sísmico no sea transmitido hacia arriba de la estructura, o al menos, que ésta sea grandemente reducido.**

El concepto de aislamiento sísmico consiste en desconectar la estructura o una edificación, de las destructivas componentes horizontales del movimiento del suelo por medio de un mecanismo que provee flexibilidad y capacidad de absorción de energía.

La idea de soportar una estructura y dejar que el suelo se mueva debajo de este, es tan atractiva que muchos inventores han propuesto desde inicios de siglo, dispositivos para lograr este resultado. Casi todos estos inventos han permanecido sin implementarse hasta la década de los 50 cuando los apoyos elastoméricos de varias capas fueron desarrollados. Un sistema sin restricción horizontal como el mencionado, tiene que, en la práctica, acomodar las cargas frecuentes de servicio como también las de sismo, viento y fuerza de frenado en puentes de estructura metálica.

Los aisladores sísmicos son una nueva técnica en diseño sismorresistente que está siendo empleada desde hace ya algunos años en varios países, principalmente en Japón, Nueva Zelanda. Numerosos estudios experimentales, numéricos y mediciones en obras construidas, confirman las ventajas de esta técnica en comparación a un diseño tradicional. A más de la significativa reducción de fuerzas, se logra también eliminar la

demanda de ductilidad de un sistema estructural, reducir aceleraciones y disminuir a su mínima expresión los desplazamientos laterales.

Para empezar la investigación realizamos un breve análisis del **problema**, en nuestro medio existen una gran cantidad de edificaciones con estructuras metálicas que fueron construidos hace más de 10 años, los cuales presentan grandes vulnerabilidades ante los movimientos sísmicos.

Como **objeto de estudio** para el desarrollo de la tesis se tomó en cuenta la descripción de sistemas de disipación donde actúan variados dispositivos. Los métodos de trabajo empleados durante la etapa de investigación fueron la recopilación de información, entrevista a expertos, el estudio bibliográfico y la aplicación práctica de las principales ideas surgidas del proceso propio del trabajo. La tesis deja como resultado teórico principal la propuesta de métodos de trabajo para el desarrollo de un disipador con un análisis en software que ofrece resultados prácticos para su implantación, y la creación del diseño para incrementar la resistencia en estructuras habitacionales, comerciales e industriales actuales, imponiéndose la necesidad de ser analizados y reforzados, si se van a realizar construcciones posteriores.

OBJETIVO

GENERAL

Diseñar el Aislamiento Sísmico para Cubiertas de Estructuras Metálicas, con las propiedades y el comportamiento que tendrá bajo diferentes factores de uso.

ESPECIFICO

Desarrollar el marco teórico para el Aislamiento Sísmico, Modelación y simulación utilizando softwares que permita comprobar valores de resistencia y sus límites, bajo los marcos: Teórico, Matemático y Experimental.

Planear y elaborar un diseño de Aislador Sísmico, comprobar valores de resistencia mediante un software.

HIPOTESIS

GENERAL

Es posible diseñar como analizar un Aislamiento sísmico con su implementación en estructuras metálicas.

ESPECIFICO

Es probable elaborar y comprobar el diseño del aislamiento mediante software, su comportamiento, así como su resistencia.

Es factible el uso del aislador sísmico que reducirá la vulnerabilidad de las estructuras ante fenómenos vibratorios.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO.

1. AMENAZA Y RIESGO SISMICO

1.1. RIESGO SISMICO.

1.1.1. MARCO TEÓRICO GENERAL.

El riesgo potencial en una localidad depende de la sismicidad regional, de la forma como se atenúa la intensidad del movimiento (aceleración), velocidad, etc., en la localidad, con la distancia y de las características del suelo local.

En la Ingeniería sismo resistente el nivel de riesgo debe ser expresado por parámetros de diseño, como los esperados en el sitio con cierto nivel de probabilidad de excedencia en las estructuras metálicas que tienen que soportar este peligro, por la existencia de estos fenómenos, los Ingenieros Electromecánicos deben afrontar la responsabilidad de diseño y durabilidad de estas construcciones.

El Ecuador es uno de los países situados en el Círculo Circumpacífico o Cinturón de Fuego del Pacífico y por lo tanto, en una región de alta sismicidad. Los Terremotos ocurridos en nuestro país comprueban este hecho.

Los niveles de sismicidad no tienen por que ser homogéneos en la región, ya que esta puede tener subregiones con distintos niveles de sismicidad; dichas subregiones son conocidas como áreas fuentes y se las considera como áreas izo sísmicas, es decir que la generación de sismos en cualquier punto dentro del área sigue un mismo patrón. Este patrón define la sismicidad en cada área fuente.

Al producirse un evento sísmico en cualquier punto del área fuente, se producirá una intensidad de movimiento diferente para cada sitio de estudio dependiendo de su distancia al foco (sin tener en cuenta el efecto del suelo Local).

1.1.2. ESTUDIO DE SISMICIDAD DEL PAÍS.

1.1.2.1. Sismo tectónica de Ecuador.

En el Ecuador Continental se tienen dos ambientes generadores de epicentros. El primero de ellos está ubicado en el contacto entre las placas Nazca Sudamericana, pudiéndose sumar en el Norte del país un posible contacto con la placa de Cocos. El segundo, corresponde al interior del país, en especial en la zona sub. Este, interandina en donde hay fallas tectónicas activas que igualmente son origen de sismos destructivos. Se reconocen tres regímenes tectónicamente distintos en la Placa Nazca frente a Colombia y Ecuador. Entre las Lat. 1 y 7 Norte el fondo marino es relativamente plano y liso; y, su edad corre progresivamente de 10 a 26 m.a. hacia el Norte (Lonsdale de Klitgord, 1978). Su subducción al Este bajo Colombia coincide con una simple fila de estrato – volcanes en la placa sobrecorrida.

Entre las Lat. 2 y 4 Sur el fondo oceánico frente a la fosa Ecuatoriana es una zona sumamente fracturada, de 230 Km. De ancho, cortada por fracturas oceánicas de rumbo, denominadas las zonas de fractura Grijalva, Alvarado y Sarmiento (Lonsdale y Klitgord, 1978). Una vez subducida debajo del continente esta zona se comporta como una pequeña placa separada, independiente de las placas adyacentes, y está caracterizada por una mayor sismicidad de profundidad intermedia (Hall y Wood, 1985).

Entre los dos regímenes tectónicos, es decir, entre las Lat. 1 Norte y 2 Sur, la cordillera submarina Carnegie choca con la placa continental Sudamericana frente al Ecuador. Esta gran cordillera tiene 300 Km de ancho y 3 Km de Alto y descansa sobre corteza oceánica con una edad mayor de 16 m.a. A causa de que el rumbo se deriva de la placa ha sido hacia el Este durante los últimos 25 m.a. con una velocidad promedio de 5

cm/año (Pilger, 1983) y también que la cordillera esta orientada E – O, la Carnegie debe estar buzando directamente al este bajo la parte central del Ecuador. Lonsdale (1978) estimó que esta subducción empezó hace 2 o 3 m.a.; Pennington (1981) supuso un comienzo mas temprano.

La subducción de esta cordillera se manifiesta por la poca profundidad de la fosa, por el levantamiento activo de la costa ecuatoriana, por un volcanismo extenso y químicamente variado y por la naturaleza del fallamiento y Sismicidad observada.

La colisión de la cordillera Carnegie con Ecuador ha alterado el régimen de esfuerzos tectónicos de este margen convergente, resultando en un juego conjugado bien desarrollado de fallas de rumbo NO – SE y NE – SO. De las fallas de orientación NE – SO, se destacan las fallas del Golfo de Guayaquil, la de Pallatanga, la del valle de Alausí – Guamote, etc. Muchos de los terremotos destructivos (Riobamba, 1977; Alausí, 1961 y por la erupción de los volcanes situados en nuestro país, que han ocurrido a lo largo de estas fallas. Las fallas y lineamientos principales de orientación NO – SE corresponden a los limites de segmentación, identificados por Hall y Wood (1985), de los cuales se destacan el límite de Esmeraldas - Pastaza y más al Norte, el de los ríos Mira – Solado. La intersección de varios juegos conjugados de fallas se ubica en el Valle interandino, región bien conocida por su alto nivel de sismicidad y por muchos terremotos destructores (Ambato, 1949; Pastocalle, 1944 y 1976; Ibarra, 1968).

Los focos de muchos sismos caen cerca de la intersección de los principales juegos conjugados de fallas en el país.

1.1.2.2. Determinación de las Áreas sismo génicas del país.

Existen varios criterios adoptados por distintas organizaciones que varían dependiendo de una estructura dada. Todas estas organizaciones o instituciones requieren evidencias instrumentales, esto hace que, esta aspiración sea inalcanzable por el momento debido al esfuerzo, dinero y tiempo que requeriría. Sin embargo podemos definir áreas fuentes de una manera general, de tal forma que engloben grupos de fallas activas o lugares en que dichas fallas formen.

Para establecer los límites de las áreas fuentes es necesario combinar las evidencias sismológicas con las evidencias geológicas tectónicas. Para determinar la distribución de sismicidad se usó el "Flujo Tectónico" como índice cuantitativo esquematizable, el mismo que se define como la cantidad de energía disipada por unidad de área y por unidad de tiempo.

Tomando en cuenta la tectónica regional, las estructuras geomorfológicas del país y contrastándolas con la distribución del flujo tectónico, podemos identificar cuatro áreas sismo génicas en el país.

Dos Áreas, una al norte 2°S y otra al sur que reflejan los mecanismos productores de sismos en los bornes de choque de las placas alrededor de la fosa, éstas áreas son llamadas Fuente 1 y Fuente2. La tercera área fuente representaría la inestabilidad entre las cordilleras, llamada Fuente 3. Una cuarta área fuente, que llamaremos Fuente 4, Representa los mecanismos sísmicos de las fallas del cinturón transarco.

La identificación de estas 4 áreas fuentes está expresada en el Anexo Nro. 1.

1.1.2.3. Determinación de los parámetros de sismicidad en cada área fuente.

Para evaluar los parámetros de la sismicidad en cada área fuente se ha seguido tanto el camino de las tasas medias como el de la primera distribución de Gumbel. Se ha utilizado programas de procesamiento electrónico que logran definir por pantalla las áreas fuentes de la región y forman los archivos de los sismos que han ocurrido en dichas áreas fuentes.

Los parámetros que definen las áreas se resumen en la siguiente tabla 1:

Tabla 1. Tasas medias como el de la primera distribución de Gumbel.

AREA FUENTE	α (m²)	β (Km)	PROFUNDIDAD (Km)
FUENTE 1	2.840	1,55	40
FUENTE 2	93.954	2,21	40
FUENTE 3	18.388	1,95	80
FUENTE 4	1'249.330	2,57	140

Los parámetros α y β de cada área fuente y su profundidad promedio de los eventos. Otros dos programas se utilizan para obtener los valores de **a** y **b** según la primera distribución de Gumbel y para calcular las tasas medias. Un programa adicional se utiliza para el análisis de la profundidad de los sismos para cada área fuente.

Mc GUIRE, R. El K, "Fortran el programa de computación para el análisis de riesgo sísmico", U. S. G. S., open file report, U. S. A., 1991.

1.1.3 CURVAS DE ATENUACIÓN

No habiendo registros instrumentales de aceleración en el país, el único camino a seguir para obtener curvas propias de nuestra zona sería el obtener curvas de atenuación de intensidades y a partir de estas establecer curvas de atenuación de aceleraciones aplicables al país por medio de ecuaciones que relacionen la intensidad con aceleración.

1.1.3.1. Curvas de atenuación de intensidades.

Se acepta que la razón de dependencia de la intensidad con la magnitud y la distancia hipocentral tienen la forma:

$$I = C_1 + C_2 \cdot M + C_3 \cdot \ln(R + R_0) \quad (1.1)$$

I = Intensidad. (Hz)

R = Distancia hipó central (Km)

C_1, C_2, C_3, R_0 = Parámetros regionales que definen la curva de atenuación de intensidades para la región.

Asumiendo I como variable dependiente y $\ln(R + R_0)$ y M como variables independientes se obtuvieron los parámetros regionales C_1, C_2, C_3 a partir de un proceso de regresión múltiple.

En este proceso se obtuvieron distintos valores de C_1, C_2, C_3 variando el de R_0 . Los resultados están contenidos en la siguiente.

Tabla 2. Utilización de datos de coeficientes “catalogo de intensidades”

R ₀	COEFICIENTES			DESVIACIÓN ESTANDAR			NIVEL DE SIGNIFICACIÓN			CONFIANZABILIDAD	CORRELACIÓN MULTIPLE		GRADO DE ASOCIACIÓN			ERROR STAND	DESV. STAND
	C ₁	C ₂	C ₃	B ₀	B ₁	B ₂	B ₀	B ₁	B ₂	F	R	R ₂	YX ₁	YX ₂	X ₁ X ₂		
0	4.026	0.925	-1.180	0.317	0.045	0.050	13.251	20.550	21.120	388.360	0.647	0.419	0.422	0.437	0.119	1.510	0.144
25	7.042	0.935	-1.666	0.432	0.045	0.072	16.294	20.890	21.690	403.140	0.654	0.428	0.422	0.442	0.128	1.500	0.143
40	8.187	0.938	-1.759	0.471	0.045	0.081	17.390	20.990	21.810	408.190	0.656	0.430	0.422	0.444	0.128	1.500	0.144
80	11.095	0.942	-2.228	0.579	0.045	0.102	19.160	21.110	21.890	408.710	0.657	0.431	0.422	0.443	0.132	1.500	0.144
90	11.802	0.943	-2.339	0.607	0.045	0.107	19.438	21.125	21.910	408.930	0.657	0.431	0.422	0.443	0.133	1.490	0.144
100	12.502	0.944	-2.448	0.636	0.045	0.112	19.670	21.150	21.910	409.040	0.657	0.431	0.422	0.442	0.133	1.490	0.144
200	19.407	0.946	-3.487	0.933	0.045	0.160	20.870	21.150	21.820	406.570	0.656	0.430	0.422	0.440	0.136	1.500	0.145

Los coeficientes fueron obtenidos del “catalogo de intensidades” del Instituto de Geofísica de la Escuela Politécnica Nacional, Pág. 211, 230.

1.1.3.2. Curvas de atenuación de aceleración.

Para transformar las curvas de intensidad a curvas de aceleración se recurre a distintas relaciones propuestas por varios autores para diferentes regiones del Globo.

Todas estas relaciones pueden ser expresadas por la forma general:

$$\text{Log } a = \sigma I + \tau \tag{1.2}$$

Tabla 2.1. Puntos de atenuación

AUTOR	FUENTE DE DATOS	σ (rad/s ²)	τ (rad/s)
Trifunac y Brady	Oeste de los EEUU	0.300	-0.140
Bolt		0.313	0.340
Murphy, O'Brien		0.250	0.250
Lomnitz		-0.500	-0.500
Saragoni	Perú y Chile	-0.222	-0.222

Los puntos de atenuación mediante el "catálogo de intensidades" del Instituto de Geofísica de la Escuela Politécnica Nacional, Pág. 211, 230.

En el Anexo 2, (Fig. 17.a, Fig. 17.b, Fig. 15.c) se expresan las curvas de atenuación calculadas para el Ecuador si se usan las distancias transformaciones según las relaciones, intensidad - aceleración (**I / A**).

En el Anexo 3, grafica las curvas de atenuación para el país para distintas magnitudes, usando la relación **I / A** de Trifunac y Brady que ha sido a usada para obtener la distribución de los niveles de aceleración esperados en el país.

1.1.3. Valores esperados en cada sitio.

Existe un proceso, para obtener niveles de aceleración esperadas de ser excedidas en con diferentes niveles de probabilidades:

- Ubicación geométrica de cada una de las áreas fuentes y subáreas.
- La ubicación del punto de estudio.
- El nivel de probabilidad deseado.
- Y la cota mínima del proceso.

Para valores de $R_0 = 40$ se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 3. Curvas de atenuación, relación (I/A)

CURVA DE ATENUACIÓN USADA				ACELERACIÓN ESPERADA EN ROCA QUITO		
RELACIÓN I / A	PARÁMETROS			Ro	cm/s ²	%g
	b1	b2	b3			
Trifunac y Brady	295.21	0.64790	-1.215	40	188.922	0.193
Bolt	799.03	0.67600	-1.268	40	505.441	0.515
Murphy, O'Brien	198.05	0.54000	-1.013	40	145.210	0.148
Lomnitz	168.39	0.71920	-1.349	40	95.208	0.097
Saragoni	400.45	0.74510	-1.397	40	227.202	0.232

De la apreciación del cálculo de la tabla 3, es razonable descartar a Bolt, pues los valores resultantes son apreciablemente exagerados.

La Técnica usada es esencialmente la misma de Cornell, pero reemplazando las integraciones por sumatorias discretas para dar flexibilidad en la representación de las funciones de atenuación y áreas fuentes.

Resultados similares se han obtenido para Guayaquil y Cuenca. Los valores esperados de aceleración son del mismo orden para aquellos obtenidos por las relaciones I / A de Trifunac y de Saragoni, aquellos obtenidos por Murphy y Lomnitz son demasiado Bajos. Por Lo tanto, parece aconsejable usar para el país curvas de atenuación usando las relaciones de Trifunac o de Saragoni.

1.2. AMENAZA SÍSMICA (PELIGROSIDAD).

La PELIGROSIDAD se define como la probabilidad de ocurrencia, dentro de un período específico de tiempo y dentro de un área dada, de un movimiento sísmico del terreno de una intensidad determinada.

El movimiento sísmico del terreno estará cuantificado por la aceleración máxima horizontal del suelo y el período específico de tiempo se considera el correspondiente a la vida útil de las armaduras de edificios o estructuras de Acero para recubrimiento. La

probabilidad será tratada como probabilidad de excedencia de la aceleración máxima del suelo.

De acuerdo a esto, Riesgo Específico se define como la probabilidad de que una estructura o grupo de estructuras sufra varios grados de daño durante un período de tiempo determinado.

1.2.1. Zonas Fuentes.

En la evaluación de la amenaza sísmica, primeramente se deben determinar áreas fuentes, en las cuales se cuantifica el potencial sísmico en términos de la tasa de ocurrencia y la magnitud del máximo sismo que se espera en la zona sismo genética.

Para determinar las áreas fuentes de una determinada región deben seguirse los siguientes pasos:

- Construir un mapa tectónico del lugar
- Estudiar la información sísmica de la región
- Elaborar un mapa sismotectónico.
- Definir las Áreas Fuentes o zonas sismogenéticas.

1.2.1.1. Mapa Tectónico.

Existen principalmente 3 métodos para la elaboración del mapa Tectónico: la teledetección, métodos geológicos y métodos geofísicos.

La **Teledetección** se basa en la interpretación de las fotos aéreas e imágenes satelitarias fundamentalmente, para visualizar los lineamientos de las fallas geológicas de la superficie de la tierra. Una de las partes tediosas del trabajo se presenta al pasar de escalas (las fotografías e imágenes satelitarias están a una escala determinada y el Mapa Tectónico a elaborarse está en otra escala) y pueden presentar errores si no se toman las

precauciones del caso. Normalmente se realiza la transformación de escalas manualmente. La teledetección no permite determinar las fallas geológicas que no lleguen a la superficie, simplemente nos permite tener un indicio de ellas.

Los **Métodos Geofísicos** tienen gran importancia cuando se presentan fallas que no tienen afloramiento superficial (fallas ocultas).

Los **Métodos Geológicos** determinan en el campo si las zonas de fallamiento son activas o no. Existen diversas definiciones de falla activa, mientras mayor sea el tiempo para definir una falla activa, mayor será la acción sísmica que se aplica a la estructura en el diseño sismoresistente.

Tomando en consideración anteriormente descrito, se elaboran los mapas tectónicos. Normalmente los mapas tectónicos llegan hasta la frontera de cada país, sin la información de los países vecinos dichos mapas están incompletos.

1.2.1.2. Información Sísmica.

Una vez que se dispone del Mapa Tectónico, se debe realizar el estudio de la información Sísmica del lugar. Debido a que el estudio de los eventos sísmicos (magnitud, el epicentro y la intensidad) demanda de tiempo y esfuerzo, los investigadores realizan los estudios de amenaza sísmica en base a información instrumental, la cual es bastante confiable. El problema de la incompletitud de la información sísmica se debe minimizar con la elección de un buen modelo matemático para el tratamiento de los datos disponibles, dando peso a lo que más se conoce y menos a lo que menos se conoce.

1.2.1.3. Mapa sismo - tectónico.

Coordinando el mapa tectónico con la información sísmica se obtienen el Mapa Sismotectónico. Algunos países disponen de este mapa como tal¹. Otros no lo han publicado pero en forma indirecta lo han realizado estudios de regionalización sísmica. En el contenido del mapa se debe dar realce a la información sismotectónica sin descuidar los aspectos geográficos principales.

1.2.1.4. Zonas fuentes.

Una vez obtenido el Mapa Sismotectónico viene la determinación de Zonas fuentes, que son áreas que agrupan a sismos de una misma "Familia" por decirlo en términos elementales. Los Lados de estas áreas deben ser rectas con el objeto de facilitar el cálculo de la amenaza sísmica con programas de computación.

Es posible subdividir una zona fuente en subáreas de acuerdo a la mayor o menor actividad sísmica que estas puedan tener. Algunos programas de evaluación de la peligrosidad sísmica² establecen que deben modelarse áreas fuentes horizontales, pero un mejor modelo constituye modelarlas en forma inclinada aproximando de mejor manera a la zona de fallamiento.

La Técnica del "Average Linkage"³ puede ayudar a definir las zonas fuentes con la ayuda de un programa de computación trabajando únicamente con las coordenadas del hipocentro del catálogo sísmico.

¹ DEFENSA CIVIL, "Mapa Sismotectónico del Ecuador" Defensa Civil – E. S. P. E. Quito, 1992.

² Mc GUIRE, R. K., "Fortran computer program for seismic risk analysis", U. S. G. S., open file report, U. S. A., 1976.

³ PERIAGO M. C., LANA X, SIERRA C., FERNÁNDEZ MILLS G., "Precipitation regionalization: an application using a meteorological network in Catalonia (en Spain)". International Journal of climatology, Vol. 11, 529—543, 1991

1.2.1.5. Potencial Sísmico.

Luego de definir las áreas fuentes se evalúa el Potencial Sísmico de cada una de ellas en función de una tasa de ocurrencia anual y de la máxima magnitud que se espera en la zona.

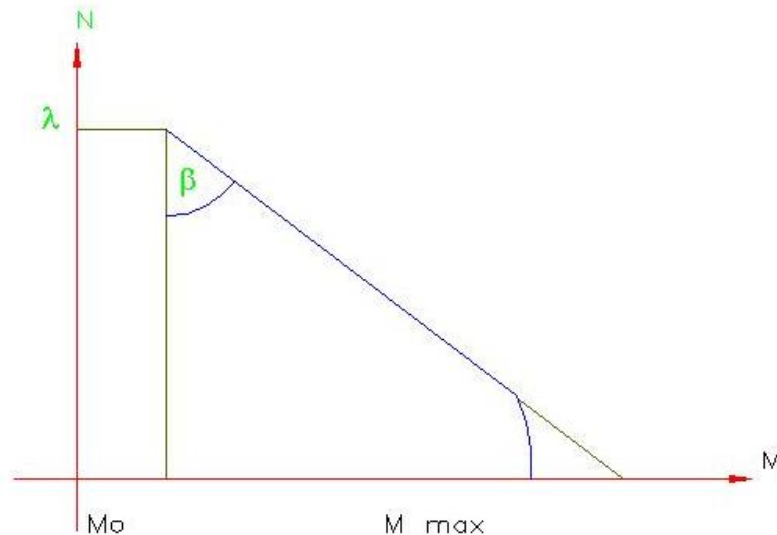


Figura 1.1 Relación entre magnitud M y el número de eventos N

El ajuste de la relación entre la magnitud M y el número de sismos N de magnitud igual o mayor que M, se lo efectúa empleando un Método de Máxima Verosimilitud⁴ ya que de esta forma es posible dar paso a lo que más se conoce⁵.

Mo	Magnitud mínima que se considera en el análisis.
M máx.	Magnitud máxima que se espera en la zona fuente
M	Magnitud (Hz)
β,λ	Parámetros que se obtienen de la aproximación.
Nc (M)	Número acumulado de sismos de magnitud $\geq M$.

⁴ GOULA X. “Riesgo Sísmico” Curso Master 1993. Ingeniería Sísmica y Dinámica Estructural. Universidad Politécnica Cataluña. Barcelona – España, 1993.

⁵ DIETER H. WEICHERT “Estimation of the earthquake recurrence parameters for unequal observation periods for different magnitudes” Bulletin of the Seismological Society of America. Vol. 70 N.- 4 pp 1337 – 1346, August 1980.

En lugar de hablar de Magnitud M , se puede hablar de Intensidad I .

La magnitud máxima a esperarse no debe calcularse prolongando la recta de la figura 1.1. sino que debe estar acotada en base a la máxima magnitud observada o en base a la longitud de ruptura de una determinada falla geológica.

En lugares donde no se dispone de suficiente información para relacionar la longitud de ruptura de la falla con la magnitud, se puede encontrar la máxima magnitud, trabajando con las funciones de valores extremos Gumbel pero teniendo presente que los parámetros que definen este modelo son función del número de puntos que se analizan. La variación en el cálculo de la amenaza sísmica por diferencia en la estimación de la máxima magnitud no es tanta como la que se obtiene al variar la Ley de Atenuación del movimiento del Suelo⁶.

1.2.2. Leyes de Atenuación.

Las Leyes de Atenuación son relaciones empíricas que relacionan magnitud M , distancia epicentral R , con Intensidad sísmica, entendiéndose por Intensidad Sísmica a un desplazamiento, velocidad o aceleración máxima del suelo o la Intensidad propiamente dicha. De acuerdo a la teoría de la Elasticidad, el campo de ondas que se recibe en un sitio determinado $S_R(t)$ por efecto de un sismo, puede expresarse:

$S_o(t)$	Función de la Fuente
$a(t)$	Función de Transmisión
$T(t)$	Función de las condiciones locales del Lugar.

⁶ AGUIAR R., "Evaluación de la amenaza Sísmica del Ecuador en términos probabilísticas y Mapa de Zonificación". Universidad Central de Venezuela Caracas – Venezuela, 1982.

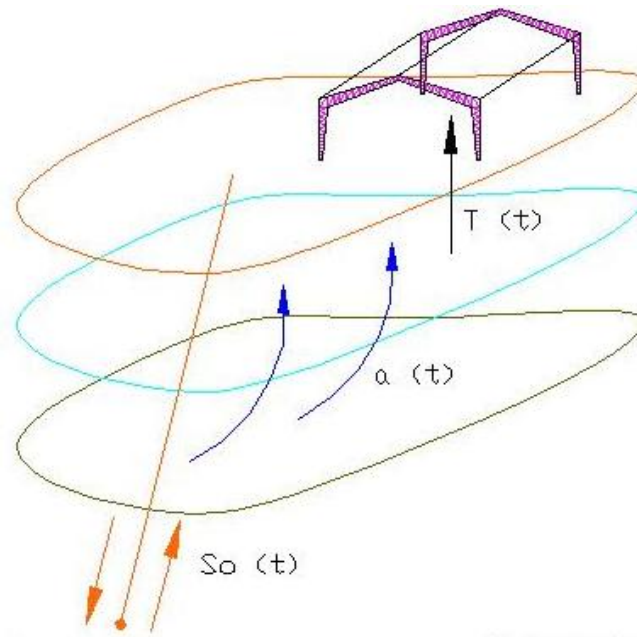


Figura 1.2 Generación y Transmisión de las Ondas Sísmicas (estudiamos únicamente la función de transmisión de las ondas Sísmicas $a(t)$).

1.2.2.1. Dispersión Geométrica.

Cuando se observan dos registros de un evento sísmico obtenidos en diferentes estaciones, por general se aprecia que la amplitud de las ondas en el observatorio más lejano ha decrecido respecto al otro por el efecto de dispersión geométrica de la energía y por la propia anelasticidad de la tierra. La amplitud de las ondas sísmicas⁷ decrece en función de la distancia hipocentral R , de acuerdo a una expresión del tipo R^{-n} . Siendo:

$n = 1$ Para ondas internas

$n = \frac{1}{2}$ Para ondas superficiales.

La validez de los valores de n es para el campo lejano.

⁷ CANAS J., BANDA E., "Sismicidad y Peligrosidad Sísmica" Curso Master 1993. Ingeniería Sísmica y Dinámica Estructural. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona – España, 1993.

Se puede obtener las relaciones de atenuación deducidas del análisis de sísmogramas⁸, en algunos países de alto riesgo sísmico no se cuenta todavía con suficientes registros instrumentales que permiten deducir una ley de atenuación que realmente refleje la geología, tipo de suelo y propagación de las ondas del lugar, por los pocos datos. Por otra parte, se dispone de un gran número de isosistas de terremotos, que dan información de la atenuación de la intensidad y efectos en la estructura, en función de la distancia.

1.2.2.2. Atenuación Anelástica.

Básicamente tiene que ver con el decrecimiento de la amplitud en función de la distancia, de acuerdo con un **coeficiente de anelasticidad** α que depende del tipo del material que atraviesan las ondas y es de la forma $e^{-R\alpha}$.

El coeficiente α está relacionado con el factor de calidad Q de la siguiente manera:

$$\alpha = \frac{\pi f}{v * Q} \quad (1.3)$$

f Frecuencia de las ondas (rad/s)

v Velocidad de propagación de las ondas (m/s)

El factor de anelasticidad de calidad Q es adimensional y tiene valores pequeños, aproximadamente 100 en zonas de gran atenuación que se asocian, por lo general, a zonas sísmicamente activas. Por otra parte, valores grandes de Q , alrededor de 100 corresponden a su vez a zonas de baja atenuación. En Roca sana el valor de Q es muy alto, en cambio en roca fracturada el valor de Q es menor.

Si se supone que los daños importantes son debidos a las ondas de corte, de frecuencia máxima 1 Hz, las mismas se propagan en la corteza terrestre a una velocidad del orden de 3.5 K m/s, se tiene que α , al utilizar la ecuación (1.3), vale:

⁸ CANAS J., BANDA E., EGOZGUE J., BARBAT A., "Peligrosidad sísmica en Cataluña" Escuela Politécnica Superior d' Enginyers de Camins, Canals, Ports. Universitat Politècnica de Catalunya, 1987.

$$\alpha = \frac{3.14 * 1}{3.5 * Q} \rightarrow \frac{1}{Q} Km^{-1}$$

1.2.2.3. Atenuación de energía.

La atenuación de energía $E(R)$ en función de la dispersión geométrica anelástica viene dada por la ecuación:

$$E(R) = CR^{-n} e^{-R\alpha} \quad (1.4)$$

R^{-n} distancia hipocentral, de acuerdo a una expresión del tipo R

C Es una constante.

Se considera que la Intensidad varía linealmente con el algoritmo de la energía, de la forma:

$$I = K \log_{10} E + D \quad (1.5)$$

K, D . Son constantes.

A partir de las ecuaciones (1.4), (1.5) y teniendo presente que R es la distancia epicentral se obtiene:

$$\Delta I = I_E - I_R = K \left[\log \frac{R^n}{h^n} + \alpha \log_{10} e(R - h) \right] \quad (1.6)$$

ΔI Sumatoria de las Intensidad .

I_E . Intensidad epicentral.

I_R . Intensidad a una distancia R .

h . Profundidad Focal.

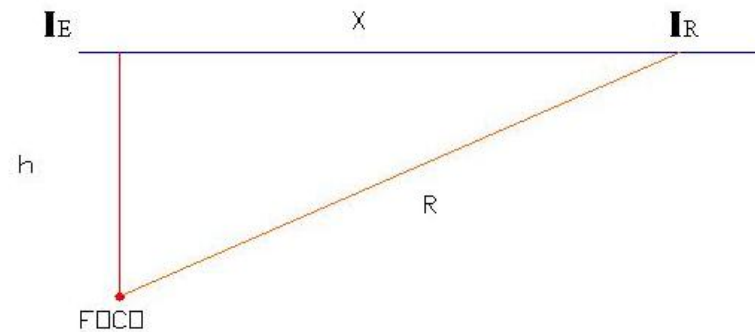


Figura 1.3. Variables que intervienen en la atenuación de **I**.

A partir de datos experimentales se encontró que $K = 3$ (Sponhever, 1960) y al reemplazar el valor de $n = 1$, correspondiente a ondas internas, las mismas que son muy adecuadas para estudiar atenuaciones en la corteza terrestre, en la ecuación (1.6) se tiene:

$$\Delta I = 3 \log \frac{R}{h} + 1.3\alpha(R - h) \quad (1.7)$$

De la figura Nro. 1.3 se observa que:

$$R = \sqrt{X^2 + h^2} \quad (1.8)$$

Al sustituir (1.8) en (1.7) se obtiene:

$$\Delta I = 3 \log \frac{\sqrt{X^2 + h^2}}{h} + 1.3\alpha(\sqrt{X^2 + h^2} - h) + \varepsilon \quad (1.9)$$

En resumen, para encontrar una ley de atenuación de intensidades de los mapas de isosistas se obtendrá ΔI en función de la distancia epicentral **X**, mientras mayores pares de puntos se tengan, será mejor. Luego al utilizar un programa del algoritmo de Marquarat se encuentra la relación de atenuación de intensidades. Este procedimiento es más óptimo que el encontrar círculos equivalentes de cada isosista y en base a estos radios equivalentes inferir la ley de atenuación, ya que cada radio contiene los mayores valores de intensidad que se dan dentro de él; es decir, se trabaja con los valores máximos.

1.2.2.4. Relación entre Parámetros Sísmicos.

Al descartarse la relación directa entre intensidad y aceleración horizontal máxima (Ambraseys, 1973), se han incorporado otros factores en la relación como son: la magnitud local M_L y la distancia epicentral R , tenemos:

$$\log a_{\max} = a_1 IMM + a_2 ML + a_3 \log R + a_4 \quad (1.10)$$

a_i . Intensidad epicentral.

I_{MM} . Intensidad a una distancia R .

Un estudio realizado con 6420 registros (USA, Japón y Europa) reportó, por regiones lo siguiente:

$$\log a_{\max} = (0.14)IMM + (0.24)M + (0.68) \log R + \beta + \varepsilon \quad (1.11)$$

Siendo:

$\beta = 0.60$ Para USA.

$\beta = 0.69$ Para Japón.

$\beta = 0.88$ Para Europa.

Otros investigadores recomiendan no pasar directamente de Intensidad a aceleración máxima del suelo, hay que primero encontrar una relación entre Intensidad y Magnitud. Luego una relación entre Magnitud y aceleración Horizontal máxima.

La Ley de atenuación a utilizar constituye la mayor fuente de incertidumbre en la evaluación de la amenaza sísmica y lamentablemente los modelos matemáticos utilizados son muy sensibles a esta Ley.

1.2.3. Evaluación.

Para la evaluación de la amenaza sísmica se parte de datos que tienen cierta incertidumbre, como son la determinación de las áreas fuentes, el catálogo sísmico, la magnitud máxima esperada, la Ley de atenuación, etc.

Entonces mediante un algoritmo adecuado se combina toda esa información y se obtiene parámetros de movimiento de suelo menos inciertos. Se destaca que se han desarrollado una serie de programas para evaluar riesgo para zonas de subducción en la forma indicada o con modelos más complicados, como es trabajar en las cadenas de Markov que corresponde a un modelo con memoria a diferencia de los anteriores en que se trabaja con modelos sin memoria.

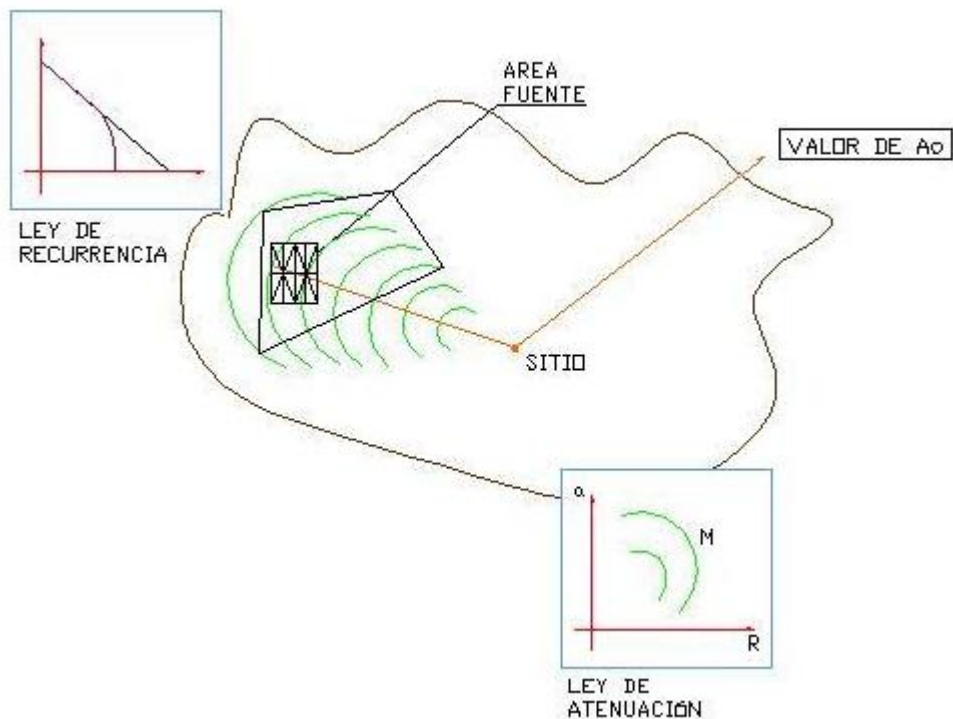


Figura 1.4. Evaluación de la amenaza sísmica.

1.2.3.1. Valor de Aceleración.

El A.T.C. 3-06 DE 1978⁹ establece que para edificaciones que tendrán una vida útil de 50 años se calcule la aceleración máxima de suelo A_0 , en roca, con una probabilidad de excedencia puede disminuirse un poco mediante la incorporación de un parámetro de importancia de la estructura, el mismo que puede estar incorporado en las Norma de Diseño Sismo Resistente. El Código de Venezuela¹⁰ tiene incorporado mediante la variable α : el cual varía de 1 a 1.25, el valor de 1 esta asociado a la probabilidad de excedencia del 10%, en cambio el valor de 1.25 está relacionado con probabilidades de excedencia del orden del 5%.

Normalmente, lo que se obtiene del estudio de la amenaza sísmica es el valor de la aceleración máxima del suelo en roca A_0 . En un espectro de diseño elástico el valor de A_0 corresponde a la ordenada del espectro para un periodo $T = 0$.

El Trabajo desarrollado para encontrar A_0 es enorme y requiere del concurso de sismólogos, geofísicos matemáticos, geógrafos, geólogos y de ingenieros, principalmente. Normalmente, los resultados es el reflejo de la información sísmica que se disponga de ahí la necesidad de trabajar bastante en esta Área.

Para la Ciudad de **Loja** $A_0 = 0.15 \text{ g}$, dato obtenido por el Ingeniero Roberto Aguiar (1982) siguiendo la metodología del Colegio Técnico Americano A.T.C.

1.2.3.2. Forma del Espectro.

El valor de A_0 se ha obtenido a escala regional en un estudio de "macrozonificación sísmica". Ahora, para determinar la forma del espectro se deben realizar estudios de "microzonificación sísmica"¹¹ en los que se considera las características locales del

⁹ A.T.C. 3-06 "American Technological Council", 1978.

¹⁰ CÓDIGO VENEZOLANO "Normas para edificaciones antisísmicas" Fundación Venezolana de Ingeniería Sísmica FUNVISIS, Caracas – Venezuela, 1982.

¹¹ FIGURAS S. "Microzonificación Sísmica". Curso Master 1993 Ingeniería Sísmica y Dinámica Estructural, Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona – España, 1993.

suelo como son: el espesor de los estratos, geometría, las propiedades mecánicas y dinámicas de las formaciones superficiales y la topografía del lugar.

Dentro de los métodos de cálculo (microzonificación) de evaluación de la respuesta por la propagación de las ondas, tenemos dos clases que son:

- 1) Métodos Lineales.

- 2) Métodos no Lineales.

Entre métodos lineales se puede trabajar con modelos de propagación de ondas unidireccionales y bidireccionales. Por otra parte, entre los métodos no lineales, se tiene el método lineal equivalente y el método de las rectas características.

En los lugares donde no se tiene suficiente documentación instrumental se debería realizar una simulación numérica para luego hacer el estudio de propagación de ondas y determinar los factores de amplificación dinámica para diferentes tipos de suelo. Estos estudios demandan considerable tiempo de cálculo en computadoras de gran velocidad. Antes solo se aplicaba en edificaciones importantes, ahora se está generalizando más su uso. Por otro lado, se están mejorando los modelos de análisis con la incorporación de agua, pro ejemplo, dándose lo que se denomina "Formulación U.P." donde se trabaja con presiones efectivas.

CAPITULO II

2. ELEMENTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL AISLAMIENTO

2.1. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO

Para la conformación de los materiales que se van a utilizar se examinan los problemas de tracción, compresión, deslizamiento, torsión, flexión, y características geométricas, determinando en este capitulo el material a utilizarse y la resistencia del material, como a las deformaciones plásticas, es por esto que se realiza un análisis de los materiales a utilizarse.

2.2. DETERMINACIÓN DE MATERIALES

Para determinar los materiales vamos a definir la calidad, con este propósito tenemos que tomar en cuenta su resistencia mecánica y determinar los datos que nos permitan tener un material de alto rendimiento, y bajo costo.

Al mismo tiempo en muchos casos, resulta necesario introducir un conocimiento sobre cada material.

2.2.1. NEOPRENO



Fig. 2.1. Planchas de Neopreno

Las placas de hule para apoyos de puentes tienen tres ventajas importantes, son económicos, efectivos y no requieren de mantenimiento mayor.

Debido a la sencillez del proyecto, la facilidad de fabricación y bajo costo de los materiales es conveniente la implementación del neopreno. Los apoyos de neopreno no tienen partes móviles, constan simplemente de una placa de neopreno con 2.5 cm aproximadamente de espesor, colocada entre la trabe y la corona de la pila o estribo.

Una ventaja muy importante del apoyo de neopreno es su efectividad como medio, para la transferencia de la carga. Cuando soporta cargas de compresión la placa de hule, absorbe las irregularidades de la superficie y de esa manera las imperfecciones salientes como las hundidas que tiene la superficie de concreto todas soportan la carga.

No hay manera de que el apoyo sea inutilizado por la corrosión y que se transmita así un empuje excesivo a la pila o estribo sobre los que apoya la trabe.

Una de las ventajas más importantes de un apoyo de neopreno es que necesita menos conservación que cualquier otro elemento.

2.2.2.1. CARACTERÍSTICAS DEL NEOPRENO

El neopreno actualmente se usa para apoyos de puentes por dos razones importantes: tiene las propiedades físicas que se requieren y es altamente resistente al deterioro debido al intemperismo. A continuación se enumeran las características representativas del Neopreno:

1.- Resistencia. La resistencia del neopreno a la compresión es mas que suficiente para soportar cargas de puentes. Cuando el proyecto se ha hecho adecuadamente, el apoyo de neopreno puede soportar cargas a la compresión de hasta 2990 Kg/cm². Además la mayor parte de la deformación plástica tiene lugar en los primeros diez días de carga.

2.- Durabilidad. En su resistencia al deterioro en neopreno es marcadamente superior al hule natural y a cualquier otro hule sintético y que pudiera satisfacer los requisitos físicos de las placas de apoyo para puente. La vida útil de un neopreno es de aproximadamente 40 años. Sin darle ningún tipo de mantenimiento hasta 35 años.

Cuando un apoyo de neopreno se somete a la acción de una carga se deforma verticalmente. La deformación vertical no debe exceder del 15% del espesor antes de ser comprimido el apoyo. Cuando la deformación en compresión es mayor que 15% se producen esfuerzos internos dentro del neopreno que aceleran la rapidez de la deformación plástica y aceleran la rapidez del agrietamiento debido a intemperismo.

2.2.2.2. PROPIEDADES DEL NEOPRENO (Estándares Internacionales)

Las propiedades del Neopreno están designadas de acuerdo a estándares internacionales ASTM, D, 1056,84, SCE42B2C, y ASTM, D, 1056,84, RE43B2C, los cuales se presentan en el Anexo 4, representado a continuación en la tabla 2.1., la densidad y conductibilidad termal.

Tabla 2.1. Propiedades Térmicas del AISI 310

	Temp (K)	Densidad ρ (Kg/m ³)	Conductibilidad Termal K (W/m.K)	Calor Especifico Cp (J/(Kg.k))
Blando	300	1100	0.13	2010
Duro	300	1190	0.16	-

FUNDAMENTALS OF HEAT AND MASS TRANSFER TOMO II, appendix a. (thermophysical propieties of material) other material (continued) rubber, vulcanizad Segunda Edición, autor: Chapter, Editorial: MIR MOSCU, Tabla a.1 pp. 828-829, pp. 838.

2.2.2.3. CARGAS DEL NEOPRENO (Modulo de Elasticidad)

La carga del módulo de elasticidad del neopreno, es aproximadamente 10 veces al polímero normal, por la resistencia a la tracción, es 20 veces mayor en comparación con el polímero puro. Los polímeros en forma pura soportan mal los impactos: su resistencia constituye tan solo 7% de la correspondiente al acero. La introducción de la carga

elimina este defecto. Los índices específicos de la resistencia mecánica del plástico de fibras vítreas, referidos a la unidad de densidad, resultan superiores a los del acero y de la aleación de aluminio.

El efecto reforzante de la carga se explica por la interacción de las moléculas del polímero con la superficie de las fibras o granos de la carga. Al unirse, las moléculas del polímero con la superficie de las partículas de la cargas, se tiene lugar, a la orientación de las primeras, aumentando el orden en su disposición. Las capas finas de moléculas orientadas, que se ubican entre las partículas de la carga, elevan la resistencia mecánica del material.

2.2.2. ACERO INOXIDABLE AISE 310S



Fig.2.2. Tipos de aceros inox.

La mayor utilización la tiene el acero inoxidable al cromo níquel; los aceros de esta clase, que contienen 12 – 20 % de cromo, 8 – 11 % de níquel y \leq a 0,12 % de carbono, presentan las propiedades siguientes:

- a) Resistencia a la corrosión
- b) Buena soldabilidad.
- c) Alta plasticidad, lo facilita su utilización en la producción de piezas de configuración compleja, ya que permite el laminado en frío y en caliente para la producción de tubos, láminas, ejes.
- d) Fácil sometido al remachado, la deformación de estos aceros en frío mejora sus propiedades mecánicas.

2.2.2.1 COMPOSICIÓN DEL ACERO INOXIDABLE AISE 310S

El Cromo es uno de los elementos especiales más empleados para la fabricación de aceros aleados, usándose indistintamente en los aceros de construcción, en los de herramientas, en los inoxidables y los de resistencia en caliente. Se emplea en cantidades diversas desde 0.30 a 30%, según los casos y sirve para aumentar la dureza y la resistencia a la tracción de los aceros, mejora la templabilidad, impide las deformaciones en el temple, aumenta la resistencia al desgaste, la inoxidables, etc.

Los aceros con cromo de mayor utilidad son:

- a) Aceros de construcción, de gran resistencia mecánica de 0.50 a 1.50% de cromo y 0.30 a 0.45% de carbono, aleados según los casos, con níquel y molibdeno para piezas de gran espesor, con resistencias variables de 70 a 150 Kgf/mm².
- b) Aceros de cementación con 0.50 a 1.50% de cromo y 0.10 a 0.25% de carbono, aleados con níquel y molibdeno.
- c) Aceros de nitruración cromo-aluminio-molibdeno.
- d) Aceros para muelles cromo-vanadio y cromo-silicio.
- e) Aceros de herramientas con 0.30 a 1.50% de cromo y 0.070 a 1.50% de carbono. En ellos el cromo mejora la penetración de temple, la resistencia al desgaste, permite el temple en aceite y evita deformaciones y grietas.
- f) Aceros indeformables con 5 a 12% de cromo.
- g) Aceros rápidos y de trabajos en caliente.

h) Aceros inoxidables martensíticos con 12 y 17% de cromo, aceros austeníticos con 14 a 25% de cromo en cantidades de níquel variables de 8 a 25% y aceros inoxidables con 27% de cromo. El cromo se disuelve en la ferrita y muestra una fuerte tendencia a formar carburos de cromo y carburos complejos.

Una de las ventajas más grandes que reporta el empleo del níquel, es evitar el crecimiento del grano en los tratamientos térmicos, lo que sirve para producir en ellos gran tenacidad. El níquel además hace descender los puntos críticos y por ello los tratamientos pueden hacerse a temperaturas ligeramente más bajas que la que corresponde a los aceros ordinarios. Experimentalmente se observa que con los aceros aleados con níquel se obtiene para una misma dureza, un límite de elasticidad ligeramente más elevado y mayores alargamientos y resistencias que con los aceros al carbono o de baja aleación. En la actualidad se ha restringido mucho su empleo, pero sigue siendo un elemento de aleación indiscutible para los aceros de construcción empleados en la fabricación de piezas para maquinas y motores de gran responsabilidad, se destacan sobre todo en los aceros cromo-níquel y cromo-níquel-molibdeno. El níquel es un elemento de extraordinaria importancia en la fabricación de aceros inoxidables y resistentes a altas temperaturas, en los que además de cromo se emplean porcentajes de níquel variables de 8 a 20%.

2.2.2.2. Nomenclatura de los Aceros Sistema S.A.E - A.I.S.I

Como la microestructura del acero determina la mayoría de sus propiedades y aquella está determinada por el tratamiento y la composición química; uno de los sistemas más generalizados en la nomenclatura de los aceros es el que está basado en su composición química. En el sistema S.A.E. - A.I.S.I, los aceros se clasifican con cuatro dígitos XXXX. Los primeros dos números se refieren a los dos elementos de aleación más importantes y los dos o tres últimos dígitos dan la cantidad de carbono presente en la aleación. Un acero 1040 AISI es un acero con 0.4% C; un acero 4340 AISI, es un acero aleado que contiene 0.4%C, el 43 indica la presencia de otros elementos aleantes.

2.2.2.3. ANÁLISIS Y APLICACIONES DE LOS ACEROS

La categoría, como su análisis químico como su aplicación podemos resumirlas en los diferentes tablas que se encuentran en Anexo 5

2.2.2.4. Aceros Inoxidables Ferríticos

También se consideran simplemente al Cromo, su contenido varia de 12 a 18%, pero el contenido de Carbono es bajo $< 0.2\%$.

Los tipos más comunes son el AISI 310, 327, 347, 430, y 434

Las propiedades básicas son: Buena resistencia a la corrosión. La dureza no es muy alta y no pueden incrementarla por tratamiento térmico.

Principales aplicaciones: Equipo y utensilios domésticos y en aplicaciones arquitectónicas y plasticidad. Serie 300.

2.2.3. PROPIEDADES DEL ACERO AISI 310S

El software que se utilizo para extraer las propiedades fue la llave de los materiales, las figuras.

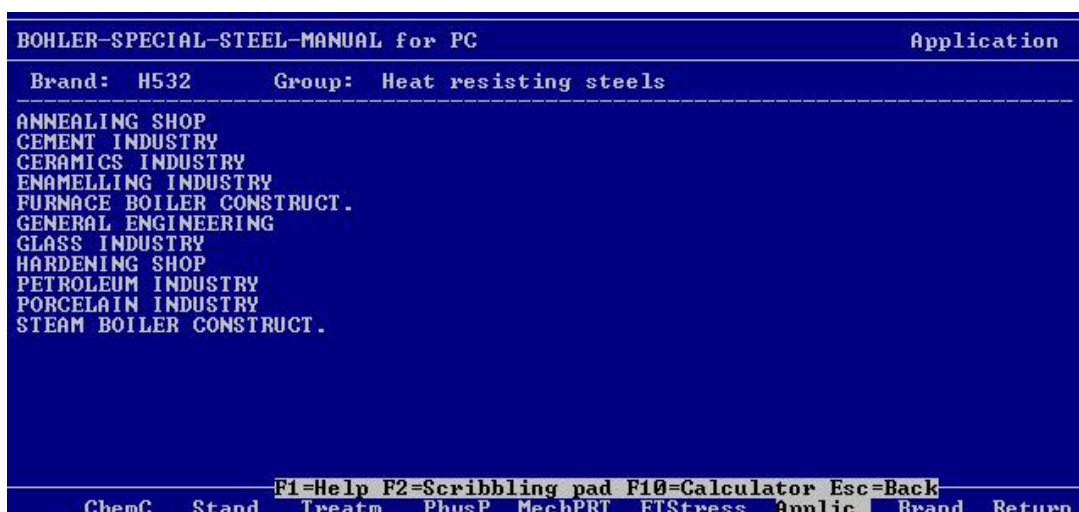


Fig 3. Manual Bohler, Special, Steel, por PC.

2.2.3.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACERO AISI 310S

Los aceros al níquel más utilizados son los siguientes:

a) Aceros al níquel con 2, 3 y 5%. Con 0.10 a 0.25% de carbono se utilizan para cementación, y con 0.25 a 0.40% de carbono para piezas de gran resistencia.

b) Aceros cromo-níquel-molibdeno con porcentajes de níquel variables desde 1 a 5%; con bajos porcentajes de carbono (0.10 a 0.22%) se emplean para cementación y con porcentajes de 0.25 a 0.40% de carbono se emplean para piezas de gran resistencia.

En estos aceros los porcentajes de estos elementos aleados suelen estar en relación aproximada de 1% de cromo y 3% de níquel.

c) Aceros de media aleación níquel-molibdeno y níquel-manganeso. Se suelen emplear para piezas de gran resistencia y para piezas cementadas con porcentajes de carbono variables de 0.25 a 0.40% en el primer caso y de 0.10 a 0.25% en el segundo, variando el contenido en níquel de 1 a 2%, el de manganeso de 1 a 1.5% y el molibdeno de 0.15 a 0.40%.

d) Aceros inoxidables y resistentes al calor cromo-níqueles, con 8 a 25% de níquel que son de estructura austenítica.

e) Otros aceros de menor importancia son los aceros cromo-níqueles para estampación en caliente y para herramientas.

Tabla 2.2. Elementos con su porcentaje del Acero.

ELEMENTOS				
C	Ni	Si	Cr	Mn
0,6	19,8	1,3	25,3	1,2

ACEROS, AISI, Manual, 2003. Aceros Levinson - Aceros - Inoxidables.htm pp. 240 – 250.

2.2.3.2. EQUIVALENTES EN OTRAS NORMAS PARA EL ACERO AISI 310S

La marca: H532		El grupo
DIN	*	1.4841 (appr.) * X15CrNiSi25-20 (appr.)
BS	*	310S24 (appr.)
AFNOR / AIR	*	Z12CNS25.20 (appr.)
UNI	*	X6CrNi25 20
SIS	*	2362
ASTM / SAE / AISI	*	310 (appr.) * 310 SPECIAL
UNS	*	S31000 (appr.)
JIS	*	SUH310 * SUH310S
ISO	*	X6CrNi25-21 * H5 (old)

2.2.3.3. PROPIEDADES FÍSICAS DEL ACERO AISI 310S

La marca: H532	Calor que resiste el acero	COEFICIENTE
Las propiedades físicas		
Densidad (Kg/dm ³) a 20°C		7.9
Modulo de Elasticidad (KN/mm ²) a 20/200/400/600/800°C		198/184/167/150/135
Conductividad Termal [W/(m*K)] a 20 °C /500 °C		14/19
Capacidad de Calor Especifico [J/(Kg*K)] a 20 °C		500
Resistencia Eléctrica Especifica (Ohm*mm ² /m) a 20 °C		0.90

El Expansión Termal [el m/(m*K)] * 10e-6 entre 20 oC se representa el Cuadro 2.3.

100 °C	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C	600 °C	700 °C	800 °C	900 °C	1000 °C
	15.5		17.0		17.5		18.0		19.0

2.2.3.4. PROPIEDADES MECÁNICAS A LA TEMPERATURA AMBIENTE

DEL ACERO AISI 310S

La marca: H532

Tabla 2.4. Propiedades mecánicas a la temperatura ambiente.

Condición	Dimension		Dureza	Rp 0.2 [N/mm ²] min	Rm [N/mm ²]	A5 [%] min			KV(ISO-V) [J] min		
	sheet [mm]	Bar [mm]	[HB]			lg	tr	Tg	lg	tr	tg
Templado	22.5	120	167.25	230	550-800	30	22	-	-	-	-

Los valores fueron tomados del Manual Bohler, Special, Steel, por PC.

Valores de dureza al medio por medio del programa la llave de los aceros representada por los diagramas.

BOHLER-SPECIAL-STEEL-MANUAL for PC											Tensile properties at elev.temperat.			
Brand: H532											Group: Heat resisting steels			
hour	1% creep limit [N/mm ²] (Average value)					Creep rupture strength [N/mm ²] (Average value)								
	500°C	600°C	700°C	800°C	900°C	500°C	600°C	700°C	800°C	900°C				
1000		150	53	23	10	230	80	35	15					
10000		105	37	12	5,7	160	40	18	8,5					
100000						80	18	7	3					

Fig. 3.1, Manual Bohler, Special, Steel, por PC.

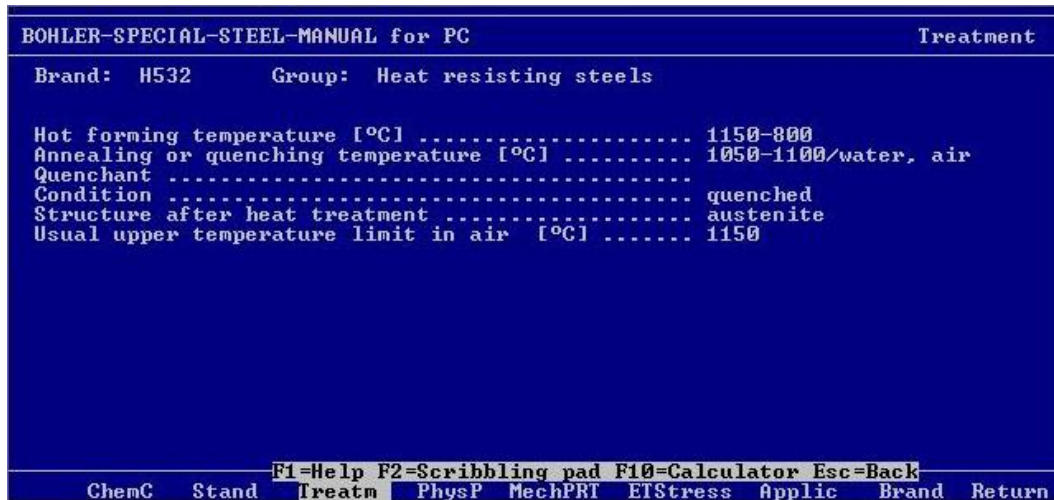


Fig. 3.2, Manual Bohler, Special, Steel, por PC

Tabla 2.5. Densidad y conductividad termal del acero AISI 310S

Temp (K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Densidad ρ (Kg/m ³)	Conductividad Termal K (W/m.K)	Calor Sepecifico Cp (J/(Kg.k))
300	3.95	7900	14.9	477

2.2.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL ACERO

El siguiente cuadro representa en breve forma la ventaja y desventaja del acero.

Tabla 2.6. Ventajas y Desventajas del Acero

Ventajas	Desventajas
Alta resistencia	Lograr continuidad
Alta rigidez	Juntas
Alta ductilidad	Corrosión
Relación: Forma Resistencia	Poca resistencia al fuego
Muy bajo Coeficiente de variabilidad de su resistencia	Alto costo inicial
	Mano de obra especializada
	Mantenimiento continuo

CAPITULO III

3. CÁLCULOS, MODELACIÓN MATEMÁTICA DEL AISLADOR

3.1. CÁLCULO DE LA ENERGÍA POTENCIAL DEL DESLIZAMIENTO DE LOS MATERIALES (NEOPRENO Y AISI 310S)

Las tablas que se mostraran más adelante determinan las deformaciones en el material que se va a estudiar, tomando en cuenta ciertas sollicitaciones entre ellas su modulo de elasticidad, los coeficientes de deformación o mas conocida como coeficiente de Poisson.

Para el cálculo del modulo de elasticidad se aplica la siguiente formula:

$$E = 2G(1 + \mu) \quad (3.1.)$$

De la ecuación (3.1.), mediante el despeje del Modulo de deslizamiento obtenemos:

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} \quad (3.2.)$$

μ = Coeficiente de Deformación o Coeficiente de Poisson, representada en el Tabla 3.1, y el Modulo de Elasticidad, en la Tabla 3.2.

Tabla 3.1. Coeficientes de Deformación de los materiales utilizados en el Aislamiento.

MATERIAL	μ (constante)
ACERO	0.28
NEOPRENO	0.47

RESISTENCIA DE MATERIALES, Cuarta Edición, autor: P. A. STIOPIN, Editorial: MIR MOSCU, pp. 14-85

E = Modulo de Elasticidad.



Tabla 3.2. Valores de los módulos de elasticidad utilizados en la construcción del Aislamiento.

MATERIAL	$T(C^{\circ})$	$E(kgF/cm^2)$	$E(N/m^2)$
ACERO	20	198	1.98e+011
NEOPRENO	20	2990	2.99e+008

RESISTENCIA DE MATERIALES, Cuarta Edición, autor: P. A. STIOPIN, Editorial: MIR MOSCU, pp.. 87-91

Calculamos los módulos de elasticidad de los materiales que vamos a utilizar, con la ecuación (3.2.) de elasticidad en segundo orden.

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}$$

Para el Acero es:

$$G = \frac{2.99e + 008}{2(1 + 0.47)}$$

$$G = 101700680.3N / m^2$$

Para el Neopreno es:

$$G = \frac{1.98e + 011}{2(1 + 0.28)}$$

$$G = 7.674418605e + 10N / m^2$$

3.2. CÁLCULO DE FIJACIÓN DE LOS ANCLAJES DEL AISLADOR

El aislador se fija por medio del apriete de dos tuercas trapezoidales, donde por la fuerza de fricción es creada por el apriete de los pernos que se van a calcular.

Para el cálculo del ajuste de las tuercas de fijación y aseguramiento del perno de anclaje, la capacidad de trabajo es (Fig. 3.1).

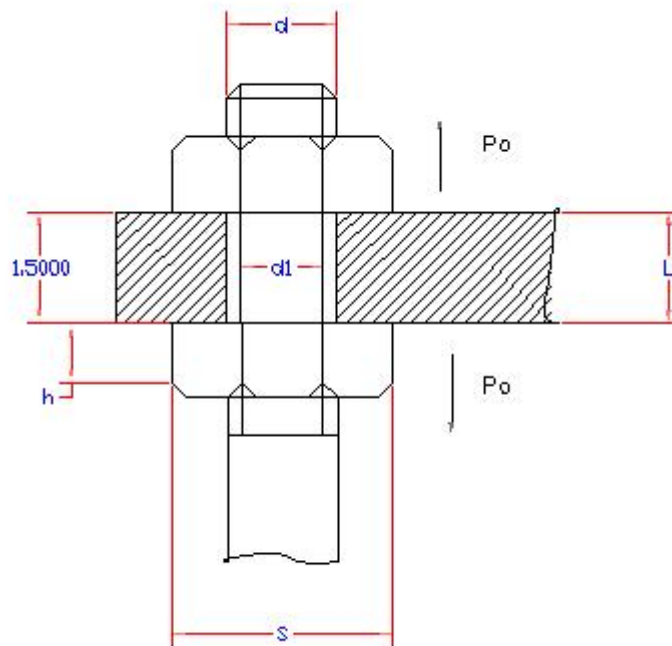


Fig. 3.1. Diagrama del anclaje con sujeción de dos tuercas.

Para mejor fijación con el cemento. En caso de grandes cargas dinámicas, se usan pernos de anclajes.

La altura de las tuercas normales es igual a $0.8 d$.

El cálculo pertinente tomamos en cuenta los siguientes datos de acuerdo al diseño y la fuerza P_m que se distribuye en los 8 pernos de anclaje en este caso los que describiremos con z , con un diámetro de $1,5 \text{ cm}$

$$P_m = 74000 \text{ N} = 7545.78 \text{ Kgf}$$

$$d = 1,5 \text{ cm}$$

$$d_1 = 140 \text{ mm}$$

$$z = 8$$

El modulo de Elasticidad para anclajes se define como $E =$ modulo de Elasticidad con un valor de $2.1 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$

La presión activa al tornillo de fijación es $p = 0 - 5 \text{ Kg/cm}^2$

La altura del perfil de la tuerca se define como h

$d =$ diámetro exterior donde van los vértices (crestas) de la rosca exterior (del tornillo)

$P =$ fuerza requerida para el apriete

$z =$ número de tornillos de fijación

$d_1 =$ Diámetros interior

Se considera un margen de seguridad de un 50 % por un porcentaje de 1.5 de coeficiente de tensión.

Con acero C45 con flexión 250 N/mm² para una carga variable alternativa entre 0 y un valor máximo. (Pág. 188, Nicolás Larburú).

La magnitud residual de la tensión se asume un coeficiente de tensión 1.5

$$F = 1.5 * Pm \quad (3.3.)$$

F = magnitud residual de la tensión (Kg)

Pm = fuerza que se va distribuir en cada tornillo

$$F = 1.5 * (7545.78)Kg$$

$$F = 11318.67Kg$$

La carga que soporta el tornillo

$$Po = \frac{Pm}{z} \quad (3.4.)$$

Po = carga en el tornillo (Kg)

$$Po = \frac{Pm}{z} = \frac{7545.78Kg}{8} = 943.223Kg$$

Para calcular el diámetro de la rosca se acepta el coeficiente de 1.3 y calculado la carga que se le aplica a cada tornillo es:

$$dr = \sqrt{\frac{1.3 * Po * 4}{\pi[\sigma]t}} \quad (3.5.)$$

dr = diámetro de la rosca (cm)

El coeficiente 1.3 tiene en cuenta el esfuerzo de torsión durante el apriete de los pernos.

$$[\sigma]_t = \frac{F}{A} \leq [\sigma] \quad (3.6.)$$

$[\sigma]_t$ = Tensión Permisible

Para el cálculo de la tensión permisible es necesario calcular el área.

$$A = \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{\pi(140)^2}{4} = 1.549cm^2$$

A = Área (cm²)

$$[\sigma]_t = [\sigma]_{min} = \frac{11318.67}{1.5393cm^2} = 7353.128 \text{ kg/cm}^2$$

Luego de haber calculado la tensión permisible, podemos calcular con la carga que se le aplica al tornillo, el diámetro de la rosca (dr).

$$dr \geq \sqrt{\frac{1.3 * P_o * 4}{\pi[\sigma]_t}} = \sqrt{\frac{1.3 * (943.223) * 4}{\pi(7353.128)}} = 0.46cm$$

La Flexión del C45 es de 250 N/mm² que equivale a 2549.25 Kgf/cm²

$$[\tau]_t = 0.25[\tau_{st}] \quad (3.7.)$$

τ = Tensión tangencial

$$[\tau]_t = 0.25(2545.25Kgf/cm^2)$$

$$[\tau]_t = 637.3125Kgf/cm^2$$

Con la formula de la Tensión Tangencial ya calculada procedemos con la fuerza axial Máxima $dr \geq 0.46 \text{ cm}$

$$P_o = \frac{\pi(dr)^2[\tau_t]}{4(1.3)} \quad (3.8.)$$

$$P_o = \frac{\pi(0.46)^2[637.3125]}{4(1.3)} = 81.473Kgf$$

Para calcular la rigidez del tornillo la tuerca es de $h = 2.54 \text{ cm} = 1 \text{ pulg}$

$$Cb = \frac{Eb * A}{L} \quad (3.9.)$$

Cb = Módulo de elasticidad o rigidez.

$$Cb = \frac{(2.1 \times 10^6 \text{ Kg} / \text{cm}^2) * (1.54 \text{ cm}^2)}{\left(\frac{2.54}{2} + 1.5 + \frac{2.54}{2}\right)} = 593658.6463 \text{ Kg} / \text{cm}$$

Amplitud del ciclo de tensión

$[\sigma]_a \text{ lim}$, es el limite para la sumatoria de cada una de las tensiones normales en dos planos ortogonales, entre si, actúan tensiones tangenciales de igual valor y de signo contrario (Ley de reciprocidad de las tensiones Tangenciales).

$[\sigma_{-1}]$, este estado tensional se denomina **tracción** (compresión) **uniforme biaxial**, en los planos principales.

k_o , coeficiente efectivo de concentración de tensiones.

$$[\sigma]_a \text{ lim} = \frac{[\sigma_{-1}]}{k_o} \quad (3.10.)$$

$$[\sigma]_a \text{ lim} = \frac{50}{5} = 10 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

Factor de seguridad

$$n = \frac{[\sigma]_a \text{ lim}}{[\sigma]_a} = \frac{10}{0.634} = 15.77 \text{ kg} / \text{cm}^2 \text{ que es permisible aumentando la así tensión que}$$

soporta cada perno para su ajuste.

3.3. MODELACIÓN MATEMÁTICA DEL AISLAMIENTO

3.3.1. PROCESOS DE AMORTIGUACIÓN

El método de transformación de Laplace permite reducir el problema de integración de las ecuaciones diferenciales lineales a las operaciones algebraicas.

La ventaja de este método ante el procedimiento clásico consiste, por un lado, en que se tiene automáticamente en cuenta las condiciones iniciales y, por otro lado, en que se simplifica considerablemente el proceso de resolución de las ecuaciones en cuyo segundo miembro están las funciones que tienen distintas expresiones analíticas en diferentes segmentos de variación del argumento o las funciones no elementales.

Además, el método en cuestión permite hallar, independientemente uno del otro, el movimiento estacionario y el proceso amortiguación.

En el sistema oscilatorio con un solo grado de libertad cuya ecuación reducida del movimiento tiene la forma:

$$\ddot{x} + 2n\dot{x} + k^2x = h(t) \quad (3.11.)$$

Las condiciones iniciales se escriben en la forma general

$$x(0) = x_0, \quad \dot{x}(0) = \dot{x}_0 \quad (3.12)$$

Introduciendo las designaciones

$$X(p) \Rightarrow x(t) \text{ y } H(p) \Rightarrow h(t) \quad (3.13)$$

haciendo uso del teorema sobre la transformada de Laplace, obtenemos

$$\begin{aligned} \ddot{x} &= p^2 X(p) - px_0 - \dot{x}_0 \\ 2n\dot{x} &= 2n[pX(p) - x_0] \\ k^2x &= k^2 X(p) \end{aligned}$$

Entonces, de acuerdo con (3.11.), la ecuación de la transformada será

$$(p^2 + 2np + k^2)X(p) - (p + 2n)x_0 - \dot{x}_0 = H(p) \quad (3.14)$$

Se encuentra la transformada de la función buscada

$$X(p) = \frac{1}{(p^2 + 2np + k^2)} [H(p) + (p + 2n)x_0 - \dot{x}_0] \quad (3.15)$$

Se puede escribir brevemente

$$X(p) = G(p).F(p)$$

de donde :

$$G(p) = \frac{1}{(p^2 + 2np + k^2)}, F(p) = [H(p) + (p + 2n)x_0 - \dot{x}_0]$$

3.3.2. REPRESENTACIÓN DEL DISEÑO Y MODELO

Para nuestro sistema se aplica al diseño con el siguiente esquema:

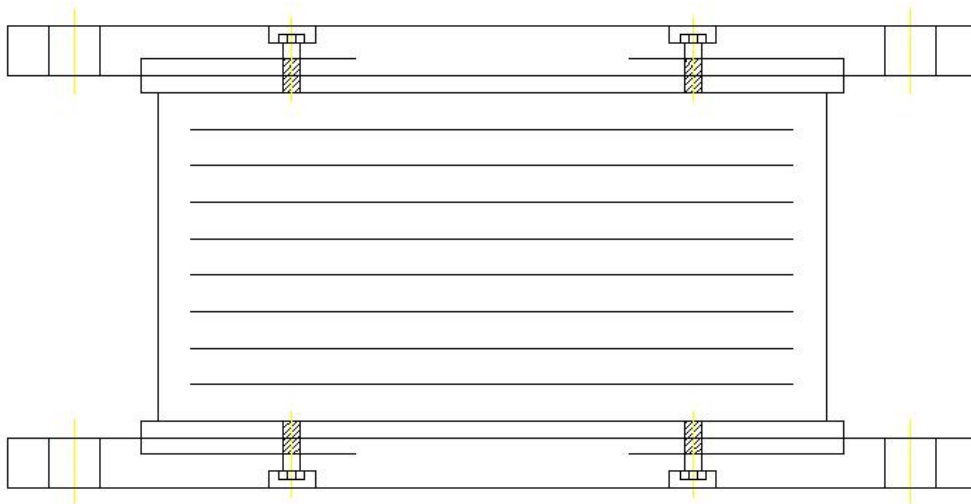


Fig. 3.2. Diseño del aislamiento

Su modelo dinámico se expresa de la siguiente manera:

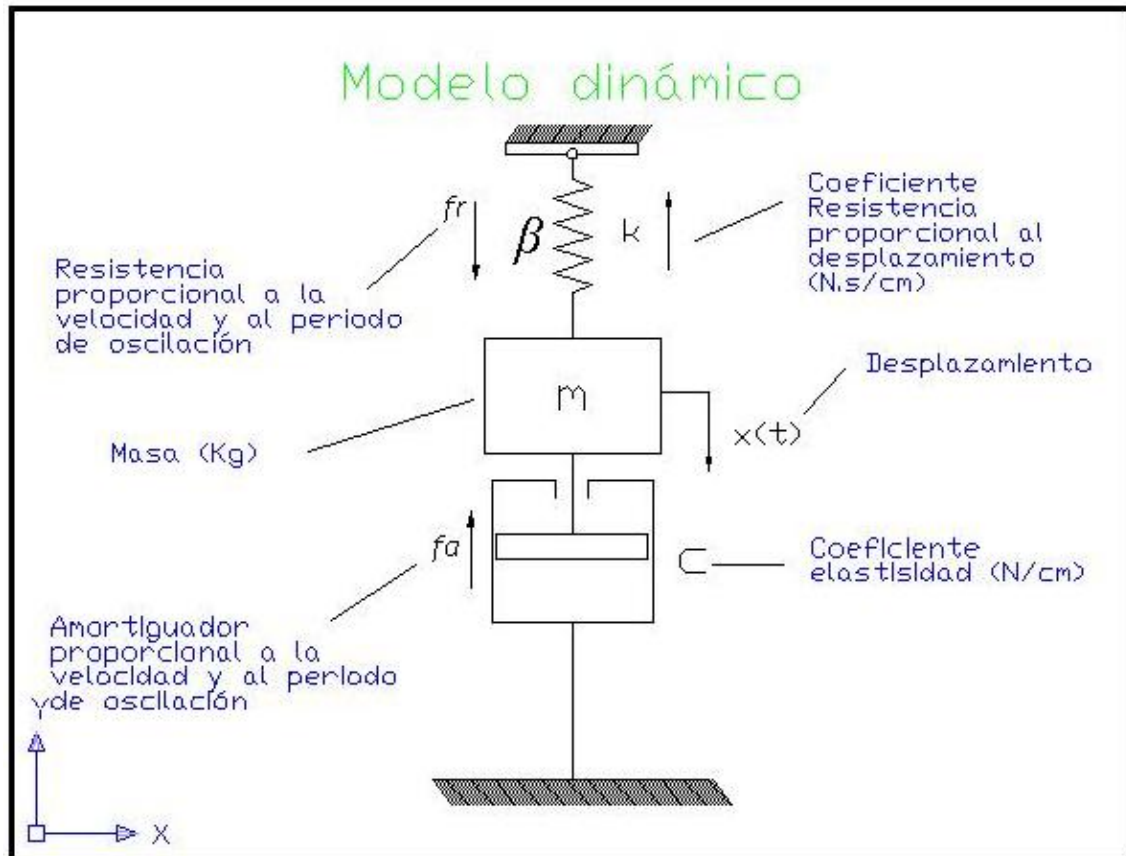


Fig. 3.3. Modelo Dinámico para modelación matemática del Aislamiento

Un sistema de masa, es decir, amortiguador a una perturbación.

3.3.3. RESOLUCIÓN DE TRANSFORMADA RESPECTO A LA TRANSFORMADA DE LAS FUNCIONES DEL MOVIMIENTO.

Utilizando la tabla de transformadas de Laplace, los teoremas fundamentales del cálculo operacional, para pasar de la transformada hallada de la función a Laplace.

Tenemos la ecuación diferencial del movimiento del sistema oscilatorio tiene la forma

$$m\ddot{x} + \beta \dot{x} + cx = f \text{sen } \omega t \quad (3.16)$$

La transformada de Laplace sería: \mathcal{L}

$$\mathcal{L} [m\ddot{x} + \beta \dot{x} + cx] = \mathcal{L} [f \text{sen } \omega t]$$

De donde

$$\mathcal{L} [f \text{sen } \omega t] = f \mathcal{L} [\text{sen } \omega t] = \mathcal{L} [Xe(s)]$$

Reemplazando

$$\mathcal{L} [m\ddot{x}] + \mathcal{L} [\beta \dot{x}] + \mathcal{L} [cx] = f \mathcal{L} [\text{sen } \omega t]$$

$$m \mathcal{L} [\ddot{x}] + \beta \mathcal{L} [\dot{x}] + c \mathcal{L} [x] = f \mathcal{L} [\text{sen } \omega t]$$

$$m S^2 X(s) + \beta S X(s) + c X(s) = [Xe(s)]$$

$S_x = S_x(t)$, la fuerza perturbadora

La transformada de Laplace es:

$$\frac{X(s)}{Xe(s)} = \frac{1}{ms^2 + \beta s + c} \quad (3.17.)$$

β , el coeficiente de resistencia (N.s/cm)

c , el coeficiente de elasticidad (N/cm)

m , la masa (Kg)

Tomando en cuenta que la entrada de Frecuencia es Sinusoidal

Para la ecuación diferencial del movimiento que tiene la forma:

$$\ddot{x} + 2n \dot{x} + k^2 x = h \sigma_0 (t) \quad (3.18.)$$

La transformada de Laplace sería: \mathcal{L}

$$\mathcal{L} [m\ddot{x} + \beta \dot{x} + cx] = \mathcal{L} [\sigma_0 (t)]$$

De donde

$$\mathcal{L} [\sigma_0 (t)] = \mathcal{L} [Xe_1(s)]$$

Reemplazando

$$\mathcal{L} [m\ddot{x}] + \mathcal{L} [\beta \dot{x}] + \mathcal{L} [cx] = \mathcal{L} [\sigma_0 (t)]$$

$$m\mathcal{L} [\ddot{x}] + \beta\mathcal{L} [\dot{x}] + c\mathcal{L} [x] = \mathcal{L} [Xe_1(s)]$$

$$m S^2X(s) + \beta S X(s) + c X(s) = [Xe_1(s)]$$

La transformada de Laplace es:

$$\frac{X(s)}{Xe_1(s)} = \frac{1}{ms^2 + \beta s + c} \quad (3.19.)$$

β , el coeficiente de resistencia (N.s/cm)

c , el coeficiente de elasticidad (N/cm)

m , la masa (Kg)

Tomando en cuenta una entrada si es un Salto Unitario o escalón para representar la perturbación.

3.3.3.1. DETERMINACIÓN DEL MOVIMIENTO DEL SISTEMA.

3.3.3.1.2. Movimiento del sistema, al ser nulas las condiciones iniciales.

Al ser las condiciones iniciales nulas es conveniente elegir el origen, la posición en que el punto material (cuerpo material) está en equilibrio estático, cuando el amortiguador no esta deformado.

Por esta causa se cambia las condiciones iniciales del movimiento del peso que tomara la forma.

$$t = 0 ; x_0 = 0 ; \dot{x} = 0$$

Se distinguen tres especies de movimientos:

- $n < k$ es el caso de resistencia pequeña que efectúa oscilaciones amortiguadas.
- $n > k$ es el caso de resistencia grande que efectúa un movimiento aperiódico (no periódico).
- $n = k$ es el caso limite efectúa un movimiento aperiódico amortiguado.

La ecuación diferencial del movimiento del sistema oscilatorio tiene la forma

$$m\ddot{x} + \beta \dot{x} + cx = f \text{sen } \omega t$$

$v_x = \dot{x}$, la proyección de la velocidad (cm/s)

Designando

$$2n = \beta / m$$

$$k^2 = c / m$$

$$h = f / m$$

reemplazando los datos designados:

$$\ddot{x} + 2n \dot{x} + k^2 x = h \text{sen } \omega t \quad (3.20)$$

Siendo

$$x(t) = X(p)$$

Aplicando la regla sobre la transformada de las derivadas y teniendo en cuenta que $x_0 = \dot{x} = 0$, la ecuación (1) en las transformadas de Laplace (tabla 1, línea 6, Anexo 7)

$$(p^2 + 2pn + k^2)X(p) = h \frac{\omega}{p^2 + \omega^2} \quad (3.21)$$

h , es la distancia

ω , la velocidad angular

de aquí se determina inmediatamente la transformada de la solución buscada

$$X(p) = \frac{h \omega}{(p^2 + \omega^2)(p^2 + 2pn + k^2)} \quad (3.22)$$

Para pasar de la transformada al original, desarrollamos la fracción situada en el segundo miembro de la igualdad (3.22) en fracciones simples.

Consideramos el caso mas frecuente en la práctica cuando se trata de una pequeña resistencia $n < k$. Entonces las raíces del trinomio de segundo grado en el denominador serán complejas y se pueden escribir

$$X(p) = \frac{h \omega}{(p^2 + \omega^2)(p^2 + 2pn + k^2)} = \frac{Ap + B}{(p^2 + \omega^2)} + \frac{Cp + D}{(p^2 + 2pn + k^2)} \quad (3.23.)$$

de donde A, B, C y D son las constantes a determinar.

En virtud de la igualdad (3.23.) se puede escribir

$$\begin{aligned} h \omega &= (Ap + B)(p^2 + 2pn + k^2) + (Cp + D)(p^2 + \omega^2) \\ h \omega &= (A + C)p^3 + (2nA + B + D)p^2 + (k^2A + 2nB + \omega^2C)p + k^2B + \omega^2D \end{aligned} \quad (3.24)$$

Igualando en ambos miembros de esta identidad los coeficientes de iguales potencias p , obtenemos el sistema de ecuaciones algebraicas lineales respecto a los coeficientes desconocidos A, B, C y D:

$$\left. \begin{aligned} p^3 : & \quad A \quad + \quad C \quad = 0 \\ p^2 : & \quad 2nA + B \quad + D \quad = 0 \\ p^1 : & \quad k^2A + 2nB + \omega^2C \quad = 0 \\ p^0 : & \quad k^2B \quad + \omega^2D = \omega h \end{aligned} \right\} \quad (3.25.)$$

Resolviendo este sistema encontramos

$$A = -C = -\frac{2n\omega h}{4n^2\omega^2 + (k^2 - \omega^2)^2}$$

$$B = \frac{\omega h (k^2 - \omega^2)}{4n^2\omega^2 + (k^2 - \omega^2)^2}$$

$$D = \frac{\omega h (\omega^2 - 4n^2 - k^2)}{4n^2\omega^2 + (k^2 - \omega^2)^2}$$

Partiendo de las ecuaciones (3.22.) y (3.23.), podemos escribir

$$X(p) = \frac{\omega h}{4n^2\omega^2 + (k^2 - \omega^2)^2} \left(-\frac{2np}{p^2 + \omega^2} + \frac{k^2 - \omega^2}{p^2 + \omega^2} + \frac{2np}{p^2 + 2np + k^2} + \frac{\omega^2 + 4n^2 + k^2}{p^2 + 2np + k^2} \right) \quad (3.26)$$

Teniendo por objeto utilizar la tabla de transformadas Anexo 7, transformamos la expresión obtenida

$$X(p) = \frac{h}{4n^2\omega^2 + (k^2 - \omega^2)^2} \left[(k^2 - \omega^2) \frac{\omega}{p^2 + \omega^2} - 2n\omega \frac{p}{p^2 + \omega^2} + \right. \\ \left. (\omega^2 + 2n^2 - k^2) \frac{\omega}{\sqrt{k^2 + n^2}} \times 2n\omega \frac{p+n}{(p+n) + k^2 + n^2} \right] \quad (3.27)$$

Con ayuda de la tabla de transformadas y del teorema de la derivada (Tabla 2, línea 5, Anexo 8) encontramos el original buscado

$$x(t) = \frac{h}{4n^2\omega^2 + (k^2 - \omega^2)^2} \left\{ (k^2 - \omega^2) \text{sen} \omega t - 2n\omega \text{sen} \omega t + \right. \\ \left. e^{-nt} \left[(\omega^2 + 2n^2 - k^2) \frac{\omega}{\sqrt{k^2 + n^2}} \times \text{sen} \sqrt{k^2 + n^2} t + 2n\omega \cos \sqrt{k^2 + n^2} t \right] \right\} \quad (3.28)$$

La solución obtenida se puede representar en una forma más compacta si se tiene en cuenta que

$$A \text{sen} \omega t + B \cos \omega t = \sqrt{A^2 + B^2} \text{sen}(\omega t + \varphi)$$

donde $\text{tg} \varphi = \frac{B}{A}$, con la particularidad de que

$$0 < \varphi < \frac{\pi}{2} \text{ para } A > 0, B > 0$$

$$\frac{\pi}{2} < \varphi < \pi \text{ para } A < 0, B > 0$$

$$\pi < \varphi < \frac{3}{2} \pi \text{ para } A < 0, B < 0$$

$$\frac{3}{2}\pi < \varphi < 2\pi \text{ para } A > 0, B < 0$$

tenemos:

$$x(t) = \frac{h}{4n^2\omega^2 + (k^2 - \omega^2)^2} \left[\sqrt{4n^2\omega^2 + (k^2 - \omega^2)^2} \times \text{sen}(\omega t + \gamma) + e^{-nt} \sqrt{(\omega^2 + 2n^2 - k^2)^2 + 4n^2(k^2 - \omega^2)} \times \frac{\omega}{\sqrt{k^2 + n^2}} \text{sen}(\sqrt{k^2 + n^2}t + \delta) \right]$$

donde

$$\text{tg}\gamma = -\frac{2n\omega}{k^2 - \omega^2}, \text{tg}\delta = \frac{2n\sqrt{k^2 - n^2}}{\omega^2 + 2n^2 - k^2} \tag{3.29}$$

o bien después de simplificar

$$x(t) = \frac{h}{\sqrt{4n^2\omega^2 + (k^2 - \omega^2)^2}} \left[\text{sen}(\omega t + \gamma) + e^{-nt} \frac{\omega}{\sqrt{k^2 + n^2}} \text{sen}(\sqrt{k^2 + n^2}t + \delta) \right] \tag{3.30}$$

El segundo sumando puesto entre los corchetes decrece con el aumento del tiempo t . Describe el proceso transitorio en el sistema, o sea, las oscilaciones libres amortiguadas. El primer sumando ofrece el movimiento estacionario del sistema, o sea, las oscilaciones armónicas forzadas con una frecuencia igual a la fuerza perturbadora.

En ausencia de la resistencia es necesario poner en la formula (3.28) $n = 0$. Entonces obtenemos

$$x(t) = \frac{h}{k^2 - \omega^2} \left(\text{sen } \omega t - \frac{\omega}{k} \text{sen } k t \right) \quad (3.28a)$$

Examinando el fenómeno de resonancia. En ausencia de la resistencia ($n = 0$) la transformada (3.26) toma la forma

$$x(t) = \frac{\omega h}{k^2 - \omega^2} \left(\frac{1}{p^2 - \omega^2} + \frac{1}{p^2 - k^2} \right) \quad (3.31)$$

En caso de resonancia, si se pone $\omega = k$, el segundo miembro se transforma en indeterminación del tipo 0/0. Valiéndose de la regla L'Hospital, obtenemos

$$X(p) = \frac{\omega h}{\frac{d}{d\omega}(k^2 - \omega^2)} \cdot \frac{d}{d\omega} \left(\frac{1}{p^2 - \omega^2} + \frac{1}{p^2 - k^2} \right) = \frac{\omega h}{(p^2 - \omega^2)^2} \quad (3.32)$$

$$X(p) = \frac{h}{2p} \cdot \frac{2\omega h}{(p^2 - \omega^2)^2} = F_2(p) \cdot F_1(p) \quad (3.33)$$

Según la tabla encontramos el original para cada factor de la transformada

$$F_1(p) = \frac{2\omega h}{(p^2 - \omega^2)^2} \Rightarrow t \text{ sen } \omega t$$

$$F_2(p) = \frac{h}{2} \cdot \frac{1}{p} \Rightarrow \frac{h}{2}$$

Haciendo uso del teorema de convulsión (Tabla 2, línea 10, Anexo 8) hallamos el original

$$F_1(p).F_2(p) = \frac{h}{2p} \frac{2\omega p}{(p^2 - \omega^2)^2} \Rightarrow \int_0^t \frac{h}{2} \tau \cdot \text{sen} \omega \tau . d\tau = \frac{h}{2\omega} \left(\frac{1}{\omega} \text{sen} \omega t - t \cos \omega t \right) \quad (3.34)$$

Así pues, en caso de resonancia

$$x = \frac{h}{2k} \left(\frac{1}{k} \text{sen} \omega t - t \cos \omega t \right) \quad (3.35)$$

t , el tiempo (s)

x , la coordenada

Con el andar del tiempo el segundo término puesto entre los paréntesis crece, en módulo, indefinidamente, lo que muestra que hay una resonancia.

3.3.3.1.3. Movimiento del sistema con el Aislamiento, si la perturbación es un salto unitario.

El movimiento del sistema tendrá una perturbación como entrada las cuales luego de la posición de equilibrio estático del sistema, deberá amortiguarse tomando en cuenta el proceso de oscilación efectuando un movimiento aperiódico (no periódico) de el desplazamiento en función del tiempo $x(t)$.

La ecuación diferencial del movimiento tiene la forma

t , el tiempo (s)

$$\ddot{x} + 2n \dot{x} + k^2 x = h \sigma_0(t) \quad (3.36)$$

Puesto que las condiciones iniciales son nulas y $\sigma_0(t) \div \frac{1}{p}$, la ecuación (3.36) en las transformadas se escribirá así:

$$(p^2 + 2pn + k^2)X(p) = \frac{h}{p} \quad (3.37)$$

de donde

$$X(p) = \frac{h}{p(p^2 + 2pn + k^2)} \quad (3.38)$$

Considerando, como antes, $n \rightarrow k$, desarrollamos la fracción del segundo miembro de la igualdad (3.38) en fracciones simples. Tenemos

$$\frac{1}{p(p^2 + 2pn + k^2)} = \frac{A}{p} + \frac{Bp + C}{(p^2 + 2pn + k^2)} \quad (3.39)$$

de donde

$$1 = A(p^2 + 2pn + k^2) + (Bp + C)p \quad (3.40)$$

Para determinar las incógnitas A , B y C aplicamos el método de valores particulares. Poniendo en la identidad (3.40) $p = 0$, obtenemos

$$1 = Ak^2 \text{ y } A = \frac{1}{k^2}$$

Los valores $p = 1$ y $p = -1$ dan dos ecuaciones más

$$1 = A(1 + 2n + k^2) + B + C$$

$$1 = A(1 + 2n + k^2) + B - C$$

Sustituyendo aquí el valor hallado para A , después de la simplificación encontramos

$$B + C = -\frac{1 + 2n}{k^2}$$

$$B - C = -\frac{1 - 2n}{k^2}$$

de aquí

$$B = -\frac{1}{k^2}, C = -\frac{2n}{k^2}$$

Ahora la igualdad (3.38) se puede escribir así:

$$X(p) = \frac{h}{k^2} \left(\frac{1}{p} - \frac{p+2n}{p^2 + 2pn + k^2} \right) \quad (3.41)$$

$$k = \sqrt{\frac{c}{m}}, n = \frac{\beta}{2m}$$

El movimiento del peso es amortiguado (puesto que para $t \rightarrow \infty \ x \rightarrow 0$)

$$\text{Frecuencia } kr = \sqrt{k^2 - n^2}$$

Formando en el denominador de la segunda fracción el cuadrado perfecto, después de la transformación se obtiene:

$$X(p) = \frac{h}{k^2} \left[\frac{1}{p} - \frac{p+n}{(p+n)^2 + k^2 - n^2} - \frac{n}{\sqrt{k^2 - n^2}} \cdot \frac{\sqrt{k^2 - n^2}}{(p+n)^2 + k^2 - n^2} \right] \quad (3.42)$$

Con la ayuda de tablas de transformadas y del teorema de la derivada se encuentra la original.

$$x(t) = \frac{h}{k^2} \left[1 - e^{-nt} \left(\cos \sqrt{k^2 - n^2} t + \frac{n}{\sqrt{k^2 - n^2}} \cdot \text{sen} \sqrt{k^2 - n^2} t \right) \right] \quad (3.43)$$

k , resonancia en (rad/s)

n , resonancia en (rad/s)

El primer término de la solución obtenida da el movimiento estacionario, o sea, en este caso la nueva posición del equilibrio estático del sistema. Los términos segundo y tercero describen las oscilaciones amortiguadas que el sistema efectúa alrededor de esta nueva posición de equilibrio, el proceso transitorio.

Al cumplirse la condición, se produce las oscilaciones de resonancia del *i-ésimo* orden con las cuales las desviaciones del punto material crecen indefinidamente.

Puesto que en el caso en cuestión $i = 1, 3, 5, 7$, tienen lugar.

Para $k = p$ las oscilaciones de resonancia de 1er orden,

Para $k = 3p$ las oscilaciones de resonancia de 3er orden,

Para $k = 5p$ las oscilaciones de resonancia de 5er orden,

Para $k = 7p$ las oscilaciones de resonancia de 7er orden.

Desde luego, en las condiciones reales, al existir la fuerza de resistencia al movimiento, las desviaciones del punto material son finitas.

CAPITULO IV

4. MANEJO DE SOTFWARES PARA REPRESENTAR LA RESPUESTA DEL AMORTIGUADOR

4.1. SISTEMA UTILIZADO EN ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS MODELOS MATEMATICOS POR MEDIO DEL SIMULINK

La respuesta de los modelos matemáticos, permitirá realizar un análisis tanto de las frecuencias oscilatorias, como en el amortiguador, en donde las cargas que varían con el tiempo a una velocidad considerable, se las asume como cargas de impacto.

La acción de este tipo de fuerzas va acompañada de vibraciones de las estructuras, y la respuesta del amortiguador ante estas vibraciones, durante las cuales, al variar la velocidad de las masas que vibran, surgen fuerzas de inercia proporcionales, a las masas que oscilan y a las aceleraciones.

Un sistema utilizado para la realización de la simulación de la frecuencia de resonancia y amortiguación del aislador se pueden representar tomando en cuenta los siguientes parámetros.

Tomaremos en cuenta las ecuaciones establecidas en el modelo matemático.

La primera de las simulaciones sería la respuesta que obtendríamos de la ecuación diferencial del movimiento del sistema oscilatorio y que tiene la forma

$$m\ddot{x} + \beta \dot{x} + cx = f \text{sen } \omega t \quad (3.16)$$

La transformada de Laplace es:

$$\frac{X(s)}{Xe(s)} = \frac{1}{ms^2 + \beta s + c} \quad (3.17.)$$

Tomando en cuenta que la entrada del sistema es una frecuencia sinusoidal
Para la segunda ecuación diferencial del movimiento que tiene la forma:

$$\ddot{x} + 2n \dot{x} + k^2 x = h\sigma_0(t) \quad (3.18.)$$

La transformada de Laplace es:

$$\frac{X(s)}{Xe_1(s)} = \frac{1}{ms^2 + \beta s + c} \quad (3.19.)$$

Tomando en cuenta si la perturbación es un salto unitario o escalón como entrada del sistema.

4.2. METODOLOGÍA DE RESPUESTA DEL AMORTIGUADOR

4.2.1. RESPUESTA DE ECUACION DE MOVIMIENTO

Se utiliza los diferentes componentes que ofrece el Simulink en su librería primero transferimos cada una de las ecuaciones con su transformada de Laplace como son las ecuación (3.17) y (3.19) como se muestra anteriormente.

Donde el nn y nd son respectivamente el num y den contienen los coeficientes del numerador y denominador en los descendentes de s. los num pueden ser un vector o matriz, el den debe ser un vector, y los dos se especifican como los parámetros en la caja de diálogo de bloque. El orden del denominador debe ser mayor que 0, igual al orden del numerador. Una función de transferencia (Transfer Fcn) va a una entrada del escalar. Si el numerador de la función del traslado o transferencia del bloque es un vector, el rendimiento del bloque también es el escalar. Sin embargo, si el numerador es

una matriz, la función del traslado extiende la entrada, en un igual vector, de rendimiento en la anchura al número de filas en el numerador.

$$\frac{1}{m.s^2+B.s+k}$$

Transfer Fcn

Tomando en cuenta sus entradas podemos crear el siguiente subsistema. Fig. 4.1.

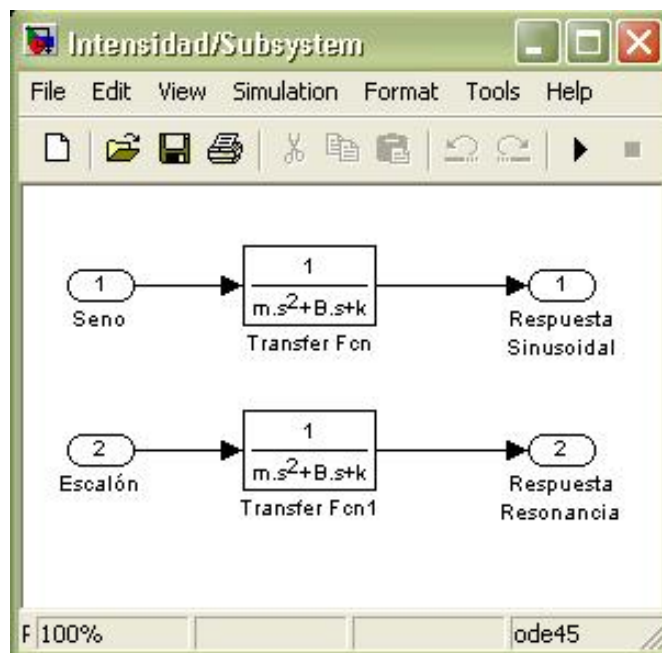


Fig. 4.1. Subsistema con entrada sinusoidal y escalón

Denominado el subsistema INTENSIDAD, creando una mascara (mask) para definir los parámetros en cada uno de las incógnitas y que representan. Fig. 4.2.

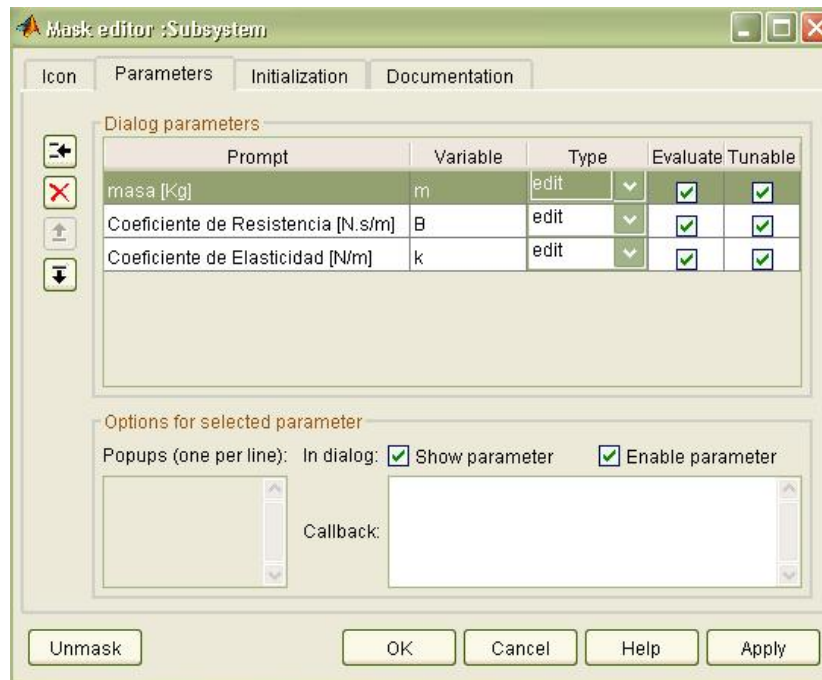


Fig. 4.2. Parámetros de incógnitas del Subistema

Luego de haber sido creado tenemos:

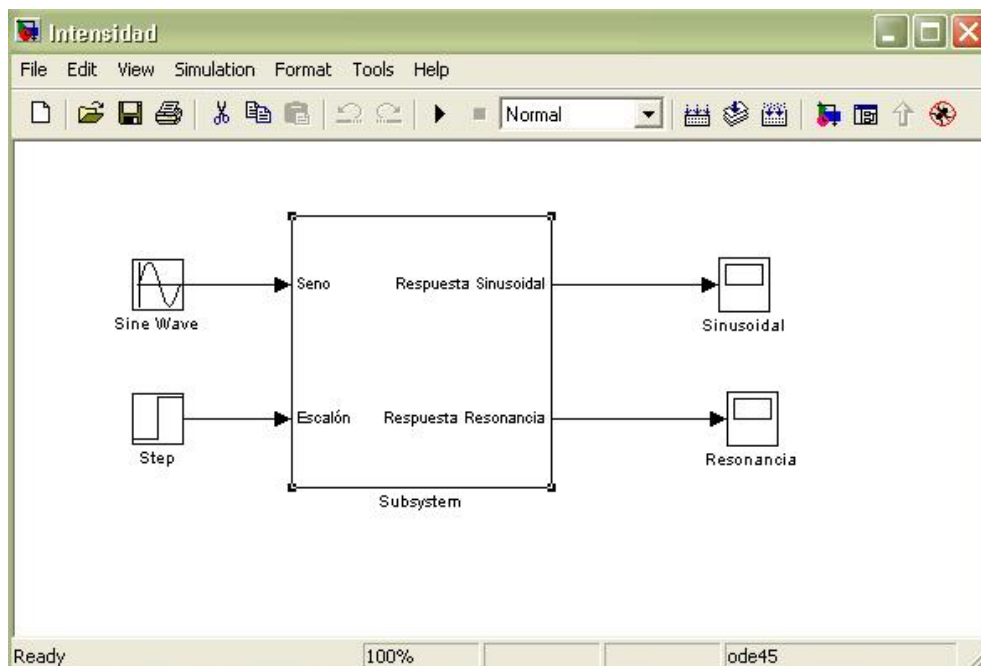


Fig. 4.3. Mascara (Subsistema Intensidad), entradas y salidas

Para poder tener un control en el sistema con la implementación de los parámetros en el subsistema tenemos la entrada de datos denominada Bloque de Parámetros (Block Parameters) Fig. 4.4.

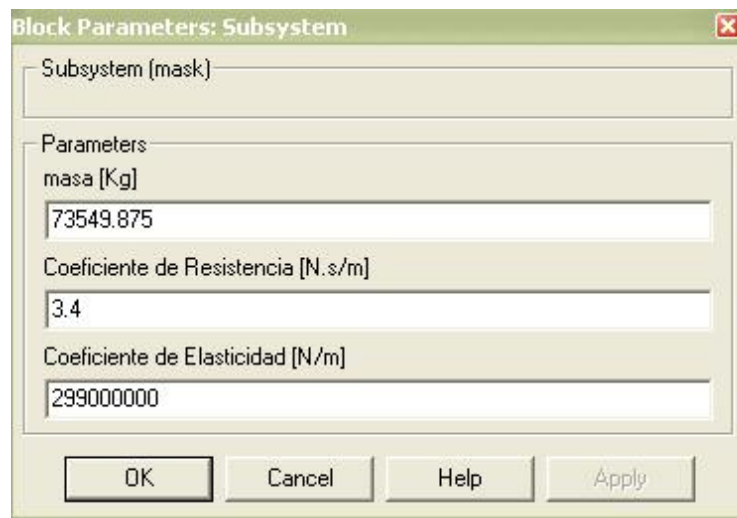


Fig. 4.4. Bloque de parámetros del subsistema, alimentación de datos

4.2.2. REPRESENTACIÓN DE LAS ECUACIONES DEL MOVIMIENTO DEL SISTEMA PARA EL AMORTIGUADOR

El sistema de masa, amortiguador representado con el Modelo dinámico (Fig3.3.), que se somete a las siguientes perturbaciones:

4.2.3. Movimiento del sistema, al ser nulas las condiciones iniciales.

La ecuación del movimiento del sistema oscilatorio que se representa en Simulink, nos da una idea de lo que puede generar el resultado tomando en cuenta la ecuación (3.35), ya transformada a Laplace en función del tiempo (t), representando en este caso la resonancia, tomando en cuenta el amortiguador en condiciones iniciales ya determinadas.

$$x(t) = \frac{h}{2k} \left(\frac{1}{k} \text{sen} \omega t - t \cos \omega t \right) \tag{3.35}$$

A continuación introducimos los parámetros del resultado de la transformada de Laplace, los cuales podemos representar mediante la Librería del Simulink, tenemos la representación de algunos que se utilizaran:

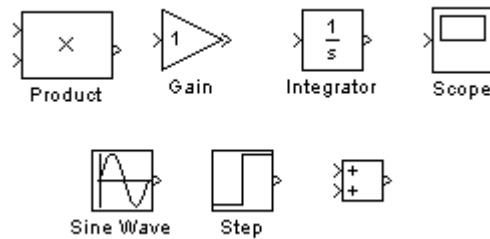


Fig. 4.5. Librería del Simulink

4.2.3.1. REPRESENTACIÓN EN SIMULINK DEL MOVIMIENTO DEL SISTEMA

La función que introducimos es **Sine Wave**:



Descripción de la función $Y = \text{sen}(X)$, el ingreso de la función seno (el arc sine) para cada elemento de X . Los elementos reales de X en el dominio, $\text{sen}(X)$ está en el rango $[-\pi/2, \pi/2]$. Para los elementos reales de x fuera del rango $[-1, 1]$, $\text{sen}(X)$ es complejo. La función del **sen** opera cada elemento en series. Los dominios de la función y rangos incluyen los valores complejos. Todos los ángulos están en los radianes.

Colocando los siguientes parámetro en el Block Parameters (Bloque de Parámetros) del Sine Wave

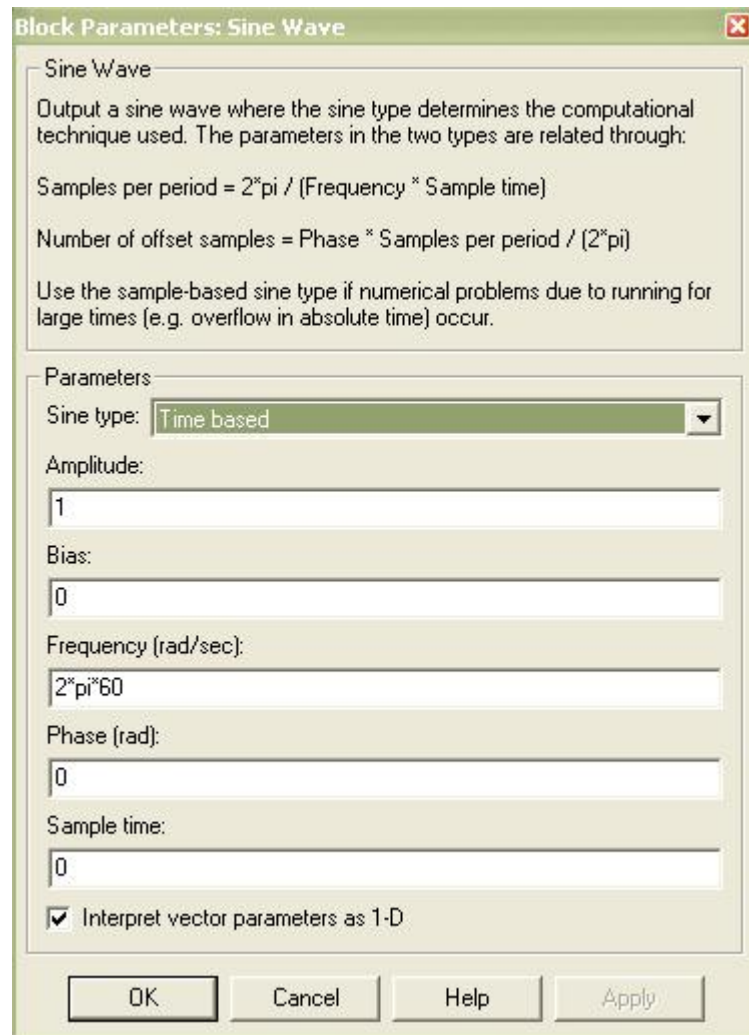


Fig. 4.6. Bloque de parámetros, de la función seno

La frecuencia es el valor determinado por $2 \cdot \pi \cdot 60$, como unidad en rad/s.

Toda la función es en función del Tiempo.

Para representar el coseno utilizamos la misma función pero introduciendo el inverso del seno



Parámetros como la entrada o fase será $(-\pi/2)$, que representa el coseno en función del tiempo:

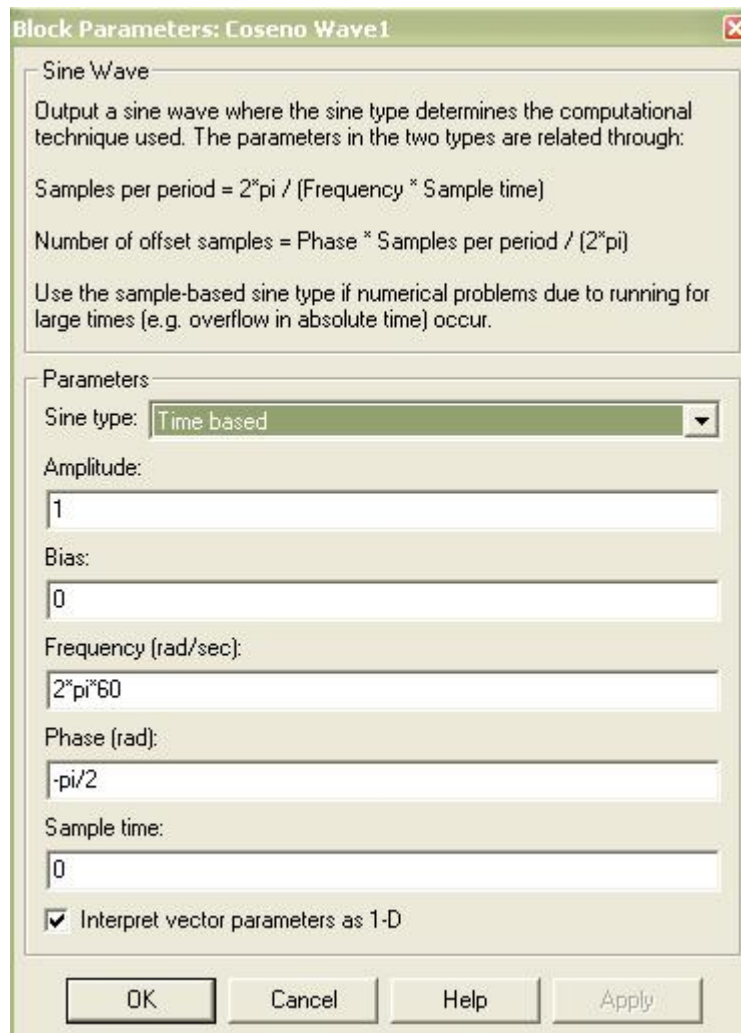


Fig. 4.7. Bloque de parámetros, de la función coseno

Así mismo la frecuencia es el valor determinado por $2 \cdot \pi \cdot 60$, con unidad en rad/s.

Para el bloque del **tiempo**



Descripción del Clock, es el rendimiento del bloque, en un tiempo de simulación actual, para cada paso de la simulación. Este bloque es útil para otros bloques que necesitan el tiempo de la simulación. Cuando se necesita el tiempo actual dentro de un sistema discreto. Fig. 4.8.

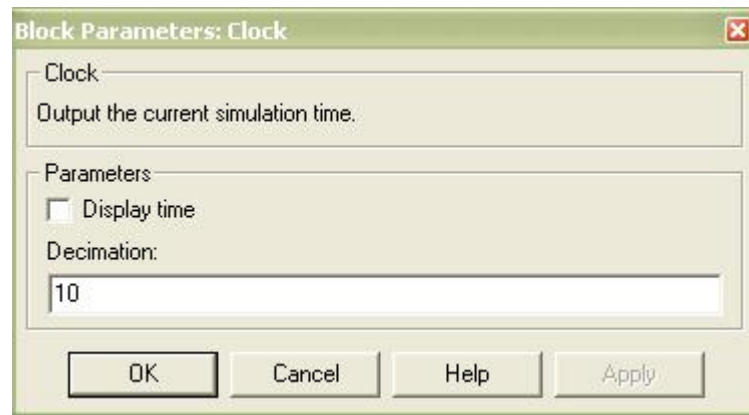


Fig. 4.8. Bloque de Parámetros del tiempo

El GAIN que representamos:



El bloque de Ganancia multiplica la entrada por un valor constante (la ganancia). La entrada y la ganancia de cada uno sea un escalar, vector, o matriz. Se especifica el valor de la ganancia en el parámetro de Ganancia. El parámetro de la Multiplicación le permite especificar elemento o multiplicación de la matriz.

Con el bloque de parámetros por Gain y Gain1. Fig. 4.9. Fig. 4.10.

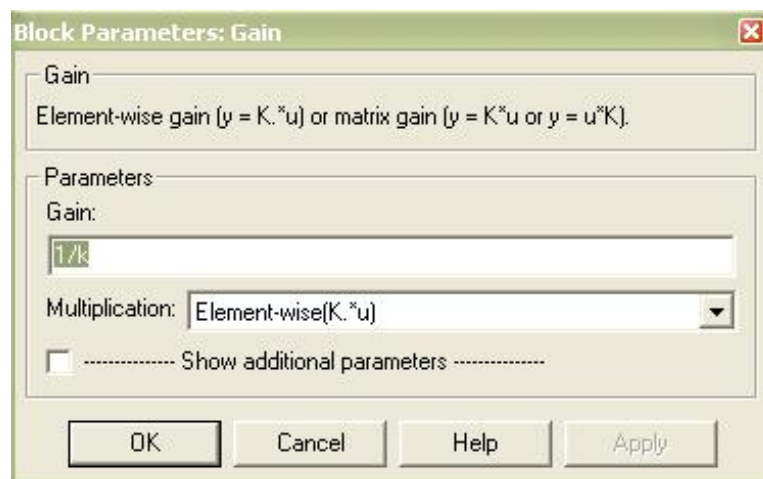


Fig. 4.9. Bloque de Parámetros de Ganancia de 1/k

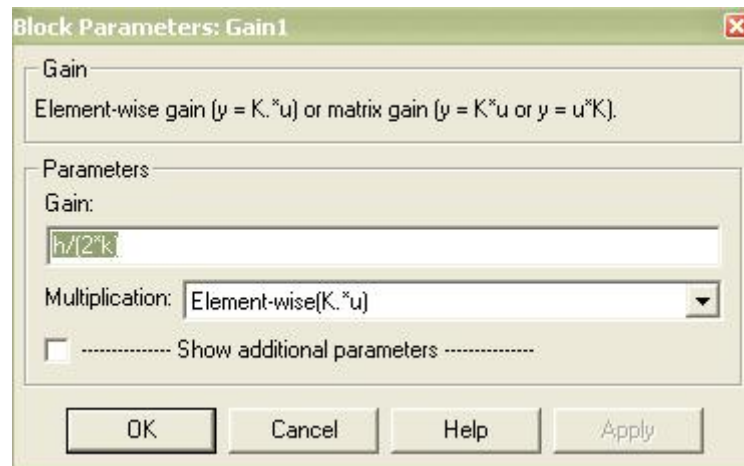


Fig. 4.10. Bloque de Parámetros de Ganancia de $h/2k$

Determinando cada uno de los Bloques con sus respectivos parámetros procedemos a la unión de cada uno correspondientemente tomando en cuenta cual es la unión de cada bloque.

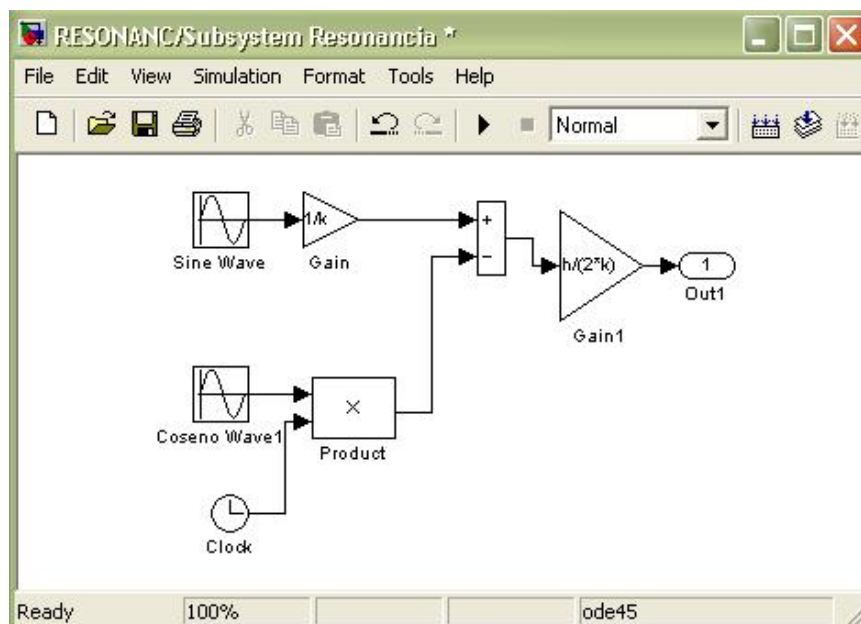


Fig. 4.11. Subsistema del Sistema de Resonancia

Luego de haber configurado cada uno de los elementos del subsistema procedemos a unir en una mascara denominada RESONANC, la cual representa la resonancia del sistema.

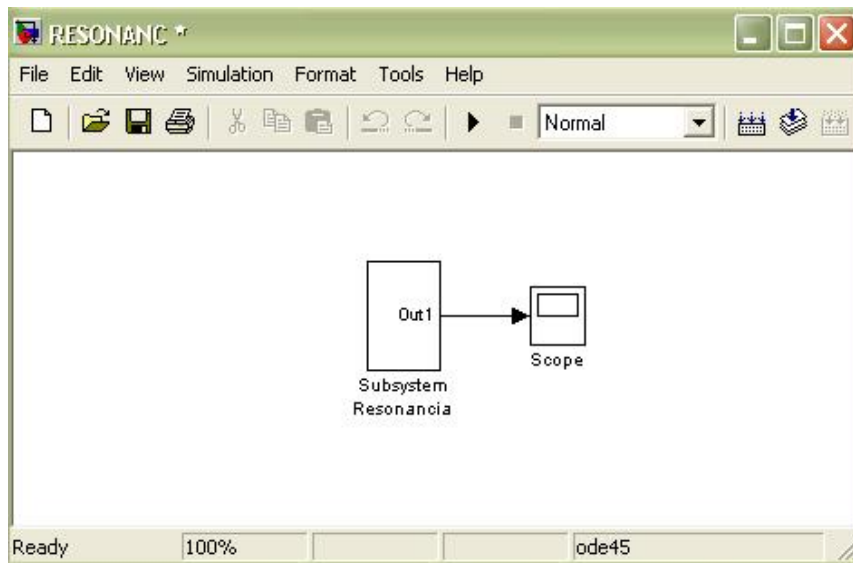


Fig. 4.12. Mascara del Sistema de Resonancia

Los resultados de la resonancia se los vera en el Capitulo V en donde se hará un análisis de respuesta de cada uno de los sistemas.

4.2.4. Movimiento del sistema con el Aislamiento, si la perturbación es un salto unitario.

La segunda es la ecuación diferencial del movimiento que tiene la forma:

$$\ddot{x} + 2n \dot{x} + k^2 x = h\sigma_0 (t) \quad (3.36)$$

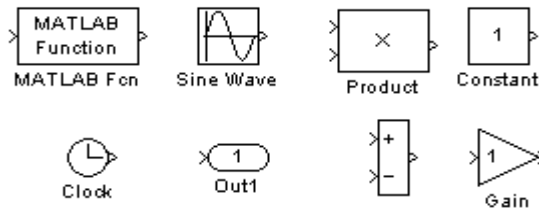
La transformada de Laplace es:

$$\frac{X(s)}{Xe_1(s)} = \frac{1}{ms^2 + \beta s + c} \quad (3.38)$$

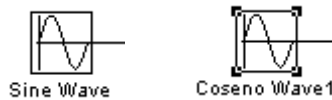
Tomando en cuenta si la perturbación es un salto unitario o escalón la transformada de Laplace ya encontrada con respecto a la amortiguación utilizaremos la ecuación (3.43):

$$x(t) = \frac{h}{k^2} \left[1 - e^{-nt} \left(\cos \sqrt{k^2 - n^2} + \frac{n}{\sqrt{k^2 - n^2}} \cdot \text{sen} \sqrt{k^2 - n^2} t \right) \right] \quad (3.43)$$

Introducimos los parámetros del resultado de la transformada de Laplace, los cuales podemos representar mediante bloques de la Librería del Simulink:



Primero tomamos cada función para definir las respectivas raíces con cada parámetro:



Para las funciones seno y el coseno, es necesario introducir la frecuencia definida en los parámetros de cada función.

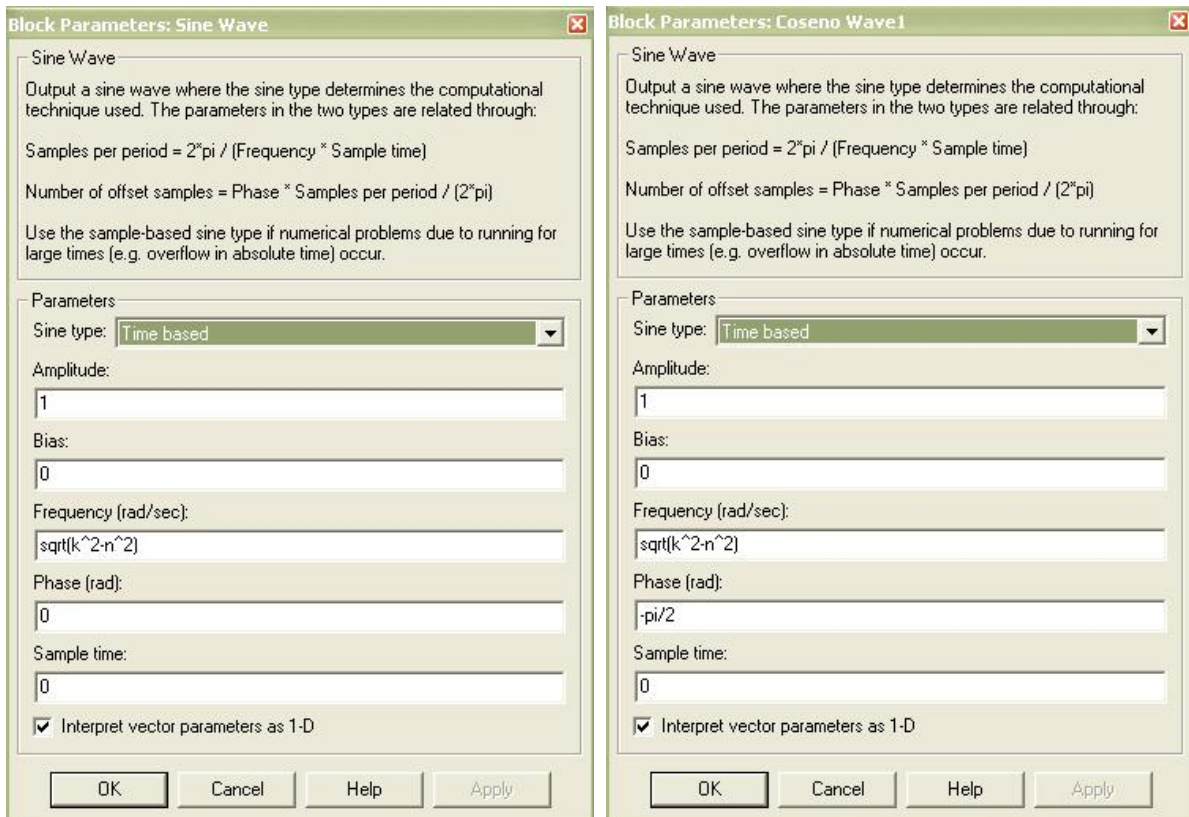
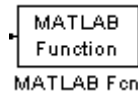


Fig. 4.12. Bloques de parámetros en las funciones, del sistema con aislamiento

El MATLAB Fcn este bloque se aplica en MATLAB especificando la función o expresión a la entrada. El rendimiento de la función debe coincidir las dimensiones del rendimiento del bloque.



Introduciendo los siguientes parámetros en el MATLAB Fcn.

La exponencial que se describiría de la siguiente forma:

$$\exp(-n*u(1))$$

donde u representa el tiempo y n, resonancia en(rad/s)

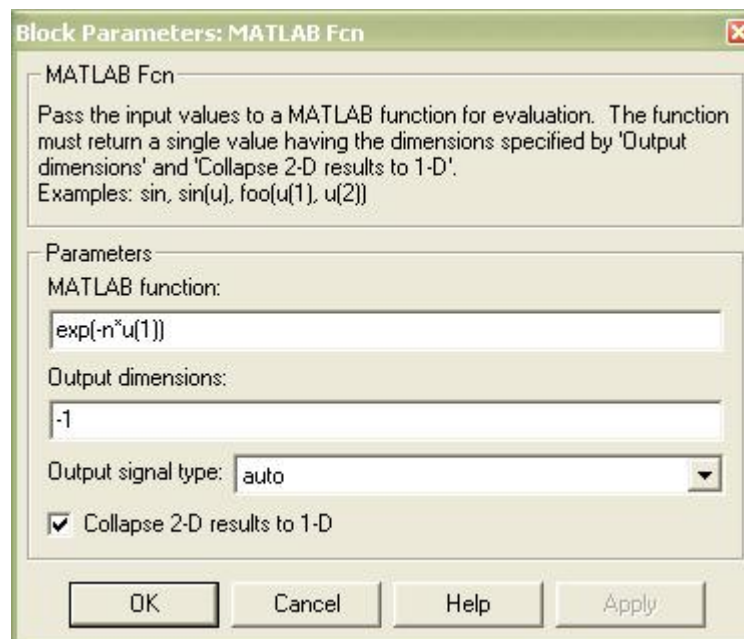


Fig. 4.13. Bloques de parámetros, del sistema de función

El bloque Constante genera un valor real constante o complejo. El bloque genera un escalar, vector, o rendimiento de la matriz, mientras depende de la dimensionalidad del parámetro, el valor Constante o como se Interprete los parámetros del vector como 1-D. El rendimiento del bloque tiene las mismas dimensiones y elementos del parámetro de valor Constante.

Para que evalué la constante le escribiremos de la siguiente forma $n/(\text{sqrt}(k^2-n^2))$.

Donde $\sqrt{\quad}$ es la raíz cuadrada (root squares), como n y k son la resonancia en (rad/s) del bloque, quedaría representado por:

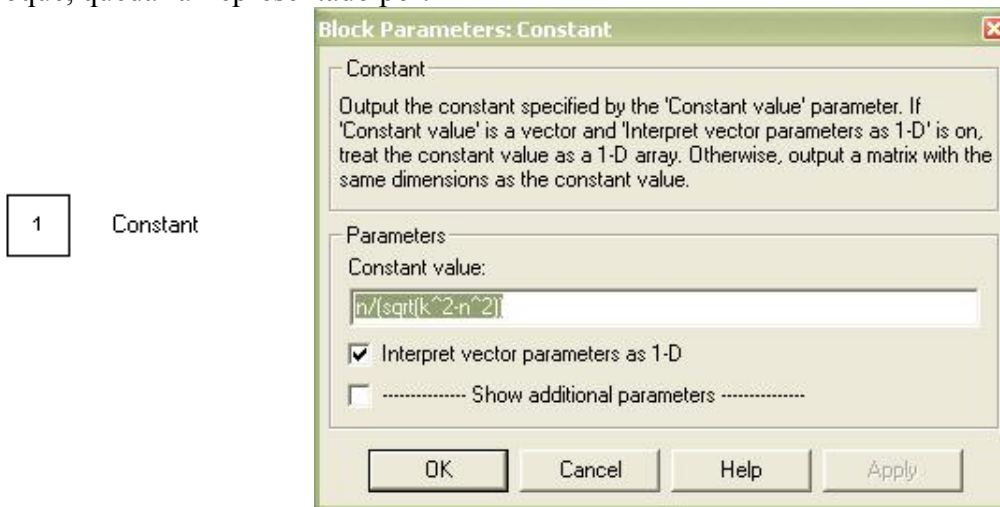
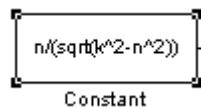


Fig. 4.14. Bloques de parámetros, para constantes.



Ya completado la estructura interna del sistema configuramos de la siguiente manera la representación de la ecuación:

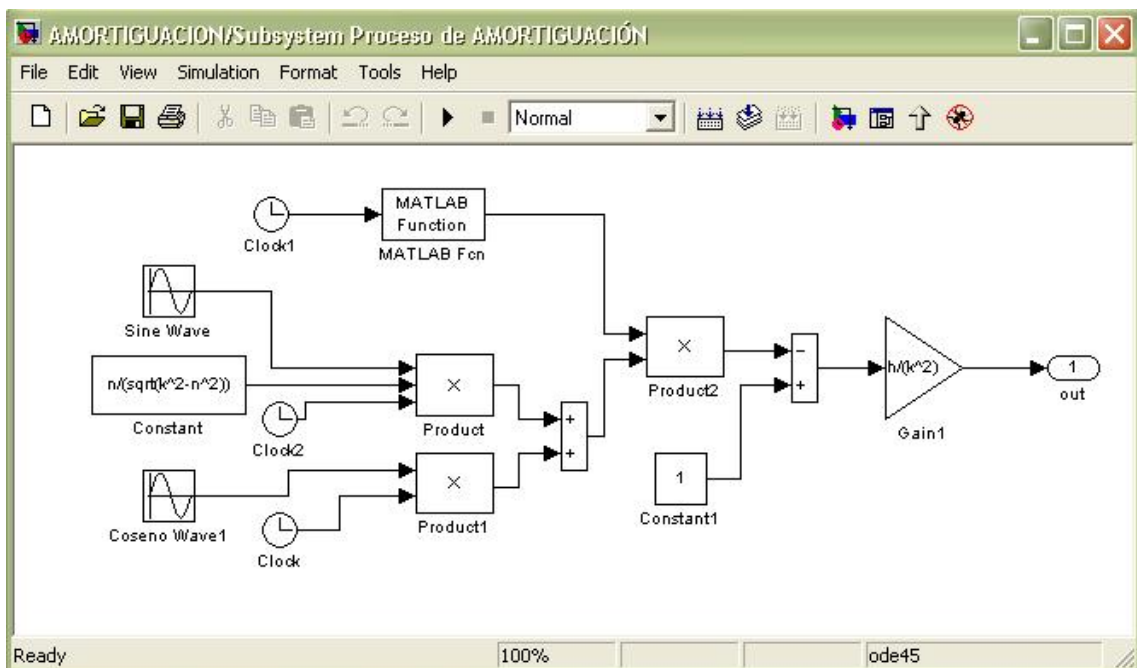


Fig. 4.15. Subsistema de la amortiguación de las oscilaciones

4.2.5. PROCESOS DE AMORTIGUACIÓN DE OSCILACIONES

Convertimos el conjunto del sistema en un solo bloque que lo denominaremos Subsistema del Proceso Transitorio con una salida de Scope denominado **Oscilaciones amortiguadas**, esta ventana la denominaremos **AMORTIGUACIÓN** el análisis de resultados los mostraremos mas adelante.

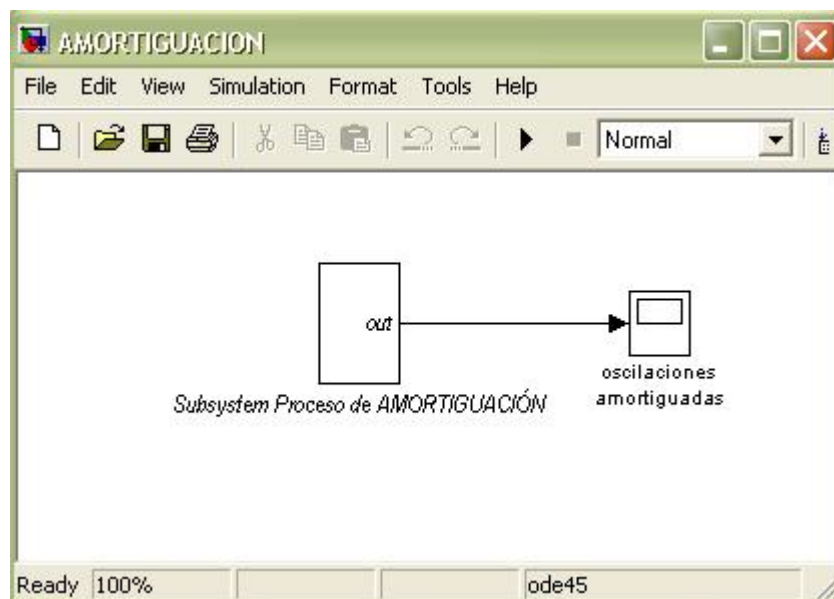


Fig. 4.16. Mascara del Subsistema denominado amortiguación

El resultado de la ecuación (3.43), introducida con bloques en Simulink, nos da como resultado en el scope denominado, **Oscilaciones amortiguadas**.

4.3. ANALISIS DEL AISLAMIENTO MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS.

4.3.1. ESTUDIO DEL AISLAMIENTO CON EL SOFTWARE

COSMOSDesignSTAR 4.0

El módulo de Análisis Estático Lineal que ofrece el software, el dinámico (STAR) el cálculo de esfuerzos, es el que se va analizar con respectó a las tensiones, por este

motivo las tensiones en nodos y elementos se calculan aparte con el submódulo **STRESS**.

El módulo de **DSTAR** evalúa las frecuencias naturales y los correspondientes modos propios de vibración. El módulo **STRESS** calcula las tensiones *virtuales* en elementos, en base a los resultados del módulo **DSTAR**.

Al incluir algunos efectos como cargas en el cálculo de tensiones y deformaciones estructurales. Está en relación uní-direccional, a excepción del acoplamiento termo-eléctrico entre los módulos **ESTAR** y **HSTAR** que es bi-direccional.

4.3.2. CARACTERISTICAS DEL ANALISIS PARA EL AISLAMIENTO:

- Cálculos de valores propios complejos.
- Desplazamientos de la frecuencia para calcular valores propios de frecuencias, para tratar modelos con modos en cuerpos dinámicos.
- Matrices de masa condensada y distribuida para ser representada adecuadamente a la masa del sistema.
- Efecto dinámico en el plano.
- El programa construye y resuelve un sistema finito de elementos en equilibrio ecuaciones simultáneas lineales para calcular los componentes del desplazamiento a cada nodo.
- El programa usa entonces el desplazamiento que resulta al calcular los componentes de tensión.
- Los resultados de tensión están primero calculados en los puntos especiales, Gaussian llamado o la Cuadratura punta, localizado dentro de cada elemento. Éstas puntas, se selecciona para dar los resultados óptimos. El programa calcula las tensiones a los nodos de cada elemento extrapolando los resultados disponibles a los puntos de Gaussian.

4.4. ANÁLISIS DEL AISLAMIENTO CON EL COSMOSDesignSTAR 4.0

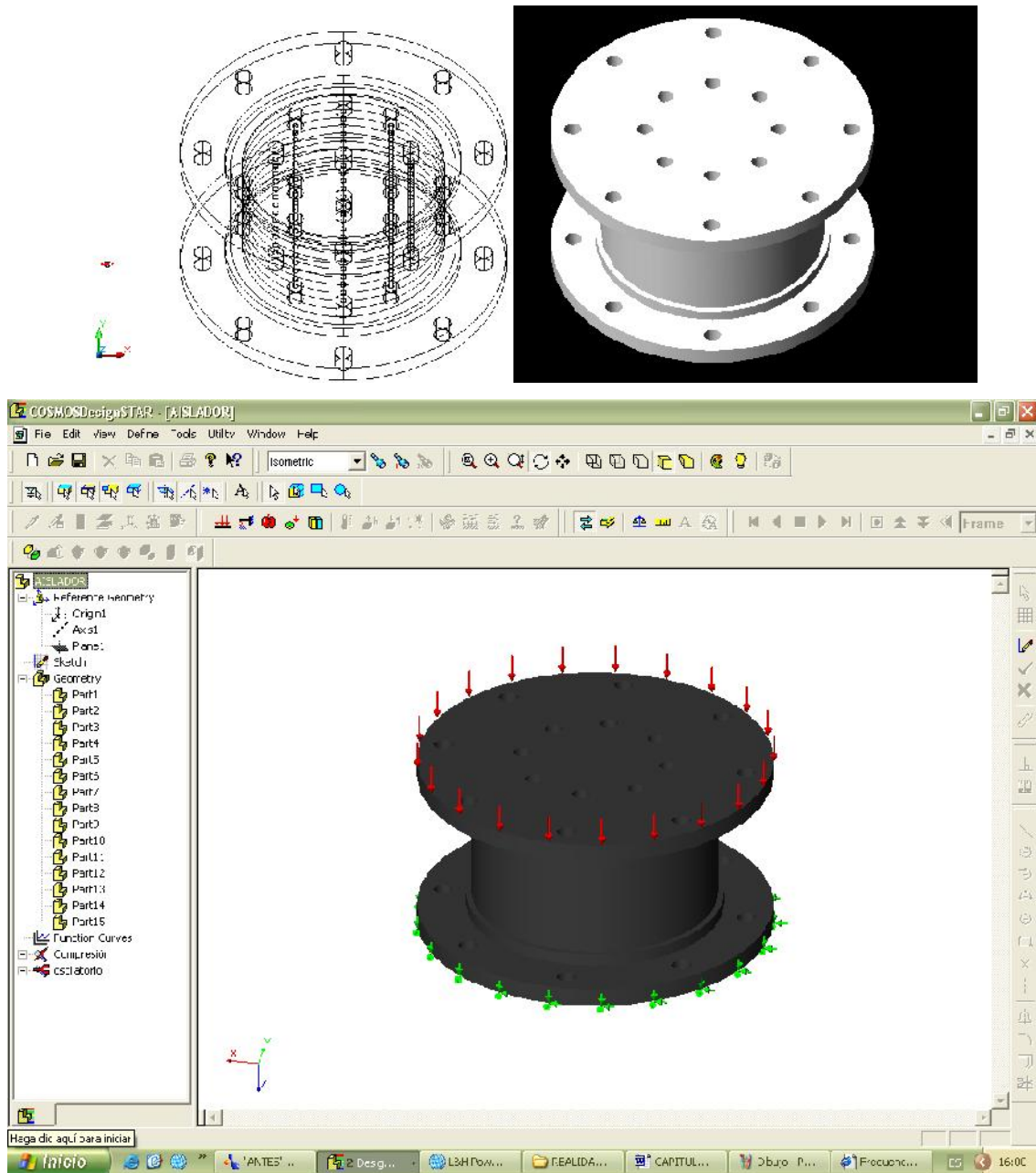


Fig. 4.17. Diseño del Aislamiento y representación en el COSMOSDesignSTAR 4.0

4.4.1. Referencia Geométrica del Aislamiento

Para establecer la referencia en las propiedades del material, es necesario que las direcciones de x, y, y z, se refieren a la entidad de cada eje seleccionado. Se selecciona un eje como una referencia, x se refiere a la dirección radial, Y para la dirección

tangencial, y z se refiere a la dirección axial. Esta opción sólo está disponible con el Orthotropico Elástico Lineal y el Anisotropico Elástico Lineal de los modelos materiales.

Lo siguiente es una lista de todos los resultados disponibles de un estudio del análisis del Aislamiento.

4.4.2. REPORTE DEL ANALISIS

Resumen del análisis de FEM en AISLADOR

4.4.2.1. MATERIALES DE CADA ELEMENTO DEL AISLAMIENTO

Los Archivos de la biblioteca (Library Files)

Activa el menú para seleccionar la biblioteca material deseada. Usando el COSMOSM Browser/Editor Material para crear bibliotecas. Todos los materiales en el archivo de la biblioteca distribuido son los materiales del isotropico elásticos lineales.

La entrada (Input)

Permite entrar las propiedades del materiales. Esta opción está disponible para todos los modelos de material. Se puede especificar un nombre para el material que se define.

En nuestro caso damos referencia el neopreno como al Acero AISI 310S refiriéndonos en este caso al CAPITULO II en el cual definimos los materiales y sus propiedades físicas de cada uno, como su composición.

En un caso se tuvo que calcular el Coeficiente de Deformación y el Modulo de deslizamiento.

4.4.2.1.2. DETALLES DE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN EL AISLAMIENTO

Para cada material tenemos:

Nombre del material: NEOPRENO

Propiedades del material en este caso el Neopreno que se designan antes del análisis representado en la Tabla. 4.1.

Propiedades	Valor
Modulo de Elasticidad	2.99e+008 N/m ²
Coefficiente de Poisson's	0.47
Modulo de Tensión	1.017e+008 N/m ²
Densidad de la Masa	230 kg/m ³
Rendimiento de la Fuerza	8e+005 N/m ²
Conductividad Termica	0.13 W/(m.K)
Calor Especifico	2010 J/(kg.K)

Tabla. 4.1. Propiedades del Neopreno

PARA EL NEOPRENO SE DEFINE EN INPUT

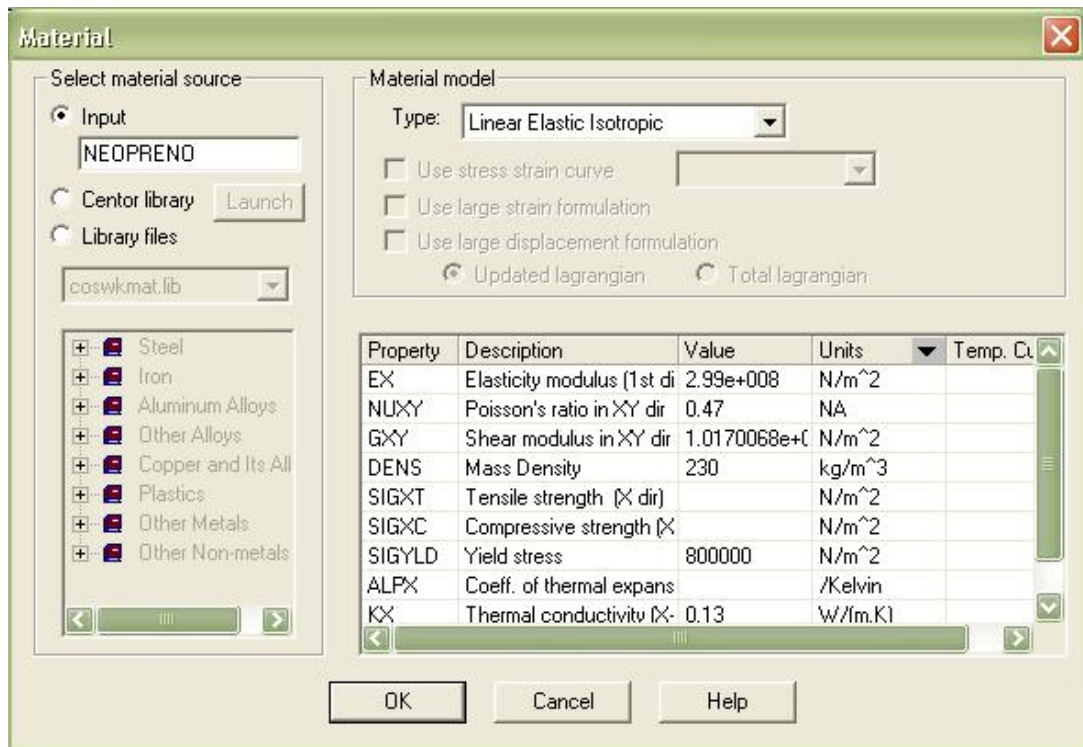


Fig. 4.18. Definición del Neopreno como Material y descripción de cada valor

PARA EL ACERO AISI 310S

Los componentes comprenden los resultados de consultas en base de datos reales de aceros que existen en el mercado tomando en cuenta su coeficiente de elasticidad su resistencia a medios agresivos, con resistencia a la corrosión que otros aceros como son el 302 y el 304.

Nombre del material: ACERO AISI 310S

Propiedades del material en este caso el ACERO AISI 310S que se designan antes del análisis representado en la Tabla. 4.2.

Tabla. 4.2. Propiedades del ACERO AISI 310S

Propiedades	Valor
Elastic modulus	1.98e+011 N/m ²
Coefficiente de Poisson's	0.28
Modulo de Tensión	7900 kg/m ³
Densidad de la Masa	2.3e+007 N/m ²
Coefficiente de Expansión Termal	1.55e-005 /Kelvin
Conductividad termal	14.9 W/(m.K)
Calor especifico	500 J/(kg.K)

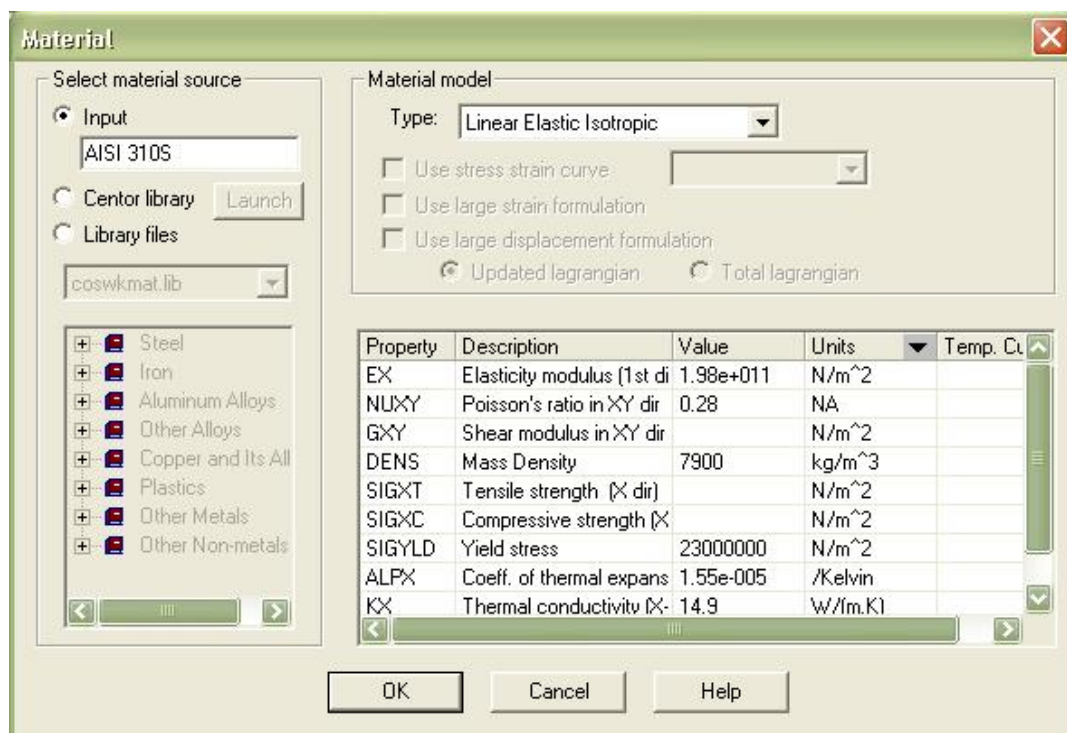


Fig. 4.19. Definición del ACERO AISI 310S como Material y descripción de cada valor

4.4.2.2. PARTES DEL AISLAMIENTO

Para definir el comportamiento del Aislamiento se define cada una de las partes que lo conforman así como su masa y volumen que se representa en la Tabla.

Tabla. 4.3. Partes del Aislamiento

No.	PARTES	Material	Masa	Volumen
1	Part1	NEOPRENO	5.81666e-005 kg	2.52898e-007 m ³
2	Part2	NEOPRENO	5.81666e-005 kg	2.52898e-007 m ³
3	Part3	NEOPRENO	5.81666e-005 kg	2.52898e-007 m ³
4	Part4	NEOPRENO	5.81666e-005 kg	2.52898e-007 m ³
5	Part5	NEOPRENO	5.81666e-005 kg	2.52898e-007 m ³
6	Part6	NEOPRENO	5.81666e-005 kg	2.52898e-007 m ³
7	Part7	NEOPRENO	5.81666e-005 kg	2.52898e-007 m ³
8	Part8	NEOPRENO	5.81666e-005 kg	2.52898e-007 m ³
9	Part9	NEOPRENO	5.81666e-005 kg	2.52898e-007 m ³
10	Part10	NEOPRENO	5.81666e-005 kg	2.52898e-007 m ³
11	Part11	AISI 310S	0.0075137 kg	9.51101e-007 m ³
12	Part12	NEOPRENO	7.93017e-005 kg	3.4479e-007 m ³
13	Part13	NEOPRENO	7.93017e-005 kg	3.4479e-007 m ³
14	Part14	AISI 310S	0.0075137 kg	9.51101e-007 m ³
15	Part15	NEOPRENO	0.000134542 kg	5.84965e-007 m ³

4.4.3. Empotrado o Refrenamiento (restraint) del Aislamiento

En los estudios del no lineal, los refrenamientos, cargas, y condiciones del límite pueden ser función de tiempo. La dependencia de tiempo se especifica asociando una curva de tiempo con el refrenamiento, carga, o condición del límite.

Una vez que el COSMOSDesignSTAR ejecuta el mallado o (Mesh) se puede realizar el estudio después de terminar la red del modelo con éxito.

Los resultados múltiples están disponibles en los nodos comunes a dos o más elementos. Estos resultados no serán idénticos porque el método del elemento finito es

un método aproximado. Por ejemplo, si un nodo es común a tres elementos, puede haber 3 valores ligeramente diferentes por cada componente de tensión a ese nodo.

Restraint	
Restraint:1 <Part11>	El en 1 Face(s) Fijo.

4.4.4. Carga (Load) del Aislamiento


Es la carga que le permite aplicar al cuerpo o (fuerzas gravitatorias) en el material, para el uso en los análisis de estudio del mismo. Sólo se debe aplicar esta carga cuando la opción que se selecciona para tener los efectos de compresión durante el análisis.

La fuerza

La opción para aplicar una fuerza (la fuerza total) a los vértices, bordes, y caras.

Load	
Load:1 <Part14>	en 1 Face(s) aplique la fuerza normal 74000 N que usan la distribución uniforme

4.4.5. ESTUDIO DE PROPIEDADES EN MALLA EN EL AISLAMIENTO

Mallado Automático en 3D : Se aplica a entidades geométricas las cuales contengan una o mas partes, el COSMOSDesignSTAR permite exportar sólidos complejos mediante técnicas BRED y cálculo de intersecciones entre superficies. El modelo sólido así creado puede mallarse automáticamente con tetraedros de 4-6 nodos para un análisis estructural, térmico, fluidos o de electromagnetismo.

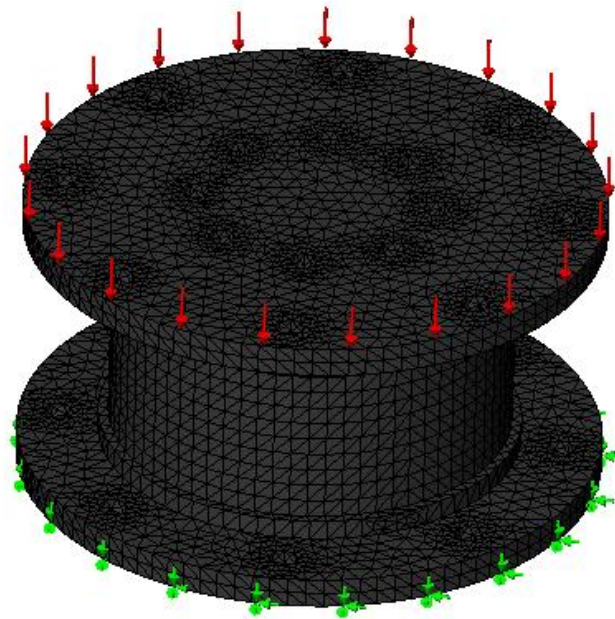


Fig. 4.20. Mallado del Aislamiento para su análisis

Esta distinción saca a lo siguiente dos requisitos:

- Muchos más elementos deben ocupar el dominio que en un análisis estructural típico;
- Las transiciones en el tamaño del elemento deben ser relativamente lisas para que el área o volumen de elementos adyacentes no varíen substancialmente.

Intentando satisfacer éstos criterios, los ingenieros construyen a veces nodos muy grandes, que el elemento finito plantea, particularmente cuando la geometría es compleja. Los análisis en 3D típicos contendrán en cualquier parte de 5,000 a 100,000 nodos. Muchos más nodos pueden requerirse en algunas aplicaciones dependiendo del diseño.

El mallado en nuestro modelo resulta ser de 41857 NODOS

Con 216066 elementos por cada nodo



Fig. 4.21. Numero de Nodos y elementos del Aislamiento

Capacidad de Subestructurado para grandes problemas, que permiten construir y analizar los súper elementos del modelo utilizando procesos de condensación y recuperación.

Tabla. 4.4. Información de la Malla para el Aislamiento

LA INFORMACIÓN DE LA MALLA	
El Tipo de la malla:	La Malla sólida
Malla Usada	Normal
La Transición automática:	1
Incluye los Mandos de la Malla:	1
La Superficie lisa:	1
Jacobian Check:	4 puntos
El Tamaño del elemento:	0.89382 mm
La tolerancia:	0.044691 mm
La calidad:	El proyecto
El número de elementos:	216066
El número de nodos:	41857

CAPITULO V

5. ANÁLISIS Y VALORACIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1. ANÁLISIS Y RESULTADOS DE SISTEMAS SINUSOIDAL Y RESONANCIA

La respuesta del sistema, con la alimentación de datos nos permite una retroalimentación, con la medición de la amplitud como la senoide y la resonancia, de cada una de las salidas, que se representan gráficamente en cada Scope, denominados Sinusoidal y Resonancia.

Determinando el subsistema Fig.4.3. denominado intensidad.

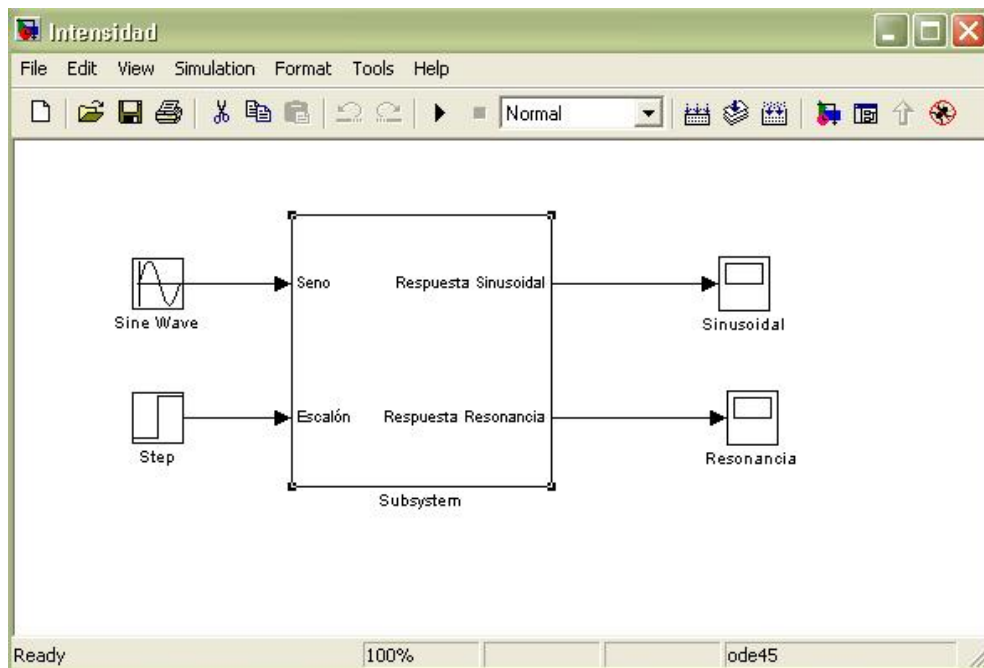


Fig. 4.3. Mascara (Subsistema Intensidad), entradas y salidas

Mediante la Fig. 5.1. del capítulo IV podemos insertar datos que se representa a continuación.

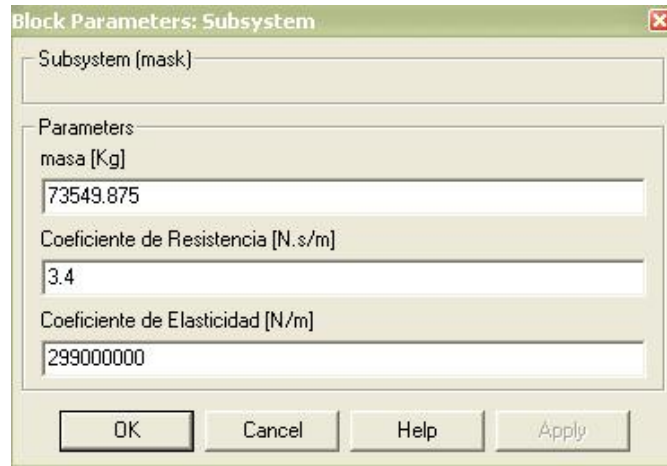


Fig. 5.1. Bloque de parámetros del subsistema, alimentación de datos

La respuesta que nos ofrecen los Scope, representados gráficamente demostrados, de acuerdo a valores permisibles obtenemos:

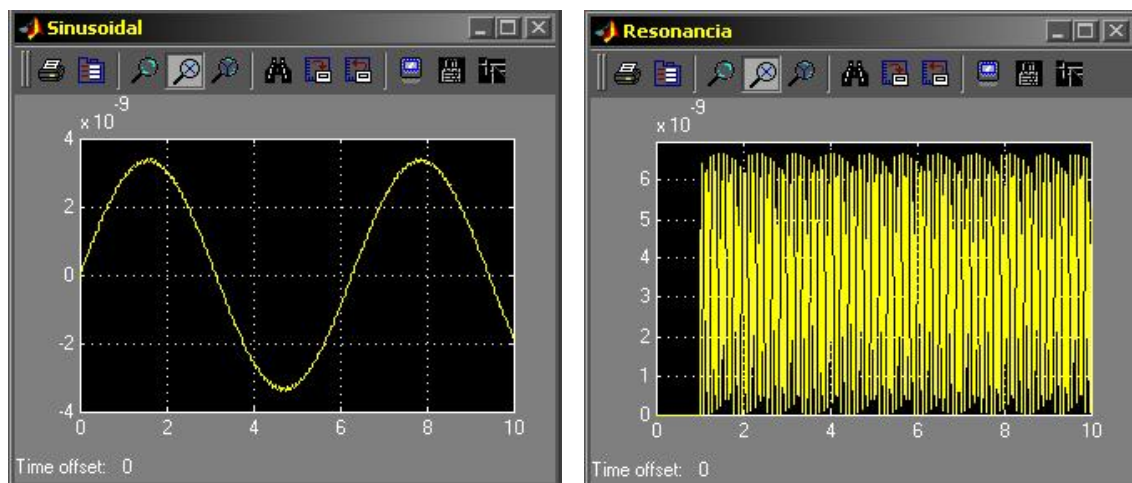


Fig. 5.2. Resultados Sinusoidal y Resonancia

En el sistema, las salidas denominada Scope, donde cada una representa la Sinusoidal y la Resonancia, de un análisis de frecuencias oscilatorias, dependiendo de la cargas que varían con el tiempo a una velocidad considerable, las cuales tomamos como cargas de impacto, los coeficientes que tomamos en cuenta son de Resistencia y Elasticidad, que determinan el comportamiento del movimiento, recibiendo diferentes entradas de frecuencias. Se compara las Ecuaciones tomando en cuenta que ellas han sido transformadas a Laplace, actuando la masa en función del tiempo $x(t)$.

La respuesta puede variar respectivamente si aumentamos la masa en el Bloque de Parámetros del subsistema (Fig.5.1.).

La distorsión de la Frecuencia de salida, se encuentra al momento de aumentar la masa de entrada, de aquí la sensibilidad con respecto a como varían los movimientos en estado estático o oscilatorio.

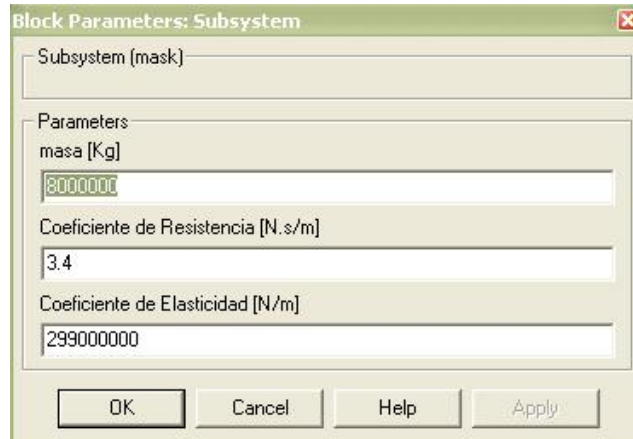


Fig. 5.3. Bloque de parámetros del subsistema, alimentación de datos

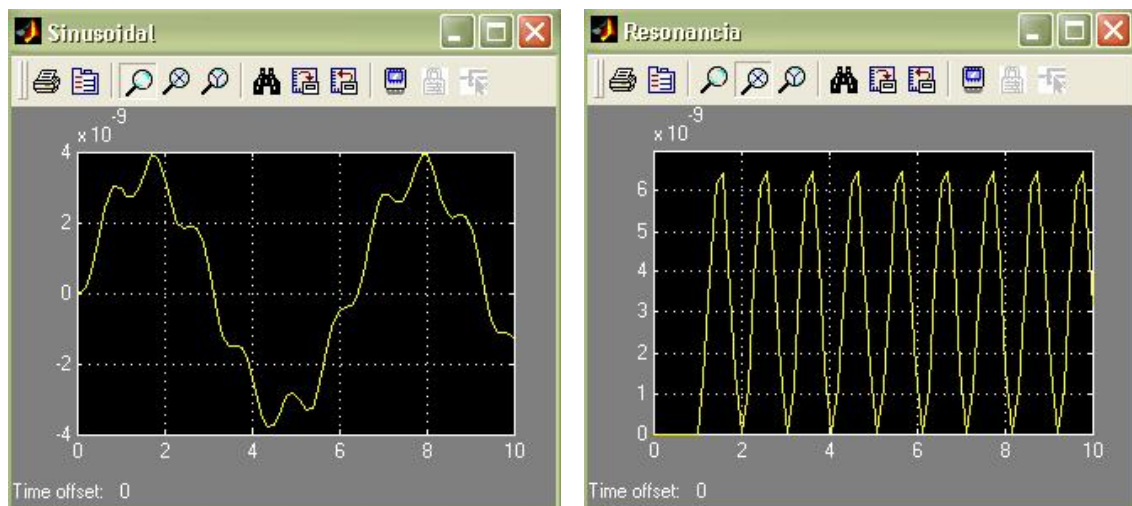


Fig. 5.4. Resultados Sinusoidal y Resonancia

5.2. ANÁLISIS Y RESULTADOS CON EXISTENCIA DE RESONANCIA

Determinando cada uno de los Bloques con sus respectivos parámetros procedemos a la unión de cada uno, tomando en cuenta cual es la unión de cada bloque de la Fig. 4.11. del Sistema de Resonancia utilizado.

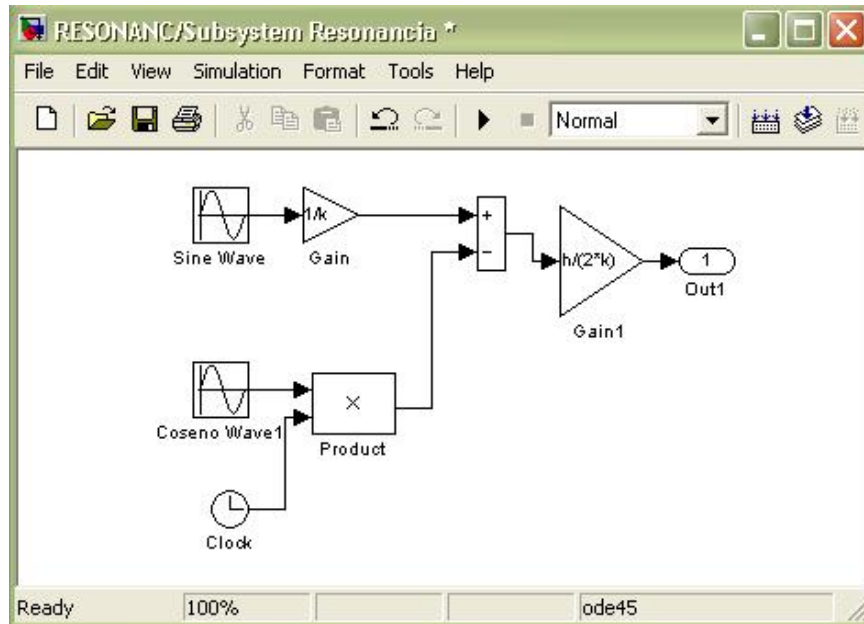


Fig. 4.11. Subsistema del Sistema de Resonancia

Creamos una mascara de el sistema seleccionando todos los bloques a este lo denominaremos Subsistema de Resonancia con una salida a un Scope para su representación Grafica. Fig. 4.12.

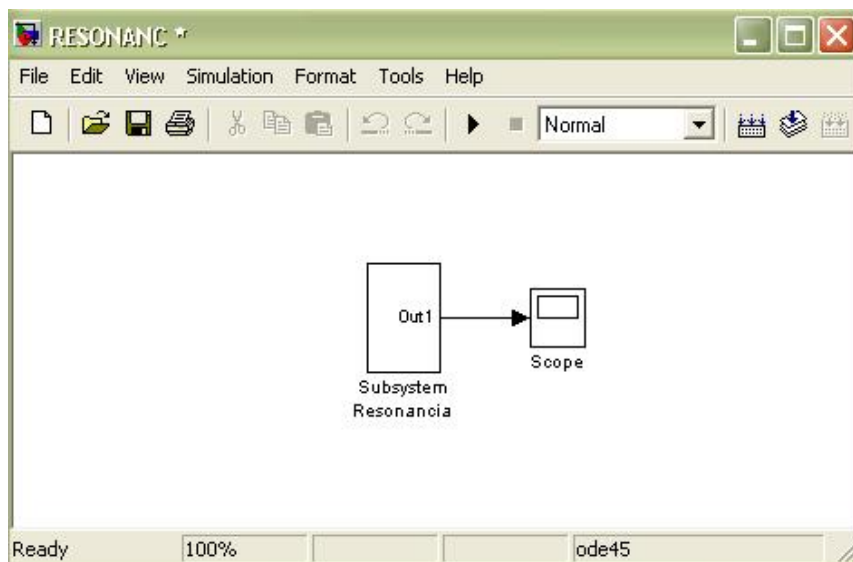


Fig. 4.12. Mascara del Sistema de Resonancia

La podemos generar, colocando antes los parámetros de cada variable en el editor de la mascara (Mask editor) del subsistema denominado Resonancia.

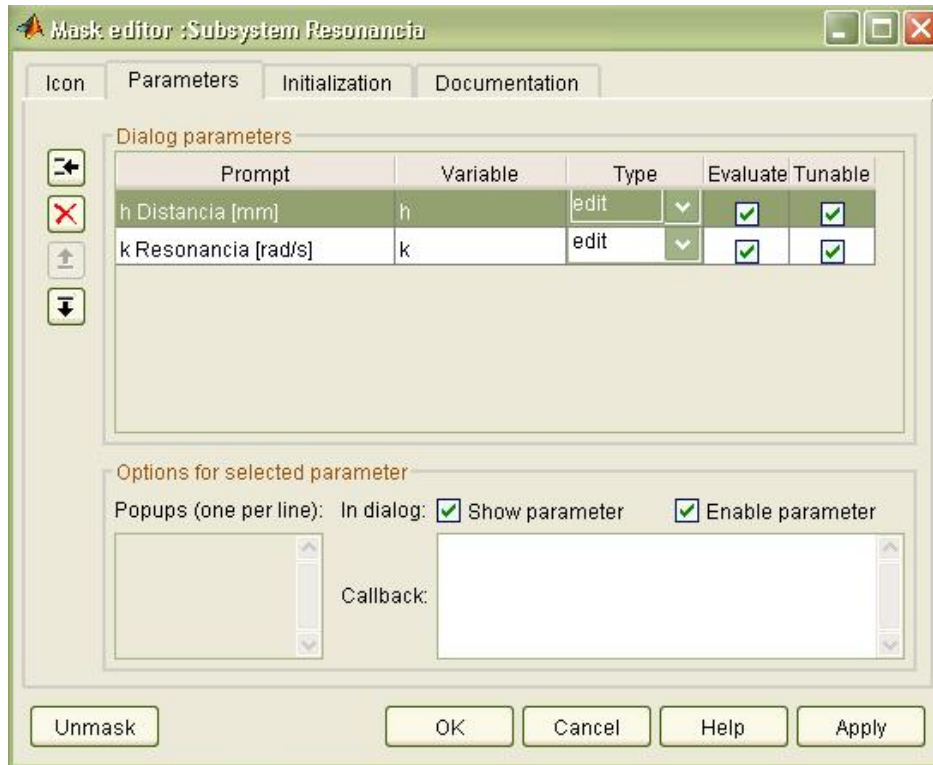


Fig. 5.5. Mascara del Sistema de Resonancia

Podemos generar la respuesta del sistema introduciendo valores en la mascar del subsistema

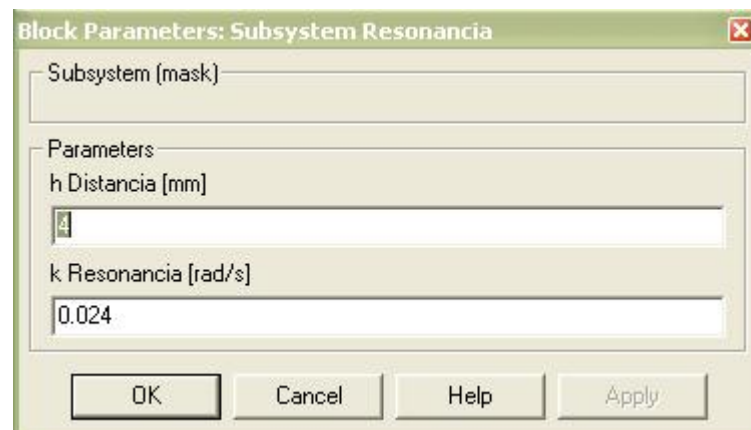


Fig. 5.6. Bloque de parámetros para el sistema de resonancia

la distancia en mm de la resonancia tenemos:

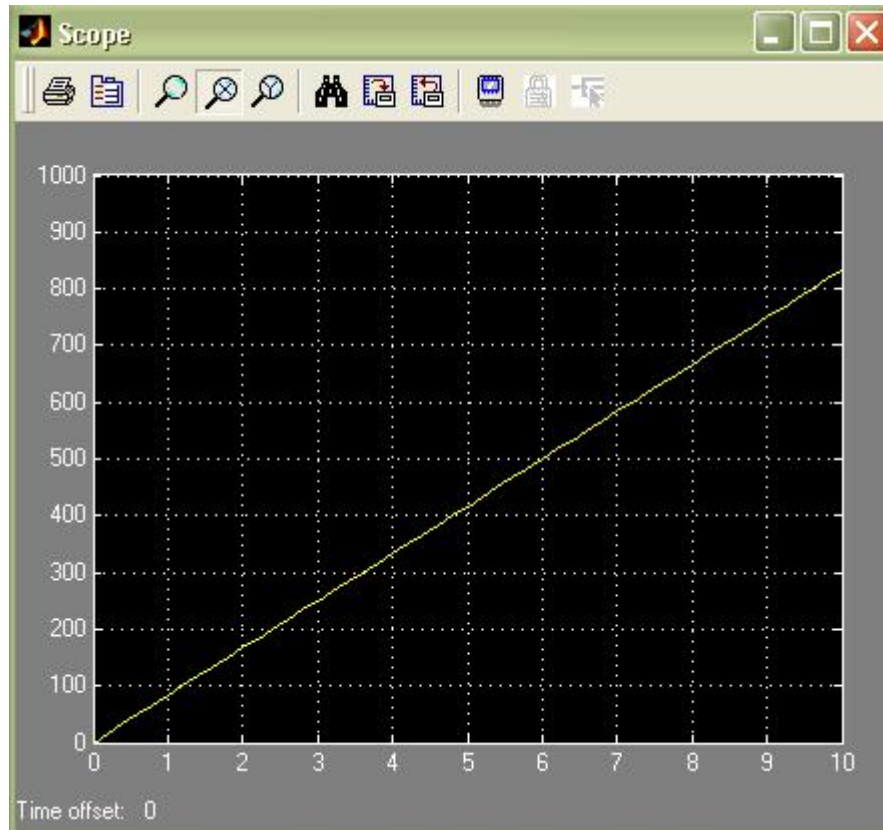


Fig. 5.7. Respuesta de la Resonancia

La respuesta de nuestra grafica representa con el andar del tiempo el segundo término puesto entre los paréntesis crece, en módulo, indefinidamente, lo que muestra que hay una resonancia.

Cuando se tiene en cuenta los datos de las ecuaciones, que le presiden, se puede determinar el movimiento si la perturbación es un salto unitario.

5.3. ANALISIS DE LA RESPUESTA DEL MOVIMIENTO QUE EXISTIRA, INTERCEDIENDO EL AMORTIGUADOR

Para el análisis utilizamos el subsistema representado en la Fig. 4.15. la estructura interna del sistema configuramos en el capítulo IV la representación de la ecuación:

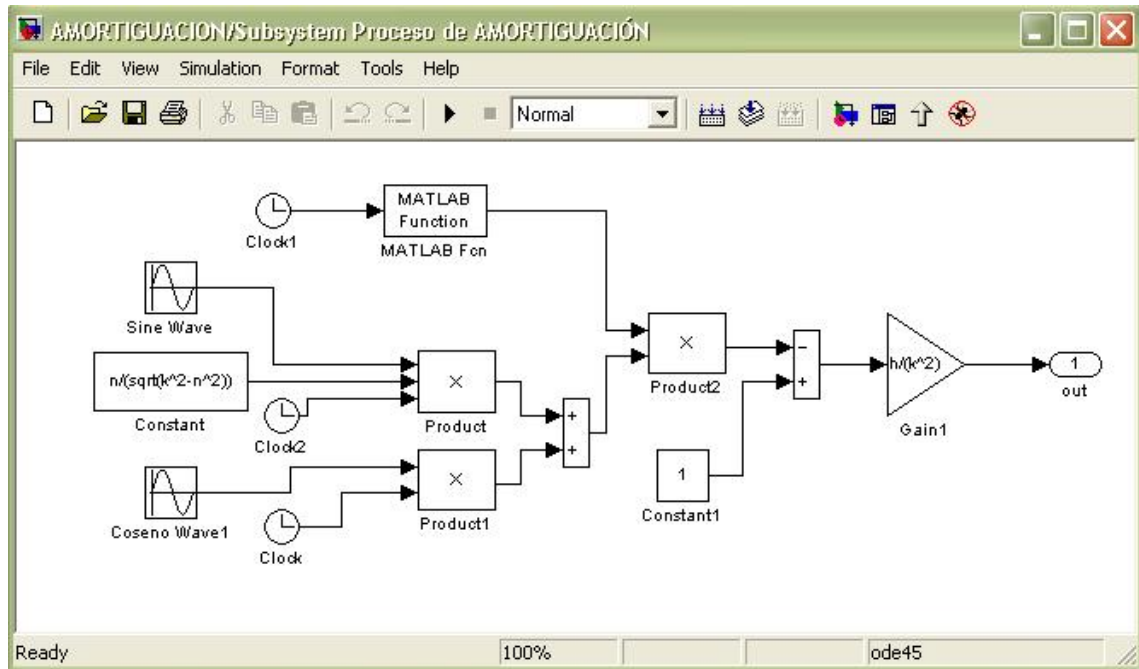


Fig. 4.15. Subsistema de la amortiguación de las oscilaciones

Para tener el resultado solamente tenemos que agregar valores dependiendo los parámetros que correspondan a cada variable:

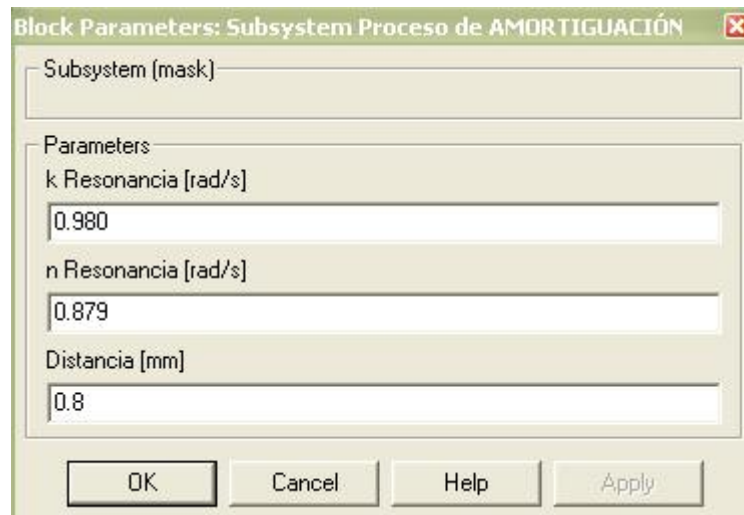


Fig. 5.8. Bloque de Parámetros de Resonancia

La respuesta del sistema es:

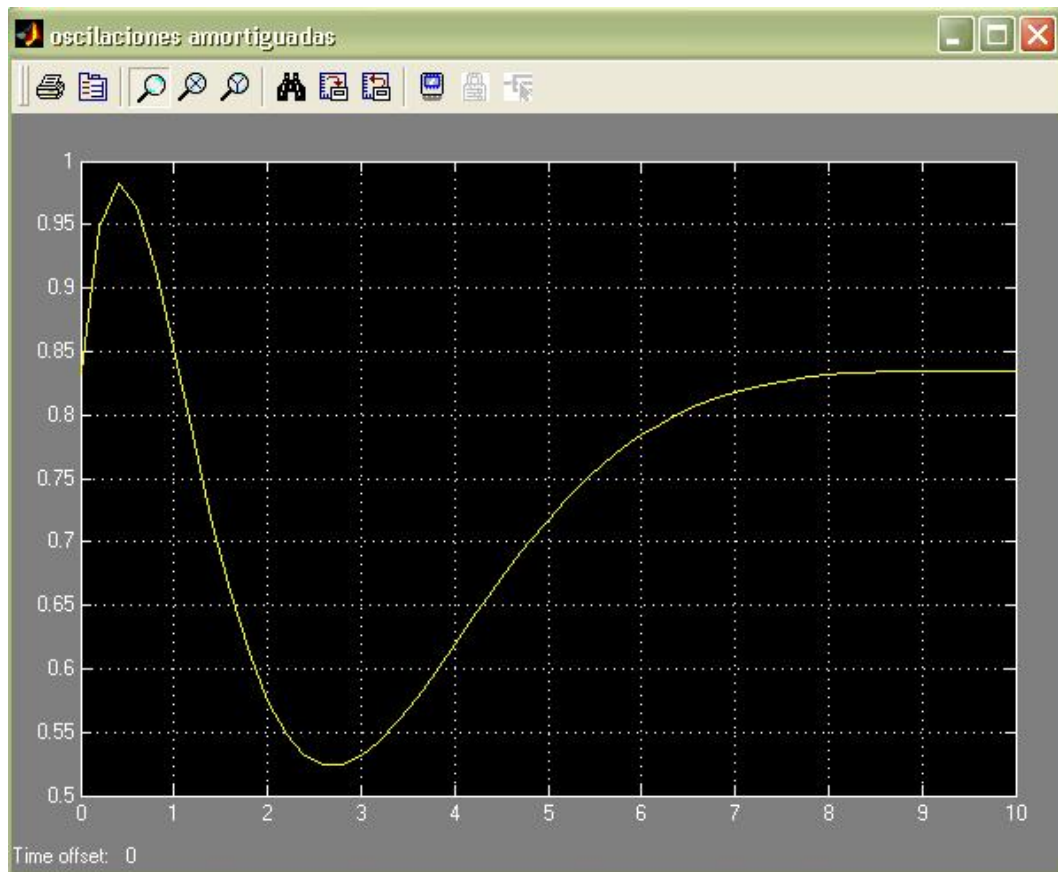


Fig. 5.9. Resultados Sinusoidal y Resonancia

La solución obtenida da el movimiento estacionario, o sea, en este caso la nueva posición del equilibrio estático del sistema. Los cuales describen las oscilaciones amortiguadas que el sistema efectúa alrededor de esta nueva posición de equilibrio, dicho oscilación es un proceso transitorio.

Las oscilaciones forzadas de gran frecuencia, o sea cuando $k > p$, el desplazamiento de la masa entre la fase de la fuerza perturbadora S y la de las oscilaciones forzadas x , es igual a π (las oscilaciones forzadas se retrasan en fase de la fuerza perturbadora respectiva en π).

Las oscilaciones forzadas del punto material (masa) en nuestro caso, se producen por la acción del sistema de fuerzas en la cual hay una fuerza de recuperación F y una fuerza perturbadora S . El eje donde está orientado el sistema, da la referencia de la línea de acción de las fuerzas F y S .

5.4. INFLUENCIA EJERCIDA POR LA FUERZA DE RESISTENCIA, PROPORCIONAL AL TIEMPO, SOBRE LAS OSCILACIONES FORZADAS DEL PUNTO MATERIAL.

La respuesta de nuestro sistema ante las oscilaciones llamadas también *perturbadoras* la fuerza aplicada al punto material y dado en función del tiempo.

La representamos en la grafica siguiente:

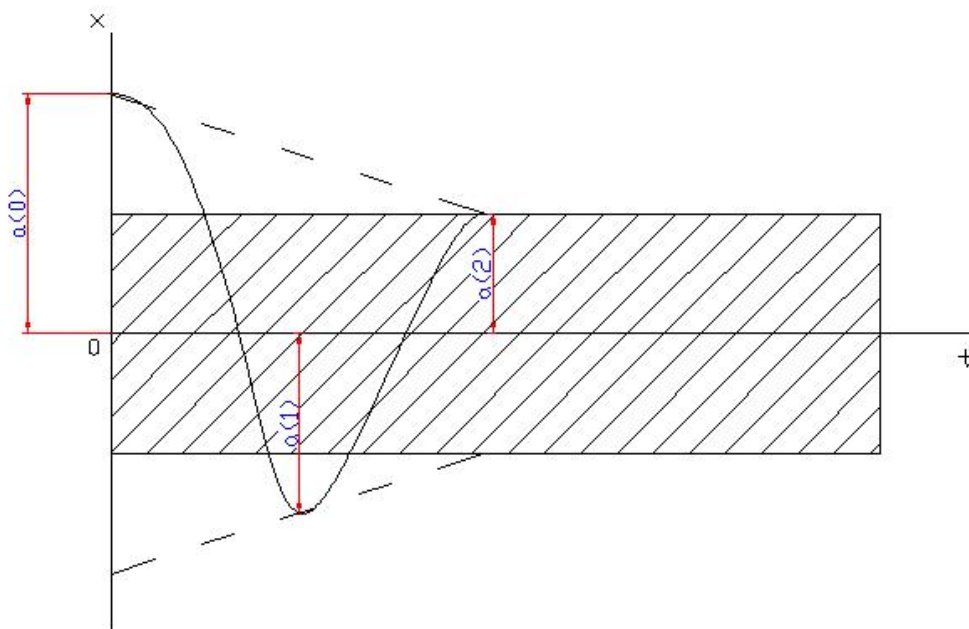


Fig. 5.10. Respuesta de las Oscilaciones

La existencia en el transcurso de un periodo de número finito de máximos y mínimos y un número finito de punto de discontinuidad de primer genero $a(0)$, describiendo el movimiento del punto material de izquierda extrema a derecha mínima anulando completamente la fuerza perturbadora o oscilación de $a(1)$ a $a(2)$.

Los ejes descritos en la grafica es x las **oscilaciones**, y el eje t el **tiempo** en que la perturbación disminuye.

Tomaremos las respuesta de nuestra grafica analizando los datos obtenidos en el instante en que inicia la oscilación a $(0) = 0.84$ cm. Dentro de un semiperiodo, ósea en el instante $t = 0$ seg. El punto material tendrá la desviación máxima que es 0.84 cm de desplazamiento. Al igual que aumenta la perturbación en $x = 0.98$, conforme aumenta el tiempo $t = 0.5$, luego comienza una disminución en $x = 0.53$, en el tiempo comprendido entre $t = 1$ a $t = 3$ segundos, así mismos comienza a nivelar la perturbación desde $x = 0.54$ a 0.84 en un tiempo de $t = 3$ a $t = 8$, estabilizando o nivelando la oscilación comenzando el punto material a mantener su estado.

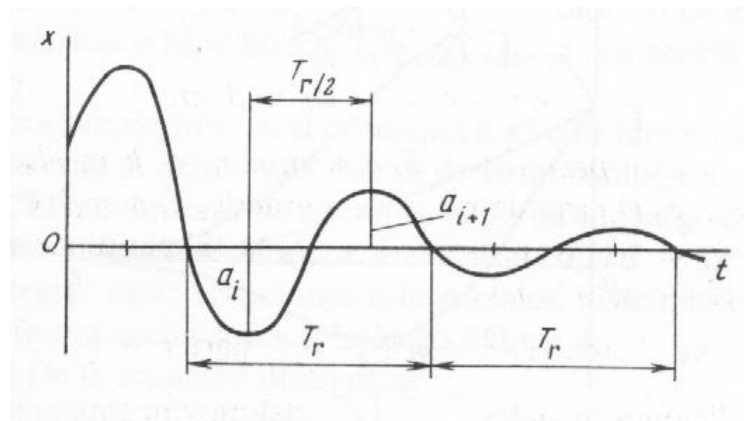


Fig. 5.11. Representación de la perturbación

La perturbación será disminuida gracias a la presencia del amortiguador.

Se llama decremento de oscilaciones en relación entre dos amplitudes contiguas en tiempo T_r ofreciendo una resistencia, proporcional a la velocidad, decreciendo las amplitudes de a_0, a_1, a_2, \dots , con cada periodo.

5.5. RESULTADOS DE ANÁLISIS DEL AISLAMIENTO MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS

Para el análisis del aislamiento que nos ofrece el Software de COSMOSDesignSTAR 4.0, obtuvimos los siguientes resultados en aspectos de tensión, desplazamiento, tensión equivalente, deformación, ofreciendo un análisis minucioso en los nudos que ha creado el Mallado representado

5.5.1. RESULTADOS DE LA TENSIÓN

DIAGRAMA DE PLOT 4

AISLADOR-Compresión :: Static Nodal Stress
 Units : N/m^2 Deformation Scale 1 : 0.24795

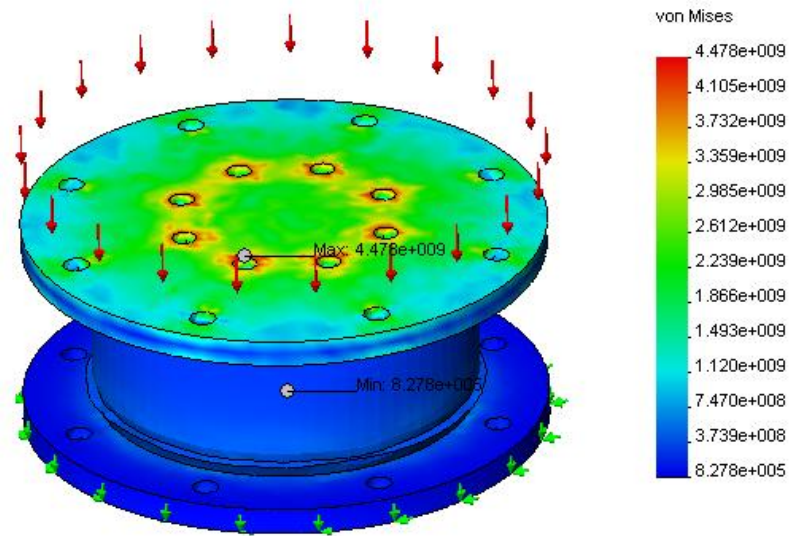


Fig. 5.12. Representación de la Tensión en el Aislamiento

Tabla 5.1. Plot-3 Tensión

Nombre	TIPO	Min	Localización	Max	Localización
Plot-3	VON: von Mises Tensión	827806 N/m^2 Node: 28571	(16.3059 mm, -93.6612 mm, 59.5773 mm)	4.47783e+009 N/m^2 Node: 38108	(19.5187 mm, -89.797 mm, 46.2773 mm)

La tabla 5.1. representada en el Plot-3 es la Tensión cuando se simula, obteniendo los puntos Máximos y Mínimos donde se provocan las tensiones.

Von Mises

El Número del paso

Los juegos el número de paso de solución. Esta entrada sólo se usa con los estudios del no lineal. Solución en que los resultados están disponibles.

Las unidades

Los juegos de las unidades deseadas. Las unidades disponibles son: N/m², kgf/cm², y MPa.

El componente

Los juegos el componente de tensión a ser trazado. Define las cantidades de tensión siguientes basadas en una geometría de la referencia seleccionada:

Las cantidades siguientes no usan la geometría de la referencia:

P1 = la tensión Normal en la primera dirección principal

P2 = la tensión Normal en la segunda dirección principal

P3 = la tensión Normal en la tercera dirección principal

VON = la tensión de Von Mises

INT = la intensidad de Tensión = P1 - P2

Donde:

$$VON = \left\{ \frac{1}{2} [(SX - SY)^2 + (SX - SZ)^2 + (SY - SZ)^2] + 3 (TXY^2 + TXZ^2 + TYZ^2) \right\}^{1/2}$$

VON también puede expresarse por lo que se refiere, a la sumatoria de las tensiones normales P1, P2, y P3 calculado en todo el diseño por:

$$VON = \left\{ \frac{1}{2} [(P1 - P2)^2 + (P1 - P3)^2 + (P2 - P3)^2] \right\}^{1/2}$$

5.5.2. RESULTADOS DEL DESPLAZAMIENTO

DIAGRAMA DE PLOT 4

AI SLADOR-Compresión :: Static Displacement
 Units : mm Deformation Scale 1 : 0.24795

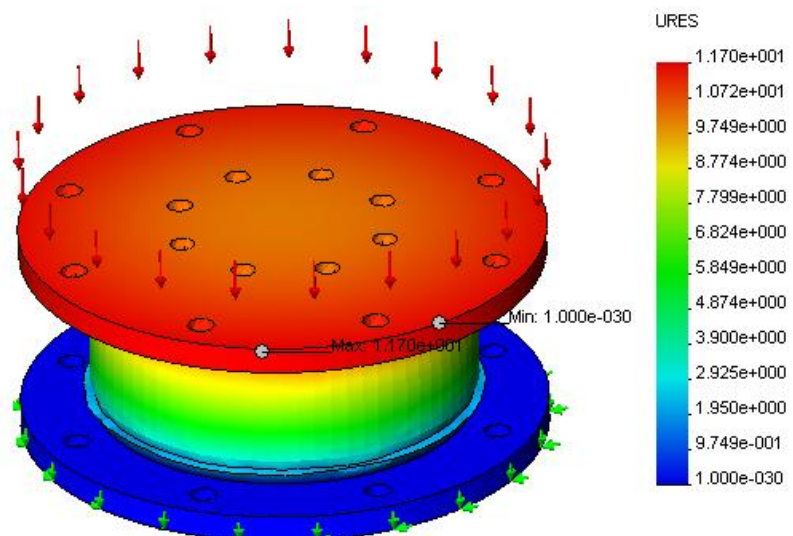


Fig. 5.13. Representación del Desplazamiento en el Aislamiento

Tabla 5.2. Plot-4 Cuadro de referencia de los puntos de Desplazamiento resultante, Máximos y Mínimos.

Nombre	TIPO	Min	Localización	Max	Localización
Plot-4	URES: Resultante del Desplazamiento	0 mm Node: 26095	(9.05623 mm, -106.117 mm, 61.0773 mm)	11.6986 mm Node: 37294	(29.0809 mm, -86.6995 mm, 46.2773 mm)

Obteniendo el inicio de 0 mm en el nudo 26095 que será el mínimo y el máximo desplazamiento será a 11.6986 mm en el nudo 37294

5.5.3. RESULTADOS DE LA TENSIÓN EQUIVALENTE

DIAGRAMA DE PLOT 5

AISLADOR-Compresión :: Static Strain
 Deformation Scale 1 : 0.24795

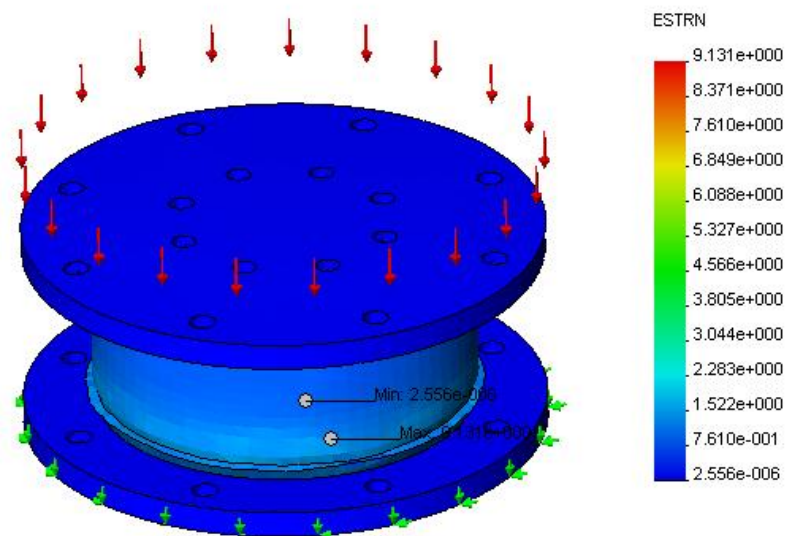


Fig. 5.14. Representación de la Tensión Equivalente en el Aislamiento

Tabla 5.3. Plot-5 Cuadro de referencia de los puntos de Tensión Máximos y Mínimos.

Nombre	TIPO	Min	Localización	Max	Localización
Plot-5	ESTRN : Tensión Equivalente	2.55635e-006 Element: 143312	(16.4818 mm, -94.7579 mm, 60.1371 mm)	9.13146 Element: 531	(22.0569 mm, -93.7095 mm, 58.5903 mm)

5.5.4. RESULTADOS DE LA DEFORMACIÓN

AISLADOR-Compresión :: Deformed Shape
 Deformed Shape Deformation Scale 1 : 0.24795

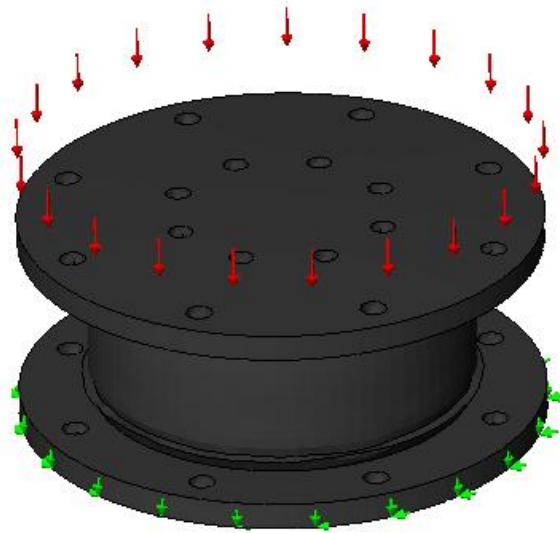


Fig. 5.15. Representación de la Deformación en el Aislamiento

Tabla 5.4. Plot-6. Factor de Escala

Plot No.	Factor de Escala
6	0.24795

La sección de Fondo de Análisis para más detalles.

CAPITULO VI

6. VALORACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

6.1. INTRODUCCIÓN

En la mayoría el riesgo potencial en una localidad depende de la sismicidad regional, de la forma como se atenúa la intensidad del movimiento (aceleración), velocidad, etc., en la localidad, con la distancia y de las características del suelo local.

En la Ingeniería Electromecánica el nivel de riesgo debe ser expresado por parámetros de diseño, como los esperados con cierto nivel de probabilidad de excedencia; así como las estructuras metálicas que tienen que soportar el peligro, por la existencia de fenómenos sísmicos, afrontando la responsabilidad de diseño y durabilidad de estas construcciones.

6.2. VALORACIÓN ECONÓMICA

Con el análisis económico y una factibilidad de la nueva inversión, tomaremos en cuenta el cálculo de los costos de capital, costos de operación y el cálculo del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), para el tiempo de recuperación de la inversión.

En el cálculo de los costos capitales (CP) se utilizará la metodología cual se basa en el costo de materiales (CM).

Tomando como base los equipos y materiales necesarios para el ensamblado establecidos en el presente trabajo y en los cuales se debe invertir calculamos el CM.

Tabla 6.1. Costo del Equipamiento Básico

EQUIPOS	MATERIAL	CANTIDAD A UTILIZAR	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
AISLAMIENTO PLANCAS CENTRALES	Neopreno	12	46,44 \$	512,44 \$
AISLAMIENTO PLACAS SUPERIOR Y INFERIOR	AISI 310S	2	48,00 \$	96,00 \$
PERNOS DE ANCLAJE		8	10,00 \$	80,00 \$
ACCESORIOS		10	0,80 \$	8,00 \$
TOTAL				696,44 \$

Tabla 6.2. Cálculo de los costos capitales de la inversión propuesta.

	Fórmula	Resultado
A	CM	696,44 \$
B	(0.17-0.25) CM	146,2524 \$
C	(0.13-0.25) CM	132,3236 \$
D	(0.07-0.25) CM	111,4304 \$
E	(0.03-0.12) CM	52,233 \$
F	(0.33-0.55) CM	306,4336 \$
G	(0.07-0.15) CM	76,6084 \$
H	(0.07-0.15) CM	76,6084 \$
I	(0.03-0.18) CM	73,1262 \$
J	(0.30-0.33) CM	219,3786 \$
K	Costo capital	1890,8346 \$

Denominaciones:

- A Costo total de los materiales
- B Costo de instalación
- C Costo de electricidad
- D Costo de montaje
- E Costo de instrumentación

- F Edificaciones, servicios mecánicos
- G Servicios auxiliares a la planta
- H Edificaciones auxiliares, incluyendo servicios de alumbrado
- I Viales fabriles
- J Administración de proyectos
- K Costos fijos completos

6.2.1. CÁLCULO DE LOS COSTOS DE OPERACIÓN.

Tabla 6.3. Costos por conceptos de salarios anuales

DESIGNACIÓN	NO DE TRABAJADORES	SALARIO MENSUAL	SALARIO ANUAL TOTAL
Salario Labores de Operación	1 Operador de mantenimiento	210,00 \$	2 520,00 \$
Total			2 520,00 \$

$$Q_a = 120 \text{ m}^3/\text{año} * 881\text{kg/m}^3 = 105,72 \text{ t/año}$$

Tabla 6.4. Producción anual y costos de salarios por toneladas

Q _a (t/año)	Salarios / Año (\$)	Salarios / PIEZA
105,72	2520,00	0,044 \$/t

Suministros para mantenimiento

No necesita mantenimiento

6.2.2. COSTOS TOTALES DE OPERACIÓN

Tabla 6.5. Cálculo de los costos totales de operación

DESIGNACIÓN	RESULTADO
Salarios	0,044
Suministros para mantenimiento	0,025
Costos totales de Operación (\$ / t)	0,289
Costos totales de Operación (\$ / año)	350,81

6.2.3. CALCULO DEL VALOR ACTUAL NETO (VAN) Y LA TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

El cálculo del VAN tiene en cuenta el valor del dinero en el tiempo, por lo que se hicieron los análisis por un periodo de tres años.

Teniendo en cuenta que:

$$VAN = -C_0 + C_1 / (1+K) + C_2 / (1+K)^2 + \dots + C_n / (1+K)^n$$

C₀: Desembolso inicial de la inversión (\$/año)

C_n: Flujo de fondo

K: Tasa de interés (%)

Se toma K= 12%

El tiempo de recuperación de la inversión se calculará por:

$$R = C_0 / C_n$$

$$C_n = 691,41\$$$

Tabla 6.6. Cálculo económico del VAN, el TIR y R.

C ₀	C ₁	C ₂	C ₃
$2241,64 \cdot (1,3)/3$	$971,38/(1+0,12)$	$971,38/(1+0,12)^2$	$971,38/(1+0,12)^3$
-971,38	867,30	774,38	691,41

$$VAN = -971,38 + 867,30 + 774,38 + 691,41$$

$$VAN = 1361,71 \$$$

TIR= 0,84 %

R =1,4 años

Para realizar el cálculo de la Tasa Interna de Retorno se graficó varios valores del VAN vs. TIR, obteniéndose como resultado representado en la Figura 6.1.

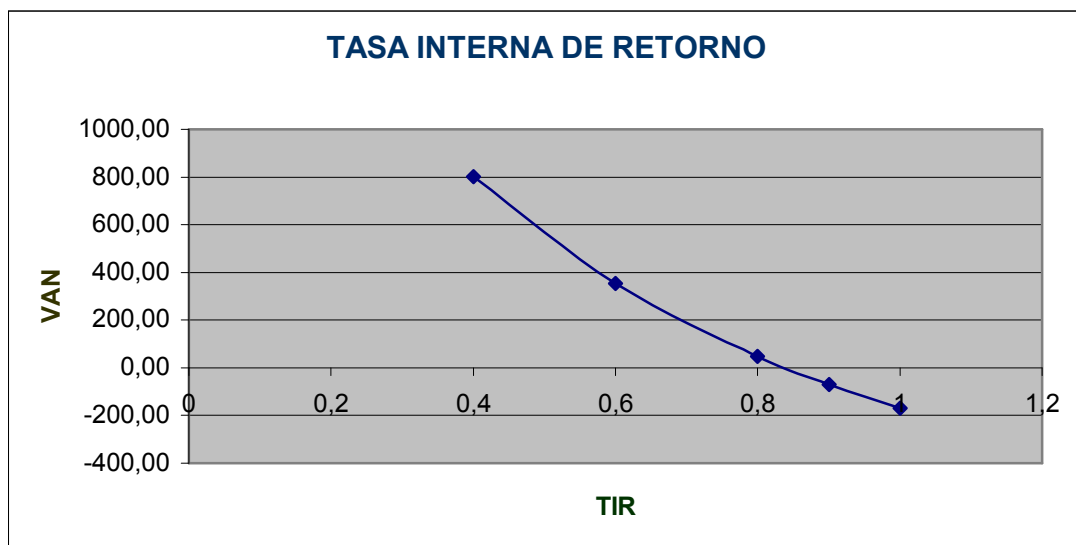


Fig. 6.1. Determinación de la Tasa Interna de Retorno.

6.3. BENEFICIOS DEL AISLAMIENTO

El diseño del Aislamiento Elastoplástico ofrece múltiples beneficios como son:

- La implantación en lugares donde las estructuras alojan equipos de costos altos.
- Pueden soportar y mantener fuera de vibraciones al encontrarse fijos unidos a máquinas evitando su desplazamiento y vibración.
- La economía al elegir materiales de costos bajos y resistentes a medios agresivos lo cual permite una durabilidad de 50 años.
- El mantenimiento no es necesario por la composición de los materiales utilizados.
- Disminución del peligro sísmico determinando la vida útil de estructuras o mecanismos de trabajo.

- El acero es un material 100 % reciclable además de ser degradable por lo que no contamina.
- El neopreno es un material 80% reciclable de bajo costo en el mercado y no contamina el medio.
- Según los resultados de la investigación realizada, el costo de fabricación es de alrededor de \$(400 a 500) USD, por unidad. Si para ello se añade la mano de obra del costo de fabricación, el costo total estaría \$(650 a 700) por concepto de compra de materiales.

Una solución técnica y económica razonable resultaría la fabricación en serie dependiendo de uso comercial para garantizar su elevada resistencia al desgaste en presencia de medios agresivos.

6.4. COSTO DE MATERIALES PARA EL ESTUDIO DEL AISLAMIENTO

Tabla 6.7. Costo de materiales

DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	P. TOTAL
Biblioteca	Varios	7	4,50	31,50
software	U	4	120,00	480,00
vinchas	Varios	1	3,50	3,50
diseño	Varios	1	10,60	10,60
Escalimetro y pie de Rey	Varios	2	30,50	61,00
SUBTOTAL				586,60

6.5. VALORACIÓN TÉCNICA

Tabla 6.8. Valoración Técnica

DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	P. TOTAL
Papel Bon A4	hojas	500	0,05	25,00
Borrador	U	50	0,15	7,50
Rotulados	U	5	0,90	4,50
Carpetas	U	6	0,25	1,50
Copias de Revistas y Folletos	Varios	60	0,15	9,00
Libros Sobre el tema	Varios	20	20,50	410,00
Internet	tiempo (horas)	40	0,50	20,00
Cuadernos	U	34	0,03	1,02
SUBTOTAL				478,52

6.6. VALORACIÓN TECNOLÓGICA

Tabla 6.9. Valoración Tecnológica

DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	P. TOTAL
MATERIAL METALICO	U	3	1,50	4,50
Flexometro	U	1	1,60	1,60
Nivel	U	1	3,00	3,00
Escuadras	U	3	0,50	1,50
Computadora	Varios (costo de Tiempo de uso)	3	4,00	12,00
Diskett	Varios	40	3,50	140,00
Internet	tiempo (horas)	80	5,00	400,00
Tinta de Impresora	U	4	30,00	120,00
SUBTOTAL				682,60

CONCLUSIONES

- ❏ En la trascendencia del proyecto, se preciso con mayor claridad los objetivos propuestos, que textualmente expresan el mismo orden con que se a llegado alcanzar su terminación
- ❏ Se obtiene la importante conclusión de que la aplicación del Control de estructura variable en régimen deslizante es apto, en principio, para el control activo de vibraciones, ya que el sistema controlado se estabiliza, no vibra, y se tiene la ventaja de que no es afectado por perturbaciones ni errores de modelado.
- ❏ Se realizó un modelo dinámico, como base para el modelo matemático aplicado para este estudio.
- ❏ Elaboración de principios analíticos de cálculo para el estudio de solicitaciones en las placas de hule bajo cargas.
- ❏ Comprueba la resistencia del diseño del Aislamiento bajo tensiones superficiales, y de compresión.
- ❏ El modelo que representa a la máquina es de sencilla implementación y ha permitido estudiar las posibles colocaciones de los aisladores así como también observar que características puede tener el amortiguador que se utilice.
- ❏ Aumenta la disponibilidad del equipamiento Tecnológico.
- ❏ Aumento la durabilidad en una estructura importante como solución técnica.
- ❏ Se debe entender lo aquí expuesto como una primera fase de aproximación dentro de un desarrollo que pretende llevar a la práctica la metodología de control expuesta.
- ❏ Por ser una primera aproximación, cabe esperar que, una vez que se den los primeros pasos en el desarrollo práctico del trabajo, en la práctica se introduce un amortiguamiento intencional para evitar resonancias que pueden provocar sobré desplazamientos, y sea necesario corregir los modelos obtenidos y ajustar la estrategia de control.
- ❏ Según los resultados de la investigación realizada, el costo de fabricación es de alrededor de \$(400 a 500) USD, por unidad. Si para ello se añade la mano de obra del costo de fabricación, el costo total estaría \$(650 a 700) por concepto de compra de materiales.

RECOMENDACIONES

Se recomienda su construcción para comprobar físicamente su capacidad mecánica.

Para su implantación en lugares de conveniencia dependiendo de su tamaño, se puede elegir los materiales que sean más convenientes, en realidad este es un requerimiento que va dirigido más al fabricante que al diseñador.

Recomendamos analizar el comportamiento de las estructuras metálicas una vez implementado este dispositivo disipador de vibraciones

1. Se recomienda que en los problemas referentes a oscilaciones libres donde se amortiguan puntos materiales, escribir las condiciones del movimiento.
2. Diseñar con aislamientos en las bases de la estructura, capaces de resistir las sollicitaciones horizontales provenientes del sismo y el viento en dos direcciones ortogonales.
3. Representar en el modelo sea estático o dinámico tomando en cuenta las reacciones de cada uno.
4. Implementar un control de calidad muy riguroso en todos los procesos de soldadura en estructuras.
5. Integrar la ecuación diferencial del movimiento, utilizando las condiciones iniciales del movimiento para la determinación de las constantes de integración.
6. Para determinar frecuencias como k y el periodo de oscilaciones T no se necesita en la mayoría de los casos integrar la ecuación diferencial del movimiento.
7. Al escribir la ecuación diferencial del movimiento de un punto material conviene considerar las condiciones del equilibrio estático del punto material que efectúa las oscilaciones.
8. Pasar a la ecuación de la transformada, reemplazando todos los términos de la ecuación diferencial por sus transformadas de Laplace, al tener en cuenta las condiciones iniciales.
9. Cuando un punto material efectúa un movimiento aperiódico (periódico) es rápidamente amortiguado, en diferentes casos el sistema colapsaría.
10. En el caso $n < k$ es de resistencia grande el punto material efectúa oscilaciones amortiguadas, pues la fuerza es de resistencia al movimiento, proporcional a la velocidad, disminuye la frecuencia de las oscilaciones, lo contrario sería una medición errónea en el sistema.

BIBLIOGRAFÍA

1. NORMAS AISI – ASTM. Tablas. pp. 432. 434.455
2. ARGUDO J., et al. "Leyes de Atenuación del movimiento del terreno bajo solicitaciones sísmicas". Proyecto de Investigación CONUEP - Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Documento inédito. Guayaquil, 1999. pp. 43, 90, 91.
3. ARGUDO J., et al. "Vulnerabilidad Sísmica de Viviendas de Interés Social en Guayaquil". Proyecto Fundacyt-Bid-Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Documento inédito. Guayaquil, 1997. pp. 45, 80, 82, 83.
4. ECAPAG. Evaluación de los sistemas existentes. Programa de concesión de los servicios de Agua Potable y Alcantarillado de Guayaquil. Consultora Banque Paribas. 1997. pp. 220
5. FUENTES A. Entrevistas a 20 instituciones operadoras de servicios e instalaciones vitales de la ciudad de Guayaquil. 1998 - 1999. Anexo A1 del proyecto RADIUS. pp. 154
6. GEOHAZARDS INTERNATIONAL, 1994, The Quito, Ecuador, Risk Management Project, An Overview, Published by GeoHazards International, San Francisco, USA. pp. 195
7. GAULD, Bryan, Structures for architects, England 1988, edit. Longman Scientific & Technical, pp. 174
8. MATTHEIß, Jürgen, Hormigón. Armado, armado aligerado, pretensado, España 1980, edit. Reverté, pp. 236
9. SCHUELLER, Wolfgang, High-Rise building structures, EEUU 1977, edit. John Wiley & Sons, pp. 274.
10. COWAN, Henry, Design of reinforced concrete structures, EEUU, 1982, edit. Prentice-Hall, pp. 286
11. MELI, Roberto, Diseño estructural, México 1990, edit. Limusa, Pág. 582 pp.
12. GONZÁLEZ, Ignacio, Análisis de estructuras arquitectónicas, México 1992, edit. Trillas, pp. 173
13. IMCA, Manual de construcción en acero, vol. 1, México 1990 edit. Limusa, Pág. 236

14. ARNOLD, Christopher, y Robert, REITHERMAN, Configuración y diseño sísmico de edificios, México 1995, edit. Limusa, pp. 298.
15. GREEN, Norman, Edificación, diseño y construcción sismoresistente, España 1980, edit. Gustavo Gili, pp. 155
16. MOISSET, Daniel, Intuición y razonamiento en el diseño estructural, Colombia 1992, edit. Escala, pp. 200
17. AMBROSE, James, Estructuras, México 1997, edit. Limusa, pp.. 844
18. CHIÑAS, Miguel, Cálculo estructural, México 1990, edit. Trillas, pp. 293
19. JOHNSTON, Bruce G., et. al. Diseño básico de estructuras de acero, México 1989, edit. Prentice-Hall, pp. 395
20. FRANCIS, A. J., Introducción a las estructuras. Para arquitectura e ingeniería, México 1984, edit. Limusa, pp. 316
21. BRESLER, Boris, Diseño de estructuras de acero, México 1988, edit. Limusa, pp. 926
22. BOWLES, Joseph, Diseño de acero estructural, México 1984, edit. Limusa, pp. 602.
23. ARNAL, Luis y Max BETANCOURT, Reglamento para Construcciones para el Distrito Federal. Ilustrado y comentado, México 1994, edit. Trillas, pp. 731.
24. PARKER, Harry, Texto simplificado de Mecánica y resistencia de materiales, México 1991, edit. Limusa, pp. 307
25. PARKER, Harry, Ingeniería simplificada para arquitectos y constructores, México 1988, edit. Limusa, pp. 363
26. AMBROSE, James, Diseño simplificado de estructuras de edificios, México 1988, edit. Limusa, pp. 267.
27. AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, Reglamento de las construcciones de concreto reforzado (ACI-318-83) y comentarios, México 1990, edit. Limusa, pp. 597
28. PRENZLOW, C., Cálculo de estructuras por el método de Cross, México 1986, edit. Gustavo Gili, pp. 215.
29. GONZÁLEZ, Alejandro, Análisis geométrico de cubiertas, México 1993, edit. UNAM, pp. 101
30. CASTRO, Antonio, Historia de la construcción arquitectónica, España 1995, edit. UPC, pp. 344

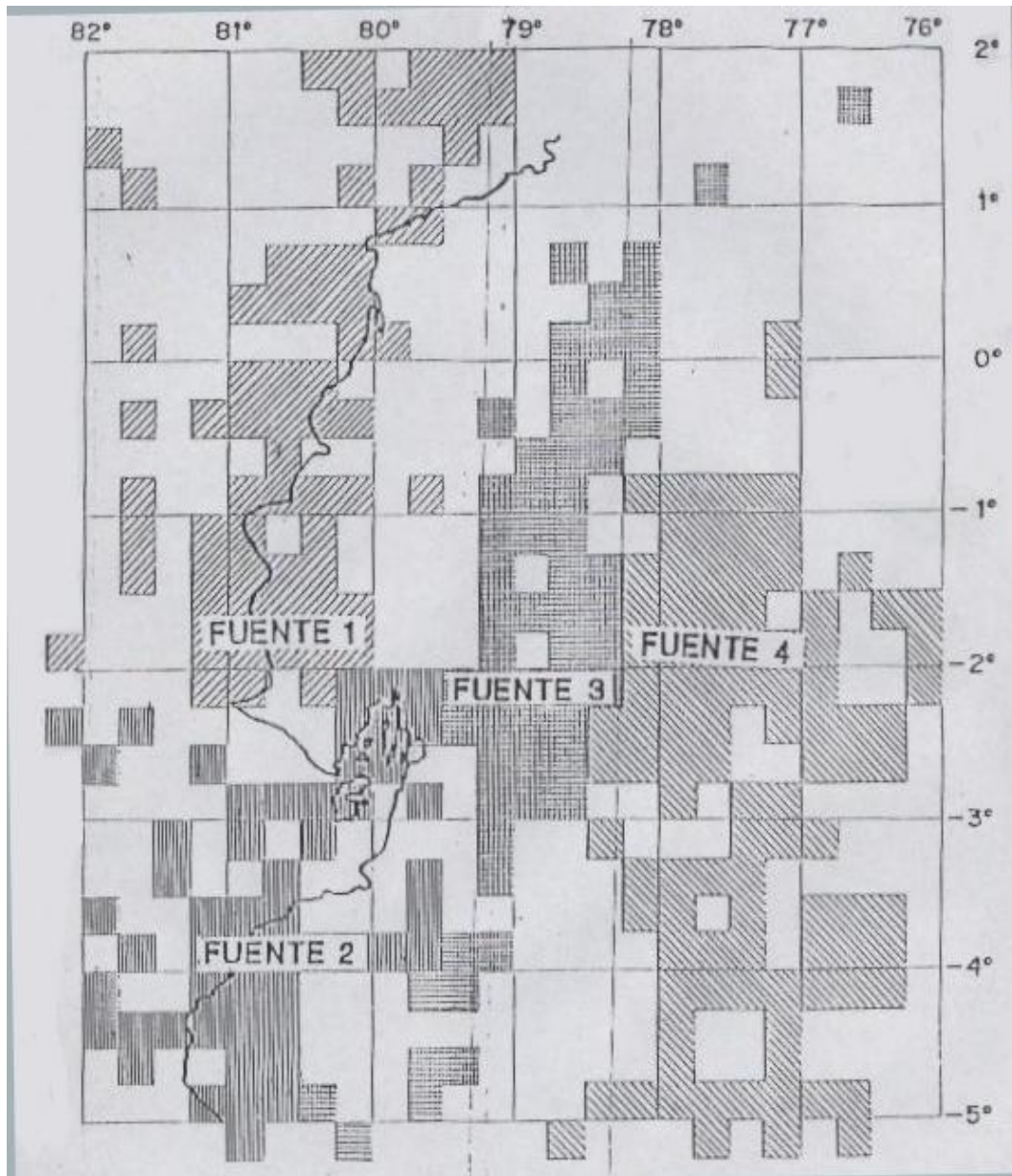
31. BAUD, C., Tecnología de la construcción, España 1995, edit. Blume, pp.. 447
32. Alex H. Barbat Doctor. Ing. De caminos, canales, estructuras. Universidad de Cataluña, (bozzo@watt.udges). pp. 254 – 259, 260 – 280, 295 – 346.
33. PRODUCCIÓN DE ACERO, C.D. Nicolai Smirnov, Lic. Amalio Fanjul Raynery, Guillermo Cabezas Obregón, 1987 pp. 228 – 229.
34. ACEROS, AISI, Manual, 2003.Aceros Levinson - Aceros - Inoxidables.htm
Matriz: Ruiz Cortinez 1824 Pte. (8)331-0001 Sucursal: Guerrero 2817 Nte. (8) 331-0631
Lada sin Costo 01-800 835-7000, Monterrey, N.L. México
info@aceroslevinson.com
Fuente : SABIMET
- 36 G.I.GORGHAKOV, MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN, editorial MIR MOSCÚ pp. 359 - 368
- 37 CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCIÓN.
Construaprende.com
M.Sc. José M. García Arias, Profesor AUXILIAR, Dpto. Física-Química,
Publicación interna, Septiembre del 2001,
- 36 FUNDAMENTALS OF HEAT AND MASS TRANSFER
TOMO II appendix a. (thermophysical propieties of material)
other material (continued)
rubber, vulcanizad
Segunda Edición autor: Chapter Editorial: MIR MOSCU
Tabla a.1 pp. 828-829
Tabla a.3 pp. 838
- 37 RESISTENCIA DE MATERIALES
Cuarta Edición autor: P. A. STIOPIN Editorial: MIR MOSCU
pp. 14-85
pp.. 87-91

ANEXOS

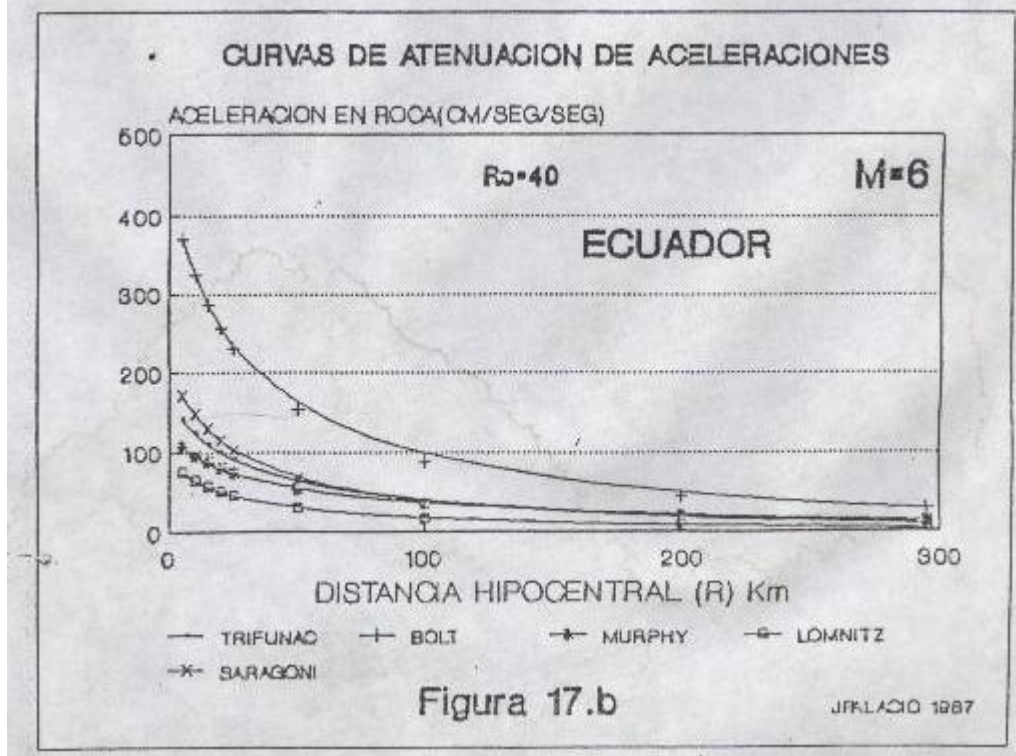
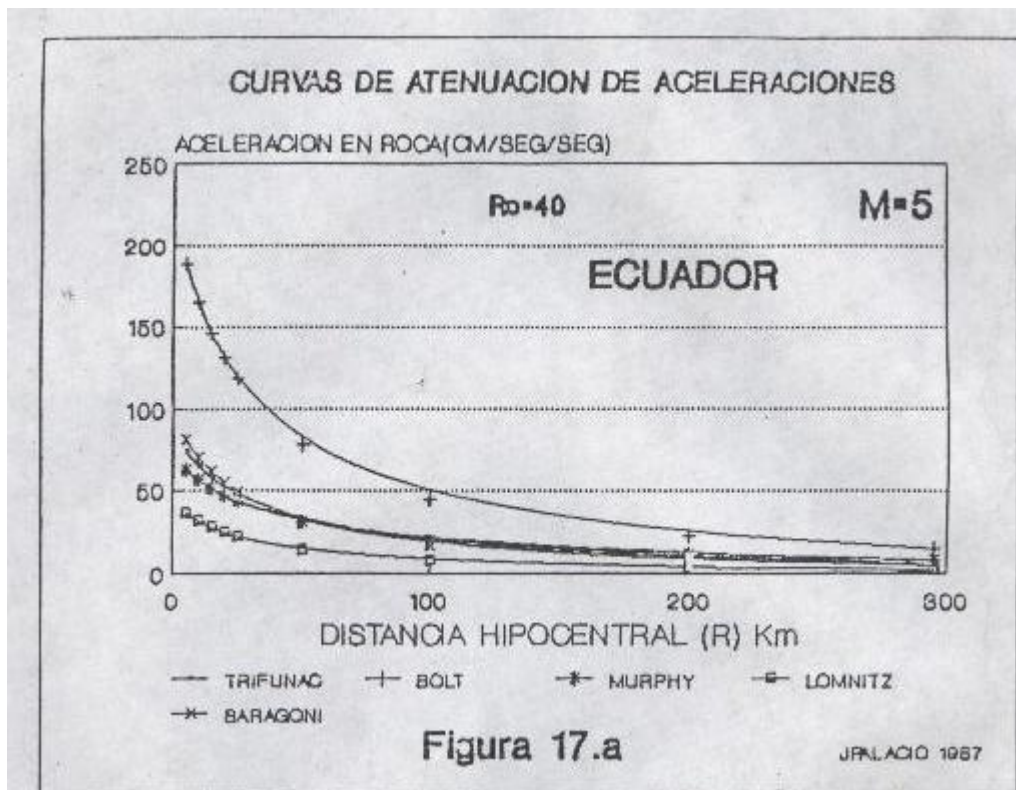
ANEXO I.	Mapa de Ubicaciones de las Áreas Fuentes
ANEXO II-III.	Curvas de Atenuación de Aceleraciones y Intensidades
ANEXO IV.	Propiedades del Neopreno
ANEXO V.	Propiedades del Acero
ANEXO VI.	Laboratorios Virtuales
ANEXO VII.	Transformación de Laplace
ANEXO VIII.	Procesos Transitorios
ANEXO IX.	Analogías Electromecánicas y Parámetros Mecánicos
ANEXO X.	Datos de Diseño del Aislador
ANEXO XI.	Diseño de una Cubierta de Estructura Metálica y ubicación del Aislamiento

ANEXO I

MAPA DE UBICACIONES DE LAS AREAS FUENTES



ANEXO II - III



CURVAS DE ATENUACION DE INTENSIDADES

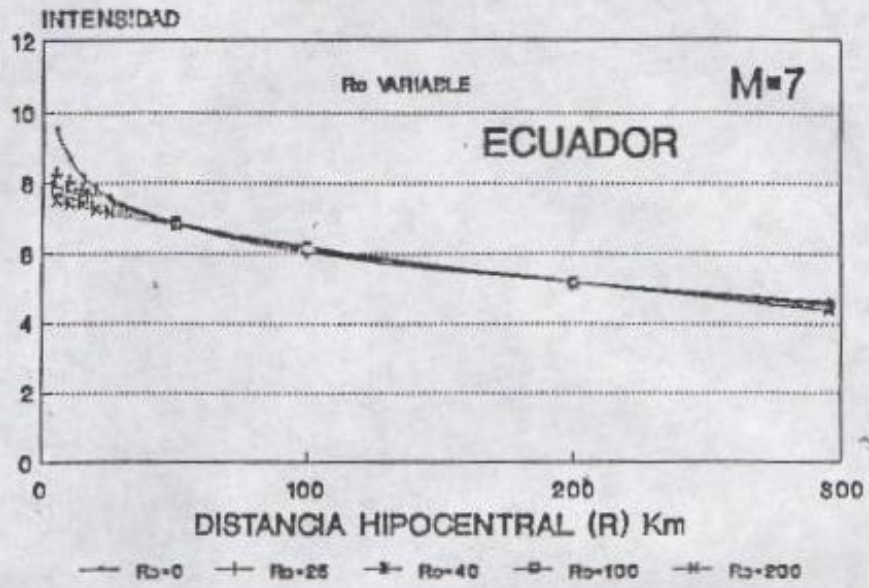


Figura 15.c

JFALACIO 1987

RELACIONES I/A

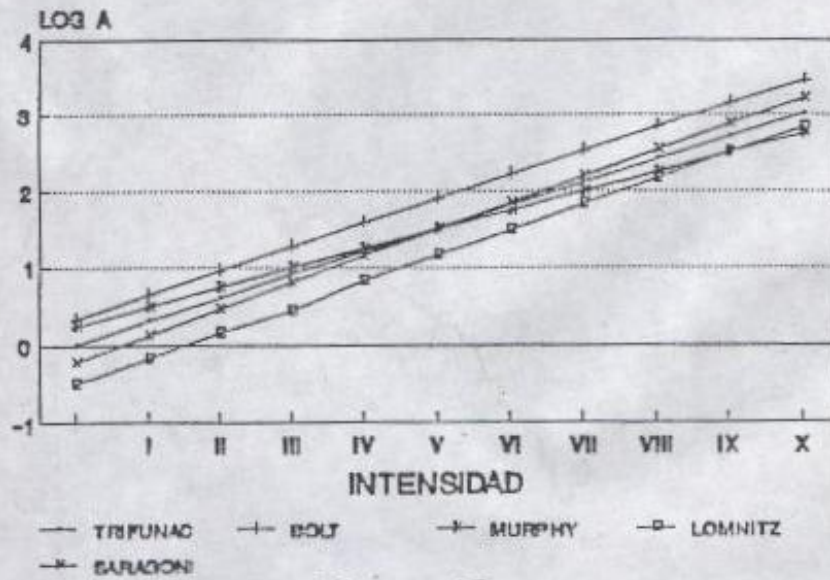


Figura 16

JFALACIO 1987

ANEXO IV

PROPIEDADES DEL NEOPRENO

CÉLULA CERRADA	438 NEOPRENO NEGRO	449 NEOPRENO NEGRO	455 NEOPRENO NEGRO	460 NEOPRENO NEGRO
STANDARDS	ASTM, D, 1056,84, SCE42B2C	ASTM, D, 1056,84, SCE43B2C	ASTM, D, 1056,84, RE43B2C	VW TL 52065
STANDARDS	ASTM D 1056 98 2C2 B2C	ASTM D 1056 98 2C3 B2C	ASTM D 1056 98 2C4 B2C	
STANDARDS	NFR99 211 3C08 C2 B3	NFR99211 3C16 C2 B3	NFR99 211 3C30 C2 B3	
STANDARDS				
SOLIDIFICACIÓN / ENDURECIMIENTO POR COMPRESIÓN	50%, 22H, 20°C<25%	50%, 22H, 20°C<25%	50%, 22H, 20°C<25%	50%, 22H, 20°C<25%
RANGO DE TEMPERATURA (min, max)	-40°C Æ +70°C	-40°C Æ +70°C	-40°C Æ +70°C	-40°C Æ +70°C
MAXIMO INTERMITENTE	+100 (C)	+100 (C)	+100 (C)	+100 (C)
ABSORCIÓN DE AGUA	<5%MAX	<5%MAX	<5%MAX	<5%MAX
DETERIORO POR CALOR/ EN CALIENTE	7 DÍAS 70°C CAMBIO DE DESVIACIÓN DE COMPRESIÓN <30% max	7 DÍAS 70°C CAMBIO DE DESVIACIÓN DE COMPRESIÓN <30% max	7 DÍAS 70°C CAMBIO DE DESVIACIÓN DE COMPRESIÓN <30% max	7 DÍAS 70°C CAMBIO DE DESVIACIÓN DE COMPRESIÓN <30% max
ALARGAMIENTO EN ROTURA / RUPTURA	>100% MAX	>80% MAX	>80% MAX	>150% MAX
RESISTENCIA A LA TENSIÓN	> 500KN/M2	> 700KN/M2v	> 800KN/M2	> 300KN/M2
COMBUSTIBILIDAD	FMVSS 302	FMVSS 302	FMVSS 302	FMVSS 302
RESISTENCIA A:AIRE + RAYOS UV ACEITE ÁCIDOS	BUENA BUENA ACEPTABLE	BUENA BUENA ACEPTABLE	BUENA BUENA ACEPTABLE	TBA TBA TBA
PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE	LIBRE EN CFC Y HCFC	LIBRE EN CFC Y HCFC	LIBRE EN CFC Y HCFC	LIBRE EN CFC Y HCFC
RECICLAJE	RECICLABLE	RECICLABLE	RECICLABLE	RECICLABLE
DENSIDAD	170 KG/ M3(20)	190 KG/ M3(20)	230 KG/ M3(20)	140 - 180 KG/ M3(20)
MODULO DE ELASTICIDAD	2990KGF/CM2	2990KGF/CM2	2990KGF/CM2	2990KGF/CM2
DESVIACIÓN DE COMPRESIÓN	A 25 % 35 - 63 KPA A 50 % 40 - 80 KPA	A 25 % 63 - 91 KPA A 50 % 160 - 280 KPA	A 25 % 91 - 168 KPA A 50 % 280 - 420 KPA	A 25 % 35 - 63 KPA A 50 % 40 - 80 KPA
TAMAÑO	2300 X 1000 X 40 MM	2200 X 1000 X 40 MM	1900 X 850 X 35 MM	2500 X 1000 X 62 MM 2000 X 1000 X 65 MM

ANEXO V

PROPIEDADES DEL ACERO

Color de identificación:



AISI 310 Aleación: C% 0.25 max Si% 1.17 Cr% 24.8 Ni% 19.8 Mn% 1.2

AISI 310S Aleación: C% 0.08 max Si% 1.17 Cr% 24.8 Ni% 19.8 Mn% 1.2

Denominación según:

DIN: X15CrNiSi2520 - X15CrNiSi2520 W
1.2782

AISI 310-310S

No 1.4841

Descripción: Es un acero antitérmico con alta resistencia a temperaturas de aire hasta 1200°C, aplicable en cajas de temple, cucharas para baño de cobre, cámara de horno, buen comportamiento ante cámaras atmosféricas, pero sensibles ante las reductoras de azufre.

Propiedades mecánicas:

Dureza: 120-180 Brinell

Medias disponibles: en 2 X 1 mts ,Espesores: 3mm (1/4") y 6 mm (1/4")

- CORRESPONDENCIA CON OTRAS NOMENCLATURAS
- ANÁLISIS QUÍMICO
- CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES

CORRESPONDENCIA CON OTRAS NOMENCLATURAS					
LEVINSON	AISI/SAE	JIS	DIN	CARTECH	UDELHOM
303	303	SUS 303	X 10 CrNiS 18 8	A 18 A	973
304	304	SUS 304	X 5 CrNi 18 9	AS 18	911
310	310	SUS 310	X 15 CrNiSi 25 20	12A	914
316	316	SUS 316	X 5 CrNiMo 17 12	AS182	926
410	410	SUS 410	X 10 Cr 13	-	-
416	416	SUS 416	-	F13-A	-
420	420	SUS 420 J 1	X 20 Cr 13	-	STAVAX
431	431	SUS 431	X 22 CrNi 17	T17	909
440-C	440-C	SUS 440-C	X 10 5 CrMo 17	-	-

ANALISIS QUIMICO PROMEDIO AISI/SAE (%PESO)										
Dureza de entrega máxima; Brinell (Bn) / Rockwell C (Rc)										
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	W	V	OTROS	BN/RC
ESTOS ANALISIS PODRAN TENER PEQUINAS VARIACIONES CON RESPECTO AL ANALISIS DE LAS OTRAS NOMENCLATURAS										
303	.15 max	1.00	2.00	18.00	9.00				0.2P/0.15S	180
304	.08 max	1.00	2.00	19.00	9.00					189
310	.25 max	1.50	2.00	25.0	20.00					200/18
316	.06 max	1.00	2.00	17.00	12.00	2.50				180
410	.15 max	1.00	1.00	12.50						200/14
416	.15 max	1.00	1.25	13.00		0.60			.15 S max.	200 / 14
420	0.15	1.00	1.00	13.00						225 /18
431	0.35	1.00	1.00	18.00	1.90	1.25				260/26
440-C	1.10	1.00	1.00	17.00		.75 max				265/27

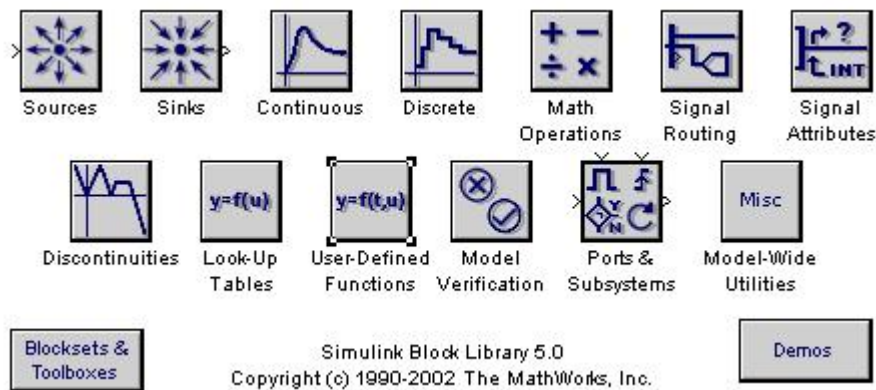
CARACTERISTICAS Y APLICACIONES	
303	AUSTENITICO (NO MAGNETICO) PARA ALTA VELOCIDAD DE MAQUINADO, CON ADECUADA RESISTENCIA A LA CORROSION, SE USA PARTES ROSCADAS EN TORNOS, FLECHAS, VALVULAS, BUJES, TUERCAS, ETC.
304	AUSTENITICO (NO MAGNETICO) POSEE ELEVADA RESISTENCIA A LOS AGENTES CORROSIVOS Y OXIDANTES A TEMPERATURAS DEL RANGO DE 450 C PRESENTA BUENA SOLDABILIDAD, SE USA EN LAS INDUSTRIAS ALIMENTICIA, QUIMICA Y PETROQUIMICA, VALVULAS
310	AUSTENITICO (NO MAGNETICO) UTILIZADO EN MEDIOS AGRESIVOS, POSEE MAYOR RESISTENCIA A LA CORROSION QUE 302 Y 304, RESISTENCIA A ELEVADAS TEMPERATURAS HASTA 1,050 C Y A LA FORMACION DE CASCARILLA, SE USA EN PARTES DE HORNOS, INCINERADORES Y VALVULAS
316	AUSTENITICO (NO MAGNETICO)BUENA RESISTENCIA A LA CORROSION Y TERMOFLUENCIA, MANEJO DE PRODUCTOS QUIMICOS Y DE CELULOSA, EQUIPO FOTOGRAFICO, EQUIPO PARA FERTILIZAR, UTENCILIOS DE COCINA, TUBOS PARA LEVADURA, ETC.
410	TEMPLABLE PARA USOS GENERALES, DONDE SE REQUIERE DE RESISTENCIA A LA CORROSION Y PROPIEDADES MECANICAS, SE USA EN PARTES DE LA TURBINA DE AVIONES, CANONES DE PISTOLAS, TORNILLERIA, PIEZAS ROSCADAS, VALVULAS, BOMBAS, ETC.
416	ACERO MARTENSITICO DE LIBRE MAQUINADO TEMPLABLE, UTILIZADO EN PARTES DE MAQUINARIA Y EQUIPO, FLECHAS PARA BOMBA DE POZO PROFUNDO, TORNILLERIA, INSERTOS PARA EXTINGUIDORES DE FUEGO, TEMACHES, CUCHILLERIA, ETC..

ANEXO VI

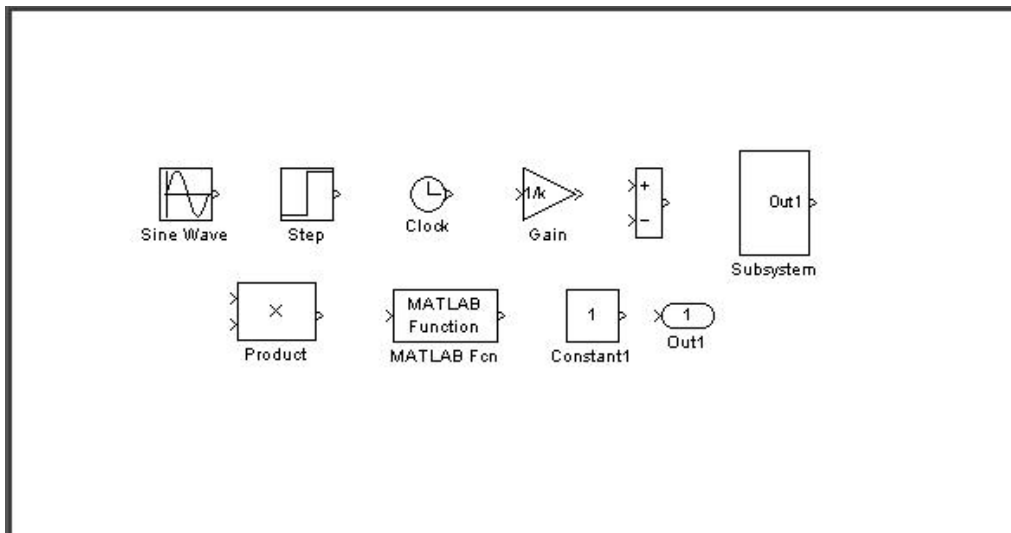
MATLAB

Laboratorios Virtuales

En la Librería virtual del Simulink, de los cuales encontramos diferentes toolbox como son:



Para la simulación en Simulink fue necesario utilizar los siguientes elementos de la Librería virtual, para realizar las operaciones y obtener los resultados deseados con la salida de datos representados gráficamente.



ANEXO VII

Transformación de Laplace
Tabla 1

N°	Originales $f(t)$	Transformadas $F(p)$	N°	Originales $f(t)$	Transformadas $F(p)$
1	1	$\frac{1}{p}$	10	$e^{at} \text{ sen } \omega t$	$\frac{\omega}{(p-a)^2 + \omega^2}$
2	t	$\frac{1}{p^2}$	11	$e^{at} \text{ cos } \omega t$	$\frac{p-a}{(p-a)^2 + \omega^2}$
3	t^n	$\frac{n!}{p^{n+1}}$	12	$t \text{ sen } \omega t$	$\frac{2\omega p}{(p^2 + \omega^2)^2}$
4	e^{at}	$\frac{1}{p-a}$	13	$t \text{ cos } \omega t$	$\frac{p^2 - \omega^2}{(p^2 + \omega^2)^2}$
5	$t^n e^{at}$	$\frac{n!}{(p-a)^{n+1}}$	14	$te^{at} \text{ sen } \omega t$	$\frac{2\omega(p-a)}{[(p-a)^2 + \omega^2]^2}$
6	$\text{sen } \omega t$	$\frac{\omega}{p^2 + \omega^2}$	15	$te^{at} \text{ cos } \omega t$	$\frac{(p-a)^2 - \omega^2}{[(p-a)^2 + \omega^2]^2}$
7	$\text{cos } \omega t$	$\frac{p}{p^2 + \omega^2}$	16	$\frac{1}{2\omega^3} e^{at} (\text{sen } \omega t - \omega t \text{ cos } \omega t)$	$\frac{1}{[(p-a)^2 + \omega^2]^2}$
8	$\text{sh } at$	$\frac{a}{p^2 - a^2}$	17	$\frac{1}{2\omega^3} e^{at} (a \text{ sen } \omega t - a\omega t \text{ cos } \omega t + \omega^2 t \text{ sen } \omega t)$	$\frac{p}{[(p-a)^2 + \omega^2]^2}$
9	$\text{ch } at$	$\frac{p}{p^2 - a^2}$			

ANEXO VIII

PROCESOS TRANSITORIOS
TABLA 2

Nº	Propiedades	Original	Transformada
1	Multiplicación por una constante	$cf(t)$	$cF(p)$
2	Transformada de la suma	$\sum_{i=1}^n f_i(t)$	$\sum_{i=1}^n F_i(p)$
3	Variación de la escala	$f(\alpha t)$	$\frac{1}{\alpha} F\left(\frac{p}{\alpha}\right)$
4	Teorema de retardo	$f(t - \varepsilon) \sigma_0(t - \tau)$	$e^{-p\tau} \cdot F(p)$
5	Teorema de la deriva	$e^{-at} f(t)$	$F(p + a)$
6	Transformada de la derivada	$f'(t)$	$pF(p) - f(0)$
6 ^a	Transformada de las derivadas de orden superior	$f^{(n)}(t)$	$p^n F(p) - p^{n-1} f(0) - \dots$ $\dots - p f^{(n-2)}(0) - f^{(n-1)}(0)$
7	Transformada de la integral	$\int_0^t f(t) dt$	$\frac{1}{p} F(p)$
8	Derivación de la transformada	$-tf(t)$	$\frac{dF(p)}{dp}$
9	Derivación respecto al parámetro	$\frac{\partial f(t, \alpha)}{\partial \alpha}$	$\frac{\partial F(p, \alpha)}{\partial \alpha}$

ANEXO IX

ANALOGÍAS ELECTROMECAÑICAS

Se propuso aplicar ecuaciones de Lagrange a los sistemas electromecánicos la cual se basa en la correspondencia existente entre fenómenos de corriente y la velocidad del movimiento. La utilización de la analogía electromecánica en las ecuaciones ofrece la posibilidad de describir los “movimientos” de los sistemas electromecánicos basados en las interacción entre los movimientos mecánicos de los puntos y los cuerpos sólidos y los fenómenos eléctricos y electromagnéticos en los circuitos eléctricos.

A continuación se da la tabla de los parámetros mecánicos y eléctricos para las analogías en electromecánica.

Magnitudes mecánicas	Magnitudes Eléctricas
t tiempo	t tiempo
q coordenada generalizada	q_c carga eléctrica
\dot{q} velocidad generalizada	$\dot{q}_c = i$ corriente
m masa,	L inductancia,
I , momento de inercia	I , momento de inercia
T energía cinética	M inductancia mutua
$T = \frac{1}{2}m\dot{q}^2$ o $T = \frac{1}{2}I\dot{q}^2$	T energía electrocinética
c coeficiente de elasticidad.	$T = \frac{1}{2}L\dot{q}_c^2$
β coeficiente de resistencia	$\frac{1}{C}$ donde C es la capacidad .
F fuerza generalizada	R resistencia óhmica
Q Trabajo elemental	E fuerza electromotriz
	Q Trabajo elemental

PARÁMETROS MECÁNICOS

t , el tiempo (s)

x , la coordenada

$v_x = \dot{x}$, la proyección de la velocidad (cm/s)

m , la masa (Kg)

F_x , la proyección de la fuerza (N)

β , el coeficiente de resistencia (N.s/cm)

c , el coeficiente de elasticidad (N/cm)

$S_x = S_x(t)$, la fuerza perturbadora

k , resonancia en (rad/s)

n , resonancia en(rad/s)

$$k = \sqrt{\frac{c}{m}}, n = \frac{\beta}{2m}$$

El movimiento del peso es amortiguado (puesto que para $t \rightarrow \infty$ $x \rightarrow 0$)

Frecuencia $kr = \sqrt{k^2 - n^2}$

ANEXO X

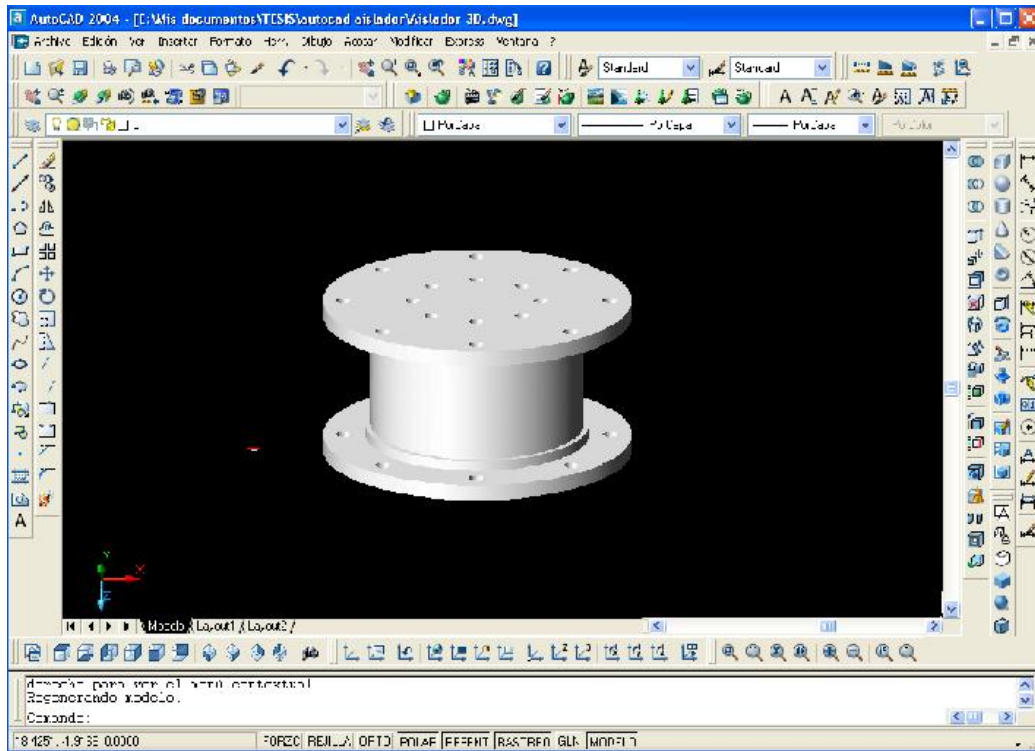
DATOS DE DISEÑO DEL AISLADOR

Altura (H)	(m)	:	.1
Diámetro (D)	(m)	:	.2
Altura de Capas de neopreno	(m)	:	.01
Espesor de placas metálicas	(m)	:	.001
# de Capas de Neopreno		:	9
# de Placas Metálicas		:	8
Dureza (Shore del Neopreno)		:	50

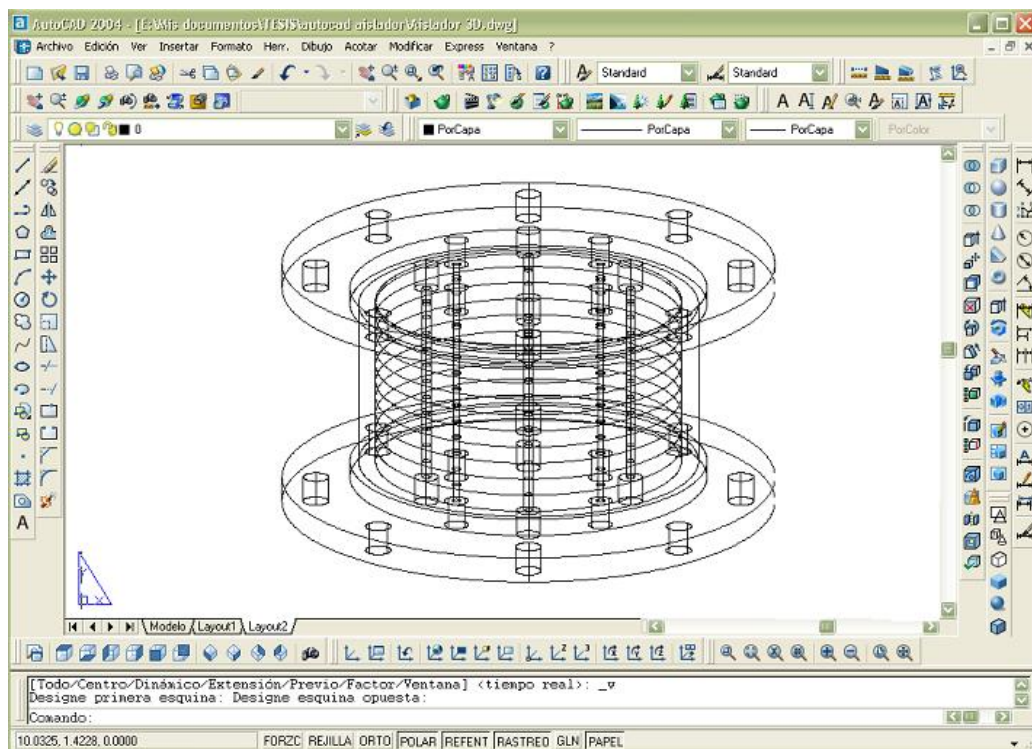
DISEÑO DE PLACAS DEL AISLADOR SISMICO

Diámetro de Placas Exteriores	(m)	:	.29
Diámetro de Placas Interiores	(m)	:	.21
Diámetro de Pernos Exteriores	(m)	:	.015
Diámetro de Pernos Interiores	(m)	:	.005
Espesor de Placas Exteriores	(m)	:	.015
Espesor de Placas Interiores	(m)	:	.01

DISEÑO DEL AISLAMIENTO



VISTAS GENERALES



ANEXO XI

DISEÑO DE UNA CUBIERTA DE ESTRUCTURA METÁLICA Y UBICACIÓN DEL AISLAMIENTO

Una de los materiales utilizados en las estructuras es la **lámina delgada de acero doblada en frío**, se ha acrecentado en los últimos años, con estructuras sometidas a cargas ligeras con luces medianas y grandes, como pórticos y cubiertas, hangares, fábricas y talleres, y en estructuras con cargas moderadas y luces pequeñas y medianas, como viviendas.

Entre las ventajas más importantes del empleo de la lámina están: la economía, el poco peso, la rapidez de construcción, la posibilidad de prefabricación. La mayor desventaja es la necesidad de un mantenimiento permanente con el objeto de que la estructura se perdure.

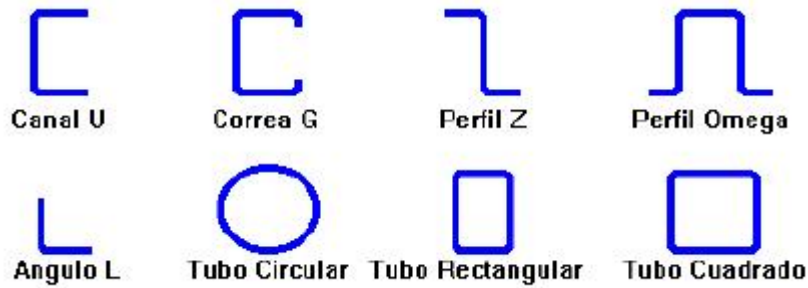
Las especificaciones para el diseño de miembros estructurales de Acero esta dado por el Instituto Americano del Hierro y del Acero (**American Iron and Steel Institute/ AISI**), las mismas que han sido adaptadas a las características propias de nuestro medio.

Para el estudio del comportamiento de las estructuras ante los sismos se empleara el análisis realizado en la tesis.

PERFILES DE LÁMINA DELGADA

Los perfiles de lámina delgada doblada en frío más comunes, disponibles en nuestro país, son:

Canales U, Correas G, Correas Z, Perfiles Ω , Ángulos L, Tubos Circulares O, Tubos Rectangulares y Tubos cuadrados.

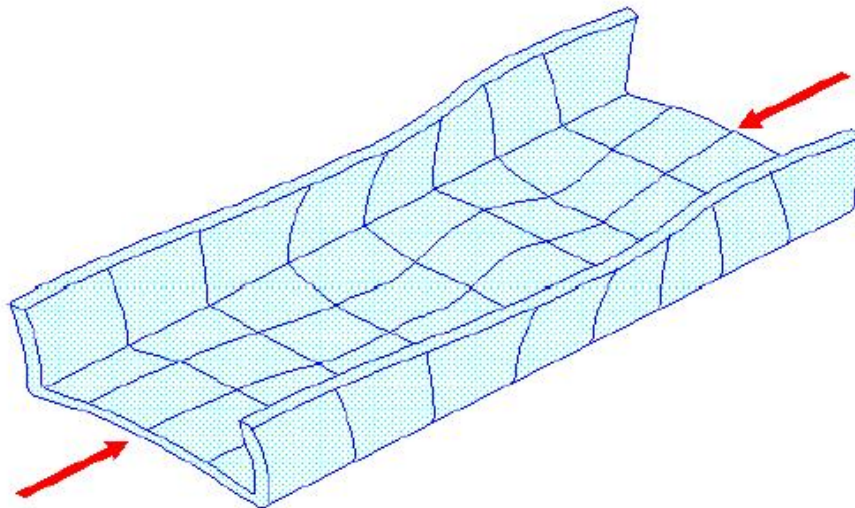


Los espesores de lámina inferior a 2mm, corresponden a perfiles no estructurales, siendo recomendable la utilización de perfiles de al menos 3mm, de espesor para el efecto de la corrosión.

CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Los perfiles de lámina delgada de acero doblada en frío, introducen factores especiales, adicionales a los que suelen ser considerados en el diseño de estructuras de acero tradicionales.

- A diferencia de los perfiles metálicos laminados en caliente, **los perfiles de lámina delgada pandean localmente bajo cargas de compresión de poca intensidad.**



El **pandeo local** no es normalmente conduce a la falla de la estructura, como otros tipos de inestabilidad estructural ya sea por soldadura o empernado, pero definitivamente si se reduce la capacidad resistente máxima de los miembros metálicos.

ESFUERZO ADMISIBLE BÁSICO

Cuando la falla del miembro se produce por fluencia del acero, el esfuerzo sobre la sección neta de miembros traccionados o comprimidos, y la tracción y compresión en las fibras extremas de miembros sometidos a flexión no debe exceder del siguiente valor.

$$F=0,60 F_y$$

Donde:

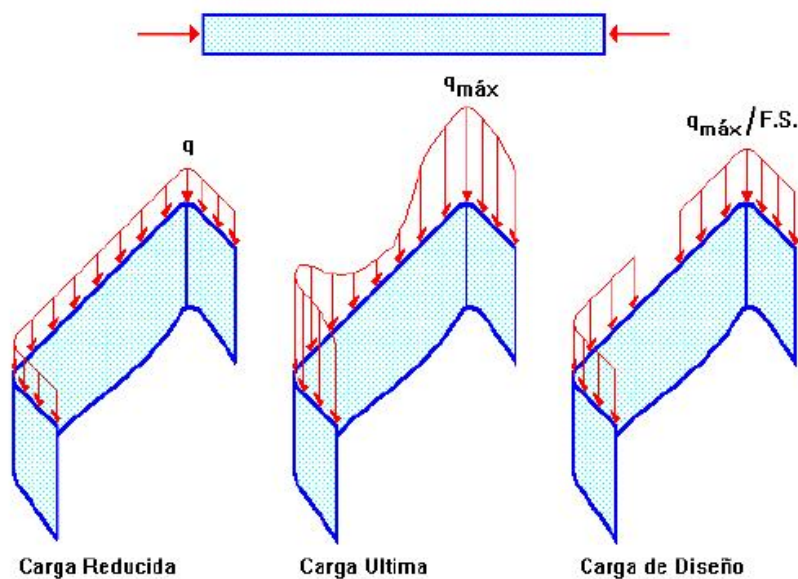
F_y : esfuerzo de fluencia del acero en Kgr/cm^2 (2400 Kgr/cm^2 para las laminas de acero)

F : esfuerzo admisible básico Kgr/cm^2 (1440 Kgr/cm^2 para $F_y = 2400 \text{ Kgr/cm}^2$)

En caso de que las solicitaciones de miembro incluyan, a más de las cargas gravitacionales (cargas permanentes y cargas vivas), el efecto de cualquier carga ocasional como el viento, el sismo o la máxima granizada esperada, los esfuerzos permisibles pueden ser incrementados en un 33,33% o, en su defecto, se pueden reducir la magnitud de las cargas en un 25%(1/1,33333=0,75).

FALLA POR PANDEO LOCAL

El pandeo local afecta primordialmente a la sección efectiva en elementos atiesados, y al esfuerzo admisible en elementos no atiesados.



Donde:

F.S.= factor de seguridad

Si la rigidización se produce mediante un labio rigidizador extremo, en ángulo recto respecto al elemento rigidizador, su peralte mínimo debe ser:

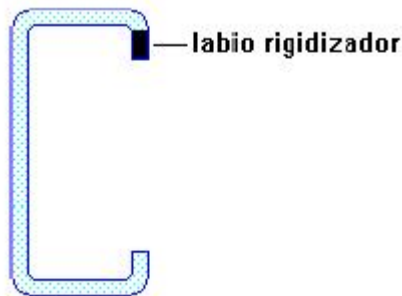
$$d_{MIN} = 2,8t \sqrt{\left[\frac{w}{t}\right]^2 - \frac{281,480}{F_y}} \quad (w/t)_{LIM} \cong 40 \text{ para } f = 2400 \text{ Kgr/cm}^2$$

$$d_{MIN} = 4,8 t$$

w : ancho efectivo de diseño

t : espesor de la lámina

f : esfuerzo real en la lamina como base el área efectiva de diseño



FALLAS POR PANDEO GENERAL DE FLEXIÓN

El pandeo general de flexión se produce en miembros con esbelteces $kL/r > 20$. La falla por pandeo general está gobernada por la ecuación de Euler.

$$P_{er} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot A}{(kL/r)^2}$$

E: módulo elástico del acero (2100 Kgr/cm²)

A: Área transversal del perfil

kL: Longitud efectiva de pandeo

r: radio de giro.

PARA LA SOLDADURA DE LA ESTRUCTURA

Se utiliza para trabajos en aceros estructurales, de construcción así como aceros de 0,6% de carbono un electrodo con bajo contenido de hidrógeno para soldar uniones de alta resistencia mecánica.

Tipo de electrodo	Punta roja	
	AWS: E 7018	
	DIN: 1913	
	E 51 55 B 10	
	UTP 613 kb	
Resistencia a la tracción	Kp/mm²	hasta 58
	N/mm²	hasta 570
Límite de Elasticidad	Kp/mm²	hasta 48
	N/mm²	hasta 470
Alargamiento	I = 5d%	hasta 32
Tenacidad	Joule	hasta 21
		hasta 165
Dureza Brinell		hasta 170

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SISTEMA ESTRUCTURAL

Este sistema posee las siguientes ventajas:

Permite espacios libres de gran amplitud sin entrar en problemas de deflexiones excesivas

El material es liviano y el sistema estructural es prefabricado lo que facilita su instalación

Se requiere de poca mano de obra (5 hombres) y limitadas herramientas para su construcción

Su costo es bajo, basado en su tamaño y en comparación con estructuras de hormigón reforzado y acero

Desventajas:

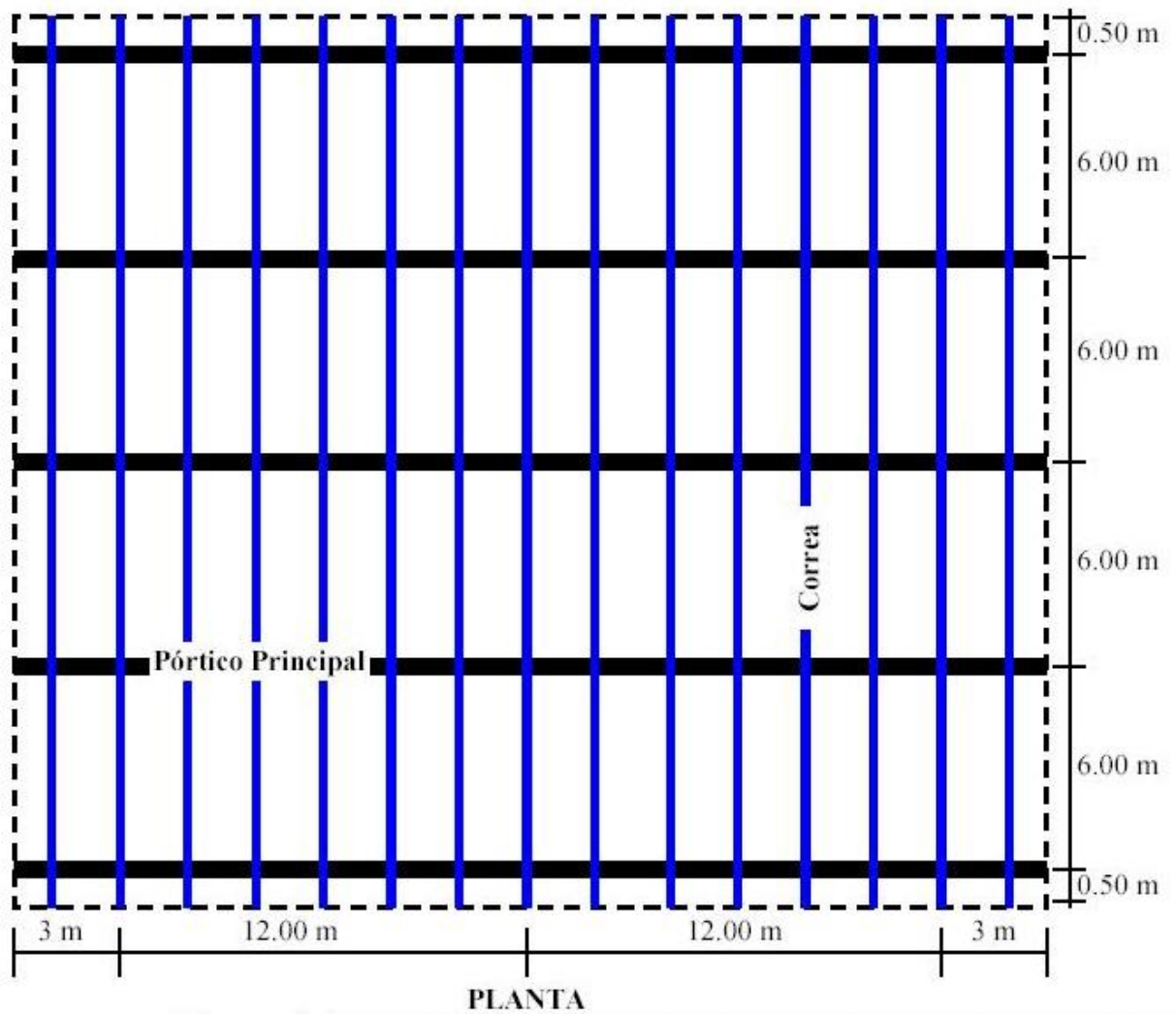
Su ventilación está limitada a la pared frontal y trasera, en adición a turbinas de viento colocadas en el techo

Su forma esta previamente establecida y no permite cambios.

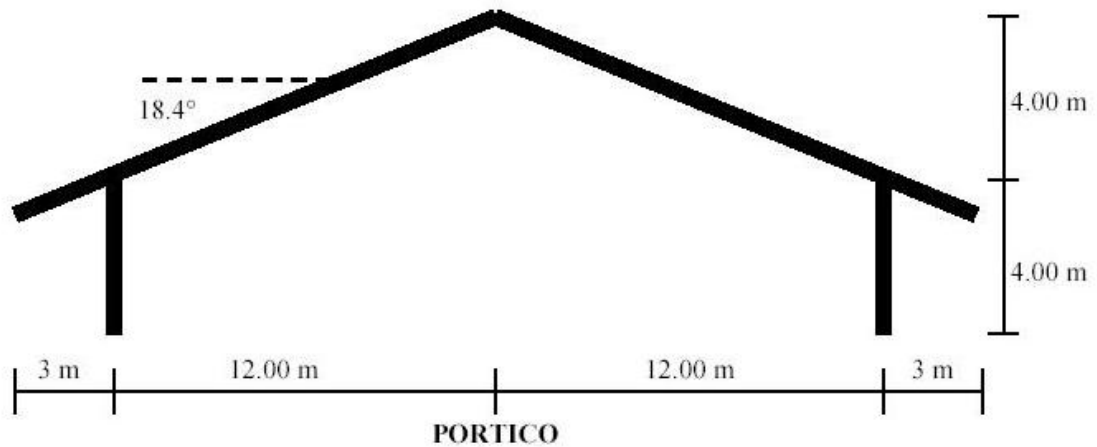
Algunos de los modelos limitan la altura en las esquinas provocando pérdida de espacio

DISEÑO DE UNA CUBIERTA DE ESTRUCTURA METALICA

Geometría de la Cubierta de Estructura Metálica con Correa En G



Pórtico de la Cubierta de Estructura Metálica con Correa en G



CARGAS SOBRE LA CUBIERTA DE ESTRUCTURA METÁLICA

Cargas Permanentes:

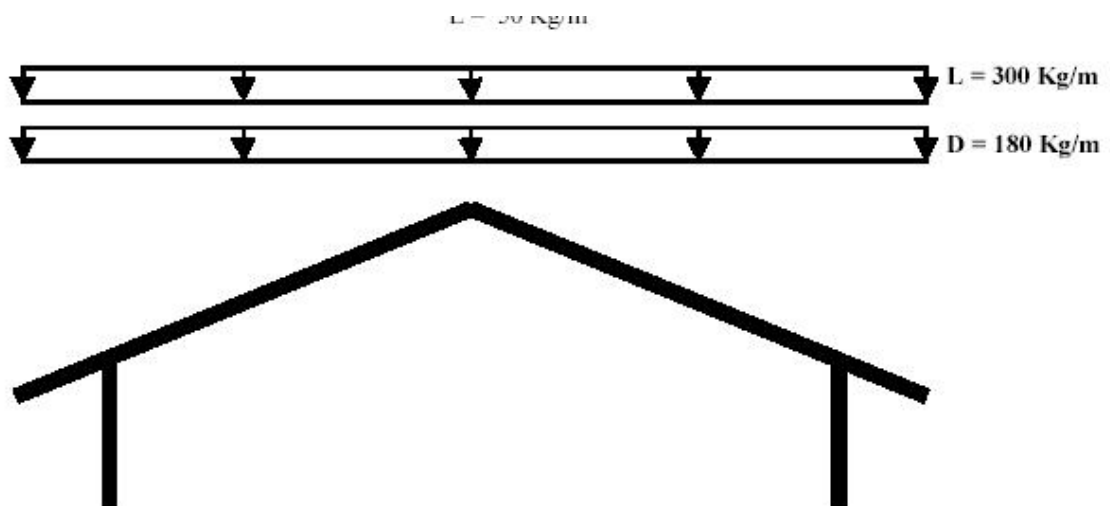
Peso de la estructura 15 Kg/m² (estimado)

Eternit 15 Kg/m²

D = 30 Kg/m²

Carga Viva de Montaje y Mantenimiento

L = 50 Kg/m²



Carga del viento:

$$p = \bar{p}[1.2\text{Sen}(\alpha) - 0,4]$$

$$\bar{p} = \frac{1}{2}\rho.V^2$$

$$V = 80 \text{ Km/h} = 22.2 \text{ m/seg}$$

$$\rho = 1.2 \text{ Kg/m}^3$$

$$\bar{p} = \frac{1}{2}(1.2 \text{ Kg/m}^3)(22.2 \text{ m/seg})^2 = 295,7 \text{ Nem/m}^2 = 30.2 \text{ Kg/m}^2$$

$$\alpha = 18.4^\circ$$

$$p_1 = -0,6 [1.2 \text{ Sen}(18,4^\circ) - 0,4] = -0,6 \text{ Kg/m}^2$$

$$p_2 = -0,6 [1.2 \text{ Sen}(-18,4^\circ) - 0,4] = -23,5 \text{ Kg/m}^2$$

α	P (Kg/m ²)
90°	24
75°	23
60°	19
45°	14
30°	6
15°	-3
0°	-12
-15°	-21
-30°	-30
-45°	-38
-60°	-43
-75°	-47
-90°	-48

Diagrama de las Presiones en la Cubierta de Estructura Metálica

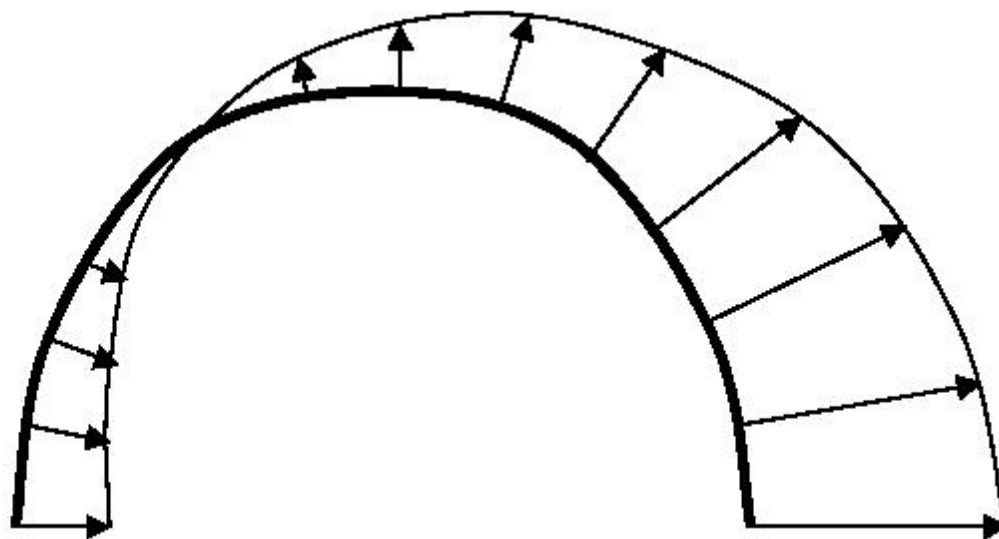
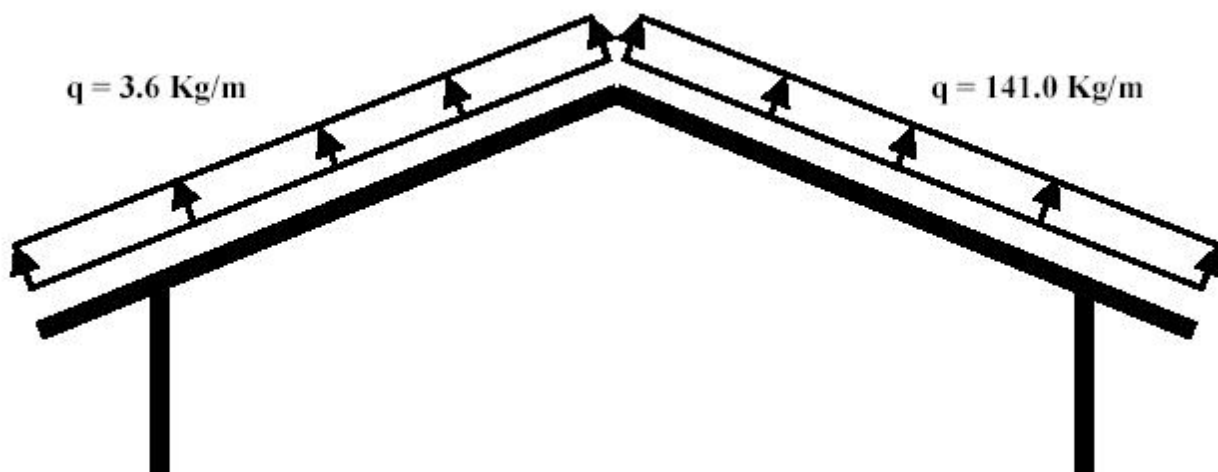
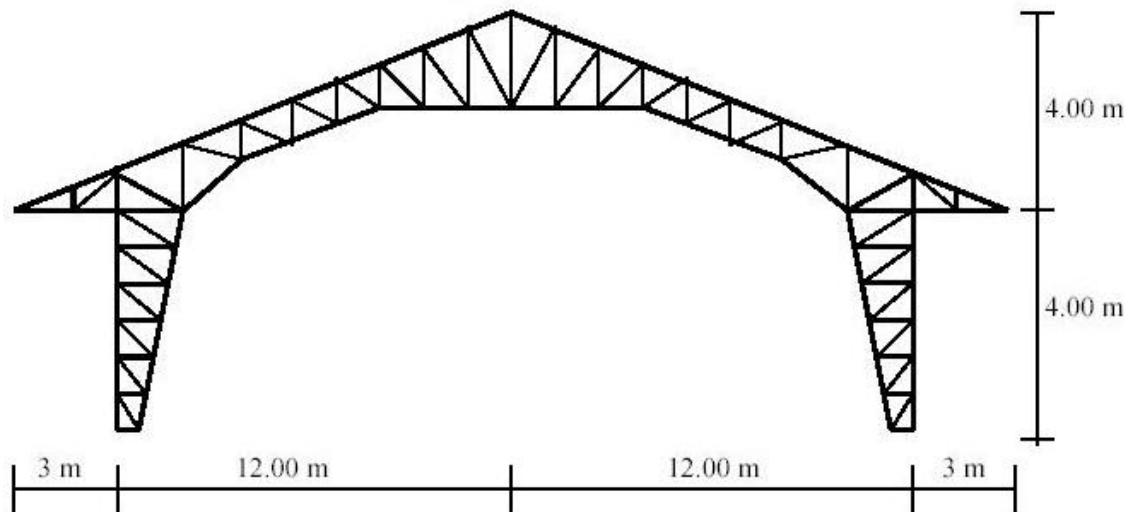


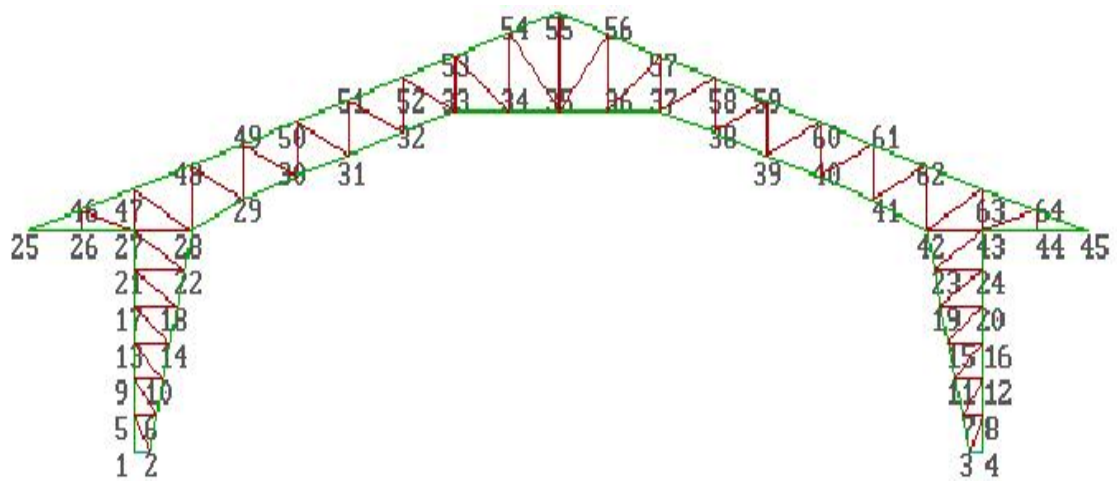
Diagrama de Presiones



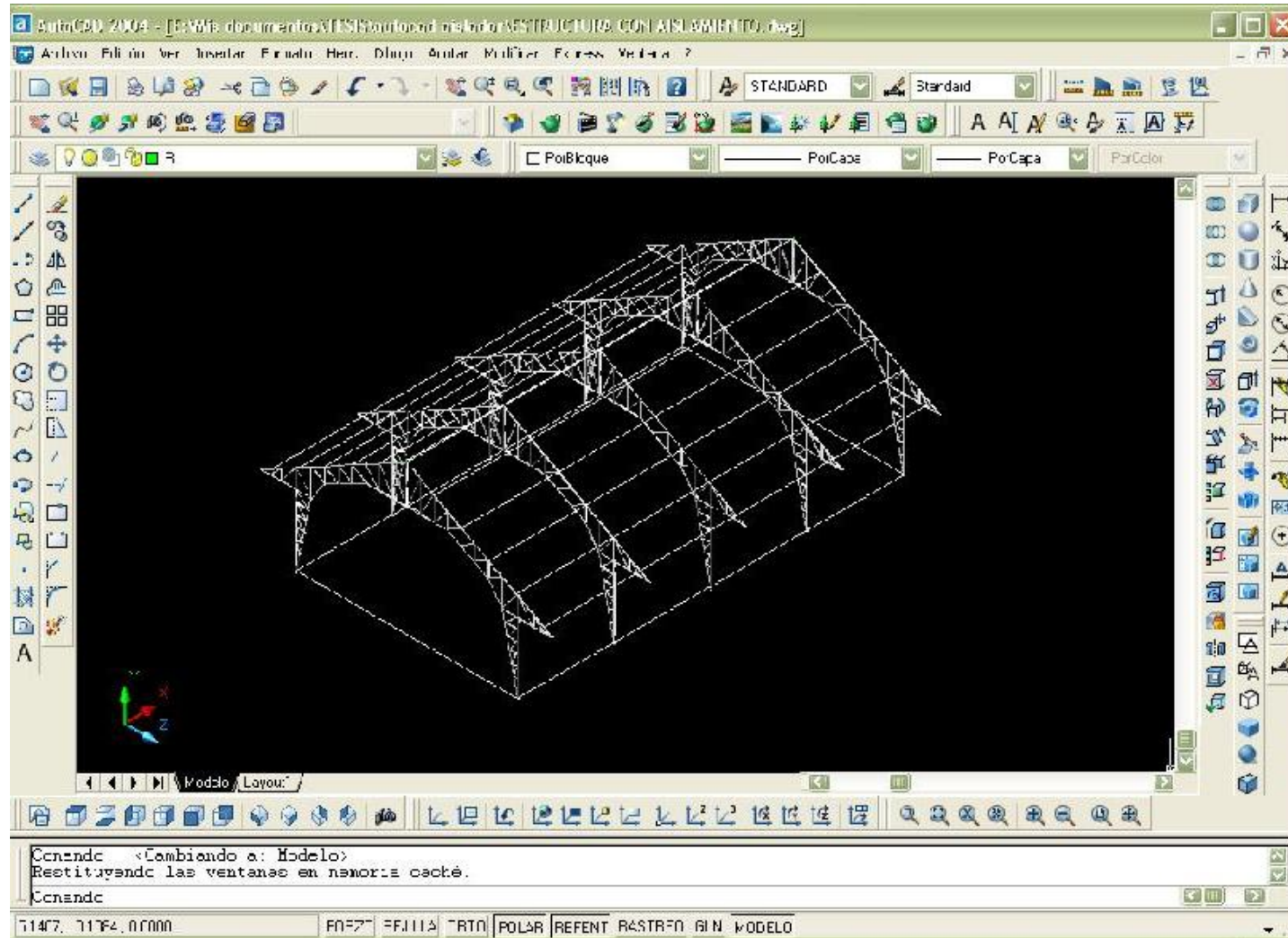
MODELO ESTRUCTURAL



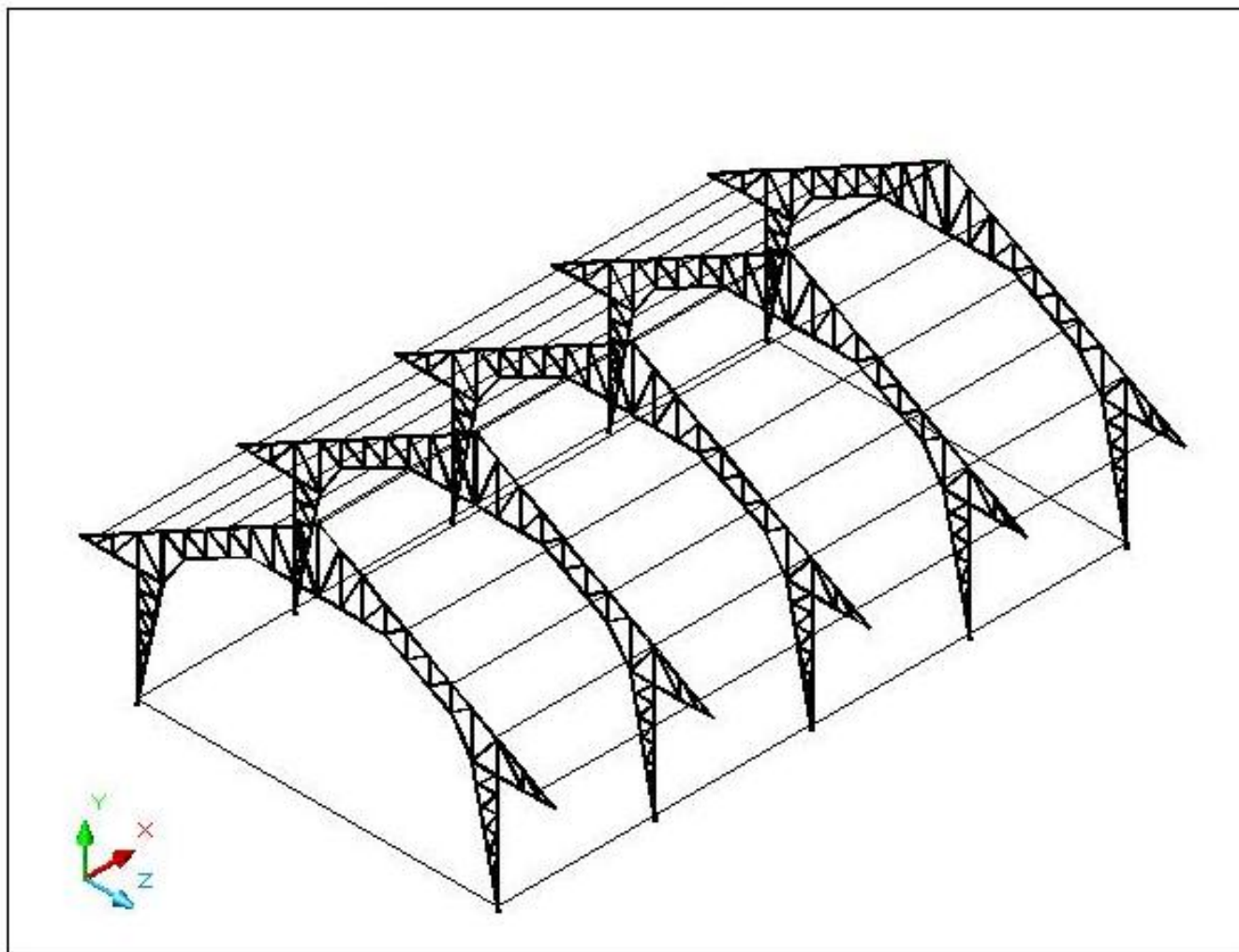
VISUALIZACION DE LOS NUDOS DE LA ESTRUCTURA



VISUALIZACION DEL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA PARA LA CUBIERTA EN 3D



VISUALIZACION DEL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA CON CORREAS G EN 3D



***VISUALIZACION DEL AISLAMIENTO EN LA ESTRUCTURA EXTREMO DERECHO Y
IZQUIERDO EN 3D***

