



**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID  
ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR**

DEPARTAMENTO DE MECÁNICA DE MEDIOS  
CONTINUOS Y TEORÍA DE ESTRUCTURAS

DISEÑO ESTRUCTURAL DEL SOPORTADO DE  
BANDEJAS ELÉCTRICAS EN UNA CENTRAL NUCLEAR

**INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL: MECÁNICA  
PROYECTO FIN DE CARRERA**

ANA BELÉN MERINO FERNÁNDEZ

**Tutor: ÁNGEL ARIAS HERNÁNDEZ  
Marzo 2010**



## AGRADECIMIENTOS

---

Este proyecto va dedicado a alguien que fue muy especial en mi vida y que espero que, desde aquel pequeño lugar donde esté, pueda ver que se cumplió el sueño.

No puedo olvidar tampoco, en primer lugar a mi familia, especialmente a mis padres Félix y Chelo y a mi hermana Olga que han estado ahí en todo momento y que han sido un gran apoyo en la realización de este proyecto.

Y a mi otra gran familia, mis amigos Fermín, Maribel, Antonia, Abel y Marta que los pobres no sabían ya cómo hacer para que me pusiera con ello de una buena vez.

También tengo que agradecer a mis compañeros de trabajo, jefes de proyecto y departamento que tanto me han facilitado las cosas para que trabajar y hacer el proyecto al mismo tiempo fuera más llevadero. Entre ellos mencionar especialmente a mi jefe, Luis Ranilla, una de las personas más encantadoras que me he encontrado a lo largo de mi vida y que estoy segura que aún cuando presente todavía no dará crédito, a Miguel Palazuelos, más que director de proyecto, amigo y a José Luis San Vicente, el jefe del departamento civil que confió en que podría hacerlo.

A Mario Di Fonzo, Juan Miguel García y Julio Aragón que me han ayudado a resolver todas las dudas que me han ido surgiendo a lo largo del proyecto y siempre han sacado un huequito que dedicarme aún cuando ellos andaban justos de tiempo. Gracias por vuestro aguante para conmigo chicos.

Si tuviera que enumerar a cada uno de mis amigos y compañeros me obligaría a escribir una lista demasiado larga, por eso, sin decir explícitamente sus nombres les incluyo en estos agradecimientos. Personas que han estado a mi lado y me han dado ánimos en todo momento. Gracias a todos ellos por su apoyo incondicional que en los momentos bajos me ha servido de acicate para poder concluir finalmente este trabajo. Cada uno, de una manera especial, forma parte de este proyecto.

Mi tutor, Ángel Arias, que ha tenido una paciencia infinita con mis idas y venidas y a pesar de los años que han pasado desde que decidí iniciar esta aventura, ahí ha estado.

Especial mención a mi “pa-ti-to” Blanca la persona más especial que he conocido a lo largo de mi existencia, amiga y confidente y una de las mejores cosas que me ha pasado en la vida. Gracias sinceramente, simplemente por ser como eres. Y a Obo, mi gran apoyo, que, a pesar de mis malos momentos nunca ha cejado en el empeño y ahí ha seguido, incombustible, hasta que, por fin, lo he conseguido.



# ÍNDICE

---

<b>1. INTRODUCCION</b> .....	1
1.1. Motivación.....	1
1.2. Objetivos.....	4
1.3. Metodología.....	5
<b>2. CONDICIONANTES ASOCIADOS A LAS CENTRALES NUCLEARES</b> .....	6
<b>3. DATOS DE PARTIDA / HIPÓTESIS DE CÁLCULO</b> .....	15
3.1. Datos de partida.....	15
3.1.1. Generales.....	15
3.1.2. Geometría.....	15
3.1.3. Trazado.....	17
3.1.4. Amortiguamiento de los sistemas de bandejas eléctricas.....	19
3.2. Hipótesis de cálculo.....	20
<b>4. CÁLCULOS</b> .....	21
4.1. Criterios de cálculo.....	21
4.1.1. Cargas.....	21
4.1.2. Combinaciones de carga.....	22
4.1.3. Tensiones admisibles.....	22
4.2. Método de análisis sísmico de carga estática equivalente.....	22
<b>5. METODOLOGÍA DE CÁLCULO</b> .....	24
5.1. ¿Qué es GTSTRUDL?.....	24
5.2. Análisis del modelo individual en 3D utilizando el programa GTSTRUDL.....	25

# ÍNDICE

---

<b>6. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN NUMÉRICA.....</b>	<b>49</b>
6.1. Soportes de tipo trapezoidal.....	49
6.2. Soportes de tipo voladizo apoyado.....	51
6.3. Soportes de tipo voladizo.....	52
<b>7. CONCLUSIONES Y DESARROLLOS FUTUROS.....</b>	<b>54</b>
7.1. Conclusiones.....	54
7.2. Desarrollos futuros.....	56
<b>8. BIBLIOGRAFÍA / REFERENCIAS.....</b>	<b>57</b>
8.1. Bibliografía.....	57
8.2. Referencias.....	58
<b>ANEXOS.....</b>	<b>59</b>



*“¿Por qué esta tecnología científica, que ahorra trabajo y nos hace la vida más fácil, nos aporta tan poca felicidad?”*

*La respuesta es ésta, simplemente: porque aún no hemos aprendido a usarla con acierto.”*

*Albert Einstein (1879-1955) Científico alemán nacionalizado estadounidense*

## **1.- INTRODUCCIÓN**

### **1.1 MOTIVACIÓN**

Hoy en día es un tema de intenso debate el hecho de contar o no con la energía nuclear para el futuro de la producción de energía en el mundo. Fuentes como “The Greens, European Free Alliance”, en 2004, afirman “...un signo más de una tendencia iniciada hace unos quince años: la energía nuclear avanza hacia su desaparición” (Referencia 1) resaltando la no confianza en este medio de producción de energía. Sin embargo, en el sector nuclear sólo se habla de crecimiento del parque nuclear mundial, con nuevas centrales con seguridad pasiva y mayor rendimiento, y del desarrollo de nuevas generaciones de reactores. La previsión de demanda de centrales en países como India o China parece indicar que crecerá el número de nuevas centrales. En otros países, como EEUU, las licencias típicas de operación están siendo ampliadas de 40 a 60 años.

Uno de los sistemas de cierta relevancia dentro de una central, es, entre otros, el sistema de bandejas eléctricas sobre el cual va a versar este proyecto.

En las plantas nucleares, los sistemas de bandejas de cables son utilizados para conducir y proteger los cables eléctricos, vitales para el control y funcionamiento de la misma.

Es el objetivo de este proyecto desarrollar una metodología de cálculo para el diseño de soportes estándar para bandejas de cables y proporcionar una guía de aplicación básica para el desarrollo de plantas del tipo ALWR (Advanced Light Water Reactor). Estas plantas son las de última generación.

Estos cálculos definen unos estándares y unos procedimientos cuyo resultado prevé una mayor eficiencia en el diseño y unos soportes más adecuados para las bandejas de cables. Estos estándares ofrecen la flexibilidad necesaria para satisfacer la mayoría de los trazados de bandejas admitiendo una categoría sísmica suficiente para garantizar la seguridad en las plantas nucleares en caso de sismo.

En este proyecto vamos a estudiar fundamentalmente tres tipos de soportes:

- Soportes de tipo trapezoidal (Figura 1.1)
- Soportes en voladizo apoyados (Figura 1.2)
- Soportes en voladizo (Figura 1.3)

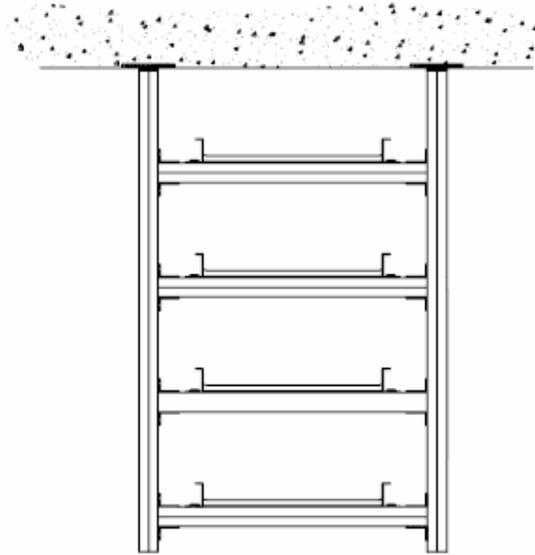


Figura 1.1. Soporte tipo trapezoidal.

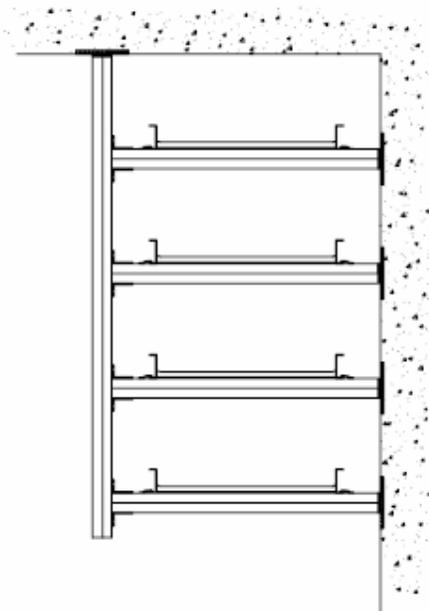


Figura 1.2. Soporte en voladizo apoyado.

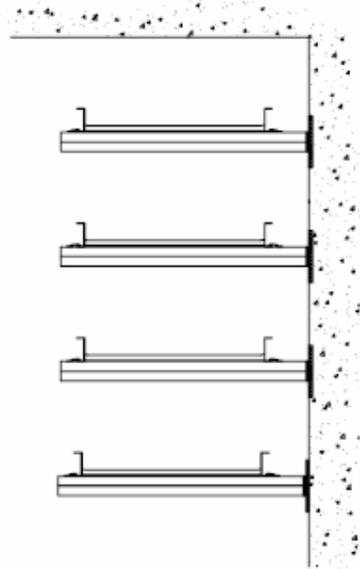


Figura 1.3. Soporte en voladizo.

Estas tres figuras sirven de referencia para ver los soportes que utilizaremos para este estudio.

Tanto el soporte mostrado en la figura 1.1 como el de la figura 1.2, se encuentran suspendidos del techo, sin embargo, también se pueden utilizar apoyados en el suelo. En este caso se deberían rotar 180°.

Lo habitual es que los soportes se agarren a techo, si bien se pueden presentar algunos casos en los que, debido a interferencias con otros grupos o instalaciones, este agarre no sea posible buscándose entonces un punto de apoyo en el suelo.

En el diseño de las plantas de energía nuclear se imponen determinados requisitos reglamentarios para asegurar que se pueden resistir los efectos de los terremotos de un determinado nivel sin que ello implique la pérdida de capacidad en las funciones de seguridad, manteniendo la integridad estructural y protegiendo a la población de posibles perjuicios.

Se pueden considerar tres tipos de categorías sísmicas (Referencia 2):

- **Categoría sísmica I:** Aplica tanto al funcionamiento como a la integridad.
- **Categoría sísmica II:** Aplica únicamente a la integridad.
- **Categoría sísmica III:** Aplica a las estructuras del edificio que no están relacionadas con la seguridad.

Las partes más importantes de las centrales nucleares se diseñan como categoría sísmica I, entre ellas nuestras estructuras, lo cual implica fundamentalmente que el sismo que pueden resistir es mayor que el del emplazamiento (con que fuese un 1% más resistente, sería suficiente). Ante un posible terremoto la estructura permanecerá en su sitio sin perder funcionalidad.

## **1.2 OBJETIVOS**

- Realizar un diseño admisible de soportes de bandejas eléctricas basándonos en unos estándares y en unos recorridos de bandejas ya definidos.
- Determinar un trazado óptimo desde el punto de vista económico para minimizar costes.
- Calcular los puntos más afectados que tienen las solicitaciones más críticas.
- Utilizar en cada caso concreto los perfiles correspondientes que cumplan con los requerimientos de diseño.
- Unificar el diseño de los soportes a lo largo de todo el recorrido de la bandeja.
- Establecer las distancias máximas que deben existir entre soportes.
- Comprobar, una vez realizado el diseño, que los soportes modelizados no interfieren con el resto de disciplinas y por tanto, no existen interferencias que obliguen a cambiar el diseño.
- Corroborar mediante los cálculos realizados la importancia que el sismo tiene en el diseño del soporte.
- Determinar mediante el uso del programa GTSTRUDL, comparando los perfiles empleados en el diseño de los soportes con la normativa reguladora AISI89, que dichos soportes son capaces de resistir tanto el peso de la bandeja como el resto de cargas que deben ser aplicadas para que se admita que cumple categoría sísmica I.

### **1.3 METODOLOGÍA**

A la hora de realizar el diseño de un soporte para un recorrido de bandejas eléctricas previamente definido, se analiza primeramente qué soporte es el más adecuado en función de la proximidad de la bandeja al lugar de anclaje, sea pared, suelo o techo.

Una vez determinado el soporte a emplear se procede al modelado del mismo, comprobando que no existen interferencias con el resto de disciplinas. Si estas se produjeran habría que rediseñar el soporte para evitarlas.

Posteriormente se procede al cálculo del soporte mediante el uso del programa GTSTRUDL. Las variables consideradas a estudio son las siguientes:

- Carga de peso propio del soporte
- Carga por construcción – mantenimiento, que equivale al peso de un posible operario que subiera a la estructura
- Peso debido a las bandejas y cables que ésta lleva
- Combinación de las cargas anteriores
- Cargas debidas al sismo
- Combinación de cargas sísmicas
- Cargas debidas al soporte más el sismo
- Cargas para el anclaje del soporte

El programa desarrolla un análisis estático de la estructura determinando si el soporte diseñado cumple con su cometido de soportar la bandeja eléctrica y mantenerse en funcionamiento y estructuralmente íntegro en caso de que se produzca un sismo.

## 2.- CONDICIONANTES ASOCIADOS A LAS CENTRALES NUCLEARES

Con objeto de dar una visión más amplia de la situación actual en España en cuanto a centrales nucleares se refiere, se contabilizan seis centrales operativas en Enero de 2010; de ellas, Almaraz y Ascó tienen dos unidades gemelas, siendo ocho, por tanto, los grupos de producción con una potencia de 7450 MW. Sus fechas de puesta en marcha y su situación geográfica se resumen en la tabla 2.1 y en la figura 2.1, respectivamente (Referencia 3).

Central Nuclear	Tipo-Suministrador	Año
Almaraz I	PWR-Westinghouse	13 Octubre 1980
Almaraz II	PWR-Westinghouse	15 Junio 1983
Ascó 1	PWR-Westinghouse	22 Julio 1982
Ascó 2	PWR-Westinghouse	22 Abril 1985
Cofrentes	BWR-General Electric	23 Julio 1984
Santa María de Garoña	BWR-General Electric	30 Octubre 1970
José Cabrera (Esta ya parada)	PWR-Westinghouse	11 Octubre 1968
Trillo	PWR-Siemens	14 Diciembre 1987
Vandellós II	PWR-Westinghouse	17 Agosto 1987

Tabla 2.1. Centrales nucleares españolas, tipo y año de puesta en marcha. Fuente: CSN.

La primera central nuclear que se puso en marcha en España en 1968, la de José Cabrera (Zorita) en Guadalajara, funcionó hasta su cierre a mediados del año 2006. La segunda, la de Santa María de Garoña, tenía una autorización vigente del año 1999 por un periodo de 10 años que llevaría a la central a su final de vida previsto de 40 años. Recientemente el Gobierno ha decidido prolongar su operabilidad durante los próximos cuatro años frente a los diez que solicitaban los titulares de Garoña y a los que el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) dio el visto bueno. De este modo, se convertirá en la primera central nuclear que opera más de 40 años en España. Las demás centrales, de una década posterior, garantizan la producción de energía eléctrica hasta el año 2027, final de la vida de diseño de las centrales de 40 años, si no se prolonga su vida.



Figura 2.1. Situación de las centrales nucleares españolas. Fuente: CSN.

El CSN ha manifestado que su política de prolongación de la vida de las centrales seguirá muy de cerca los criterios que considere la Nuclear Regulatory Commission (NRC) americana y en EEUU ya han empezado a abordar el problema del envejecimiento de las centrales. De hecho, la NRC ya ha renovado las autorizaciones de funcionamiento a, por lo menos, 26 reactores por un plazo adicional de 20 años, lo que eleva la vida prevista en diseño a 60 años de operación (18 ya han cursado su solicitud y se esperan sucesivas peticiones) (Referencia 4).

A nivel mundial, hay 439 unidades nucleares operativas (figura 2.2) y se están construyendo 30 unidades más (figura 2.3). La producción de energía eléctrica a partir de la energía nuclear es muy variable en función del país que se considere: Francia encabeza la lista con un ratio del 78% de la energía eléctrica producida por sus centrales nucleares; en España es del orden del 20% (figura 2.4).

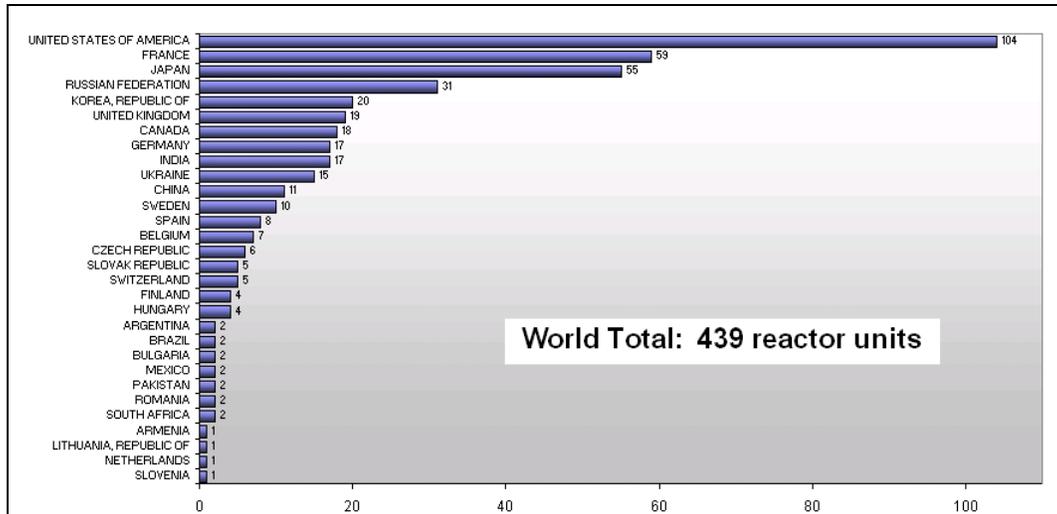


Figura 2.2. Centrales nucleares operativas en el mundo por países. Fuente: PRIS.

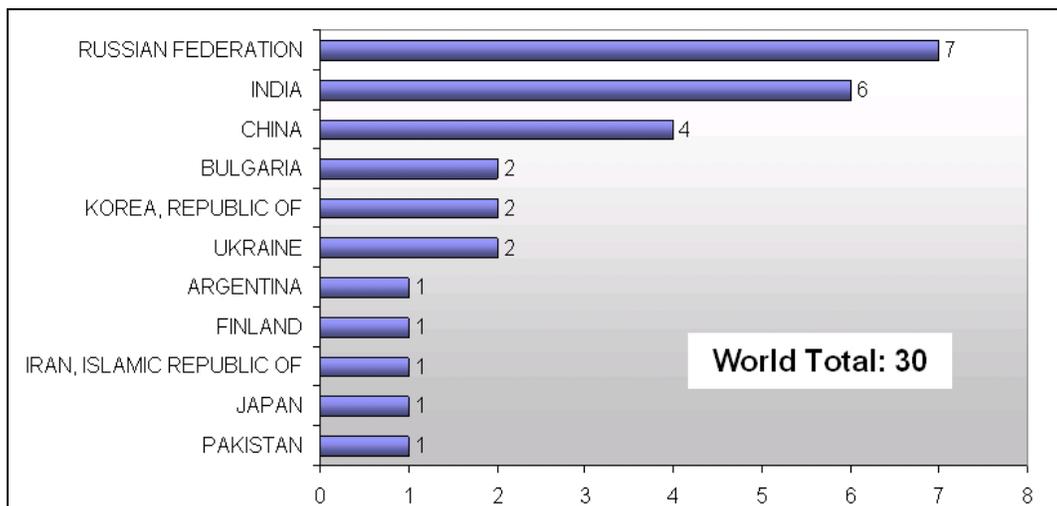


Figura 2.3. Centrales nucleares en construcción por países. Fuente: PRIS.

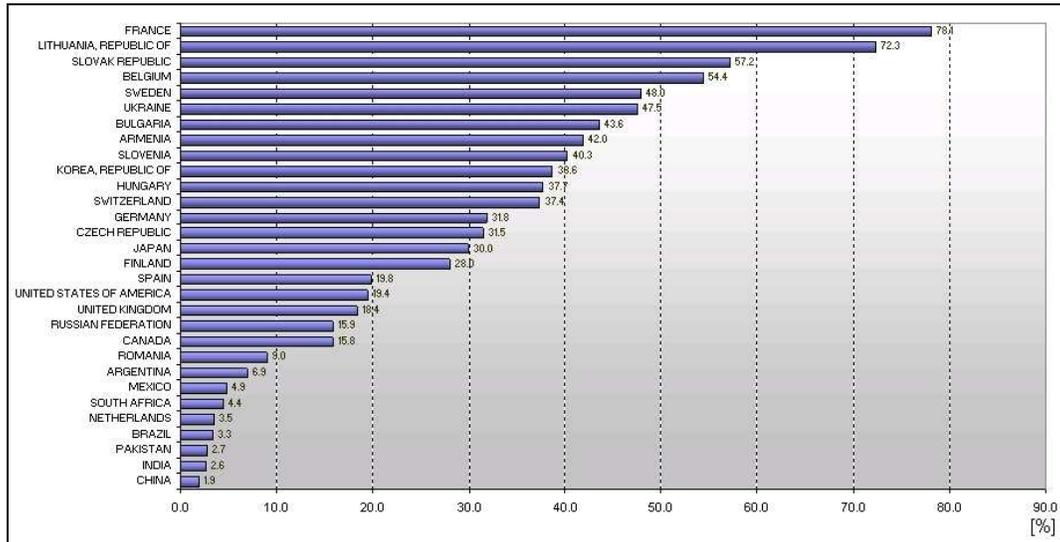


Figura 2.4. Ratios de producción de energía eléctrica. Fuente: PRIS.

Desde esta perspectiva pueden considerarse tres campos amplios de actuación de los ingenieros:

- 1º) La evaluación de la extensión de vida.
- 2º) El diseño de las nuevas centrales nucleares (que en principio parece estancado en España por la moratoria nuclear).
- 3º) Las actuaciones en el mantenimiento de la explotación de las centrales, menos “interesante” desde el punto de vista técnico.

La explotación de las centrales conlleva unos cambios de diseño con el fin de mantener y mejorar su funcionalidad. Dichos cambios deben estar adecuadamente justificados y esta labor requiere de ingenieros preparados para ello: las ingenierías y departamentos técnicos de las propietarias de las centrales necesitan de este personal cualificado para solapar con la actual plantilla ya muy madura.

A continuación se desarrollan aspectos relativos a cada uno de los puntos anteriores:

- **Prolongación de la vida de las centrales nucleares**

Teniendo en cuenta que hoy en día el diseño estándar de protección del reactor es un edificio de hormigón pretensado (no siempre, solo en algunos casos) que denominamos Contención, tenemos una oportunidad de desarrollo de áreas tan conocidas por nosotros como el análisis estructural, el cálculo sísmico de edificios, las estructuras pretensadas y la conducción de calor o el análisis térmico.

La capacidad última a presión del edificio de contención de una central nuclear requiere de un profundo conocimiento de técnicas de modelización y de procedimientos de análisis.

Respecto a las técnicas de modelización se encuentran los modelos de comportamiento no lineal de los materiales, la idealización de la estructura: geometría, discretización y refinado de la malla, localización de los refuerzos, etc.

Los procedimientos de análisis se basan en el Método de los Elementos Finitos, con capacidad de análisis no lineales que incluyan como mínimo la no linealidad del material, tanto estáticos como dinámicos, pues esta estructura es categoría sísmica I y siempre debe considerarse la acción sísmica dentro de su diseño.

Como consecuencia de la acción sísmica, debe abordarse el tema de la interacción entre los esfuerzos normales y los tangenciales: es decir, la modelización del hormigón y sus armaduras tiene que tener en cuenta la interacción entre ambos tipos de tensiones.

El hormigón presenta un comportamiento claramente no lineal. Los efectos principales que deben tenerse en cuenta para la correcta modelización de este material son: fisuración, aplastamiento, tensión stiffening, transmisión a cortante, degradación del anclaje de las armaduras, pérdidas de pretensado, fluencia a bajas tensiones, fluencia no lineal a altas tensiones y, aunque sea de forma simplificada, el comportamiento dinámico del material y la fatiga.

El acero debe diseñarse también teniendo en cuenta su comportamiento no lineal a altas deformaciones, para poder predecir la capacidad última adecuadamente, sin añadir conservadurismos que simplifiquen el cálculo. Modelizar el fenómeno de relajación del material y el comportamiento en el tiempo (evaluación de las pérdidas diferidas) es esencial para el correcto desarrollo del modelo de análisis.

Dada la complejidad de fenómenos a tener en cuenta en el análisis de la Contención, el estudio de ésta se hace muy atractivo para una actividad investigadora. Además, varios países vecinos están construyendo nuevas centrales y ello requiere de especialistas estructurales de primer nivel y esta tendencia es posible que afecte a España en los próximos años.

La evaluación de la fatiga y la fractura mecánica en el tiempo, diferida, es un tema de estudio que todavía no ha llegado a su madurez (a nivel instantáneo el tema ya está resuelto) siendo un campo interesante de formación de postgrado: una aplicación de estos estudios es la reevaluación de las estructuras de hormigón pretensado diseñadas para una vida útil de 40 años y que se quiere prolongar hasta los 60. Respecto a este tema, la ingeniería de mantenimiento de estructuras puede ser un nuevo campo de futura actividad profesional.

- **Diseño de las nuevas centrales nucleares**

En el sector nuclear, desde hace unos años, se viene notando una inquietud por esta fuente de energía como medio para garantizar el suministro de energía eléctrica en los países industrializados y países con un potencial emergente como China o la India. Esta inquietud se ha trasladado a estudiar la viabilidad de prolongar la vida de las centrales y en la construcción de unidades nuevas, mejorando su diseño con la experiencia acumulada de los últimos 30 años.

La construcción en la actualidad de 30 nuevos reactores nucleares, lo que supone aproximadamente un 7% del parque actual, confirma que varios países apuestan por esta energía para garantizar su desarrollo y sociedad de bienestar.

Westinghouse instaló su primer reactor en 1957, en Shippingport (Pennsylvania), y en la actualidad el 50% de las plantas nucleares tienen la tecnología Westinghouse. Recientemente, se ha firmado un acuerdo para suministrar 4 centrales denominadas AP1000 a Sanmen y Haiyang (China) que entrarían en funcionamiento progresivamente en 2013-2015 (Referencia 5). En EEUU, se prevé el suministro de, al menos, 12 nuevos reactores en la próxima década (Referencia 6).

Estos datos confirman la necesidad de ingenieros cualificados para responder a la demanda real, no sólo de Westinghouse, sino de las empresas relacionadas con el sector nuclear.

Dado que en España no hay ninguna central en construcción ni previsión a corto plazo de ello, no se desarrollará más profundamente este tema.

- **Apoyo a la explotación de las centrales nucleares**

En la figura 2.5. se expone un gráfico por edades de las unidades operativas a nivel mundial en la actualidad. Como puede observarse, la distribución es bimodal teniendo una punta en torno a los 33 años que corresponde a la década de los 70 y otra, más acusada, en torno a los 23 años, correspondiente a la década de los 80.

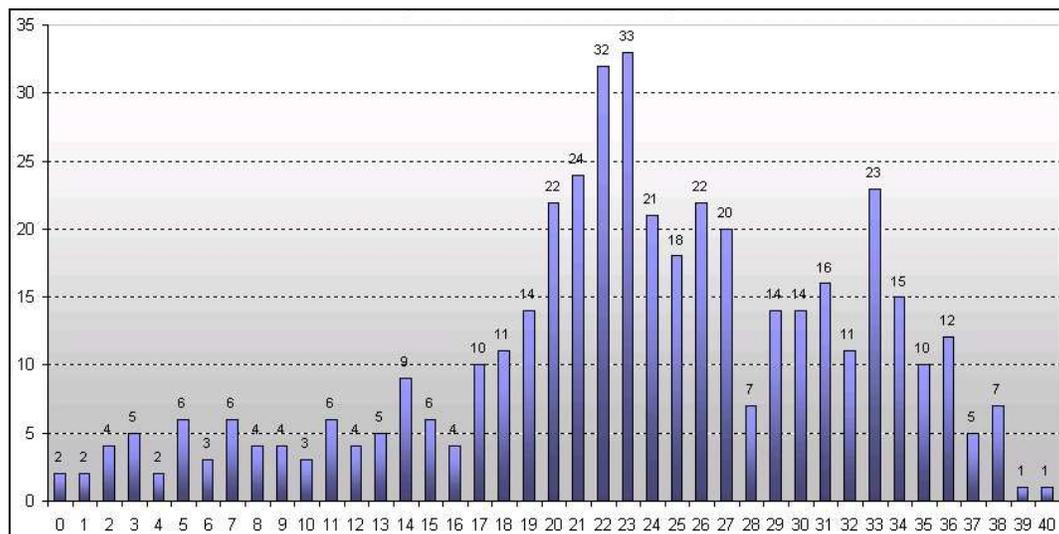


Figura 2.5. Distribución de los reactores en el mundo por su edad. Fuente: PRIS.

En España, dos centrales son de la década de los 70 y el resto corresponden a la década de los 80 (véase tabla 2.1.); por tanto, tanto a nivel mundial como en el caso español, la mayoría de las centrales están licenciadas para operar durante los próximos 10 años, las correspondientes a la “1ª tanda”, y durante los próximos 20 años, las correspondientes a la “2ª tanda”, y mayoría en nuestro caso.

Centrándonos en España, el descenso producido en el sector nuclear, sobre todo desde finales de 1987 cuando se licenciaron Vandellós II y Trillo, las centrales españolas más jóvenes, ha llevado a un abandono de la ingeniería nuclear durante la década de los 90 y, prácticamente, hasta la actualidad.

Consecuentemente, la generación de ingenieros y proyectistas con experiencia nuclear no tiene continuidad en el tiempo y, en este sector, es imprescindible un cierto solapamiento entre generaciones para transmitir la experiencia y el *modus operandi*.

En este apartado, se quiere exponer, brevemente, las actividades de ingeniería que día a día se realizan en una central, enfocando el tema al campo de un especialista en estructuras, sin entrar en otros campos como la ingeniería eléctrica, mecánica, instrumentación, garantía de calidad, materiales, etc.

Es dentro de este campo, donde los ingenieros podemos actuar aportando nuestros conocimientos a la justificación de los cambios de diseño originados por el mantenimiento y la mejora de la operabilidad de la central. Los campos básicos son: el conocimiento del hormigón, el cálculo de estructuras metálicas y la capacidad para realizar cálculos dinámicos, en especial, sísmicos. Además de la capacidad para absorber nuevos conocimientos y nueva normativa propia de nuestra formación generalista.

*Estructuras de hormigón armado*

Debido al envejecimiento de los equipos, o con motivo de una mejora de operabilidad de la planta, a veces es necesario proceder a su sustitución por equipos nuevos de características diferentes: típicamente, el diseño de los nuevos equipos es más compacto y suelen tener un aumento del peso por sus mayores prestaciones. En este contexto es natural reanalizar los soportes de estos equipos y, en ciertos casos, por ejemplo en el caso de generadores diesel u otros grandes equipos, evaluar la capacidad de una losa o de un forjado para soportar las nuevas cargas.

*Estructuras metálicas*

El cálculo de plataformas metálicas para acceso a equipos, los soportes de bandejas eléctricas, de conductos de aire acondicionado, de conduits y tubing de instrumentación, el anclaje de armarios y equipos y, sobre todo, los soportes de tuberías son actividades absolutamente cotidianas en una ingeniería de apoyo a la explotación de una central nuclear.

*Calificación sísmico-ambiental*

Dentro de las actividades cotidianas de la ingeniería está la calificación sísmico-ambiental de los equipos nuevos que se instalan o de la justificación de que las modificaciones realizadas no degradan la calificación del equipo existente.

### 3.-DATOS DE PARTIDA / HIPÓTESIS DE CÁLCULO

#### 3.1 DATOS DE PARTIDA

##### 3.1.1 Generales

Existen multitud de combinaciones en los parámetros de diseño y dimensiones asociadas al campo de las aplicaciones de bandejas eléctricas. El primer paso en el desarrollo de los soportes estándar es definir aquellas variables que deben ser establecidas para el soportado de bandejas. Un segundo paso será desarrollar un método práctico de análisis.

##### 3.1.2 Geometría

Los elementos que vamos a utilizar para nuestros soportes son perfiles obtenidos del fabricante UNISTRUT y serán básicamente tres, denominados como P1001, P5501 y P1004A cuyas características se describen en las siguientes figuras y tabla adjunta (Referencia 7):

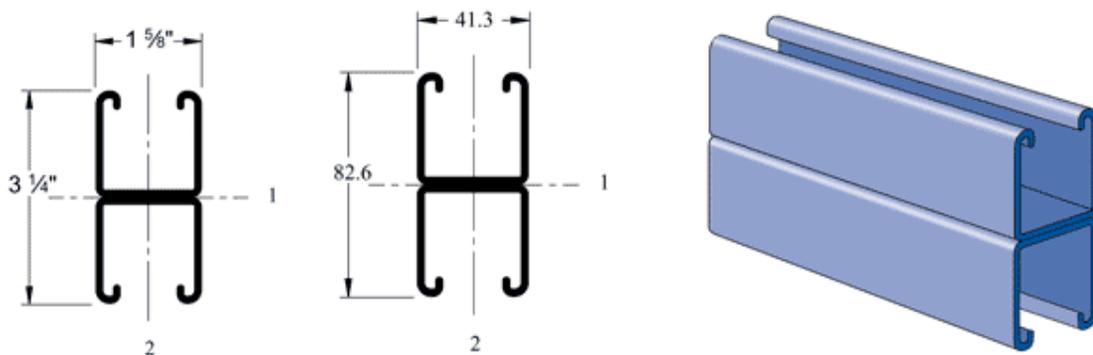


Figura 3.1. Perfil P1001

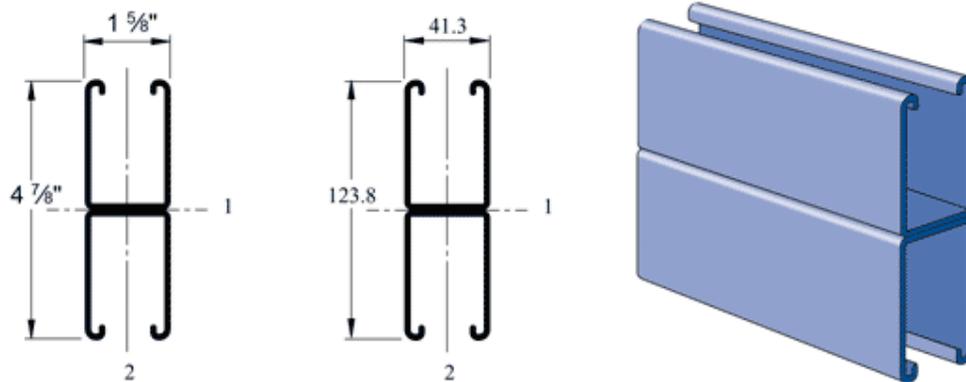


Figura 3.2. Perfil P5501

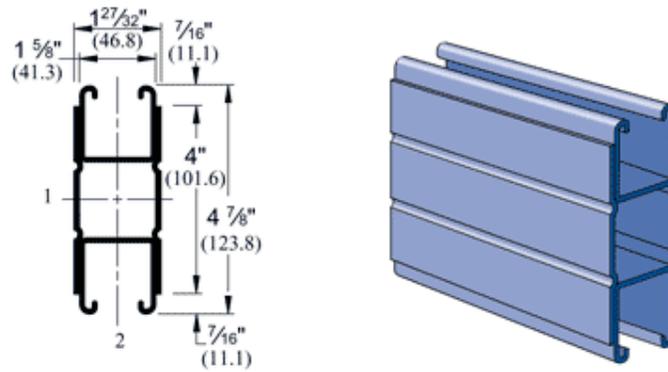


Figura 3.3. Perfil P1004A

Member	Ax (in <sup>2</sup> )	Iy (in <sup>2</sup> )	Iz (in <sup>2</sup> )	Sy (in <sup>3</sup> )	Sz (in <sup>3</sup> )	THICK (in)
P1001	1,112	0,472	0,930	0,580	0,572	0,105
P5501	1,450	0,674	2,799	0,830	1,148	0,105
P1004A	1,978	1,121	4,079	1,204	1,673	0,105

Tabla 3.1. Propiedades de los elementos y formas

### **3.1.3 Trazado**

Los siguientes parámetros influyen en el comportamiento del sistema de cableado/soportado, tipo de soporte requerido y configuración del mismo:

- Tipo de soporte
- Localización del soporte (elevación y proximidad con respecto a los suelos, muros y techos)
- Recorrido de las bandejas de cables (recorridos rectos, encajes en T, recorridos ascendentes, longitud del recorrido y número de soportes necesarios)
- Anclajes (uniones a hormigón o acero y condiciones límites)
- Soportes (número de bandejas a soportar, perfil utilizado en el soportado, ancho del perfil, longitud del mismo, distancia a la primera bandeja y espaciamiento vertical entre bandejas)
- Cables y bandejas (pesos de los mismos, ancho de bandeja y material del que está hecha)

Sabiendo que los soportes de bandejas, mayoritariamente, se encuentran suspendidos del techo, sus longitudes en sentido vertical, así como su localización y proximidad a un muro permite que se pueda determinar qué tipo de soporte es el más adecuado.

En nuestro caso se tienen tres tipos de soportes, aunque en este proyecto solo se representarán los cálculos correspondientes a uno de ellos, que es el soporte tipo trapezoidal. Los otros dos tipos, aunque no se muestren los cálculos (se hacen de manera análoga a la del ejemplo) también se van a estudiar:

- Tipo de soporte:
  - a) Trapezoidal (Figura 1.1)
  - b) En voladizo apoyado (Figura 1.2)
  - c) En voladizo (Figura 1.3)

- Soportes:
  - a) Número de bandejas por soporte entre 1 y 4
  - b) Longitud del soporte en vertical entre 12 y 72 in. ( $\approx$  entre 30 y 183 cm.)
  - c) Longitud del perfil en horizontal entre 32 y 45 in. ( $\approx$  entre 81 y 114 cm.)
  - d) Espaciado longitudinal entre soportes, máximo 8ft. ( $\approx$  244 cm.)
  - e) Las secciones utilizadas para el soportado serán P1001, P5501 y P1004A (sacadas del catálogo UNISTRUT)
  - f) Distancia a la primera bandeja entre 12 y 24 in. ( $\approx$  entre 30 y 61 cm.)
  - g) Espaciado entre bandejas entre 16 y 24 in. ( $\approx$  entre 41 y 61 cm.)
  
- Cables y bandejas:
  - a) El peso máximo de cableado, bandeja y recubrimiento se tomará acorde al factor de carga expuesto anteriormente aproximándolo a 50 ppf ( $\approx$  74 kg/m), asumiendo este peso como el especificado por el conjunto eléctrico.
  - b) Los materiales de fabricación de las bandejas serán acero al carbono galvanizado cuya especificación se encuentra recogida en la norma ASTM A653SS.
  - c) Los anchos de bandeja serán de 6 a 24 in. ( $\approx$  15 a 61 cm.)
  
- El anclaje del soporte se asume que es rígido.

Los soportes estándar que se van a desarrollar en este proyecto están basados en los parámetros de diseño expuestos anteriormente. Todos aquellos diseños que excedan estas limitaciones deben ser considerados como casos especiales y por tanto no formarán parte de este estudio.

### **3.1.4 Amortiguamiento de los sistemas de bandejas eléctricas**

Empresas como Shaw o Ansaldo han desarrollado varios estudios para investigar los mecanismos de amortiguamiento, de forma que los niveles para una planta nuclear sean aceptables tanto para las estructuras como para los componentes. Estos niveles están basados en el tipo de estructura que conforma el soporte y los materiales empleados, así como la composición de las uniones estructurales.

Los sistemas de bandejas eléctricas difieren de las estructuras convencionales fundamentalmente en que la mayor parte de la masa (los cables) no está rígidamente conectada a los elementos estructurales, que son los que dan rigidez al sistema de apoyo.

El análisis dinámico no tiene en cuenta los desplazamientos relativos producidos entre los cables y la bandeja propiamente dicha durante la vibración. Por tanto, el amortiguamiento actual equivalente consiste en una combinación de los siguientes factores:

- Materiales normales y vibración estructural asociada a la estructura de soportado y a la bandeja.
- Pérdida de energía como resultado de la fricción del movimiento de los cables.
- Pérdida de energía asociada a las deformaciones no elásticas producidas por colisiones entre cables y entre cables y elementos de bandejas.
- Un efecto de amortiguación equivalente representativo de los desplazamientos que ocurren entre los cables y la bandeja.

La principal conclusión de estos estudios es que el amortiguamiento en un sistema de bandejas de cables está fundamentalmente asociado a aquellos elementos que forman la masa y no el apoyo estructural. Según la guía de diseño sísmico se empleará un valor mínimo del 7% del amortiguamiento crítico para el diseño de sistemas de bandejas de cables, para ser consistentes con las condiciones requeridas por el SSE (Safe Shutdown Earthquake) (Referencia 8).

El SSE se denomina al terremoto de parada segura basado en la evaluación del máximo terremoto potencial considerando la geología regional y local, así como la sismología y características específicas de los materiales del subsuelo local. Se trata de aquel terremoto que produce el máximo movimiento vibratorio del suelo para el que ciertas estructuras, sistemas y componentes han de estar diseñados para permanecer en funcionamiento.

### **3.2 HIPÓTESIS DE CÁLCULO**

El diseño analítico está basado en los siguientes supuestos:

- Comportamiento lineal-elástico de los componentes del sistema.
- Conexiones semi-rígidas entre los miembros horizontales y verticales del soportado.
- Anclajes fijos en condiciones límites.
- El peso del cable, protector de la bandeja y de la bandeja propiamente dicha será equivalente a 50 plf (pound linear foot) por bandeja ( $\approx 74.4$  Kg por metro lineal).
- La mínima tensión producida por los miembros de acero conformados en frío (UNISTRUT) para el diseño equivale a 42,0 ksi ( $\approx 290.0$  MPa) (Referencia 7).

Se denomina como *pound linear foot* a la carga por unidad de longitud, no de superficie. Es la carga límite de diseño de la bandeja.

UNISTRUT es un conocido fabricante de la perfilería utilizada para bandejas eléctricas y del que se ha hecho referencia anteriormente. Se trata de perfiles especiales fabricados por un método de conformado en frío que produce una mayor resistencia del material.

## **4.-CALCULOS**

### **4.1 CRITERIOS DE CALCULO**

#### **4.1.1 Cargas**

En el ejemplo de estudio se aplicarán las siguientes cargas:

**Carga de peso propio ( $SW$ ):** Es la carga debida al peso del elemento resistente (se incluirá dentro de la carga muerta).

**Carga viva o sobrecarga ( $LL$ ):** Se consideran cargas vivas las fuerzas que se producen por el uso y ocupación de las edificaciones.

**Carga muerta ( $DL$ ):** Carga vertical aplicada sobre una estructura que incluye el peso de la misma más la de los elementos permanentes.

**Carga sísmica ( $E_S$ ):** Fuerza que ejerce un terremoto sobre la estructura de un edificio.

La carga muerta ( $DL$ ) en combinación con las cargas sísmicas ( $E_S$ ) son consideradas en el diseño y análisis de los sistemas de soportes de cables. La carga sísmica viene impuesta desde las tres direcciones principales del sistema de bandejas de cables y está generada por el SSE (explicado anteriormente).

Las bandejas están diseñadas para soportar una combinación de carga muerta y la impuesta por el SSE manteniéndose las tensiones dentro de las limitaciones de esfuerzo permisible.

No se consideran en nuestro caso los efectos debidos a la temperatura puesto que afectan principalmente a los detalles de conexión del sistema de bandejas y no al soporte propiamente dicho. Aunque sí habría que destacar el hecho de que los tornillos utilizados permiten dilatación.

#### **4.1.2 Combinaciones de carga**

Las siguientes combinaciones de carga son las utilizadas para el diseño de las bandejas de cables y su soportación:

- $DL + LL$
- $DL + E_S$

#### **4.1.3 Tensiones admisibles**

Las tensiones admisibles para los soportes de bandejas de cables están basadas en los valores del catálogo publicado por el fabricante y se encuentran en concordancia con la norma ANSI/AISC N-690.

Las tensiones admisibles para las combinaciones de carga descritas en el apartado anterior son las siguientes:

- $DL + LL$  : Básica admisible
- $DL + E_S$  : 1,6 veces la básica admisible para tensión y 1,4 veces la básica admisible para compresión

## **4.2 MÉTODO DE ANÁLISIS SISMICO DE CARGA ESTÁTICA EQUIVALENTE**

Este método implica fuerzas estáticas equivalentes tanto horizontales como verticales aplicadas en el centro de gravedad de diversas masas. La fuerza equivalente en un punto másico se calcula como el producto de las masas y el valor de la aceleración sísmica aplicable a esa localización másica.

Para intentar resumir todo lo expuesto anteriormente se explicará que a lo largo del recorrido de las bandejas eléctricas existirán varios soportes. Dado que entre ellos existirá un nexo de unión que son las bandejas, el movimiento producido en uno de los soportes afectará al siguiente y así de manera sucesiva. Intentar realizar un análisis de los desplazamientos producidos resulta muy complicado y engorroso en su desarrollo. Este método pretende simplificar las cosas estudiando un único soporte y aplicando sobre él un factor de corrección que nos asegure que nuestras estructuras en conjunto serán categoría sísmica I.

Este método de análisis se aplica a distintas disciplinas, entre ellas el soportado de bandejas de cables que es el tema que actualmente nos compete. El factor de carga estática aplicada será en nuestro caso de 1,5 según aplica la normativa IEEE 344.

Para sistemas de un grado de libertad dominante (por ejemplo una ménsula) basta con hallar su frecuencia y obtener en los espectros de respuesta las aceleraciones sísmicas que le corresponden. Pero cuando existe más de un grado de libertad, el cálculo de la frecuencia puede ser más complejo. Para evitar este cálculo, se puede considerar el pico del espectro (la curva tomada está en función del amortiguamiento, que para el acero viene especificado en la guía correspondiente) y se multiplica por 1,5 (este factor viene motivado por lo que denominamos el efecto de los multimodos, explicado más adelante, cuando se desarrolle este apartado concreto en el ejemplo) en las tres direcciones del espacio, tanto en x, como en y, como en z. Para no ser tan conservadores deberíamos hacer un estudio en 3D modelizando todos los soportes de un tramo, las bandejas y metiendo el espectro en los muros, que es por donde se transmite a los soportes. Con objeto de simplificar estos cálculos utilizamos la primera opción, que, aunque mucho más conservadora, nos aporta la misma seguridad de que nuestros soportes van a cumplir con los requisitos de diseño.

## **5.– METODOLOGÍA DE CÁLCULO**

### **5.1 ¿QUÉ ES GTSTRUDL?**

El programa utilizado para la metodología de cálculo de este proyecto se denomina GTSTRUDL.

Este programa es uno de los programas de software más utilizados para el Diseño Estructural y de Análisis para Arquitectura, Ingeniería y Construcción, para servicios desarrollados en alta mar, industriales, nucleares y de obra civil. Integra plenamente el sistema estructural con el propósito de procesar, mediante datos técnicos precisos y completos, decisiones para el diseño de estructuras.

Presenta tanto modelado gráfico como pantalla de resultados mediante el análisis finito estático, dinámico y no lineal.

Es una de las herramientas más ampliamente aceptadas en la ingeniería asistida por herramientas de diseño.

Tiene una librería propia en la que están introducidos todos los datos necesarios de las estructuras que se pueden emplear en el diseño, de manera que permite calcular de una manera sencilla si el diseñado utilizado para el análisis es válido o no. En caso de que el resultado sea negativo, el programa identifica dónde se ha producido el fallo y cual es el motivo del mismo, para poder buscar una solución adecuada al problema que esto supone.

## **5.2 ANALISIS DEL MODELO INDIVIDUAL EN 3D UTILIZANDO EL PROGRAMA GTSTRUDL**

En este apartado se va a intentar resumir de forma escueta cómo funciona el programa GTSTRUDL para un modelo cualquiera en tres dimensiones.

El caso que se va a analizar es el que corresponde a un soporte trapezoidal de tres niveles de bandejas y con las limitaciones establecidas anteriormente en las premisas.



Figura 5.1. Soporte calculado

La pantalla de inicio del programa GTSTRUDL es como sigue. Aquí se dará un nombre al ejemplo a desarrollar al que se llamará “CÁLCULO”.

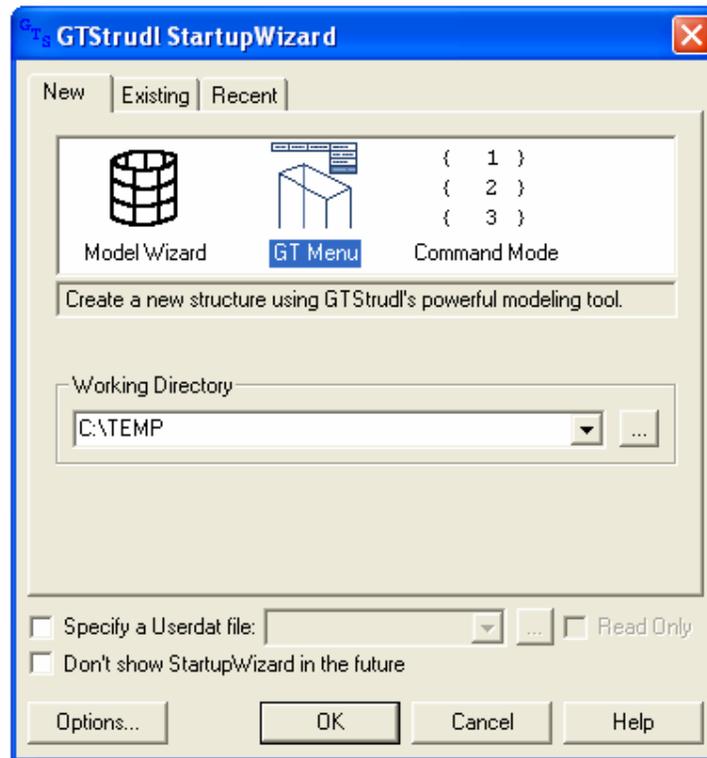


Figura 5.2. Pantalla inicio GTSTRUDL

Como se puede observar, el programa da tres opciones para comenzar a dibujar el modelo.

El Model Wizard se emplea para casos más complejos que el que nos compete en este momento, por ello no se va a utilizar.

El GT Menú se emplea para visualizar el modelo a medida que se van introduciendo los datos y será el empleado en este caso.

El Command Mode implica ir introduciendo comandos en el modelo. Al final del desarrollo se adjunta cómo queda el modelo utilizando esta alternativa en los anexos.

Primeramente se define la geometría del soporte, para ello se introducen las coordenadas de sus puntos. Las unidades que se van a utilizar en este ejemplo son americanas, es decir, se hablará siempre de pulgadas, libras, grados y segundos.

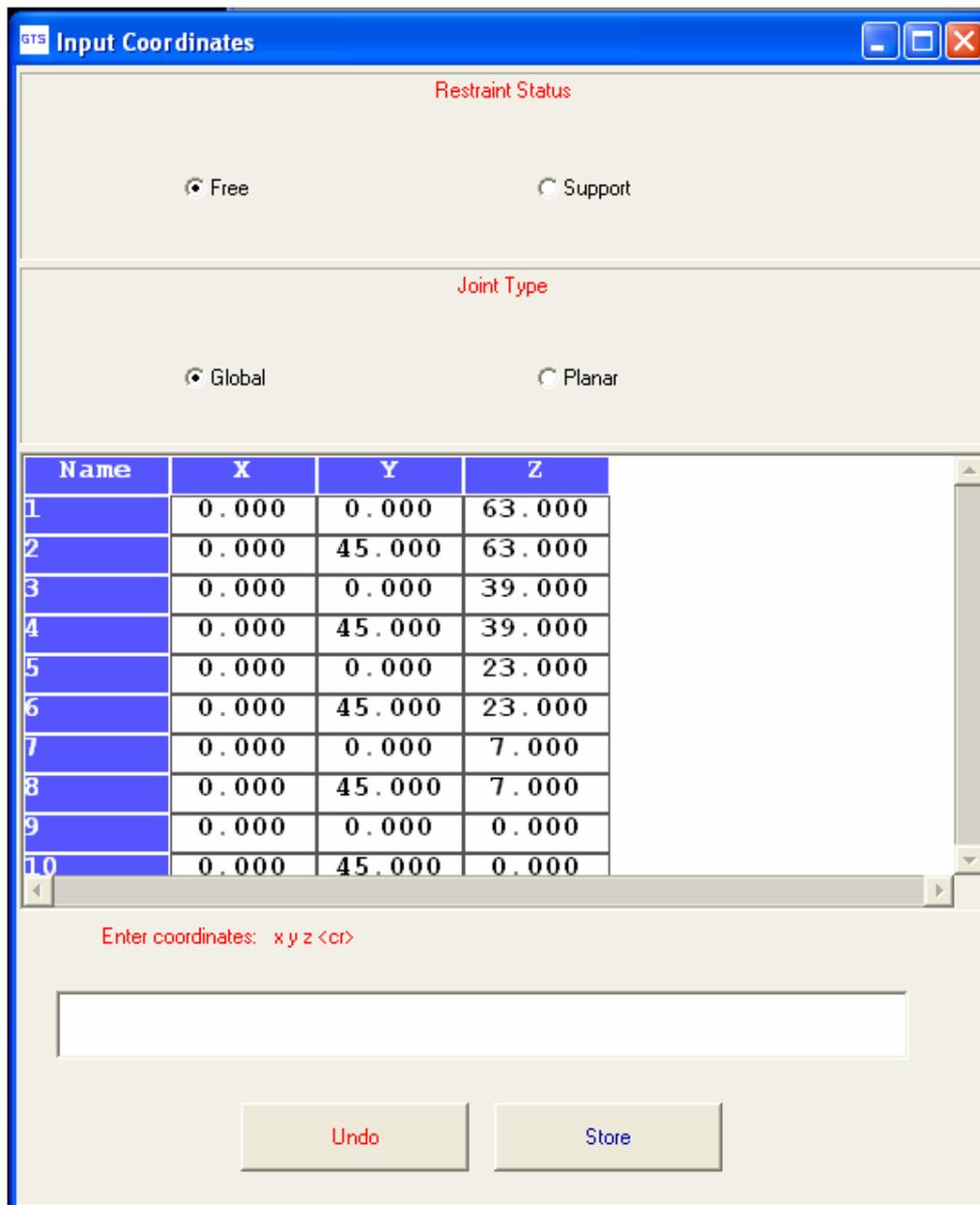


Figura 5.3. Pantalla correspondiente a la entrada de coordenadas

La visualización del modelo quedaría de la siguiente manera:



Figura 5.4. Visualización de las coordenadas de los nodos

Dado que la estructura va soportada a techo, entonces los puntos 1 y 2 definidos en nuestro modelo serán fijos.

De aquí en adelante no se mostrará más la orientación de los ejes de coordenadas, pero se sobreentiende que es la misma en los dibujos restantes.

Ahora se unen los puntos para crear nuestras vigas y columnas, es decir, realizar las conexiones y darles unas determinadas propiedades a las líneas conectadas. Los miembros horizontales que se van a utilizar son siempre del tipo P1001, en este caso los miembros verticales que serán P1004A. El modelo correspondiente se recoge en la figura 5.5.

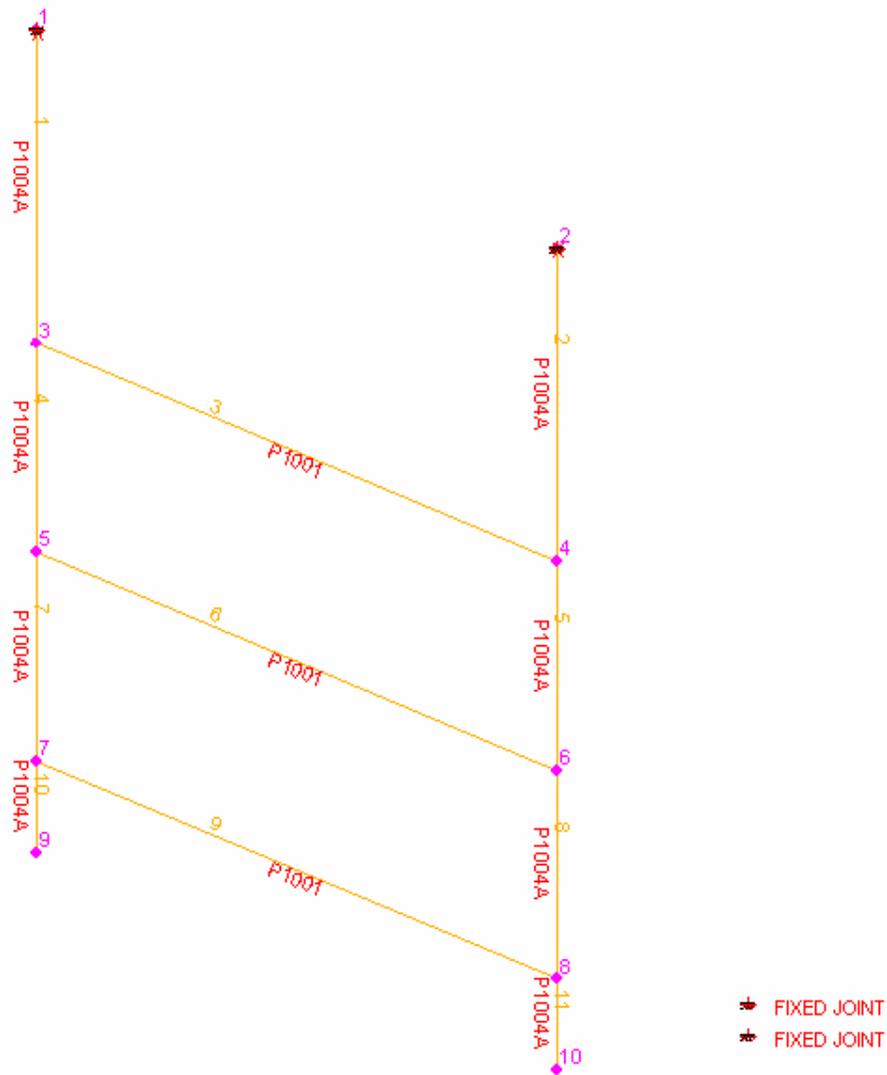


Figura 5.5. Visualización de los perfiles y anclajes

A los elementos 3, 6 y 9 se les dará un cierto ángulo beta de manera que todos estos elementos queden bien orientados en el dibujo que ha sido mostrado anteriormente en 3D para que se vea con mayor claridad, pero en alzado quedaría de la siguiente manera:

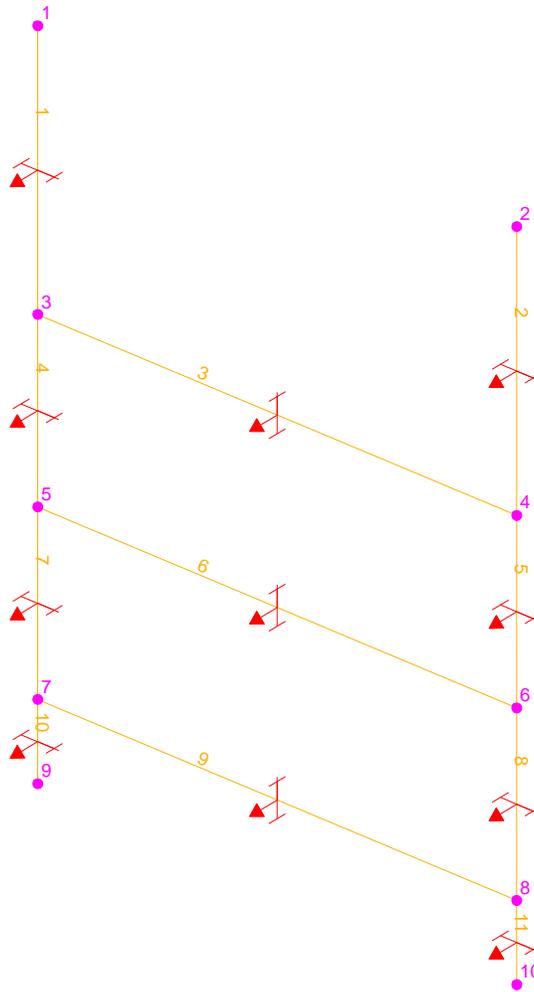


Figura 5.6. Orientación de los perfiles

En nuestro caso los perfiles horizontales van sujetos a los verticales mediante unos angulares, que a su vez van atornillados. Se muestran en las figuras 5.7 y 5.8 los detalles de la unión.

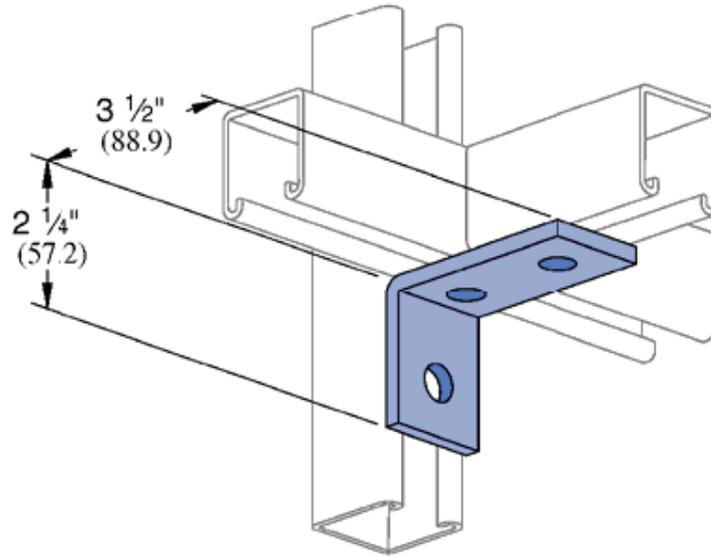


Figura 5.7. Sujeción entre perfiles verticales y horizontales

Como se puede observar en este otro detalle existe una sujeción amortiguada que une unos elementos a otros.

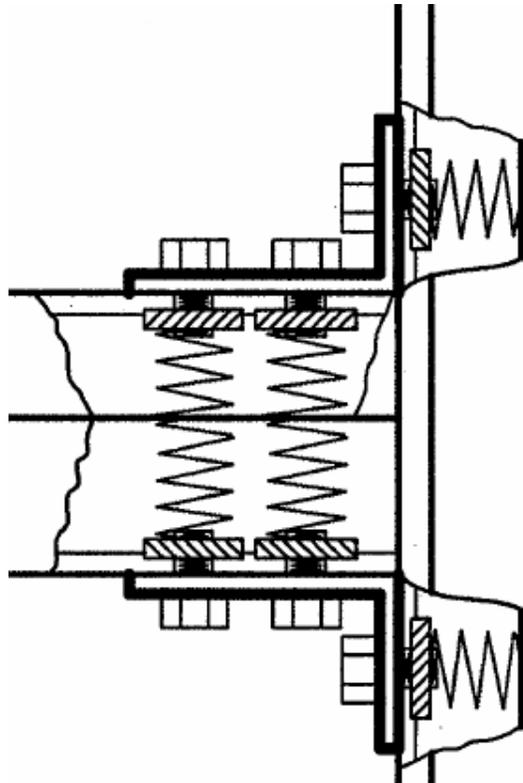


Figura 5.8. Detalle de sujeción

La unión de los elementos horizontales a los verticales no tiene una rigidez infinita. Si bien es cierto que la rigidez que presentan es elevada, del orden de 200.000 lbs-in/rad en las direcciones Y y Z únicamente (Referencia 9).

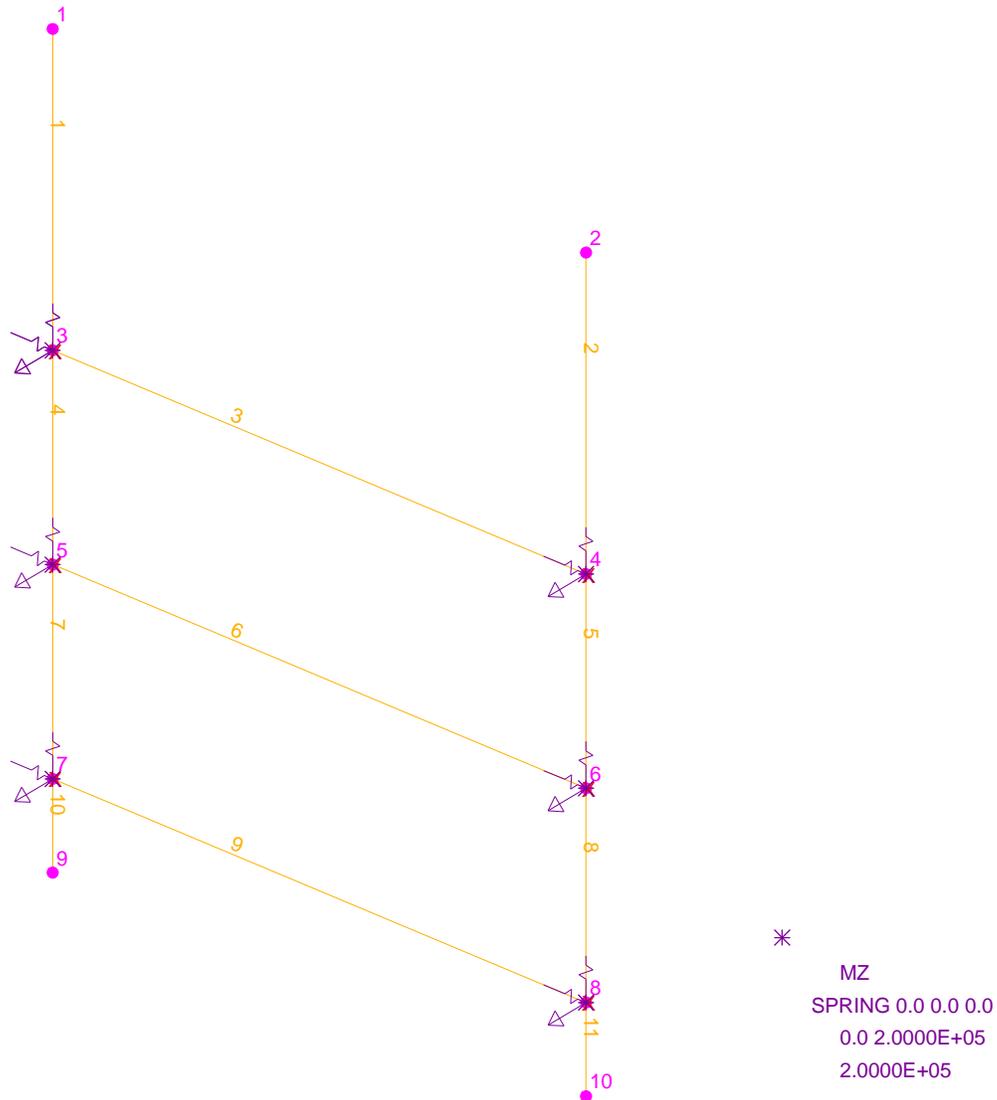


Figura 5.9. Visualización de la rigidez en las uniones

Se procede ahora a la etapa de aplicación de cargas. Hasta este momento, se definió el soporte dándole una forma y unos perfiles concretos, siendo preciso comprobar que efectivamente resiste las cargas pertinentes.

Se decide empezar por las cargas debidas al peso propio de la estructura. En segundo lugar consideraremos el sismo actuando en las tres direcciones del espacio. Si no existiera sismo únicamente se deberían tener en cuenta las cargas debidas a la gravedad. En el dibujo se muestran en las cargas de peso propio correspondientes a la dirección Z.

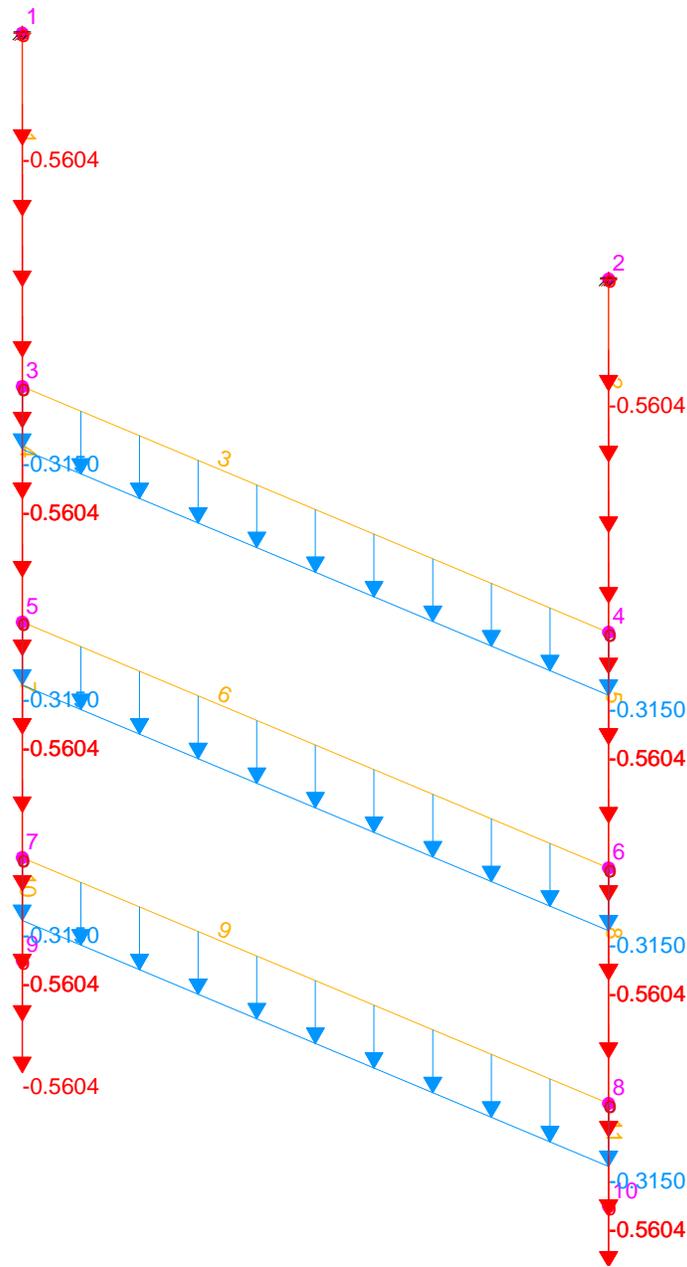


Figura 5.10. Aplicación de las cargas de peso propio

Se aplican ahora las llamadas cargas por construcción y mantenimiento. Estas cargas son las que anteriormente se han denominado cargas vivas y que según la guía de diseño son 250 lbs ( $\approx 113$  Kg.). Esta carga se suele poner en el nodo o en que sea más desfavorable. Se trata aproximadamente del peso de un operario.

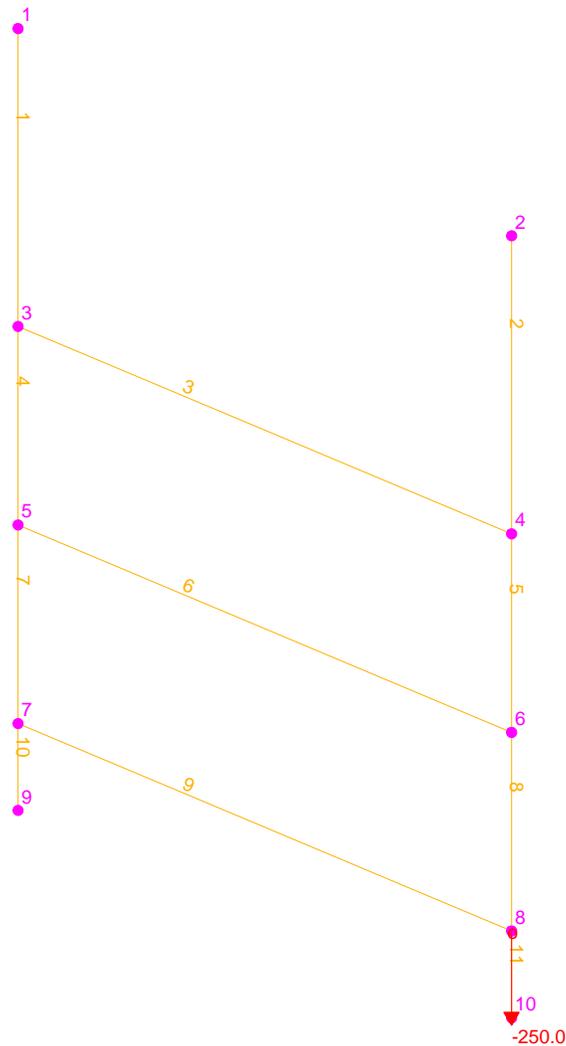


Figura 5.11. Aplicación de las cargas por construcción y mantenimiento

Posteriormente se aplican las llamadas cargas muertas debidas al peso de las bandejas y los cables que llevan. También existe una carga por cada dirección del espacio comprobando que la coordenada z es positiva en el sentido de la gravedad.

Se adjunta una tabla en la que aparece el peso en función del ancho de la bandeja. En este caso se va a escoger una bandeja de 9 pulgadas ( $\approx 23$  cm.). Las más utilizadas varían entre 6 y 12 pulgadas ( $\approx 15$  y 30 cm. respectivamente) por lo general. No es frecuente encontrar bandejas de mayor anchura, si bien es cierto que existen casos especiales en los que se pueden presentar.

MAXIMUM CABLE AND TRAY WEIGHT - LBS PER LINEAR TRAY - FOOT (EXCLUDES CONDUIT ATTACHMENTS) HOT DIP GALVANIZED AFTER FABRICATION SOLID BOTTOM TROUGH TRAY WITH COVER B-LINE 248 SERIES LOAD CLASSIFICATION 12C								
SERVICE LEVEL	TRAY DEPTH (in)	TRAY WIDTH - (in)						
		6	9	12	18	24	30	36
W-FLAT-TOUCH (CABLES TOUCHING)	3	17	26	31	49	63	77	95
W-FLAT-SPACED (CABLES SPACED)	3	13	18	23	33	43	57	67
X(A)-RANDOM (#1/0 AWG MAX.)	3	14	20	25	37	48	59	70
X(B)-TOUCH (4/C #500 kcmil MAX.)	3	21	30	39	65	83	110	128
X(B)-TOUCH (50% 4/C & 3/C #500 kcmil MAX.)	3	19	27	39	59	78	102	118
Y (CONTROL CABLES)	3	13	18	23	34	45	55	66
Z (INSTRUMENTATION)	3	11	15	18	26	34	42	50

Tabla 5.1. Peso de las bandejas en función de su anchura

Como se puede observar en la tabla anterior, para una bandeja de 9 pulgadas de ancho, se tiene que aplicar una carga de 26 lbs/foot ( $\approx 35,25$  N.m).

Se había comentado en los requerimientos que la distancia máxima que debería existir entre soportes de bandejas debería ser de 8 ft ( $\approx 2,4$  m), pero realmente la mitad de esa carga la sujeta uno de los soportes y la otra mitad la sujeta el contiguo. Es por ello que se debe multiplicar  $26 \text{ lbs/ft} * 8\text{ft} / 2$  lo cual da un resultado de 104 lbs ( $\approx 47$  Kg.).

En caso de que la carga fuese muy grande se pueden juntar los soportes para que la carga a repartir sea menor. Una alternativa también podría ser aumentar el tamaño del perfil, pero, como se ha dicho anteriormente, la intención es utilizar soportes típicos que, en este caso, serían los P1001.

Aplicando estos datos, se obtendría la siguiente representación gráfica:

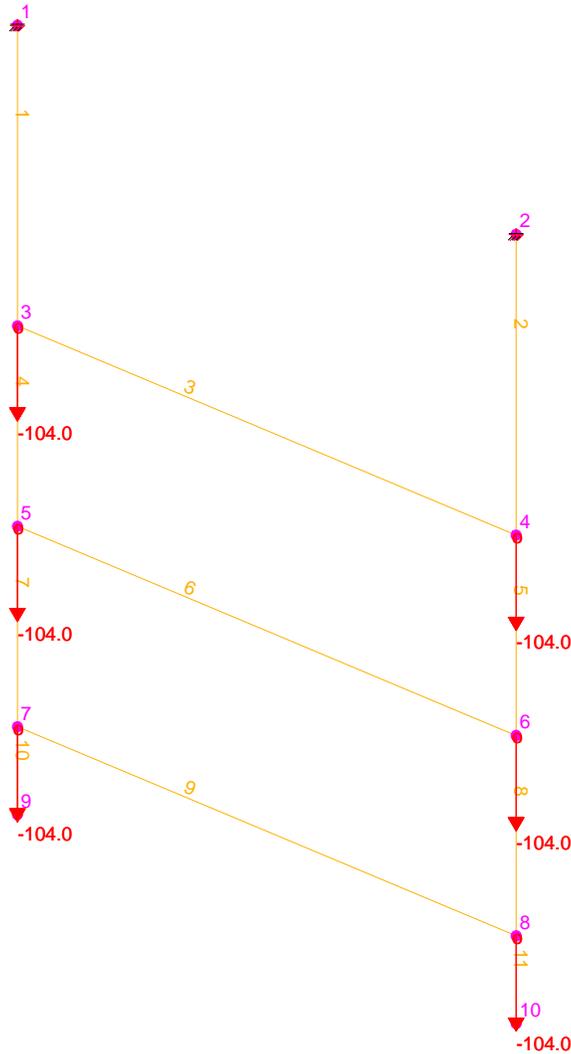


Figura 5.12. Aplicación de las cargas muertas

Una vez que se han aplicado las cargas se habrá de desarrollar la combinación de las mismas como se explicó en anteriores apartados.

El programa en este punto no muestra un gráfico común para cada combinación, por lo que aparece un gráfico por cada una de ellas. Se empieza por mostrar la deformada en X, la deformada en Y, la deformada en Z y la misma deformada en Z incluyendo la carga de mantenimiento.

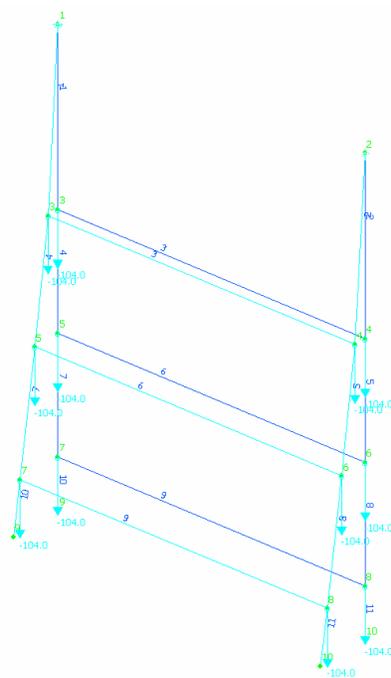


Figura 5.13. Combinación de cargas. Deformada en X

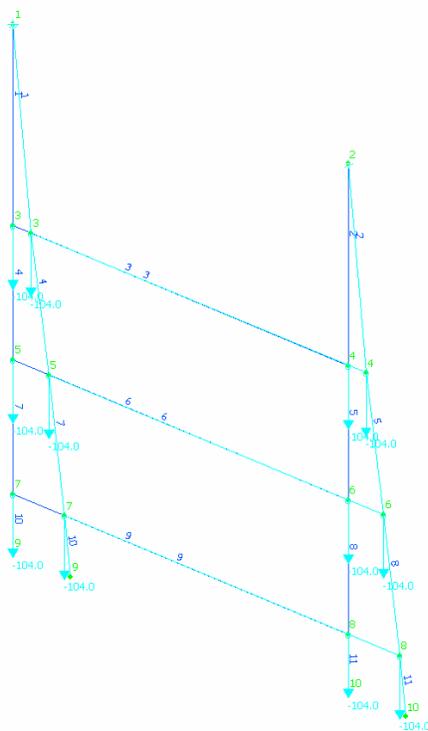


Figura 5.14. Combinación de cargas. Deformada en Y

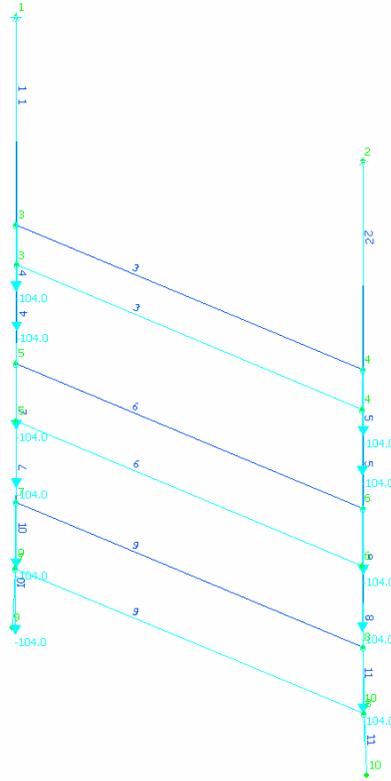


Figura 5.15. Combinación de cargas. Deformada en Z

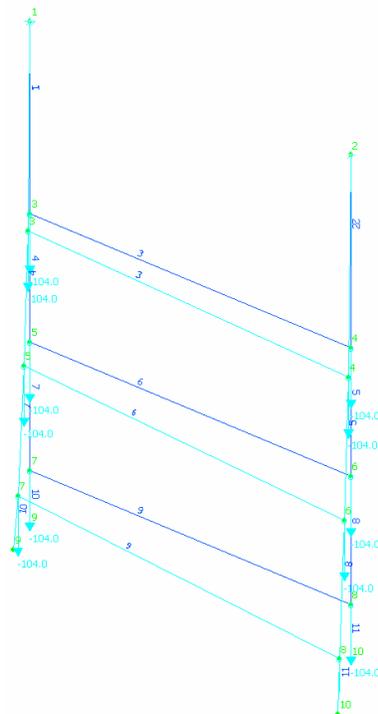


Figura 5.16. Combinación de cargas. Deformada en Z incluyendo la carga de mantenimiento

Se pasa ahora al desarrollo de las cargas sísmicas que en este caso son especialmente importantes. Las cargas sísmicas dan a entender que cuando viene un sismo se tiene que aplicar en cada dirección un factor que viene dado por el espectro sísmico más cercano por el piso superior al que se encuentre la estructura. Esto quiere decir que el sismo aumenta a medida que se aumenta la altura.

Existen unas tablas de espectros obtenidas de estudiar los movimientos sísmicos para distintos puntos del edificio. Como se ha comentado antes, varían según la altura, pero se verá más adelante que lo que se ha tenido en cuenta es la aceleración horizontal la que se tomará como referencia.

Se presentan para las tres direcciones del espacio.

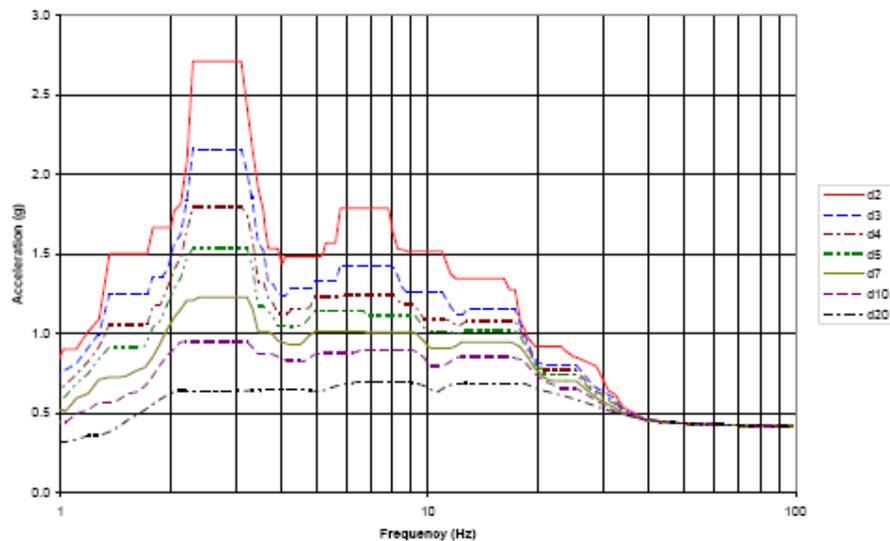


Gráfico 5.1. Dirección X

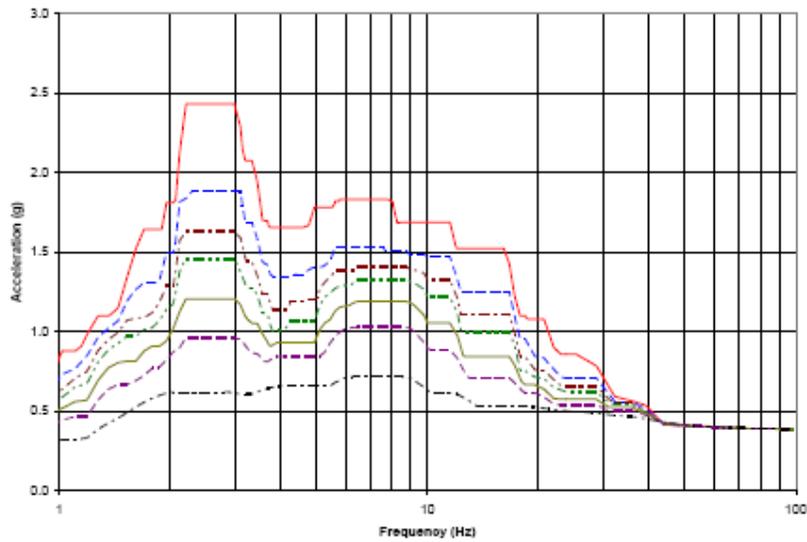


Gráfico 5.2. Dirección Y

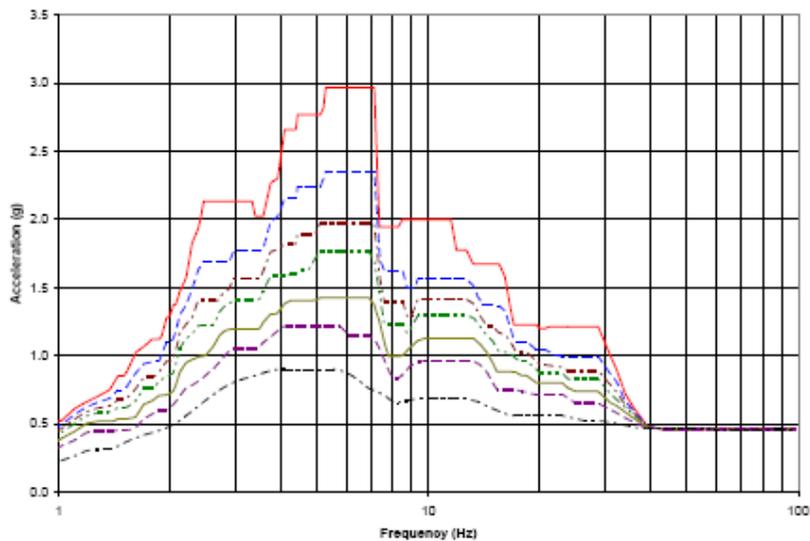


Gráfico 5.3. Dirección Z

La leyenda que aparece a mano derecha representa el amortiguamiento. En el caso de las bandejas eléctricas le corresponde un amortiguamiento de un 7% por lo que se tendrá que mirar la gráfica correspondiente al d7. Se cogerá el pico correspondiente en cada gráfico y se multiplicará por el factor 1,5 amplificando así el espectro de respuesta y trabajando del lado de la seguridad.

El hecho de que el valor obtenido de la gráfica se multiplique por 1,5 viene motivado por lo que se denomina efecto de los multimodos. Esto quiere decir que, en función de la frecuencia del sistema, las bandejas de cables tienen una aceleración diferente pero, dado que no se sabe la frecuencia en la que se trabaja y, para evitar posibles fallos, se toma el valor más alto de la aceleración y se multiplica por 1,5. Esto no sería necesario si se conociera la frecuencia, pero de este modo asegura también que el soporte efectivamente aguanta el movimiento sísmico por elevado que este sea.

Como se dijo al comienzo de este proyecto el sismo se convierte en un factor fundamental dado que, a la hora de construir una central, se ha de garantizar que no tendrá repercusiones ni afectará ni al funcionamiento ni a la integridad.

Las gráficas que se obtienen para el sismo son las siguientes:

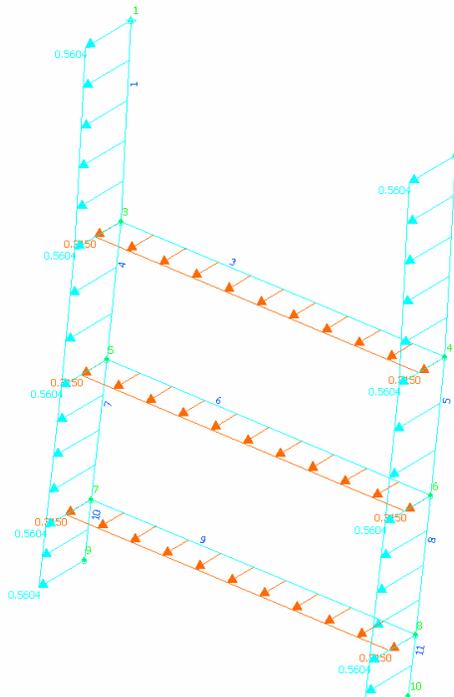


Figura 5.17. Carga sísmica en la dirección X

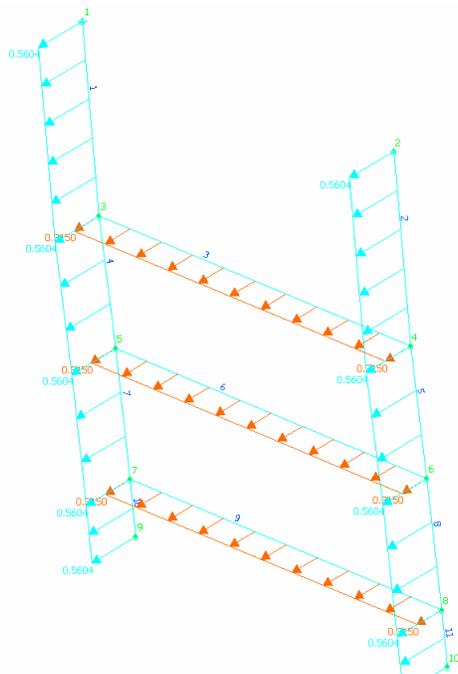


Figura 5.18. Carga sísmica en la dirección Y

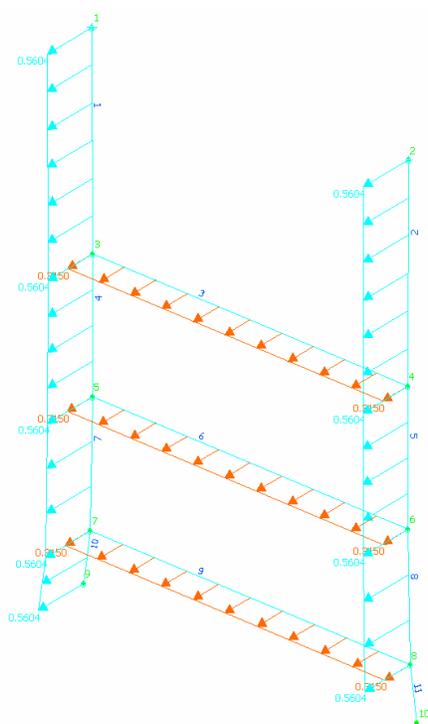


Figura 5.19. Carga sísmica en la dirección Z

Al igual que se hizo anteriormente con las cargas, para las cargas sísmicas también se tendrá que presentar una combinación de las mismas.

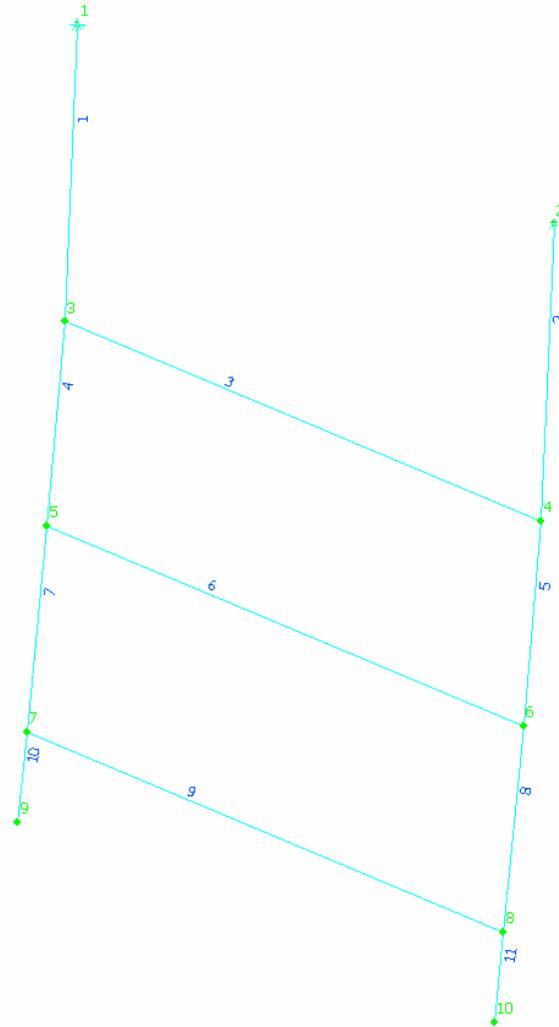


Figura 5.20. Combinación de cargas sísmicas

Además de la combinación de cargas debidas al terremoto hay que sumarle el peso del soporte. El sismo viene con signo positivo y negativo en el eje Z porque va en un sentido y vuelve en el otro. Los gráficos obtenidos se muestran a continuación:

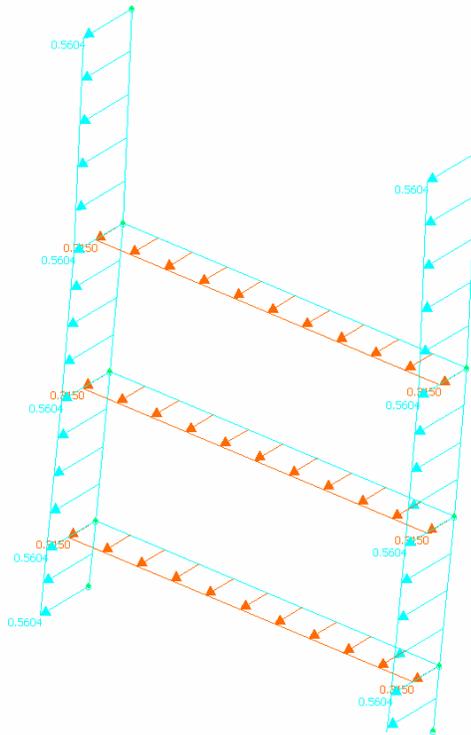


Figura 5.21. Combinación de soporte mas sismo, sentido positivo

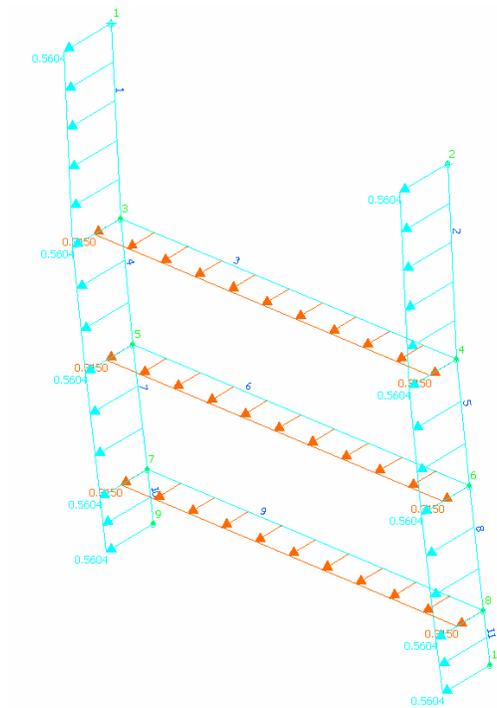


Figura 5.22. Combinación de soporte mas sismo, sentido negativo

Finalizamos introduciendo la combinación de cargas para el anclaje del equipo. Ésta viene establecida por normativa y corresponde a 1,4 veces el peso propio junto con el peso de la bandeja y 1,7 veces la carga viva (Referencia 8). No se encuentra dentro del alcance de este proyecto hablar de las placas embebidas, pero en este punto se hace referencia a ellas porque entra dentro del cálculo del diseño del soporte y está especificado por normativa el valor expuesto anteriormente.

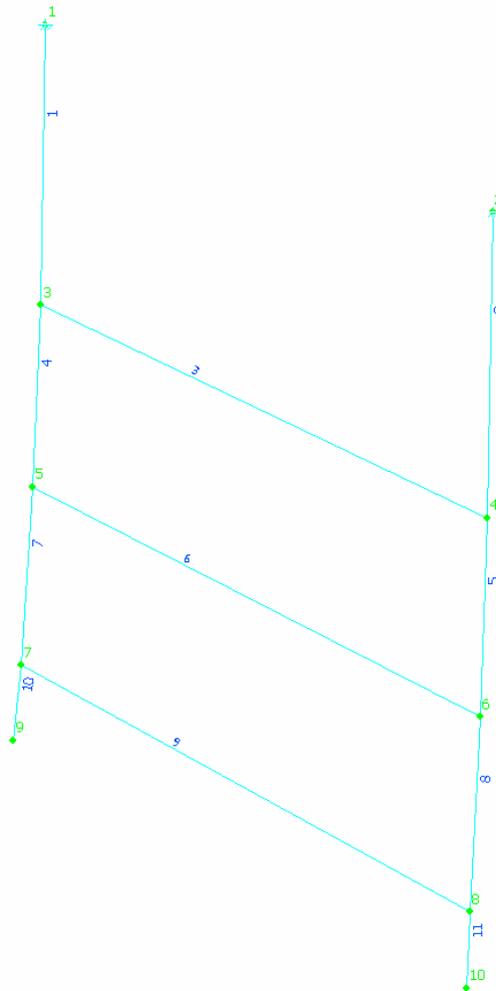


Figura 5.23. Combinación de cargas. Anclaje del equipo

El código que aplica en este caso es el AISI89 que corresponde a los perfiles conformados en frío.

Una vez introducidos todos los datos necesarios, hacemos un análisis estático a través del programa. Los resultados aparecerán al final del proyecto, como anexos.

Se muestran en las siguientes tablas los resultados generales de las fuerzas y momentos máximos producidos y el punto donde se han localizado. Se comprueba que los nudos 1 y 2 son los que mayores fuerzas y momentos soportan y son las cargas 9 y 10 las responsables de esto. Si comprobamos en los anexos del programa veremos que estas corresponden a las combinaciones de cargas más sismo.

```
**** Summary of Global Reaction Envelopes ****
=====
Type           Value           Load    Joint
=====
Force X  Min  -0.382622E+03   5         2
          Max   0.382622E+03   9         2
Force Y  Min  -0.415691E+03  10        1
          Max   0.415691E+03   9         2
Force Z  Min  -0.324404E+03  10        2
          Max   0.749539E+03   9         2
Moment X Min  -0.928910E+04  10        1
          Max   0.928910E+04   9         2
Moment Y Min  -0.147647E+05  10        2
          Max   0.147647E+05   5         2
Moment Z Min  -0.501885E+00  10        1
          Max   0.501885E+00   8         1
=====
```

Tabla 5.2. Fuerzas y momentos máximos

La tabla 5.3 representa los esfuerzos máximos generados. El axil, el cortante en Y, el cortante en Z, el momento flector en Y, el momento flector en Z y las tensiones normales a tracción y a compresión.

El momento presentado en la dirección X correspondería al momento torsor. Estos momentos suelen ser muy pequeños, por lo que se pueden ignorar. Se puede comprobar esto en los resultados obtenidos del programa donde los momentos torsores son prácticamente nulos.

```

=====
Max/Min Section Stresses for all requested members
Units: INCH LB

```

	Value	Member	Load	Location
Max AXIAL :	0.4E+03	2	9	0.0000
Min AXIAL :	-0.2E+03	2	10	0.0000
Max Y SHEAR :	0.3E+03	1	9	0.0000
Min Y SHEAR :	-0.3E+03	2	10	0.0000
Max Z SHEAR :	0.1E+04	2	9	0.0000
Min Z SHEAR :	-0.1E+04	2	10	0.0000
Max Y BENDING :	0.1E+05	2	9	0.0000
Min Y BENDING :	-0.1E+05	2	10	0.0000
Max Z BENDING :	0.6E+04	1	9	0.0000
Min Z BENDING :	-0.6E+04	2	10	0.0000
Max MAX NORMAL:	0.2E+05	1	9	0.0000
Min MAX NORMAL:	-0.3E+02	5	6	0.5000
Max MIN NORMAL:	0.4E+03	2	11	0.7500
Min MIN NORMAL:	-0.2E+05	2	10	0.0000

```

=====

```

Tabla 5.3. Tensiones máximas

El material utilizado en el diseño de las bandejas eléctricas es acero, cuya resistencia a fluencia es, una vez dividido por el factor de seguridad, de 33 ksi (kilopondios / pulgada<sup>2</sup>) ( $\approx 228$  MPa) para todos los perfiles.

Se adjunta una tabla sacada del catálogo del fabricante con las especificaciones del mismo:

**STEEL: PLAIN**  
 12 Ga. (2.7 mm), 14 Ga.(1.9 mm) and 16 Ga. (1.5 mm)  
 ASTM A1011 SS GR 33.

Tabla 5.4. Características del material utilizado

La comprobación de que la estructura modelizada soporta estas cargas aparece en los anexos como resultado de salida del programa.

El programa incorpora los códigos con los que se hace la comparación de todos estos resultados, presentado a la salida el ratio entre la tensión que soporta nuestra estructura y la admisible por el código. Si esta tensión superase el valor de 1 nuestra estructura fallaría indicándonoslo así el programa.

En los anexos de correspondientes al análisis estático podemos comprobar en las últimas hojas estos ratios.

El código que se ha utilizado para hacer estos cálculos es el AISI89 (Referencia 10). Se ha comprobado que el programa utiliza las fórmulas especificadas en este libro para el cálculo de las tensiones.

El valor máximo obtenido en la tabla 5.3. es de 20 ksi frente a los 33 ksi que aguantan los perfiles utilizados. Esto se ratifica con los ratios obtenidos mediante el programa, lo cual implica que los valores de obtenidos son menores que los admisibles y por tanto el resultado es válido.

## **6.-RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN NUMÉRICA**

El ejemplo anterior se ha presentado para describir la metodología de cálculo.

Como se ha indicado, se van a intentar utilizar soportes estándar. En función de las aceleraciones debidas al sismo las columnas que soporten a las bandejas variarán, puesto que las vigas sobre las que van apoyadas las mismas serán siempre del tipo P1001. Estas variaciones en función de la longitud del soporte y de las aceleraciones horizontales son las que se han estudiado obteniendo los siguientes resultados:

### **6.1 SOPORTES DE TIPO TRAPEZOIDAL**

La figura 6.1 y la tabla 6.1 recogen las dimensiones estándar de un soporte tipo trapecoidal.

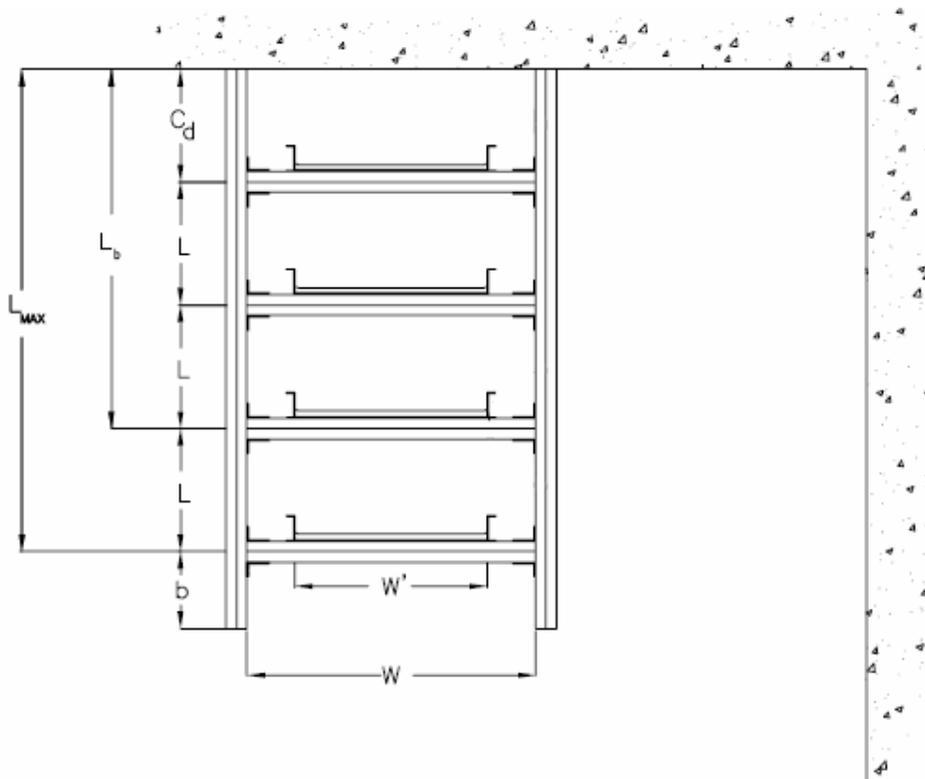


Figura 6.1. Soporte tipo trapecoidal

	MAX	MIN	L <sub>MAX</sub>	MAX N°	MIN N°	L <sub>b</sub>	
				CABLE TRAYS	HORIZ. MEMBERS	MAX	MIN
<b>Cd</b>	24"	12"	24"	1	1	24"	12"
<b>L</b>	24"	16"	40"	2	2	40"	12"
<b>b</b>	12"	---	56"	3	3	56"	28"
<b>W'</b>	30"	---	72"	4	3	72"	44"
<b>W</b>	45"	32"					

Tabla 6.1. Dimensiones estándar del soporte tipo trapezoidal

Se ha diseñado una tabla con dos entradas en función de la longitud del soporte y de la aceleración máxima horizontal que presente el sismo. Con estos dos valores y habiendo realizado un estudio previo mediante el programa GTSTRUDL, se comprueba que son válidos los siguientes perfiles verticales.

L <sub>MAX</sub>	Maximum Horizontal Aceleration, g <sub>H</sub>					
	0,75	1,00	1,25	1,50	2,00	2,50
24"	P1001	P1001	P1001	P1001	P1001	P1001
40"	P1001	P1001	P5501	P5501	P1004A	P1004A
56"	P5501	P5501	P1004A			

Tabla 6.2. Tipo de perfiles a utilizar como columnas en un soporte tipo trapezoidal

Fuera de estos valores, el soporte se tendría que estudiar como un caso especial y comprobar qué perfiles son los que cumplen.

Esto anterior se aplica también a los soportes tipo voladizo apoyado y voladizo que se verán a continuación.

## 6.2 SOPORTES DE TIPO VOLADIZO APOYADO

La figura 6.2 y tabla 6.3 presentan los valores estándar para un soporte de tipo voladizo apoyado.

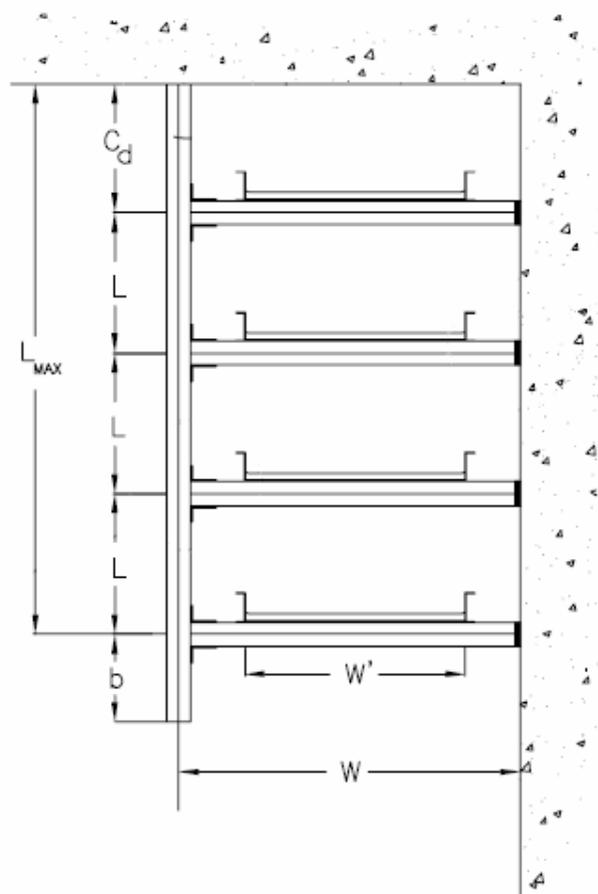


Figura 6.2. Soporte tipo voladizo apoyado

	MAX	MIN		MAX N°	MIN N°
<b>Cd</b>	24"	12"	<b>L<sub>MAX</sub></b>	<b>CABLE TRAYS</b>	<b>HORIZ. MEMBERS</b>
<b>L</b>	24"	16"	24"	1	1
<b>b</b>	12"	---	40"	2	2
<b>W'</b>	30"	---	56"	3	3
<b>W</b>	45"	32"	72"	4	3

Tabla 6.3. Dimensiones estándar del soporte tipo voladizo apoyado

Al igual que se ha hecho en los soportes de tipo trapecoidal, se comprueba que el perfil vertical que habría que utilizar en función, tanto de la longitud máxima que alcanza el soporte como de la aceleración horizontal debida al sismo serían los recogidos en la tabla 6.4.

$L_{MAX}$	Maximum Horizontal Acceleration, $g_H$					
	0,75	1,00	1,25	1,50	2,00	2,50
24"	P1001	P1001	P1001	P1001	P1001	P1001
40"	P1001	P1001	P1001	P1001	P5501	P1004A
56"	P1001	P1001	P5501	P5501		

Tabla 6.4. Tipo de perfiles a utilizar como columnas en un soporte tipo trapecoidal

### 6.3 SOPORTES DE TIPO VOLADIZO

La figura 6.3 y tabla 6.5 presentan los valores estándar del último tipo de perfil sometido a estudio, el soporte en voladizo.

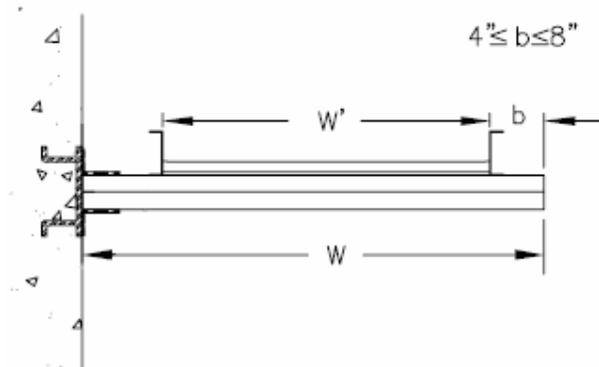


Figura 6.3. Soporte tipo voladizo

<b>W'</b>	<b>W</b>
30"	36"
24"	33"
18"	30"
12"	27"

Tabla 6.5. Dimensiones estándar del soporte tipo voladizo

En este tipo de soportes igualmente existen dos entradas, pero en esta ocasión, una de ellas es el coeficiente resultante de la división de las aceleraciones vertical y horizontal del sismo.

<b>B (g<sub>v</sub>/g<sub>H</sub>)</b>	<b>Maximum Horizontal Acceleration, g<sub>H</sub></b>					
	<b>0,75</b>	<b>1,00</b>	<b>1,25</b>	<b>1,50</b>	<b>2,00</b>	<b>2,50</b>
0,75	P1001	P1001	P1001	P5501	P5501	P1004A
1,00	P1001	P1001	P5501	P5501	P1004A	P1004A
1,25	P1001	P5501	P5501	P5501	P1004A	
1,50	P1001	P5501	P5501	P1004A	P1004A	

En el catálogo del fabricante aparecen unas tablas en las que se especifica la máxima carga uniforme que aguanta el perfil en función de la longitud del mismo. Estas tablas resultan de comprobaciones hechas por el fabricante y en ellas se puede observar que el perfil que mayor carga soporta es el P1004A siendo el menos resistente el P1001 (Referencia 7).

## **7.-CONCLUSIONES Y DESARROLLOS FUTUROS**

### **7.1 CONCLUSIONES**

El diseño y cálculo del soportado de bandejas eléctricas dentro de una central nuclear es un campo que precisa normalización.

Además de las bandejas eléctricas, dentro de cualquier central en general, existen diversas disciplinas que hay que considerar a la hora de hacer el diseño, priorizando que no se produzcan interferencias. Por eso a menudo resulta complicado hacer soportes estándar obligándonos a estudiar cada caso en particular.

Sin embargo se intentan utilizar en la medida de lo posible los soportes aquí mostrados para las bandejas eléctricas que tienen recorridos horizontales.

Los recorridos de las bandejas pueden darse también en dirección vertical en donde entonces se utilizaría otro tipo de soportado. Incluso los cables a menudo vienen recogidos en una especie de tuberías cuyos diámetros suelen variar entre 1 y 4 pulgadas ( $\approx 3$  cm. y 10 cm. respectivamente) denominadas “conduits” que lógicamente llevan otra sujeción completamente diferente.

El diseño de los soportes analizados asume que la línea longitudinal central de la bandeja es coincidente con el centro del perfil P1001 que se utiliza para soportar la bandeja en el sentido horizontal. Pequeñas excentricidades, del orden de 2 pulgadas ( $\approx 5$  cm.) tienen un efecto despreciable en la resistencia del soporte.

Las conclusiones derivadas del estudio realizado se pueden resumir en los siguientes puntos:

- A lo largo del recorrido de la bandeja los soportes han de ser uniformes, así como la distancia entre soportes debe ser mantenida razonablemente sin sobrepasar nunca los 8 pies ( $\approx 244$  cm.) de distancia entre soportes.

- La importancia de la interacción de las disciplinas eléctrica y estructural en el desarrollo eficiente implica que los sistemas de bandejas de cables no pueden ser económicamente exagerados.
- El sistema de bandejas debe ser diseñado para maximizar el uso de los soportes estándar limitando los diseños de los casos especiales al mínimo. El trazado más económico suele ser normalmente el adjunto directamente a las paredes utilizando bien voladizos o voladizos apoyados.
- El ratio de las fuerzas así como momentos y tensiones que tiene que aguantar el soporte modelado frente a las establecidas por el código AISI89 tienen que tener un valor inferior a la unidad, si este valor es superior, la estructura no será válida y romperá.
- Los valores máximos de tensión se obtienen principalmente por las cargas debidas a la combinación del soporte junto con la combinación de cargas sísmicas. Estos resultados ya se habían previsto pues, como se ha ido diciendo a lo largo de todo el proyecto, una de las partes fundamentales de estudio es el sismo.
- Los puntos más afectados son los del anclaje del equipo, pero aún así, la estructura aguanta las cargas.
- Los perfiles que se utilizan son especiales, tienen mayor resistencia debido a estar conformados en frío. El más resistente es el 1004A y el que mayormente se utiliza a la hora de modelar los soportes.

## **7.2. DESARROLLOS FUTUROS**

Dada la amplitud de este campo posibles temas a desarrollar podrían ser los anclajes que se utilizan entre miembros horizontales donde va apoyada la bandeja y los miembros verticales. En nuestro caso se indica un comportamiento semirígido de estas conexiones, pero se podrían estudiar otros casos.

Además, tal y como se ha comentado anteriormente, a medida que se va ascendiendo en altura dentro de la central, los movimientos producidos por el sismo son mayores. Se podría estudiar el arriostamiento de los soportes, tanto en sentido transversal como longitudinal que podría reducir significativamente el máximo estrés producido, las cargas y los desplazamientos.

## **8.-BIBLIOGRAFIA / REFERENCIAS**

### **8.1. BIBLIOGRAFÍA**

- American Institute of Steel Construction (AISC) “Specification for the desing, fabrication and erection of steel safety related structures for nuclear facilities”, 1994.
- American Iron ans Steel Institute (AISC) “Specification for the design of cold formed steel structural members”, 1996
- “Plastic capacity of raceway supports – Engineering analysis” C.W. Hamilton and A.H. Hadjian, ASCE 1980
- “Plastic capacity of raceway supports – Experimental evidence” P. Ibarez, R.S. Koewen, C. Sires-Yifat and V. Stoessel, ASCE 1980
- Unistrut general engineering catalog
- Tyco Electrical and Metal Products Memorandum, “Strength increase from cold work of forming, safety factor and bending stress”, 2005
- Institute of Electrical and Electronic Engineers, “Standard criteria for the design, instalation and qualification of raceway systems for class 1E circuits for nuclear power generating stations”, 2006
- Diversa documentación propiedad de Westinghouse Electric Company / SHAW Group inc. Stone & Western
- GTSTRUDL Versión 29 Release Guide, 2006

## **8.2. REFERENCIAS**

**Referencia 1-** “La industria nuclear en el mundo. Informe de situación 2004” Por Mycle Schneider, París & Antony Froggatt, Londres, *consultores independientes Bruselas, diciembre de 2004*. Encargado por el Grupo de los Verdes/Alianza Libre Europea del Parlamento Europeo

**Referencia 2-** Guía reguladora 1.29 de la Nuclear Regulatory Commission (NRC)

**Referencia 3-** “INT-01.02 Las centrales nucleares españolas”. Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), 1999, 2ª edición

**Referencia 4-** “NRC Issues final rules on limited work authorizations”

**Referencia 5-** “Nuclear Power in China” World Nuclear Association, 2009

**Referencia 6-** “GSE Systems To Build Full Scope Power Plant Simulator For U.S. AP1000 Nuclear Plants”. Nuclear Power Industry News, August 2009

**Referencia 7-** “General Engineering Catalog” UNISTRUT 16 North American Edition 2004-2009

**Referencia 8-** Guía reguladora 1.61 de la NRC (Nuclear Regulatory Commission)

**Referencia 9-** APP-SH25-S3C-001-Rev. 1 Documento no clasificado propiedad de Westinghouse

**Referencia 10-** “Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members” American Iron and Steel Institute 1996

## ANEXOS

## Diseño estructural del soportado de bandejas eléctricas en una central nuclear

En este anexo se muestran los listados obtenidos a través del programa GTSTRUDL. Este primero corresponde a la lectura del mismo en Command Mode.

```
STRUDL 'SUPPORT-RACEWAY:EXAMPLE'          CALCULO.gti
$$
$$ This GTSTRUDL file created from GTMenu on 21/ 11/ 2009
$$
$ Reference axis X/Y:horizontal ; +Z:Vertical

UNITS  INCH  LBS  DEG  FAH
JOINT  COORDINATES GLOBAL
1 0 0 63
2 0 45 63
3 0 0 39
4 0 45 39
5 0 0 23
6 0 45 23
7 0 0 7
8 0 45 7
9 0 0 0
10 0 45 0

$-----
TYPE  SPACE FRAME
MEMBER INCIDENCES
1 1 3
2 2 4
3 3 4
4 3 5
5 4 6
6 5 6
7 5 7
8 6 8
9 7 8
10 7 9
11 8 10

$-----
UNITS  INCH  LBS  DEG  FAH
MEMBER PROPERTIES
3 6 9          TABLE 'UNISTRUT ' 'P1001'
1 2 4 5 7 8 10 11 TABLE 'UNISTRUT ' 'P1004A'

$ BYPASS
$ ANCLAJES

STATUS SUPPORT -
1
2
UNITS  INCH  LBS  DEG  FAH

$-----
$ ORIENTACION DE LOS SOPORTES HORIZONTALES

CONSTANTS
BETA 90 -
3          6          9

$-----
$ MODULO DE ELASTICIDAD DE LOS ANGULARES

MEMBER RELEASE
3 6 9 START ELASTIC CONNECTION KMY 200000 KMZ 200000
3 6 9 END ELASTIC CONNECTION KMY 200000 KMZ 200000

$UNITS RADIANS

$-----
MATERIAL STEEL

$-----
$ CARGAS PESO PROPIO
$ SELF WEIGHT OF STRUCTURAL MEMBERS

UNITS  INCH  LBS  DEG  FAH
SELF WEIGHT 'SWX' 'Self weight Dir(+X)' -
DIRECTION X FACTOR 1.000 ALL MEMBERS

UNITS  INCH  LBS  DEG  FAH
SELF WEIGHT 'SWY' 'Self weight Dir(+Y)' -
DIRECTION Y FACTOR 1.000 ALL MEMBERS

UNITS  INCH  LBS  DEG  FAH
SELF WEIGHT 'SWZ' 'Self weight Dir(-Z)' -
DIRECTION -Z FACTOR 1.000 ALL MEMBERS

$-----
$ CARGA POR CONSTRUCCION -MANTENIMIENTO
$ Live Load (LL)

UNITS  INCH  LBS  DEG  FAH
LOADING 'LL' 'Live Load=250lbF (const/mant)'
JOINT LOADS FOR Z -2.5000000E+02
8

$-----
$ PESO DE BANDEJAS Y CABLES
$ DEAD LOAD OF DUCTS

UNITS  INCH  LBS  DEG  FAH
LOADING 'DLX' 'Dead Load(duct) Dir(+X)'
JOINT LOADS FOR X 1.0400000E+02
```

Page 1

## Diseño estructural del soportado de bandejas eléctricas en una central nuclear

```

                                CALCULO.gti
3 4 5 6 7 8
UNITS INCH LBS DEG FAH
LOADING 'DLY' 'Dead Load(duct) Dir(+Y)'
JOINT LOADS FOR Y 1.040000E+02
3 4 5 6 7 8
UNITS INCH LBS DEG FAH
LOADING 'DLZ' 'Dead Load(duct) Dir(-Z)'
JOINT LOADS FOR Z -1.040000E+02
3 4 5 6 7 8
$-----
$ COMBINACION DE CARGAS
$ LOAD COMBINATIONS
LOAD COMB '1' 'SWX+DLX' -
COMB 'SWX' 1.0000 'DLX' 1.0000
LOAD COMB '2' 'SWY+DLY' -
COMB 'SWY' 1.0000 'DLY' 1.0000
LOAD COMB '3' 'SWZ+DLZ(NORMAL OPERATING)' -
COMB 'SWZ' 1.0000 'DLZ' 1.0000
LOAD COMB '4' 'SWZ+DLZ+LL(CONST/MANT)' -
COMB 'SWZ' 1.0000 'LL' 1.0000 'DLZ' 1.0000
$-----
$ CARGAS SISMICAS
$ SEISMIC LOADS
LOAD COMB 5 'Seismic Load Dir(+X)' -
COMB '1' 1.8
LOAD COMB 6 'Seismic Load Dir(+Y)' -
COMB '2' 1.95
LOAD COMB 7 'Seismic Load Dir(-Z)' -
COMB '3' 2.1
$-----
STIFFNES ANALYSIS
$-----
$ COMBINACION DE CARGAS SISMICAS (METODO SRSS)
CREATE LOAD COMB 8 'Seismic Load Comb(SRSS)' TYPE RMS SPEC -
5 1.0 6 1.0 7 1.0
$-----
$ SOPORTE + SISMO
LOAD COMB 9 'COMB3 + SSE' -
COMB '3' 1.0000 8 1.0000
LOAD COMB 10 'COMB3 - SSE' -
COMB '3' 1.0000 8 -1.0000
$-----
$ ANCLAJE DEL EQUIPO
LOAD COMB '11' 'FOR ANCHORS - LC=1.4(SW+DL)+1.7L' -
COMB 'SWZ' 1.4000 'DLZ' 1.4000 'LL' 1.7000
$-----
$ SOLUCION
STIFFNES ANALYSIS
OUTPUT DECIMAL 1
LIST REACTIONS JOINTS EXISTING
PARAMETERS
CODE ATIS89 ALL MEMBERS
TBLNAM UNISTRUT ALL MEMBERS
CHECK ALL MEMBERS AS BEAM
CHECK ALL MEMBERS AS COLUMN
$-----
$ BYPASS

```





# Diseño estructural del soportado de bandejas eléctricas en una central nuclear

07 STRUCL 29 Output - C:\Documents and Settings\merinca\Desktop\CALCULO.gti 16:37:06 March 05, 2010 Page 2

```
31 > 7 5 7
32 > 8 6 8
33 > 9 7 8
34 > 10 7 9
35 > 11 8 10
36 >
37 > $-----
38 >
39 > UNITS INCH LBS DEG FAN
40 > MEMBER PROPERTIES
41 >
42 > 3 6 9 TABLE 'UNISTRUT ' 'F1001'
43 > 1 2 4 5 7 8 10 11 TABLE 'UNISTRUT ' 'F1004A'
44 >
45 > $ EYPASS
46 > $-----
47 > $ ANCLAJES
48 >
49 > STATUS SUPPORT -
50 > 1 2
51 > UNITS INCH LBS DEG FAN
52 >
53 > $-----
54 > $ ORIENTACION DE LOS SOPORTES HORIZONTALES
55 >
56 > CONSTANTS
57 > BETA 90 -
58 > 3 6 9
59 >
60 > $-----
61 > $ MODULO DE ELASTICIDAD DE LOS ANGULARES
62 >
63 > MEMBER RELEASE
64 > 3 6 9 STEEL ELASTIC CONNECTION RMY 200000 RMZ 200000
65 > 3 6 9 END ELASTIC CONNECTION RMY 200000 RMZ 200000
66 >
67 > $UNITS RADIANS
68 >
69 > $-----
70 >
71 > MATERIAL STEEL
72 >
73 > $-----
74 > $ CARGAS PESO PROPIO
75 > $ SELF WEIGHT OF STRUCTURAL MEMBERS
76 >
77 > UNITS INCH LBS DEG FAN
78 > SELF WEIGHT 'SWX' 'Self Weight Dir(+X)' -
79 > DIRECTION X FACTOR 1.000 ALL MEMBERS
80 >
81 > UNITS INCH LBS DEG FAN
82 > SELF WEIGHT 'SWY' 'Self Weight Dir(+Y)' -
83 > DIRECTION Y FACTOR 1.000 ALL MEMBERS
84 >
85 > UNITS INCH LBS DEG FAN
86 > SELF WEIGHT 'SWZ' 'Self Weight Dir(-Z)' -
87 > DIRECTION -Z FACTOR 1.000 ALL MEMBERS
88 >
89 > $-----
90 > $ CARGA POR CONSTRUCCION -MANTENIMIENTO
91 > $ Live Load (LL)
92 >
93 > UNITS INCH LBS DEG FAN
94 > LOADING 'LL' 'Live Load=250lbf (const/mant)'
95 > JOINT LOADS FOR Z -2.500000E+02
96 > 8
97 >
98 > $-----
99 > $ PESO DE BANDEJAS Y CABLES
100 > $ DEAD LOAD OF DUCTS
101 >
102 > UNITS INCH LBS DEG FAN
103 > LOADING 'DLX' 'Dead Load(duct) Dir(+X)'
104 > JOINT LOADS FOR X 0.520000E+02
105 > 3 4 5 6 7 8
106 >
107 > UNITS INCH LBS DEG FAN
108 > LOADING 'DLY' 'Dead Load(duct) Dir(+Y)'
109 > JOINT LOADS FOR Y 0.520000E+02
110 > 3 4 5 6 7 8
111 >
112 > UNITS INCH LBS DEG FAN
113 > LOADING 'DLZ' 'Dead Load(duct) Dir(-Z)'
114 > JOINT LOADS FOR Z -0.520000E+02
115 > 3 4 5 6 7 8
116 >
117 > $-----
118 > $ COMBINACION DE CARGAS
119 > $ LOAD COMBINATIONS
120 >
121 > LOAD COMB '1' 'SWX+DLX' -
122 > COMB 'SWX' 1.0000 'DLX' 1.0000
123 >
124 > LOAD COMB '2' 'SWY+DLY' -
125 > COMB 'SWY' 1.0000 'ELY' 1.0000
126 >
127 > LOAD COMB '3' 'SWZ+DLZ(NORMAL OPERATING)' -
128 > COMB 'SWZ' 1.0000 'ELZ' 1.0000
129 >
130 > LOAD COMB '4' 'SWZ+DLZ+LL(CONST/MANT)' -
131 > COMB 'SWZ' 1.0000 'LL' 1.0000 'DLZ' 1.0000
132 >
133 > $-----
134 > $ CARGAS SISMICAS
135 > $ SEISMIC LOADS
```

# Diseño estructural del soportado de bandejas eléctricas en una central nuclear

07 STRUCL 29 Output - C:\Documents and Settings\merinca\Desktop\CALCULO.gti

16:37:06 March 05, 2010 Page 3

```
{ 136 } >
{ 137 } > LOAD COMB 5 'Seismic Load Dir(+X)' -
{ 138 } > COMB '1' 1.8
{ 139 } >
{ 140 } > LOAD COMB 6 'Seismic Load Dir(+Y)' -
{ 141 } > COMB '2' 1.95
{ 142 } >
{ 143 } > LOAD COMB 7 'Seismic Load Dir(-Z)' -
{ 144 } > COMB '3' 2.1
{ 145 } >
{ 146 } > $-----
{ 147 } >
{ 148 } > STIFFNES ANALYSIS
```

BANDWIDTH INFORMATION BEFORE RENUMBERING.

```
THE MAXIMUM BANDWIDTH IS 2 AND OCCURS AT JOINT 5
THE AVERAGE BANDWIDTH IS 1.625
THE STANDARD DEVIATION OF THE BANDWIDTH IS 0.696
-----
2.321
*****
```

OR BANDWIDTH REDUCTION HAS FAILED TO PRODUCE A BETTER NUMBERING.  
ORIGINAL NUMBERING WILL BE USED.

```
TIME TO RECOMPUTE 3 SELF WEIGHT LOADINGS 0.00 SECONDS
TIME FOR CONSISTENCY CHECKS FOR 11 MEMBERS 0.00 SECONDS
TIME FOR BANDWIDTH REDUCTION 0.00 SECONDS
TIME TO GENERATE 11 ELEMENT STIF. MATRICES 0.00 SECONDS
TIME TO PROCESS 0 MEMBER RELEASES 0.00 SECONDS
TIME TO PROCESS 33 MEMBER LOADS 0.00 SECONDS
TIME TO PROCESS 3 LINEAR CONNECTIONS 0.00 SECONDS
TIME TO ASSEMBLE THE STIFFNESS MATRIX 0.00 SECONDS
TIME TO PROCESS 10 JOINTS 0.00 SECONDS
TIME TO SOLVE WITH 2 PARTITIONS 0.00 SECONDS
TIME TO PROCESS 10 JOINT DISPLACEMENTS 0.00 SECONDS
TIME TO PROCESS 11 ELEMENT DISTORTIONS 0.00 SECONDS
TIME FOR STATICS CHECK 0.00 SECONDS
TIME TO GENERATE COMBINED RESULTS 0.00 SECONDS
```

```
{ 149 } >
{ 150 } > $-----
{ 151 } > $ COMBINACION DE CARGAS SISMICAS (METODO SRSS)
{ 152 } >
{ 153 } > CREATE LOAD COMB 8 'Seismic Load Comb(SRSS)' TYPE RMS SPEC -
{ 154 } > 5 1.0 6 1.0 7 1.0
{ 155 } >
{ 156 } > $-----
{ 157 } > $ SOPORTE + SISMO
{ 158 } >
{ 159 } > LOAD COMB 9 'COMB3 + SSE' -
{ 160 } > COMB '3' 1.0000 8 1.0000
{ 161 } >
{ 162 } > LOAD COMB 10 'COMB3 - SSE' -
{ 163 } > COMB '3' 1.0000 8 -1.0000
{ 164 } >
{ 165 } > $-----
{ 166 } > $ ANCLAJE DEL EQUIPO
{ 167 } >
{ 168 } > LOAD COMB '11' 'FOR ANCHORS - LC=1.4(SW+EL)+1.7L' -
{ 169 } > COMB 'SWZ' 1.4000 'ELZ' 1.4000 'LL' 1.7000
{ 170 } >
{ 171 } > $-----
{ 172 } > $SOLUTION
{ 173 } >
{ 174 } > STIFFNES ANALYSIS
```

BANDWIDTH INFORMATION BEFORE RENUMBERING.

```
THE MAXIMUM BANDWIDTH IS 2 AND OCCURS AT JOINT 5
THE AVERAGE BANDWIDTH IS 1.625
THE STANDARD DEVIATION OF THE BANDWIDTH IS 0.696
-----
2.321
*****
```

OR BANDWIDTH REDUCTION HAS FAILED TO PRODUCE A BETTER NUMBERING.  
ORIGINAL NUMBERING WILL BE USED.

```
TIME TO RECOMPUTE 3 SELF WEIGHT LOADINGS 0.00 SECONDS
TIME FOR CONSISTENCY CHECKS FOR 11 MEMBERS 0.00 SECONDS
TIME FOR BANDWIDTH REDUCTION 0.00 SECONDS
TIME TO GENERATE 3 ELEMENT STIF. MATRICES 0.00 SECONDS
TIME TO PROCESS 0 MEMBER RELEASES 0.00 SECONDS
TIME TO PROCESS 33 MEMBER LOADS 0.00 SECONDS
TIME TO PROCESS 3 LINEAR CONNECTIONS 0.00 SECONDS
TIME TO ASSEMBLE THE STIFFNESS MATRIX 0.00 SECONDS
TIME TO PROCESS 10 JOINTS 0.00 SECONDS
TIME TO SOLVE WITH 2 PARTITIONS 0.00 SECONDS
TIME TO PROCESS 10 JOINT DISPLACEMENTS 0.00 SECONDS
TIME TO PROCESS 11 ELEMENT DISTORTIONS 0.00 SECONDS
TIME FOR STATICS CHECK 0.00 SECONDS
TIME TO GENERATE COMBINED RESULTS 0.00 SECONDS
{ 175 } > OUTPUT DECIMAL 1
{ 176 } > LIST REACTIONS JOINTS EXISTING
```

\*\*\*\*\*  
\*RESULTS OF LATEST ANALYSES\*

# Diseño estructural del soportado de bandejas eléctricas en una central nuclear

ST STRUCL 29 Output - C:\Documents and Settings\merinca\Desktop\CALCULO.sti 16:37:06 March 05, 2010 Page 4

\*\*\*\*\*  
 PROBLEM - SUPPORT- TITLE - NONE GIVEN  
 ACTIVE UNITS INCH LB DEG DEGP SEC

-----  
 --- LOADING - SWX Self Weight Dir(+X) -----  
 -----

RESULTANT JOINT LOADS SUPPORTS

JOINT		X FORCE	Y FORCE	Z FORCE	X MOMENT	Y MOMENT	Z MOMENT
1	GLOBAL	-56.6	0.0	0.0	0.0	1962.6	0.2
2	GLOBAL	-56.6	0.0	0.0	0.0	1962.6	-0.2

-----  
 --- LOADING - SWY Self Weight Dir(+Y) -----  
 -----

RESULTANT JOINT LOADS SUPPORTS

JOINT		X FORCE	Y FORCE	Z FORCE	X MOMENT	Y MOMENT	Z MOMENT
1	GLOBAL	0.0	-56.6	35.8	-1156.4	0.0	0.0
2	GLOBAL	0.0	-56.6	-35.8	-1156.4	0.0	0.0

-----  
 --- LOADING - SWZ Self Weight Dir(-Z) -----  
 -----

RESULTANT JOINT LOADS SUPPORTS

JOINT		X FORCE	Y FORCE	Z FORCE	X MOMENT	Y MOMENT	Z MOMENT
1	GLOBAL	0.0	-1.2	56.6	-9.1	0.0	0.0
2	GLOBAL	0.0	1.2	56.6	9.1	0.0	0.0

-----  
 --- LOADING - LL Live Load=250lbf (const/mant) -----  
 -----

RESULTANT JOINT LOADS SUPPORTS

JOINT		X FORCE	Y FORCE	Z FORCE	X MOMENT	Y MOMENT	Z MOMENT
1	GLOBAL	0.0	0.0	0.4	9.0	0.0	0.0
2	GLOBAL	0.0	0.0	249.6	9.0	0.0	0.0

-----  
 --- LOADING - DLX Dead Load(duct) Dir(+X) -----  
 -----

RESULTANT JOINT LOADS SUPPORTS

JOINT		X FORCE	Y FORCE	Z FORCE	X MOMENT	Y MOMENT	Z MOMENT
1	GLOBAL	-156.0	0.0	0.0	0.0	6240.0	0.0
2	GLOBAL	-156.0	0.0	0.0	0.0	6240.0	0.0

-----  
 --- LOADING - DLY Dead Load(duct) Dir(+Y) -----  
 -----

RESULTANT JOINT LOADS SUPPORTS

JOINT		X FORCE	Y FORCE	Z FORCE	X MOMENT	Y MOMENT	Z MOMENT
1	GLOBAL	0.0	-156.0	117.2	-3602.5	0.0	0.0
2	GLOBAL	0.0	-156.0	-117.2	-3602.5	0.0	0.0

-----  
 --- LOADING - DLZ Dead Load(duct) Dir(-Z) -----  
 -----

# Diseño estructural del soportado de bandejas eléctricas en una central nuclear

GT STRUCL 29 Output - C:\Documents and Settings\merino\Desktop\CALCULO.gt 16:37:06 March 05, 2010 Page 5

RESULTANT JOINT LOADS SUPPORTS

JOINT		X FORCE	Y FORCE	Z FORCE	X MOMENT	Y MOMENT	Z MOMENT
1	GLOBAL	0.0	0.0	156.0	0.0	0.0	0.0
2	GLOBAL	0.0	0.0	156.0	0.0	0.0	0.0

LOADING - 1 SWX+DLX

RESULTANT JOINT LOADS SUPPORTS

JOINT		X FORCE	Y FORCE	Z FORCE	X MOMENT	Y MOMENT	Z MOMENT
1	GLOBAL	-212.6	0.0	0.0	0.0	8202.6	0.3
2	GLOBAL	-212.6	0.0	0.0	0.0	8202.6	-0.3

LOADING - 2 SWY+DLX

RESULTANT JOINT LOADS SUPPORTS

JOINT		X FORCE	Y FORCE	Z FORCE	X MOMENT	Y MOMENT	Z MOMENT
1	GLOBAL	0.0	-212.6	153.1	-4759.0	0.0	0.0
2	GLOBAL	0.0	-212.6	-153.1	-4759.0	0.0	0.0

LOADING - 3 SWZ+DLX (NORMAL OPERATING)

RESULTANT JOINT LOADS SUPPORTS

JOINT		X FORCE	Y FORCE	Z FORCE	X MOMENT	Y MOMENT	Z MOMENT
1	GLOBAL	0.0	-1.2	212.6	-9.1	0.0	0.0
2	GLOBAL	0.0	1.2	212.6	9.1	0.0	0.0

LOADING - 4 SWZ+DLX+LL (CONST/MANT)

RESULTANT JOINT LOADS SUPPORTS

JOINT		X FORCE	Y FORCE	Z FORCE	X MOMENT	Y MOMENT	Z MOMENT
1	GLOBAL	0.0	-1.2	212.0	-0.1	0.0	0.0
2	GLOBAL	0.0	1.2	462.2	16.1	0.0	0.0

LOADING - 5 seismic Load Dir(+X)

RESULTANT JOINT LOADS SUPPORTS

JOINT		X FORCE	Y FORCE	Z FORCE	X MOMENT	Y MOMENT	Z MOMENT
1	GLOBAL	-382.6	0.0	0.0	0.0	14764.7	0.5
2	GLOBAL	-382.6	0.0	0.0	0.0	14764.7	-0.5

LOADING - 6 seismic Load Dir(+Y)

RESULTANT JOINT LOADS SUPPORTS

JOINT		X FORCE	Y FORCE	Z FORCE	X MOMENT	Y MOMENT	Z MOMENT
1	GLOBAL	0.0	-414.5	298.5	-9280.0	0.0	0.0
2	GLOBAL	0.0	-414.5	-298.5	-9280.0	0.0	0.0

LOADING - 7 seismic Load Dir(-Z)

# Diseño estructural del soportado de bandejas eléctricas en una central nuclear

ST STRUCL 29 Output - C:\Documents and Settings\merinca\Desktop\CALCULO.st1 16:37:06 March 05, 2010 Page 6

```

RESULTANT JOINT LOADS SUPPORTS
JOINT      /-----FORCE-----//-----MOMENT-----/
           X FORCE   Y FORCE   Z FORCE   X MOMENT   Y MOMENT   Z MOMENT
1          GLOBAL      0.0     -2.5     446.4     -19.1      0.0      0.0
2          GLOBAL      0.0      2.5     446.4      19.1      0.0      0.0
-----
---  LOADING - 8      Seismic Load Comb(SRSS)  ---
-----
    
```

```

RESULTANT JOINT LOADS SUPPORTS
JOINT      /-----FORCE-----//-----MOMENT-----/
           X FORCE   Y FORCE   Z FORCE   X MOMENT   Y MOMENT   Z MOMENT
1          GLOBAL     382.6     414.5     537.0     9280.0     14764.7     0.5
2          GLOBAL     382.6     414.5     537.0     9280.0     14764.7     0.5
-----
---  LOADING - 9      COMB3 + SSE  ---
-----
    
```

```

RESULTANT JOINT LOADS SUPPORTS
JOINT      /-----FORCE-----//-----MOMENT-----/
           X FORCE   Y FORCE   Z FORCE   X MOMENT   Y MOMENT   Z MOMENT
1          GLOBAL     382.6     413.3     749.5     9270.9     14764.7     0.5
2          GLOBAL     382.6     415.7     749.5     9289.1     14764.7     0.5
-----
---  LOADING - 10     COMB3 - SSE  ---
-----
    
```

```

RESULTANT JOINT LOADS SUPPORTS
JOINT      /-----FORCE-----//-----MOMENT-----/
           X FORCE   Y FORCE   Z FORCE   X MOMENT   Y MOMENT   Z MOMENT
1          GLOBAL     -382.6     -415.7     -224.4     -9289.1     -14764.7     -0.5
2          GLOBAL     -382.6     -413.3     -224.4     -9270.9     -14764.7     -0.5
-----
---  LOADING - 11     FOR ANCHORS - LC=1.4 (GR+DL)+1.7L  ---
-----
    
```

```

RESULTANT JOINT LOADS SUPPORTS
JOINT      /-----FORCE-----//-----MOMENT-----/
           X FORCE   Y FORCE   Z FORCE   X MOMENT   Y MOMENT   Z MOMENT
1          GLOBAL      0.0     -1.6     298.3      2.6      0.0      0.0
2          GLOBAL      0.0      1.6     721.9     28.0      0.0      0.0
-----
{ 177 } > PARAMETERS
{ 178 } > CORE      AISI89      ALL MEMBERS
{ 179 } > TELNM     UNISTRUT  ALL MEMBERS
{ 180 } > CHECK ALL MEMBERS AS BEAM
    
```

\*\*\*\*\*  
\* DESIGN TRACE OUTPUT \*  
\*\*\*\*\*

JOBID - SUPPORT- TITLE - NONE GIVEN

\*\* MEMBERS WHICH FAIL ARE MARKED BY TWO ASTERISKS (\*\*)

MEMBER CODE	TABLE PROFILE	LOADING NAME	SECTION LOCATION	PROVISION NAME	ACTUAL/ALLOWABLE	FX/MT	FY/MY	FZ/MZ	UNITS STATUS
1	UNISTRUT P1004A	10	0.000 C5-3	C4 (d)	0.958	-324.404	-413.338	-382.622	INCH LB PASSED
2	UNISTRUT P1004A	10	0.000 C5-3	C4 (d)	0.959	-324.404	-415.691	-382.622	INCH LB PASSED
3	UNISTRUT P1001	10	45.000 C5-3	C4 (d)	0.228	-16.417	-99.869	-12.759	INCH LB PASSED
4	UNISTRUT P1004A	9	0.000 C5-3	TEN C4 (d)	0.329	491.518	276.299	252.055	INCH LB PASSED
5	UNISTRUT	10	0.000 C5-3		0.330	-211.457	-276.299	-252.055	INCH LB PASSED

# Diseño estructural del soportado de bandejas eléctricas en una central nuclear

GT STRUDL 29 Output - C:\Documents and Settings\merinoa\Desktop\CALCULO.gt 16:37:06 March 05, 2010 Page 7

AISI89	P1004A			C4(d)	0.106	-0.004	-5872.305	-2058.363	PASSED
6	UNISTRUT	10	45.000	C5-3	0.223	-15.324	-97.862	-12.759	INCH LB
AISI89	P1001			C4(d)	0.346	-1.089E-07	-0.004	-2387.021	PASSED
7	UNISTRUT	11	16.000	E1.1	0.195	88.593	6.177	-4.338E-07	INCH LB
AISI89	P1004A			C4(d)	0.106	0.000	0.000	-72.705	PASSED
8	UNISTRUT	11	16.000	E1.1	0.195	512.837	-6.177	-4.338E-07	INCH LB
AISI89	P1004A			C4(d)	0.106	0.000	0.000	55.687	PASSED
9	UNISTRUT	11	45.000	E1.1	0.195	6.177	9.545	-8.510E-07	INCH LB
AISI89	P1001			C4(d)	0.346	0.000	-2.195E-05	-55.687	PASSED
10	UNISTRUT	11	7.000	E1.1	0.195	-1.669E-07	0.000	0.000	INCH LB
AISI89	P1004A			C4(d)	0.046	0.000	0.000	0.000	PASSED
11	UNISTRUT	11	7.000	E1.1	0.195	-1.669E-07	0.000	0.000	INCH LB
AISI89	P1004A			C4(d)	0.046	0.000	0.000	0.000	PASSED

\*\*\*\*\*  
 \* END OF TRACE OUTPUT \*  
 \*\*\*\*\*

{ 161 } > CHECK ALL MEMBERS AS COLUMN

\*\*\*\*\*  
 \* DESIGN TRACE OUTPUT \*  
 \*\*\*\*\*

JOBID - SUPPORT- TITLE - NONE GIVEN

\*\* MEMBERS WHICH FAIL ARE MARKED BY TWO ASTERISKS (\*\*)

MEMBER CODE	TABLE PROFILE	LOADING NAME	SECTION LOCATION	PROVISION NAME	ACTUAL/ALLOWABLE	SECTION FORCES			UNITS STATUS
						FX/MT	FY/MY	FZ/MZ	
1	UNISTRUT	8	0.000	C5-3	0.973	-536.972	-414.514	-382.622	INCH LB
AISI89	P1004A			C4(d)	0.159	-0.502	-14764.732	-9280.007	PASSED
2	UNISTRUT	8	0.000	C5-3	0.973	-536.972	-414.514	-382.622	INCH LB
AISI89	P1004A			C4(d)	0.159	-0.502	-14764.732	-9280.007	PASSED
3	UNISTRUT	9	0.000	C5-3	0.228	-16.417	-114.045	-12.759	INCH LB
AISI89	P1001			C4(d)	0.346	0.000	-0.498	-2432.183	PASSED
4	UNISTRUT	8	0.000	C5-3	0.338	-351.487	-273.140	-252.055	INCH LB
AISI89	P1004A			C4(d)	0.106	-0.004	-5872.304	-2030.484	PASSED
5	UNISTRUT	8	0.000	C5-3	0.338	-351.487	-273.140	-252.055	INCH LB
AISI89	P1004A			C4(d)	0.106	-0.004	-5872.305	-2030.484	PASSED
6	UNISTRUT	9	0.000	C5-3	0.223	-15.324	-112.038	-12.759	INCH LB
AISI89	P1001			C4(d)	0.346	-1.089E-07	-0.004	-2387.021	PASSED
7	UNISTRUT	11	0.000	E1.1	0.195	101.145	6.177	-4.338E-07	INCH LB
AISI89	P1004A			C4(d)	0.106	0.000	6.940E-06	26.133	PASSED
8	UNISTRUT	11	0.000	E1.1	0.195	525.389	-6.177	-4.338E-07	INCH LB
AISI89	P1004A			C4(d)	0.106	0.000	6.940E-06	-43.151	PASSED
9	UNISTRUT	11	0.000	E1.1	0.195	6.177	-10.302	0.000	INCH LB
AISI89	P1001			C4(d)	0.346	0.000	-2.178E-06	-72.705	PASSED
10	UNISTRUT	11	0.000	E1.1	0.195	5.492	0.000	0.000	INCH LB
AISI89	P1004A			C4(d)	0.046	0.000	0.000	0.000	PASSED
11	UNISTRUT	11	0.000	E1.1	0.195	5.492	0.000	0.000	INCH LB
AISI89	P1004A			C4(d)	0.046	0.000	0.000	0.000	PASSED

\*\*\*\*\*  
 \* END OF TRACE OUTPUT \*  
 \*\*\*\*\*

{ 162 } >  
 { 163 } > \$-----  
 { 164 } > \$ BYPASS  
 { 164 } >