



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID  
ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

**Grado en Ingeniería Mecánica**

# **ESTRUCTURAS LIGERAS DE ACCESO DE USO INDUSTRIAL**

**Autor:**

**Lasso Yagüe, Javier**

**Tutor(es):**

**Lorenzana Ibán, Antolín**

**CAITMMCyT Estructuras**

**Magdaleno Martín, Jesús**

**CAITMMCyT Estructuras**

**Valladolid, Julio 2022.**



## RESUMEN

En este trabajo fin de grado se van a estudiar los medios de acceso industrial que se utilizan en las instalaciones técnicas e industrias, incluyendo aspectos funcionales y de prevención de riesgos laborales de las mismas.

Concretamente, el estudio se centra en las escaleras móviles, utilizadas principalmente en zonas de trabajo de difícil acceso o a las que no es posible acceder con otro tipo de escaleras industriales.

El desarrollo de este TFG se ha basado en el cálculo teórico-analítico de una estructura móvil apoyado en el software "SAP2000", permitiendo de esta manera verificar los resultados y realizar el modelado de la escalera, a partir del cual se han obtenido diagramas diferentes, con los consiguientes puntos de discusión, como la torsión, las tensiones máximas o la deformación.

## PALABRAS CLAVE

Accesos Industriales, Escaleras móviles.

## ABSTRACT

In this final degree project we will study the means of industrial access used in technical installations and industries, as one of the most important aspects of the Occupational Risk Preventions' in them.

Specifically, the analysis focuses on mobile ladders, which are mainly used in work areas that are difficult to access or cannot be accessed by other types of industrial ladders.

The development of this project has been based on the theoretical-analytical calculation of a mobile structure supported by the "SAP2000" software, thus allowing the verification of the results and the modelling of the ladder, from which different diagrams have been obtained, with the consequent points of discussion, such as torsion, maximum stresses or deformation.

## KEYWORDS

Industrial Accesses, Mobile ladders.



## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....</b>	<b>1</b>
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	3
1.3 ESTRUCTURA DEL TRABAJO .....	4
<b>2. ACCESOS INDUSTRIALES .....</b>	<b>5</b>
2.1 ESCALERAS .....	5
2.1.1 ESCALERAS FIJAS .....	5
2.1.2 ESCALERAS MÓVILES.....	14
2.2 PLATAFORMAS VALLADAS.....	21
2.3 OTROS.....	22
2.3.1 BARANDILLA DE CUBIERTA.....	22
2.3.2 PASOS ELEVADOS O SALTOS DE LOBO.....	23
2.4 MATERIALES.....	23
2.4.1 ACEROS .....	23
2.4.2 ALUMINIO.....	24
2.4.3 ACERO INOXIDABLE.....	25
2.4.4 RECUBRIMIENTOS DE LOS ACEROS.....	25
2.4.5 APLICACIONES MATERIALES.....	26
<b>3. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>27</b>
3.1 NORMATIVA ESPECÍFICA PASARELAS.....	27
3.1.1 ACCIONES PERMANENTES.....	27
3.1.2 SOBRECARGA DE USO.....	28
3.1.3 ACCIONES EN LAS BARANDILLAS.....	28
3.1.4 ACCIONES TÉRMICAS .....	28
3.1.5 ACCIONES DE VIENTO.....	28
3.1.6 ACCIONES DE NIEVE.....	29
3.1.7 ACCIONES SÍSMICAS .....	30
3.2 NORMATIVA ESCALERAS MÓVILES.....	30
3.2.1 EN 131-1 TERMINOLOGÍA, TIPOS Y DIMENSIONES FUNCIONALES .....	30
3.2.2 EN 131-2 REQUISITOS, ENSAYOS Y MARCADO .....	31
3.2.3 EN 131.3 INFORMACIÓN DESTINADA AL USUARIO.....	32
3.2.4 EN 131.4 ESCALERAS ARTICULADAS CON BISAGRAS O MÚLTIPLES .....	33
3.2.5 EN 131.6 ESCALERAS TELESCÓPICAS Y EN 131.7 ESCALERAS MÓVILES CON PLATAFORMA.....	33
3.3. RIESGOS Y FACTORES DE RIESGO .....	33
<b>4. PREDIMENSIONADO DE UNA ESCALERA DE MANO EN CONCRETO .....</b>	<b>35</b>
4.1 JUSTIFICACIÓN DE LA CARGA.....	36
4.2 VALIDACIÓN DEL USO DEL SAP2000 COMO PROGRAMA DE CÁLCULO. ....	38
4.2.1 BARRA BIAPOYADA .....	38
4.2.2 BARRA BIEMPOTRADA.....	40
4.3 ESCALERAS .....	41



<b>4.4</b>	<b>MODELADO DE LAS ESCALERAS .....</b>	<b>43</b>
<b>4.5</b>	<b>DIAGRAMAS OBTENIDOS .....</b>	<b>53</b>
4.5.1	ESCALERA 1 .....	53
4.5.2	ESCALERA 2 .....	66
4.5.3	ESCALERA 3 .....	80
4.5.4	ESCALERA 4 .....	94
<b>4.6</b>	<b>DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>108</b>
4.6.1	DEFORMADA .....	109
4.6.2	AXILES .....	110
4.6.3	TORSIÓN .....	110
4.6.4	TENSIONES MÁXIMAS. ....	111
4.6.5	FLECTORES .....	111
4.6.6	CORTANTES .....	112
4.6.7	COEFICIENTES DE PANDEO. ....	112
4.6.8	APLICACIÓN DE LOS CRITERIOS. ....	113
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>117</b>
5.1	CONCLUSIONES.....	117
5.2	LÍNEAS FUTURAS .....	118
5.3	CONSIDERACIONES ADICIONALES.....	118
	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>119</b>
	<b>WEBGRAFÍA.....</b>	<b>119</b>



## ÍNDICE FIGURAS

Figura 2-1 Vista axonométrica de las partes de una escalera. Fuente [12].....	6
Figura 2-2 Vista sección de las partes de una escalera. Fuente [12].....	7
Figura 2-3 Escalera recta de uno (a) y dos tramos (b). Fuente [12] .....	7
Figura 2-4 Escalera Recta de dos tramos con zancas paralelas realizada con SKETCHUP .....	8
Figura 2-5 Escalera recta de tres tramos. Fuente [12]. .....	8
Figura 2-6 Escalera de tiro curvo o caracol. Fuente [12].....	9
Figura 2-7 Escalera de caracol realizada con SKETCHUP .....	9
Figura 2-8 Escalera desdoblada. Fuente [12]. .....	10
Figura 2-9 Escalera desdoblada realizada con SKETCHUP .....	10
Figura 2-10 Medidas de la jaula de seguridad. Fuente [10]. .....	12
Figura 2-11 Escalera de un solo tramo. Fuente [10] .....	12
Figura 2-12 Escalera de varios tramos intercalados. Fuente [10]......	13
Figura 2-13 Elementos de una escalera fija. Fuente [10] .....	13
Figura 2-14 Escalera fija con jaula de seguridad realizada con SKETCHUP ...	14
Figura 2-15 Escalera simple de apoyo. Fuente Google Images. ....	15
Figura 2-16 Escalera extensible. Fuente Google Images. ....	16
Figura 2-17 Escalera autoestable. Fuente Google Images. ....	16
Figura 2-18 Escalera transformable. Fuente Google Images. ....	17
Figura 2-19 Escalera articulada. Fuente Google Images. ....	18
Figura 2-20 Escalera Telescópica. Fuente Google Images. ....	19
Figura 2-21 Escalera Móvil con plataformas. Fuente Google Images.....	20
Figura 2-22 Plataforma vallada. Fuente Google Images.....	22
Figura 2-23 Barandillas. Fuente Google Images. ....	22
Figura 2-24 Saltos de lobo. Fuente Google Images. ....	23
Figura 4-1 Prontuario viga bi empotrada Fuente [15].....	36
Figura 4-2 Prontuario viga bi apoyada. Fuente [15].....	37
Figura 4-3 Diagrama momentos SAP2000 .....	38
Figura 4-4 Diagrama teórico prontuario .....	39
Figura 4-5 Momento obtenido.....	39
Figura 4-6 Desplazamiento SAP2000. ....	39
Figura 4-7 Diagrama momentos SAP2000. ....	40
Figura 4-8 Diagrama momentos prontuario.....	40
Figura 4-9 Momentos SAP2000. ....	41
Figura 4-10 Desplazamiento SAP2000.....	41
Figura 4-11 Malla Escalera. ....	44
Figura 4-12 Detalle del material 6082T6. ....	45
Figura 4-13 Perfil Zanca Escalera 1 y 2. ....	46
Figura 4-14 Perfil peldaño. ....	46
Figura 4-15 Perfil Zanca Escalera 3 y 4. ....	47
Figura 4-16 Perfil Peldaño.....	47
Figura 4-17 Detalle malla inicial con perfiles definidos. ....	47
Figura 4-18 Ventana Replicate 1.....	48
Figura 4-19 Ventana Replicate 2.....	48
Figura 4-20 Ventana Replicate 3.....	49
Figura 4-21 Ventana Replicate 4.....	49



Figura 4-22 Fuerzas.....	50
Figura 4-23 Escalera 0°.....	50
Figura 4-24 Asignación fuerza 0°.....	51
Figura 4-25 Escalera a 45°.....	51
Figura 4-26 Asignación fuerza 45°.....	52
Figura 4-27 Escalera a 90°.....	52
Figura 4-28 Asignación fuerza 45°.....	53
Figura 4-29 Deformada.....	54
Figura 4-30 Diagrama de torsión.....	55
Figura 4-31 Diagrama de tensiones.....	56
Figura 4-32 Diagrama de flectores.....	56
Figura 4-33 Diagrama de flectores.....	57
Figura 4-34 Deformada.....	58
Figura 4-35 Diagrama de axiles.....	59
Figura 4-36 Diagrama de torsores.....	59
Figura 4-37 Deformada.....	60
Figura 4-38 Diagrama de flectores 1.....	60
Figura 4-39 Diagrama de flectores 2.....	61
Figura 4-40 Diagrama de cortantes 1.....	61
Figura 4-41 Diagrama de cortantes 2.....	62
Figura 4-42 Factor Pandeo.....	62
Figura 4-43 Deformada.....	63
Figura 4-44 Diagrama de axiles.....	64
Figura 4-45 Diagrama de tensiones.....	64
Figura 4-46 Diagrama de flectores.....	65
Figura 4-47 Diagrama de cortantes.....	65
Figura 4-48 Coeficiente pandeo.....	66
Figura 4-49 Deformada.....	67
Figura 4-50 Diagrama de torsión.....	68
Figura 4-51 Diagrama de tensiones.....	68
Figura 4-52 Diagrama de flectores.....	69
Figura 4-53 Diagrama de cortantes.....	69
Figura 4-54 Deformada.....	70
Figura 4-55 Diagrama de axiles.....	71
Figura 4-56 Diagrama de torsión.....	72
Figura 4-57 Diagrama de tensiones.....	72
Figura 4-58 Diagrama de flectores 1.....	73
Figura 4-59 Diagrama de flectores 2.....	73
Figura 4-60 Diagrama de cortantes 1.....	74
Figura 4-61 Diagrama de cortantes 2.....	74
Figura 4-62 Coeficiente pandeo.....	75
Figura 4-63 Deformada.....	76
Figura 4-64 Diagrama de axiles.....	77
Figura 4-65 Diagrama de tensiones.....	78
Figura 4-66 Diagrama de flectores.....	79
Figura 4-67 Diagrama de cortantes.....	79
Figura 4-68 Coeficiente de pandeo.....	80
Figura 4-69 Deformada.....	81
Figura 4-70 Diagrama de torsores.....	82



Figura 4-71 Diagrama de tensiones. ....	82
Figura 4-72 Diagrama de flectores.....	83
Figura 4-73 Diagrama de cortantes.....	84
Figura 4-74 Deformada. ....	84
Figura 4-75 Diagrama de axiles. ....	85
Figura 4-76 Diagrama de torsores.....	86
Figura 4-77 Diagrama de tensiones. ....	86
Figura 4-78 Diagrama de flectores 1.....	87
Figura 4-79 Diagrama de flectores 2.....	87
Figura 4-80 Diagrama de cortantes.....	88
Figura 4-81 Coeficiente de pandeo. ....	88
Figura 4-82 Deformada. ....	90
Figura 4-83 Diagrama de axiles. ....	91
Figura 4-84 Diagrama de tensiones. ....	92
Figura 4-85 Diagrama de flectores.....	92
Figura 4-86 Diagrama de cortantes.....	93
Figura 4-87 Coeficiente de Pandeo. ....	93
Figura 4-88 Deformada. ....	94
Figura 4-89 Diagrama de torsores.....	95
Figura 4-90 Diagrama de tensiones. ....	96
Figura 4-91 Diagrama de flectores.....	96
Figura 4-92 Diagrama de cortantes.....	97
Figura 4-93 Deformada. ....	98
Figura 4-94 Diagrama de axiles. ....	99
Figura 4-95 Diagrama de torsores.....	99
Figura 4-96 Diagrama de tensiones. ....	100
Figura 4-97 Diagrama de flectores 1.....	101
Figura 4-98 Diagrama de flectores 2.....	101
Figura 4-99 Diagrama de cortantes 1.....	102
Figura 4-100 Diagrama de cortantes 2.....	102
Figura 4-101 Coeficiente de Pandeo.....	103
Figura 4-102 Deformada.....	104
Figura 4-103 Diagrama de axiles.....	105
Figura 4-104 Diagrama de tensiones.....	106
Figura 4-105 Diagrama de flectores.....	107
Figura 4-106 Diagrama de cortantes.....	107
Figura 4-107 Coeficiente de Pandeo.....	108
Figura 4-108 Gráfica Desplazamientos.....	109
Figura 4-109 Esfuerzo torsor. ....	110



## ÍNDICE TABLAS

Tabla 2-1 Propiedades Mecánicas. Fuente [14].....	24
Tabla 2-2 Composición Química Aluminio. Fuente [14].....	25
Tabla 2-3 Categoría de Corrosión de los diferentes ambientes. ....	26
Tabla 4-1 Escalera 1 .....	42
Tabla 4-2 Escalera 2 .....	42
Tabla 4-3. Escalera 3 .....	42
Tabla 4-4. Escalera 4 .....	43
Tabla 4-5 Desplazamientos[m]. ....	109
Tabla 4-6 Esfuerzos de torsión[Nm]. ....	110
Tabla 4-7 Tensiones máximas [Pa].....	111
Tabla 4-8 Momentos Flectores [Nm] .....	111
Tabla 4-9 Cortantes [N] .....	112
Tabla 4-10 Pandeo.....	112
Tabla 4-11 Factores $\lambda$ .....	113
Tabla 4-12 Factores $\lambda$ .....	114
Tabla 4-13 Fuerzas fallo. ....	116



## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

### 1.1 INTRODUCCIÓN

En la situación actual en la que vivimos, la prevención de riesgos es uno de los pilares de cualquier empresa. Con el objetivo de mejorar las condiciones de seguridad y proteger a sus trabajadores, las empresas están obligadas legalmente a implantar soluciones para evitar que los empleados sufran cualquier daño en el desempeño de su trabajo.

Es importante garantizar la seguridad en el trabajo, no sólo para los empleados sino también para los propios empresarios. Adicionalmente, esto también afecta a la productividad de la empresa, ya que, si el empleado se encuentra seguro desempeñando la ocupación, la misma es más eficiente. Por tanto, la inversión en seguridad de las empresas no es un gasto, sino una inversión a corto y largo plazo. Las empresas son las responsables de llevar a cabo el oportuno cumplimiento de las normativas y directivas que son de aplicación.

En el año 1995 se aprobó en España la ley 31/1995, “Ley de Prevención de Riesgos Laborales”, con objeto de reducir la cantidad de accidentes de trabajo producidos. Esta ley tiene como objeto la determinación del cuerpo básico de garantías y responsabilidades preciso para establecer un adecuado nivel de protección de la salud de los trabajadores frente a los riesgos a los que los están sometidos con el desempeño de la actividad productiva. Las normativas aplicables han ido evolucionando y adaptándose conforme ha ido pasando el tiempo.

Actualmente, la normativa española de prevención de riesgos en la industria y fábricas se encuentra regulada en el *Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo*<sup>1</sup>.

No obstante, con objeto de incorporar al derecho español el contenido de la *Directiva 2001/45/CE de la Unión Europea*, se elaboró el *Real Decreto 2177/2004, de 12 de noviembre, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo, en materia de trabajos temporales en altura*<sup>2</sup>. Esta

---

<sup>1</sup> [Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo \(juridicas.com\)](#)

<sup>2</sup> [Real Decreto 2177/2004, de 12 de noviembre, por el que se modifica el Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la](#)



regulación establece que todos los sistemas de paso, acenso, descenso, tránsito, etc., como las escaleras de mano, los andamios y los sistemas utilizados en las técnicas de acceso y posicionamiento mediante cuerdas deberán tener la resistencia y los elementos necesarios de apoyo y sujeción.

En este trabajo analizaremos las pasarelas o medios de acceso industrial. Las mismas son soluciones que permiten realizar recorridos con total seguridad entre conductos, canalizaciones, racks de tuberías, muros bajos de separación, paredes, claraboyas y lucernarios planos. Se trata de un conjunto de instalaciones que permite salvar obstáculos, incluyendo en ocasiones el paso entre dos edificios colindantes.

Las pasarelas o medios de acceso **son una medida de protección colectiva**, la cual garantiza la seguridad de los trabajadores cuando existe la necesidad de desplazarse de un lugar a otro por una zona nivelada, antideslizante y segura en zonas elevadas<sup>3</sup>.

El objetivo de utilizar estas pasarelas es permitir el acceso a zonas que se encuentran en **zonas elevadas sobre máquinas**, tuberías, sistemas de refrigeración, estanterías, etc. Para llevar a cabo la instalación de estas, es necesario que se hayan implantado sistemas de acceso adecuados y certificados.

Las pasarelas y/o escaleras deben ser adecuadas y certificadas la normativa que recogen los parámetros que deben cumplir este tipo de estructura es la *UNE-EN ISO 14122 Seguridad de las máquinas y Medios de acceso permanente (Safety of machinery permanent)*. El objetivo de esta normativa es regular el esfuerzo físico excesivo, así como la prevención de caídas a distintos niveles. En este trabajo principalmente nos ocuparemos de este último objetivo.

Esta normativa es de aplicación a todas las máquinas, ya sean fijas o móviles, a las que son necesarios unos medios de acceso fijos y a los medios de acceso que son parte íntegra de la máquina. Se aplican a medios de acceso a la máquina que no son fijos permanentemente y que pueden ser desplazados para algunas operaciones sobre la máquina, así como también se pueden

---

[utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo, en materia de trabajos temporales en altura. \(juridicas.com\)](#)

<sup>3</sup> [PASARELAS DE ACCESO Y TRÁNSITO EN CUBIERTAS E INSTALACIONES INDUSTRIALES - Huma Safety](#)



aplicar estas normas a los medios de acceso que son parte del edificio, como es el caso de estudio de este trabajo – pasarelas, plataformas, etc<sup>4</sup>.

Esta Norma está dividida en cuatro partes. En cada una de ellas se especifican los requisitos para escaleras, pasos elevados, barandillas y plataformas. Adicionalmente, existen otras normas necesarias que permiten facilitar el entendimiento de la ISO EN 14122.

- EN ISO 363 Equipo contra caídas para la seguridad en altura.
- EN ISO 12100-2:2003:
  - UNE EN ISO 14122-1: Seguridad industrial en máquinas. La elección de los medios de acceso seguros.
  - UNE EN ISO 14122-2: Seguridad en máquinas. Plataformas de trabajo y pasos intermedios.
  - UNE EN ISO 14122-3: Seguridad en máquinas. Escaleras fijas y guardacuerpos.
  - UNE EN ISO 14122:4: Seguridad en máquinas. Barandillas de seguridad fijas.
- Otras normas que completan a la norma anterior:
  - UNE EN 131 Escaleras verticales móviles.
    - EN 131-1 terminología, tipos y dimensiones funcionales.
    - EN 131-2 requisitos, ensayos y marcado
    - EN 131-3 Información destinada al usuario
    - EN 131-4 escaleras articuladas con bisagras simples o múltiples.
    - EN 131- 6 escaleras telescópicas.
    - EN 131-7 Escaleras móviles con plataforma.

A continuación, realizaremos un estudio de los medios de acceso industrial, que forman parte de la pasarela o medio de acceso industrial y realizaremos un cálculo de una escalera móvil vertical con el programa informático de cálculo estructural SAP2000.

## 1.2 OBJETIVOS

El objetivo principal del trabajo es dar a conocer los diferentes tipos de accesos industriales que nos podemos encontrar en las plantas industrial, ya estos sean fijos o móviles. Así como dar a conocer el marco teórico que deben cumplir estos accesos y al estudio previo que se tiene que someter para su

---

<sup>4</sup> [UNE-EN 14122 Medios de acceso permanente a máquinas e instalaciones industriales. – Actitud Preventiva \(wordpress.com\)](http://www.actitudpreventiva.com)



diseño. Y la comprobación de la norma utilizando un programa de calculo estructural como es el SAP2000.

Por lo que los objetivos principales de este trabajo son los siguientes:

- Conocer los diferentes tipos de accesos, explicando sus elementos, los materiales de los que están compuestos.
- Conocer la normativa que deben cumplir este tipo de acceso.
- Empleo de programa de cálculo y justificación de su uso.
- Comprobación de buen diseño y cumplimiento de la normativa de un tipo de accesos.

### 1.3 ESTRUCTURA DEL TRABAJO

El trabajo de fin de grado consta de 5 capítulos, que enunciamos a continuación:

- **Capítulo 1** Introducción En este apartado justificaremos el uso de los accesos industriales, por qué tiene importancia dentro del ámbito de la seguridad laboral.
- **Capítulo 2** Accesos industriales. Se realizará una clasificación de los diferentes tipos de acceso que existen, indicando los materiales en los que se fabrican y sus elementos.
- **Capítulo 3** Marco teórico de los accesos industriales. Indicaremos la normativa que deben cumplir los accesos industriales y los criterios a los que tienen ser sometidos para su correcto uso.
- **Capítulo 4** Estudio de una escalera en concreto. Se realizará un modelo y posterior estudio de un tipo de acceso con el programa de cálculo SAP2000.
- **Capítulo 5** Conclusiones. Presentaremos las conclusiones que hemos obtenido y las posibles líneas futuras de este TFG.



## 2. ACCESOS INDUSTRIALES

Dentro de las plantas industriales o fábricas podemos encontrar varios tipos de acceso con la finalidad de permitir el paso a los trabajadores para que realicen el mantenimiento o simplemente para que acceden a los puntos de control de las máquinas.

En este trabajo se ha hecho una clasificación de los tipos de acceso que podremos encontrar. Hemos diferenciado en escaleras, plataformas y otros. En esta diferenciación de las escaleras podemos especificar entre escaleras móviles y escaleras fijas.

### 2.1 ESCALERAS

Una **escalera** es un elemento constructivo conformado por una serie de escalones para comunicar espacios situados a diferentes alturas en una edificación.

#### 2.1.1 ESCALERAS FIJAS

Las escaleras fijas constan de planos horizontales denominados peldaños, los que a su vez se componen de una huella o pisa (su parte horizontal, donde se apoyará el pie) y una altura (separación vertical entre huellas). Si la altura está materializada se denomina contrahuella o tabica. Dependiendo del tipo de escalera la misma podrá contar con descansillos, barandilla y/o pasamanos, así como un reborde o bocel (pequeño voladizo que sobresale de la huella por sobre el escalón inferior, permitiendo aumentar su tamaño sin sumar centímetros a las dimensiones generales de la escalera)<sup>5</sup>.

Existe gran variedad de escaleras, según su forma, el material con el que estén construidas y la forma de apoyo.

Los principales elementos de una **escalera fija** son:

- **Contrahuella o tabica:** Es la parte vertical del fondo del peldaño.
- **Huella:** Elemento horizontal del peldaño definido por la superficie de apoyo. Es el ancho del escalón, medido en planta, entre dos contrahuellas sucesivas. Es la parte de la escalera sobre la que se pisa.

---

<sup>5</sup> [https://www.insst.es/documents/94886/326962/ntp\\_404.pdf/5fb3590b-8f8f-4f0e-bf66-cc3dff015cf4](https://www.insst.es/documents/94886/326962/ntp_404.pdf/5fb3590b-8f8f-4f0e-bf66-cc3dff015cf4)

Está construido con las mismas especificaciones (grosor) que cualquier otro piso. La “profundidad” de la banda de rodadura se mide desde el borde exterior del escalón hasta la “contrahuella” vertical entre escalones. El “ancho” se mide de un lado a otro.

- Rellano: Es la porción horizontal en la que termina cada tramo de escalera; debe tener la misma anchura que el ámbito de los tramos.
- Otros términos:
  - Línea de huella: Es una línea imaginaria que divide por la mitad una escalera recta.
  - Proyectura: El plano de apoyo de un peldaño puede tener una proyectura (nariz) sobre el inferior inmediato. Suele estar comprendido entre 2 y 5 cm.
  - Ámbito: Es la longitud de los peldaños. Es decir, es la anchura de la escalera.
  - Tiro: Es una sucesión continua de peldaños. Como máximo, cada tiro será de 21 peldaños.
  - Calabazada: Es la altura libre comprendida entre la huella de un peldaño y el techo del tiro de encima.

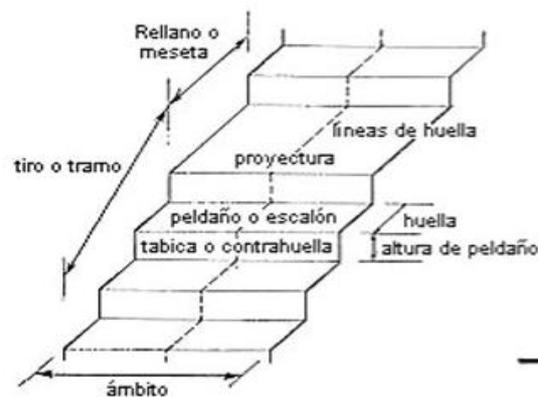


Figura 2-1 Vista axonométrica de las partes de una escalera. Fuente [12]

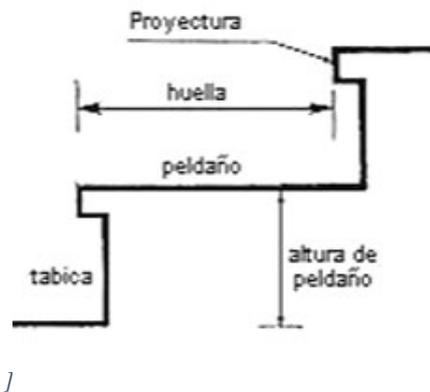


Figura 2-2 Vista sección de las partes de una escalera. Fuente [12].

Tipos de escalera fijas más habituales que nos podemos encontrar<sup>6</sup>:

- Recta: Es el tipo de escalera cuyos tiros se desarrollan en línea recta y suben encajonados entre muros. Dentro de esta categoría podemos tener uno o dos tramos. Dentro de esta podemos tener uno o dos tramos, pudiéndose los tramos o también denominarse zancas; perpendiculares o paralelas.

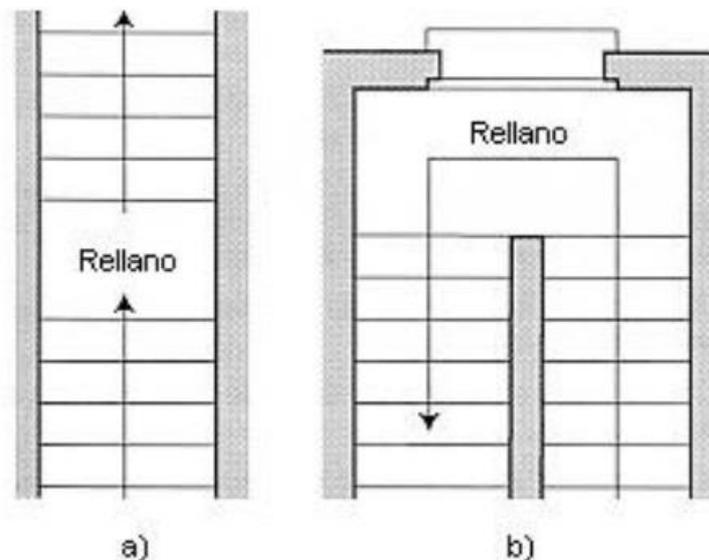


Figura 2-3 Escalera recta de uno (a) y dos tramos (b). Fuente [12]

<sup>6</sup> [NTP 404: Escaleras fijas \(insst.es\)](http://ntp.404.es)



Figura 2-4 Escalera Recta de dos tramos con zancas paralelas realizada con SKETCHUP

- De tres tramos: Se desarrolla a lo largo de tres lados de una caja de escalera, estando el cuarto ocupado por el rellano.

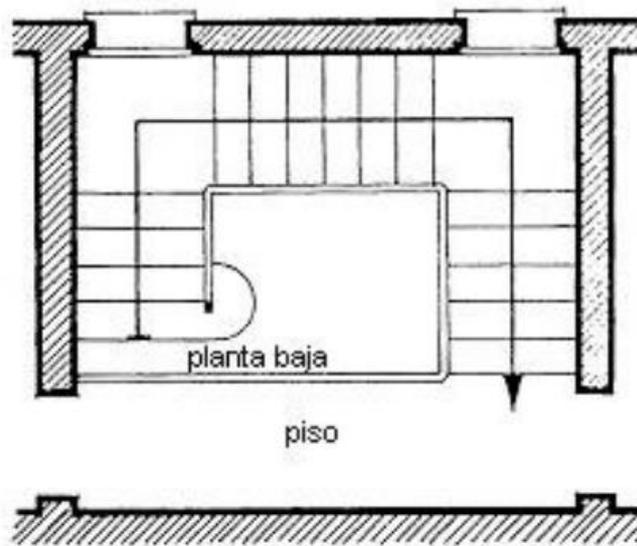


Figura 2-5 Escalera recta de tres tramos. Fuente [12].

- De tiro curvo o también denominado caracol. Los peldaños son radiales partiendo de una columna central.

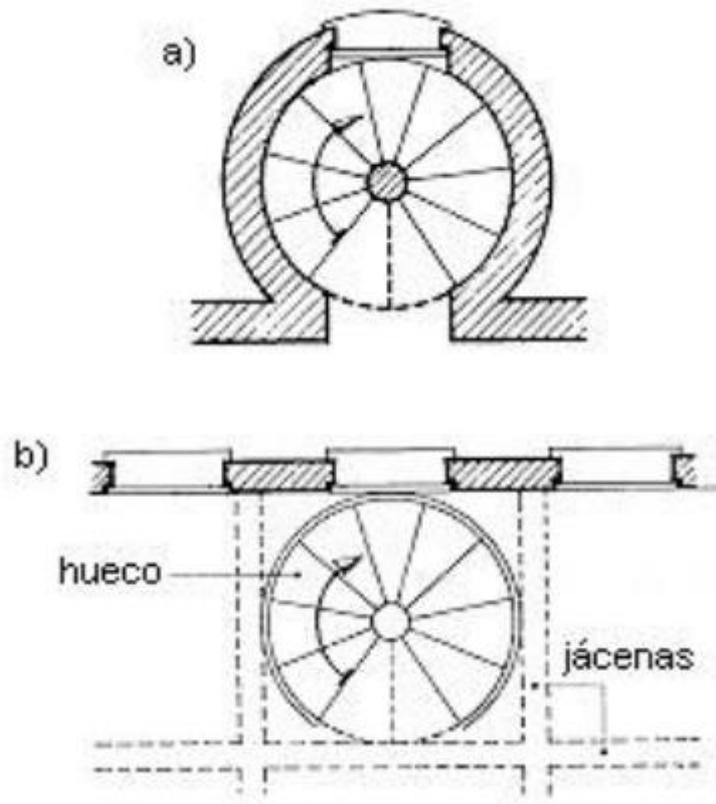


Figura 2-6 Escalera de tiro curvo o caracol. Fuente [12]

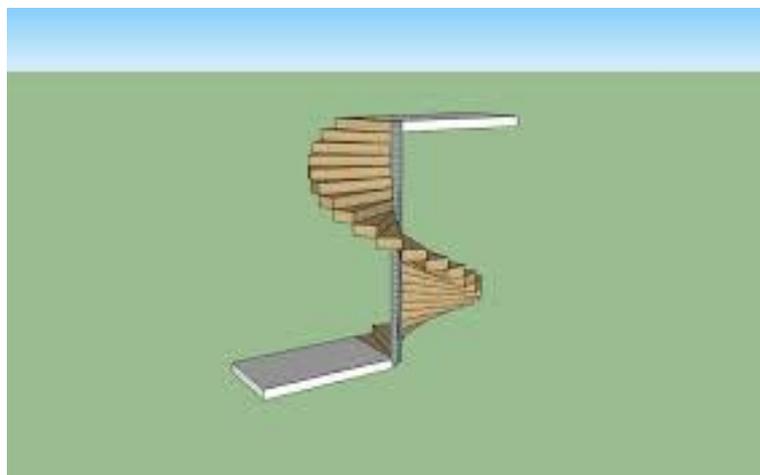


Figura 2-7 Escalera de caracol realizada con SKETCHUP

- Desdoblada: Consta de un sólo tramo central que conduce al rellano intermedio, del cual parten dos tiros laterales.

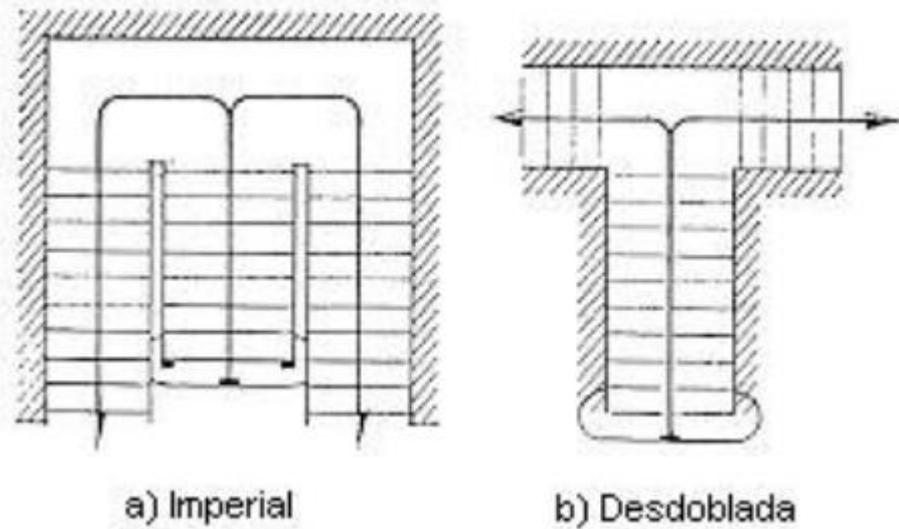


Figura 2-8 Escalera desdoblada. Fuente [12].



Figura 2-9 Escalera desdoblada realizada con SKETCHUP

- Otros (No utilizados en los accesos industriales)
  - De arrimo o adosada: Se desarrolla a lo largo de un muro recto o curso, en el cual se apoya, quedando empotrados los peldaños.
  - De suelo a suelo recta o alabeada: Es una losa inclinada que se apoya en los dos suelos que enlaza.



### 2.1.1.1 ESCALERAS VERTICALES FIJAS

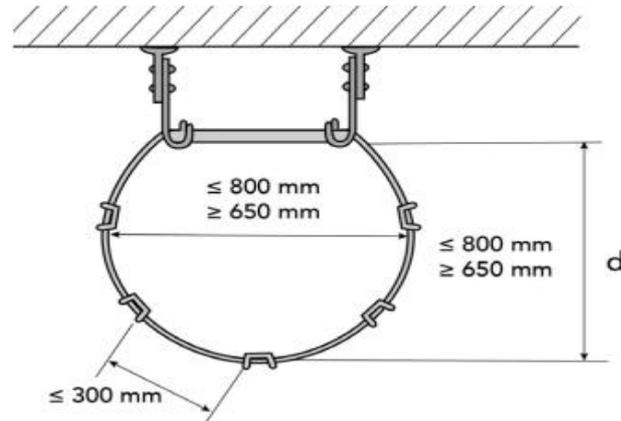
Las escaleras verticales fijas, también denominadas escaleras de gato o de crinolina, sirven para comunicar espacios situados a diferente altura. Este tipo de acceso es especialmente peligroso y solo debe ser usado para accesos que son usados esporádicamente u ocasionales.

Estas escaleras son las diseñadas con una inclinación superior a  $75^\circ$  e inferior o igual a  $90^\circ$ .

Generalmente este tipo de escalera está fabricado en hierro forjado, acero galvanizado, aluminio y/o acero inoxidable.

Los elementos que este tipo de accesos están constituido son montantes, tramos, protección contra caídas, descansillos y plataformas, dispositivo anti escalada.

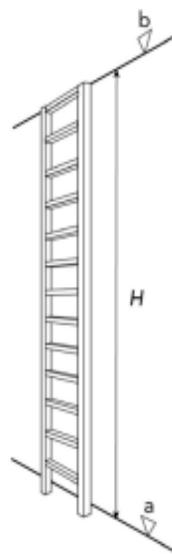
- Montantes: Parte que soporta la carga puede haber escaleras de uno o dos montantes.
- Tramos de escalera: Las escaleras fijas pueden tener tramos continuos o bien ser tramos intercalados que estarán comunicados por descansillos plataformas intermedias
- Protección anticaídas: el RD 486/1997 de 14 de abril establece que las escaleras con más de 4 metros de altura deberán disponer a partir de dicha altura de un sistema anti caída. Los sistemas anticaídas que la escalera debe disponer son o bien uno de estos o bien ambos.
- Jaula de seguridad: Es una protección circundante con forma de jaula fijada permanentemente a la escala, que reduce el riesgo de caída de personas desde la misma. Al ser un elemento fijo, su protección está siempre presente y su nivel efectivo de seguridad es independiente de la actividad del operador. En la figura 2.10. observamos las medidas que debe tener la jaula



*d. distancia desde el peldaño a la jaula de seguridad.*

*Figura 2-10 Medidas de la jaula de seguridad. Fuente [10].*

- Línea de anclaje rígida Es el punto de anclaje cuando se utiliza un sistema de protección individual contra caídas de altura, concretamente un sistema anticaída, que es aquel que detiene la caída libre y limita la fuerza de impacto, además de proporcionar suspensión al trabajador en una posición que permita el rescate.
- Descansillos y plataformas. Los descansillos y las plataformas son estructuras horizontales diseñadas para cambiar de tramo, descansar o para acceder a un sistema de escala desde la zona de salida en altura o desde la zona de llegada.



*Figura 2-11 Escalera de un solo tramo. Fuente [10]*

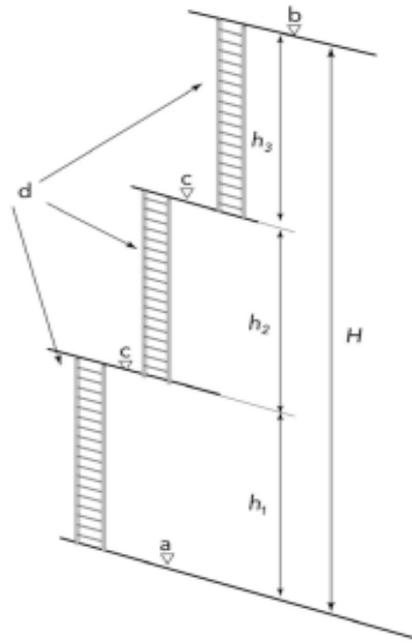
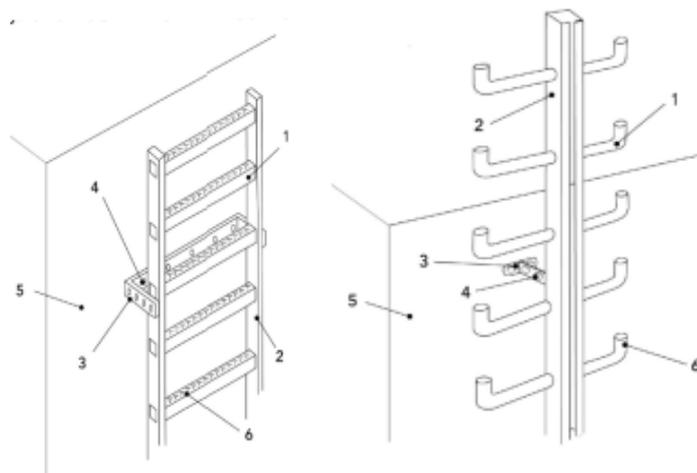


Figura 2-12 Escalera de varios tramos intercalados. Fuente [10].

Las partes de la figura son:

- a zona de salida
- b zona de llegada
- H ALTURA de entre espacios que comunica la escalera
- C plataforma intermedia
- $h_n$  Altura de un tramo de escalera
- $n$  Tramo de escalera



1 Peldaño.  
2 Montante.  
3 Soporte.

1 Punto de anclaje.  
2 Parte fija (pared por ejemplo).  
3 Protección antideslizante.

Figura 2-13 Elementos de una escalera fija. Fuente [10]

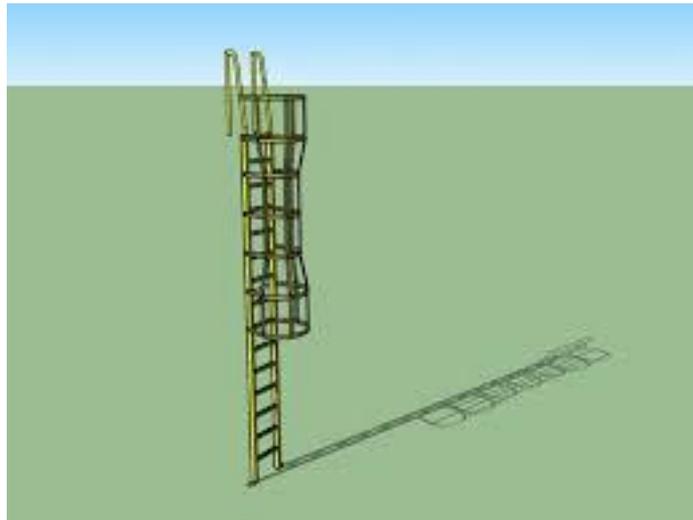


Figura 2-14 Escalera fija con jaula de seguridad realizada con SKETCHUP

### 2.1.2 ESCALERAS MÓVILES

Una vez que se han expuesto los principales elementos de las escaleras fijas, se expondrán los principales tipos de escaleras móviles, también habitualmente utilizadas como medios de acceso industrial.

Las escaleras manuales o móviles son aparatos portátiles que consisten normalmente en dos piezas paralelas o ligeramente convergentes unidas a intervalos por travesaños y que sirven para subir o bajar una persona de un nivel a otro. Los elementos principales de las escaleras móviles son los que se enuncian a continuación<sup>7</sup>:

Elementos de una escalera móvil

- Larguero: Elemento lateral que conforma la estructura de la escalera, sirve de soporte para los peldaños
- Peldaño: Soporte que une los largueros y sirve para el apoyo de los pies
- Travesaño: Conexión que une los largueros este en ningún caso sirve de soporte para el usuario.
- Zapatas: Dispositivo fijado en la base de la escalera con el fin de evitar el deslizamiento de esta.

<sup>7</sup> [NTP 239: Escaleras manuales \(insst.es\)](https://www.insst.es/)

La normativa que deben de cumplir este tipo de accesos es la normativa EN131 la cual está dividida en 7 apartados como indicamos anteriormente. Los tipos los enunciamos a continuación:

- Escalera simple de apoyo:

Escalera que no se soporta por sí misma, es decir, no autosoportada esto quiere decir que no tiene su propio soporte y no se puede ajustar en longitud. Esta está compuesta de dos zancas y una serie de peldaños que las unen, como se ve en la figura 3.16. Estas escaleras pueden tener diferentes longitudes variando el número de peldaños. como se ve en la figura 3.16.



*Figura 2-15 Escalera simple de apoyo. Fuente Google Images.*

- Escalera extensible

Constituida por dos o más tramos de escaleras simples. En dicha escalera la longitud puede ajustarse por desplazamiento relativo de un tramo sobre otro.



*Figura 2-16 Escalera extensible. Fuente Google Images.*

- Escaleras autoestable

También conocida como escalera de tijera. Se trata de escaleras dos tramos que puede tener escalones por uno o por los dos laterales. Este tipo de escaleras para evitar la apertura excesiva disponen de un dispositivo que lo impide.



*Figura 2-17 Escalera autoestable. Fuente Google Images.*

- Escalera transformable

Se trata de una escalera de uso polivalente, está diseñada para ser usada como una escalera de apoyo extensible o como escalera doble de peldaños.



*Figura 2-18 Escalera transformable. Fuente Google Images.*

- Escalera articulada:

Este tipo de escalera también es de uso polivalente, puede ser usada como una escalera autoestable o una escalera simple. Esta escalera dispone de un sistema de bisagra que une los tramos de la escalera como podemos observar en la figura 2-19.



*Figura 2-19 Escalera articulada. Fuente Google Images.*

- Escaleras telescópicas.

Se trata como su propio nombre indica de escaleras retractiles, es decir, pueden variar su longitud con el objetivo de facilitar el transporte de estas.

La normativa que rige este tipo de escalera es la normativa europea EN 131-6 algunos aspectos relevantes que establece esta norma son:

- La distancia entre el último peldaño y la parte superior de la escalera no debe ser inferior a 15 mm, para que este soporte se considere peldaño, debe cumplir con los requisitos de las escaleras portátiles, esa distancia debe ser al menos igual a la mitad de la distancia entre peldaño y peldaño.
- Las escaleras deben disponer al menos de dos puntos de apoyo entre el tramo superior de la escalera y los largueros del tramo inferior.
- Todos los tramos deben poder ser bloqueados en la posición de uso, teniendo un mecanismo de bloqueo en cada tramo.



*Figura 2-20 Escalera Telescópica. Fuente Google Images.*

- Escaleras móviles con plataforma.

Son escaleras con plataforma que no tienen acoplado ningún tipo de motorización para poder ser desplazadas. La normativa europea que deben de cumplir este tipo de escalera es la EN131-7.

Varios datos que debemos tener en cuenta que vienen reflejados en la norma son:

- La escalera no puede superar los 5 m de altura.
- La anchura de la escalera debe estar entre los límites de 400-1000 mm.
- Los peldaños deben ser completamente horizontales además de ir provisto de un sistema antideslizamiento.
- La plataforma debe disponer de zócalo de al menos 50 mm de altura.
- Las escaleras deben incorporar una barandilla, con una altura mínima de 950 mm, y cuando la altura de la plataforma es superior a 1 metro de altura y ángulo de ascenso entre 45° y 60° debe incorporar pasamanos.



*Figura 2-21 Escalera Móvil con plataformas. Fuente Google Images.*

Los materiales que se utilizan con mayor frecuencia para construir este tipo de escalera son la madera, acero y aleaciones ligeras.

Las aleaciones ligeras como el aluminio presentan una clara ventaja debido a su ligereza y que son inoxidables e incombustibles por contrapartida como inconveniente la fabricación de este tipo de escaleras en aluminio es que son sensibles a posibles golpes, es decir, son frágiles y además tienen un precio elevado.

Las escaleras manuales construidas en acero también presentan la ventaja de que son incombustibles, además es más difícil que éstas sufran daños por caídas y como ventaja también presentan un precio más económico que las construidas en aluminio. A pesar de estos los inconvenientes son su elevado peso y que pueden sufrir oxidación.

También podemos encontrar escaleras construidas madera y/o materiales sintéticos.

Las ventajas del material de madera son el bajo precio y que aísla de la corriente eléctrica frente a las de los materiales sintéticos que es la ligereza, son aislante frente a la corriente eléctrica también son muy resistentes frente a ácidos y productos corrosivos.



Los inconvenientes de estos dos materiales, en cuanto a los materiales sintéticos son el elevado precio de construcción, tienen una resistencia limitada al calor y cuando están a bajas temperaturas no son adecuados ya que son frágiles, en cuanto a la madera esta puede resecarse y agrietarse.

## 2.2 PLATAFORMAS VALLADAS

Las pasarelas/medios de acceso industrial son soluciones que posibilitan recorridos con total seguridad entre conductos, racks de tuberías, canalizaciones, paredes, muros bajos de separación, claraboyas y lucernarios planos. Permiten salvar obstáculos incluyendo el paso entre dos edificios colindantes.

Los elementos que podemos diferenciar en la plataforma vallada son los pilares, las vigas que sirven del soporte para el suelo y la barandilla. En cuanto al suelo generalmente está constituido por tramex<sup>8</sup>.

La Barandilla siendo este un objeto cuyo propósito es proteger contra los riesgos de caída fortuita. Como partes constitutivas de la barandilla o guarda cuerpo tenemos.

- Pasamanos: Barra superior, es la destinada a proporcionar sujeción utilizando la mano. Más adelante indicaremos la carga a la que debe ser sometida para su estudio.
- Barra central o listón intermedio: El objetivo es asegurar una protección suplementaria, debe evitar que entre el suelo y el pasamanos pase el cuerpo de una persona.
- Rodapié: Elemento apoyado en el suelo cuyo fin es evitar la caída de objetos. Además de impedir que el pie de las personas en caso de resbalar pase por debajo de la barandilla. La medida del rodapié suele ser de unos 150 mm.
- Postes. Elemento vertical que permite el anclaje del conjunto de

---

<sup>8</sup> *Tramex: Se trata de una rejilla electrosoldada consiste en una estructura metálica formada por placas de acero galvanizado en caliente colocadas perpendiculares a los soportes de la rejilla. Puede ser utilizado para la construcción de suelos, falsos techos, cerramientos, vallados y peldaños de escaleras.*

elementos de la barandilla.



Figura 2-22 Plataforma vallada. Fuente Google Images.

## 2.3 OTROS.

### 2.3.1 BARANDILLA DE CUBIERTA.

La barandilla de seguridad contrapesada es usada en entornos industriales y para las cubiertas de naves y edificios cuya cubierta debe ser transitable bien sea porque disponen de sistemas de climatización o bien porque tienen algún otro sistema que requiere mantenimiento.

Los tipos de barandilla que podremos encontrar son barandilla fija al peto, barandilla fijada a cubierta. La normativa donde se recoge la certificación de las barandillas es la norma ISO EN 14122-3:2017



Figura 2-23 Barandillas. Fuente Google Images.

### 2.3.2 PASOS ELEVADOS O SALTOS DE LOBO.

Los saltos de lobo son pasarelas fabricadas generalmente en aluminio que sirven para salvar obstáculos que nos podemos encontrar en las cubiertas o lugares de paso y dificulten el tránsito de la misma.

Son sistemas conformados en forma de V invertida fabricadas generalmente en aluminio, es decir, son sistemas de fabricación ligera, resistentes e inoxidable y de rápida instalación. La normativa que regula este tipo de acceso es UNE EN ISO 14122-2.



*Figura 2-24 Saltos de lobo. Fuente Google Images.*

## 2.4 MATERIALES

### 2.4.1 ACEROS

En las estructuras ligeras se utilizan los siguientes tipos de acero:

- Acero laminado en caliente. Son aceros normalmente soldables, no aleados, no resistentes a la corrosión y con una microestructura normal. Estos aceros cumplirán las características y propiedades mecánicas recogidas en la Norma UNE-EN-10025-2. 152 . Pasarelas peatonales
- Aceros autopatinables con resistencia mejorada a la corrosión atmosférica. En este caso los aceros cumplirán las características y

propiedades mecánicas recogidas en la Norma UNE-EN-10025-6:2007+A1.

La nomenclatura actual de los aceros empleados es:

- S-275, límite elástico:  $f_y = 275$  MPa, tensión de rotura:  $f_u = 430-580$  Mpa . De utilización preferente y hasta espesores nominales  $t \leq 40$  mm.
- S-355, límite elástico:  $f_y = 355$  MPa., tensión de rotura:  $f_u = 490-680$  Mpa. Se utiliza únicamente para pasarelas especiales y hasta espesores nominales  $t \leq 40$  mm.

En tornillería se utilizan las siguientes tipologías, según la EAE-11:

- Tornillos ordinarios tipo 4.6, de límite elástico  $f_y = 240$  MPa
- Tornillos de alta resistencia tipo 8.8, de límite elástico  $f_y = 640$  Mpa
- Tornillos de alta resistencia tipo 10.9, de límite elástico  $f_y = 900$  Mpa.

#### 2.4.2 ALUMINIO.

Se trata de un material ligero comparado con el acero, más resistente a la corrosión y con acabados muy decorativos. Es dúctil y maleable lo que lo hace fácilmente laminable y extrusionable. Se usa sobre todo en exteriores, cubiertas (laminado en chapa y pulido), carpintería de huecos.

Los aluminios más utilizados para la construcción de escaleras y pasarelas son el 6062, 6060 y el 6063 cuyas propiedades mecánicas se recogen en la siguiente tabla 2-1. al igual que la composición química de estos que hemos recogido en la tabla 2-2.

EN AW	ESTADO	Carga rotura(Mpa)	Limite elastico(Mpa)	Alargamiento	limite de fatiga(Mpa)	Dureza de brinell HB	Dureza Vickers HV
6060	T5	225	190	14	160	80	80
6063	T6	245	215	15	150	75	80
6063	T8	260	240			85	85
6082	T6/T651	340	310	12	210	95	95

Tabla 2-1 Propiedades Mecánicas. Fuente [14]

EN AW		Elementos										
Numérica	Simbólica	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Al	
6060	Al Mg Si	Min	0,3	0,1		0,35						
		Max	0,6	0,3	0,1	0,1	0,6	0,05		0,15	0,1	Rest.
6063	Al Mg0,7 Si(A)	Min	0,2			0,45						
		Max	0,6	0,35	0,1	0,1	0,9	0,1		0,1	0,1	Rest.
6082	Al Si1 MgMn	Min	0,7			0,4	0,6					
		Max	1,3	0,5	0,1	1	1,2	0,25		0,2	0,1	Rest.



*Tabla 2-2 Composición Química Aluminio. Fuente [14]*

### 2.4.3 ACERO INOXIDABLE.

El acero inoxidable se trata de una aleación de hierro y carbono, a este se le añade cromo, que provoca la formación de una capa protectora de óxido de cromo, lo que les confiere a los aceros una gran durabilidad y que sea inoxidable. El acero inoxidable lo rige la norma europea EN-10088-12.

La resistencia a tracción del acero inoxidable es de 515 MPa si es de tipo 304 y de 485 mpa si es de tipo 304l. En cuanto al límite elástico es de 205 MPa para el acero tipo 304 y de 170 MPa para el acero tipo 304l.

### 2.4.4 RECUBRIMIENTOS DE LOS ACEROS.

Los recubrimientos del acero son con el objetivo de evitar la oxidación o retrasarla y para evitar el desgaste. El recubrimiento del acero consiste en una capa extra de metales, pintura o ambos.

Los aceros recubiertos son:

- Acero galvanizado: se trata de acero recubierto con varias capas de zinc, este recubrimiento se realiza con el objetivo de mejorar la protección contra la oxidación. En aceros expuestos a la humedad o a ambientes corrosivos, en el caso de la industria a la atmosfera de trabajo.

Hay varios tipos de galvanizado:

- Galvanizado en caliente
  - Galvanizado en frío
  - Galvanizado zincado o electrozincado.
- Pintado: Los diferentes tipos de protección contra la corrosión vienen reflejado en la norma EN ISO 12944:2017. Esta norma tiene como objetivo servir de orientación para la elección más adecuada del recubrimiento para cada tipo de ambiente

La tabla 2.3 que aparece a continuación refleja los diferentes tipos de ambiente



Categoría de Corrosión	Tipo de Ambiente	
	Exterior	Interior
C1(muy baja)		edificios con calefacción y atmosferas limpias
C2( baja)	atmosferas con bajos niveles de contaminación .Areas rurales	edificios sin calefacción con posibles condensaciones.
C3 (media)	atmosferas urbanas e industriales, con moderada contaminación .Areas costeras con baja salinidad	naves de fabricación con elevada humedad y con alguna contaminación
C4(Alta)	aréas industriales y areas costeras con moderada salinidad	industrias químicas y piscinas.
C5 (muy alta, <b>industrial</b> )	aréas industrialescon elevada humedad y con atmosfera agresiva	edificios o areas con condensaciones casi permanentes y contaminación elevada
C5-M (muy alta, <b>maritima</b> )	aréas costeras y martimas con elevada salinidad	edificios o areas con condensaciones permanentes y contaminación elevada

Tabla 2-3 Categoría de Corrosión de los diferentes ambientes.

La durabilidad de estructuras pintadas se define como el tiempo mínimo exigido hasta tener que realizar el primer mantenimiento.

- Baja: de 2 a 5 años
- Media: de 5 a 15 años
- Alta: Mayor de 15 años

#### 2.4.5 APLICACIONES MATERIALES

Normalmente las pasarelas se construyen en acero o en aluminio, pero dependiendo de los agentes agresivos a los que va a ser expuesta pueden cambiar el tratamiento recibido o el material.

Las estructuras de acero pueden ser recubiertas con pintura o ser galvanizadas. También pueden ser de aluminio o de acero inoxidable.



### 3. MARCO TEÓRICO

En este apartado indicaremos el marco teórico que deben cumplir las pasarelas y/o escaleras fijas en los accesos industriales (apartado 3.1.)

El apartado 3.2 consiste en el marco teórico que deben cumplir las escaleras móviles.

Por último, indicaremos los factores de riesgos o posibles riesgos que producen el uso de los accesos industriales.

#### 3.1 NORMATIVA ESPECÍFICA PASARELAS.

En apartados anteriores se ha reflejado cierta normativa donde se recogen los tipos de acceso industriales. No obstante, también existe la normativa aplicable al cálculo de pasarelas, que también deben cumplir los medios de acceso industrial. Esta normativa se agrupa de la siguiente forma.

Acciones

- Norma IAP-11
- Eurocódigo 1. Acciones en estructuras.
- Norma de Construcción Sismorresistente: Puentes (NCSP-07). Para las acciones sísmicas.

En el caso de las pasarelas metálicas, en el caso de los accesos industriales siempre son metálicas.

- Instrucción de Acero Estructural EAE-11. Para las pasarelas metálicas de acero laminado.
- Eurocódigo 3. Proyecto de estructuras de acero.
- Código técnico de la edificación. CTE. Documento Básico SE-A. Seguridad estructural. Acero.

Las acciones principales que deben de recogerse son las que se enumeran a continuación.

##### 3.1.1 ACCIONES PERMANENTES.

Estas acciones son las que forman parte de los diferentes elementos con la que están construida la pasarela.



Estas acciones son de dos tipos, el peso propio del elemento resistente y las cargas muertas de los elementos anexos, si los tuviera, que no constituyen la estructura (pavimentos, barandillas, desagües, en el caso de los accesos de industriales tuberías, racores, cables, etc.).

### 3.1.2 SOBRECARGA DE USO.

Para la determinación de los efectos estáticos de la sobrecarga de uso debida al tráfico de peatones, se deben de considerar la acción simultánea de las cargas siguientes.

- Una carga vertical uniforme distribuida de valor igual a  $5 \text{ kN/m}^2$  en toda la superficie o en parte de ella, según la condición más desfavorable.
- Una carga horizontal de valor máximo igual al 10% de la carga uniformemente distribuida, actuando en el eje del tablero y a nivel de la superficie del pavimento.

Cuando se combinan con otro tipo de cargas estas cargas se consideran como carga única de valor característico de sobrecarga de uso.

Por otra parte, el Eurocódigo EN 1991-2-2003 considera las mismas cargas mencionadas anteriormente, pero establece una reducción de la sobrecarga para tramos cargados de longitudes mayores de 10 metros.

### 3.1.3 ACCIONES EN LAS BARANDILLAS.

Se considera para la comprobación de la barandilla una fuerza horizontal sobre el borde superior del elemento de valor  $0,8 \text{ kN/m}$ , según la norma en los casos que sea previsible la aglomeración de personas esta acción deberá tener un valor de  $1,6 \text{ kN/m}$ .

### 3.1.4 ACCIONES TÉRMICAS

El efecto de la acción térmica se evalúa según el artículo 4.3 de la IAP-11

### 3.1.5 ACCIONES DE VIENTO

La acción del viento se asemeja a una carga estática.

Las pasarelas donde los vanos son menores de 40 m. de luz se puede aplicar un cálculo simplificado del empuje del viento en tablero y pilas. Se considera solamente los efectos del viento transversal.

Los análisis dinámicos y vibratorios incluyen la determinación de los modos de vibración, frecuencia natural, riesgo de resonancia, deformaciones y esfuerzos periódicos. Los valores obtenidos deben estar en consonancia con las normas aplicables. En función del lugar donde se ubica la pasarela, se determina la velocidad básica fundamental del viento de referencia y obtener el empuje sobre la estructura (ver figura adjunta recogida en el IAP-11, coincidente con el Mapa del Código Técnico de la Edificación).

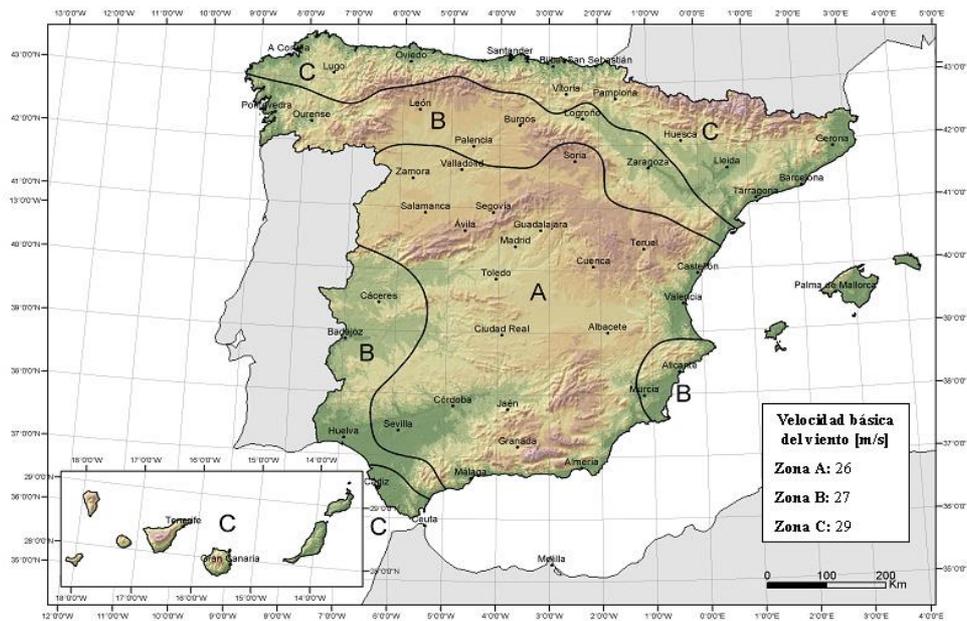


Figura 3-1 Mapa de zonas de España para vientos. Fuente [4]

### 3.1.6 ACCIONES DE NIEVE

Para el caso de que una pasarela se sitúe por encima de los 2.200 m. de altura se necesita un estudio que determine la carga de nieve sobre la pasarela.

Para altitudes inferiores, la norma IAP-11 recoge unos valores o características de sobrecarga de nieve para siete zonas diferentes climáticas en las que se divide el Estado.

La sobrecarga de la pasarela se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$Q_k = 0,80 \text{ sk}$$



Siendo  $s_k$  es el valor característico de la sobrecarga de nieve sobre un terreno horizontal

### 3.1.7 ACCIONES SÍSMICAS.

Según la norma nscp-07<sup>9</sup> no es necesario aplicar el análisis sísmico para lugares con una aceleración sísmica básica horizontal que sea menor del 4 % de la aceleración de la gravedad.

## 3.2 NORMATIVA ESCALERAS MÓVILES

La norma que regula la fabricación y el ensayo de los productos en las escaleras móviles es la norma europea EN 131.

Dicha norma consta de diferentes partes:

- EN 131-1 Terminología, tipos y dimensiones funcionales.
- EN 131-2 Requisitos, ensayos y marcado
- EN 131-3 Información destinada al usuario
- EN 131-4 Escaleras articuladas con bisagras simples o múltiples.
- EN 131- 6 Escaleras telescópicas.
- EN 131-7 Escaleras móviles con plataforma.

### 3.21 EN 131-1 TERMININOLOGÍA, TIPOS Y DIMENSIONES FUNCIONALES

A continuación, explicaremos los aspectos más generales de esta parte de la norma. La cual se encarga de definir las características generales de diseño

La anchura mínima admisible de la escalera simple de apoyo es de 340 mm para las escaleras de longitud inferior a tres metros. Las escaleras simples, las escaleras transformables y articuladas que tengan más de tres metros deben incorporar un ensanchamiento en la base en forma de estabilizador.

La distancia entre zancas (caras interiores) o puede ser inferior a 280 mm, así como las de los peldaños puede oscilar entre 250 y 300 mm.

---

<sup>9</sup> [https://iisee.kenken.go.jp/worldlist/49\\_Spain/NCSP-07.pdf](https://iisee.kenken.go.jp/worldlist/49_Spain/NCSP-07.pdf)



Las escaleras autoestables y escaleras transformables cuando se usan de forman autoestable deben disponer de un dispositivo que bloquea la apertura en exceso durante su uso. En las escaleras autoestables, el ángulo de inclinación entre la horizontal y las zancas de escalera debe estar comprendido entre los 60 y 70 ° para el tramo de peldaños que sirve de ascenso, y entre 65 y 75 ° para el tramo que sirve de soporte, el cual que puede disponer o no de peldaños.

### 3.2.2 EN 131-2 REQUISITOS, ENSAYOS Y MARCADO

En este apartado describiremos los requisitos y métodos de ensayos a los que se debe someter las escaleras portátiles. Esta norma ha sido revisada en 2018 en esta revisión se han introducido nuevos ensayos de resistencia, así como una nueva clasificación diferenciando en escaleras para uso profesional y no profesional.

#### 3.2.2.1 ENSAYOS DE RESISTENCIA PARA ESCALERAS DE APOYO Y DE TIJERA.

Este ensayo se realiza con la escalera en posición de uso. El ensayo consiste en aplicar unas fuerzas durante un minuto, las cuales la escalera debe soportar sin presentar puntos de rotura ni fisuras visibles.

Las fuerzas a las cuales se someten son de 2700 N (275 kg) para escaleras de uso profesional y de 2250 N (229 kg) para escaleras de uso no profesional.

#### 3.2.2.2 ENSAYO DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO.

Este ensayo es aplicable a todas las escaleras que se puedan usar en posición de escaleras simple de apoyo. El objetivo de este ensayo es la comprobación de la resistencia a deslizamiento de los tacos de la base de la escalera.

Este ensayo consiste en aplicar una carga de prueba de 1471 N (150 kg) sobre la escalera la cual se apoya sobre una placa de cristal, este procedimiento se repite 4 veces, y al finalizar la escalera no debe haberse desplazado una distancia superior a 40 mm.

### 3.2.2.3 ENSAYO DE TORSIÓN PARA ESCALERAS DE TIJERA.

El ensayo de torsión es exclusivo de las escaleras de tijera, sirve para comprobar la rigidez a torsión de las escaleras de tijera.

Para probar la rigidez de las escaleras de tijera se coloca una barra de acero con 500 mm salientes en el escalón, peldaño o plataforma superior. Se fija el lado opuesto de la escalera por el larguero y se aplica sobre la escalera una carga de 736 N (unos 75 kg). A continuación, se ejerce fuerza en el extremo de la barra con una carga de 137 N (unos 14 kg) en dirección contraria al lado fijado. La base de la escalera no fijada solo puede desplazarse un máximo de 25 mm de su punto inicial durante el ensayo.

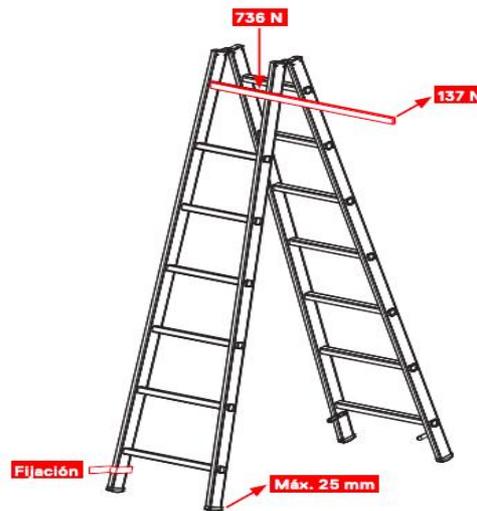


Figura 3-2 Ensayo de torsión. Fuente [7]

### 3.2.3 EN 131.3 INFORMACIÓN DESTINADA AL USUARIO

Este apartado de la norma refleja información destinada al usuario, es decir, se aconseja sobre la seguridad en el uso de las escaleras, como el apartado anterior también se ha revisado recientemente y está vigente desde el año 2018.

Esta norma establece que cada escalera debe ir acompañado de un manual de instrucciones y que la escalera debe llevar un marcado con los diferentes signos de seguridad básicos.

En las instrucciones de la escalera debe reflejarse el manual de montaje y los puntos a inspeccionar y verificar antes y durante el uso, al igual que también se incluyen algunos consejos de mantenimiento, almacenamiento y conservación de esta.



### 3.2.4 EN 131.4 ESCALERAS ARTICULADAS CON BISAGRAS O MÚLTIPLES

Esta parte recoge los requisitos, ensayos y marcado de las escaleras que disponen de bisagras. Esta parte debe usarse en conjunción con las tres partes de la norma anteriores. La última revisión de la norma es en mayo de 2020.

### 3.2.5 EN 131.6 ESCALERAS TELESCÓPICAS Y EN 131.7 ESCALERAS MÓVILES CON PLATAFORMA

Los últimos apartados de la norma se aplican específicamente a las escaleras telescópicas. En el caso de 131.6 y para las escaleras móviles con la plataforma la EN 131.7. La última revisión de ambas partes de la norma data de mayo de 2020.

Al igual que la parte de la norma EN 131.4, deben usarse en conjunción con las tres primeras partes de la norma.

## 3.3. RIESGOS Y FACTORES DE RIESGO

Los principales riesgos derivados de la utilización de las escaleras pueden ser debidos tanto a unas deficientes condiciones materiales del lugar de trabajo, como a fallos en el diseño, instalación y mantenimiento de esta, así como a actos inseguros del propio trabajador.

A continuación, se indica, a modo orientativo, una relación no exhaustiva de los principales riesgos y sus factores de riesgo relacionados:

- Caída de altura debida a:
  - Peldaños en mal estado o sucios.
  - Ausencia de agarres laterales o asideros en escalas integradas para acceder y salir.
  - Ausencia de la prolongación de los largueros hasta 1m por encima del nivel de la zona de salida.
  - Huecos no protegidos o desembarcos peligrosos.
  - Falta de rigidez y estabilidad del sistema de escala.
  - Elementos del sistema de protección individual contra caídas de altura en mal estado.
  - Utilización de un arnés anticaídas con conector o elemento de amarre incompatible con el dispositivo anticaídas deslizante.
  - Formación insuficiente del trabajador en la utilización de un dispositivo anticaídas deslizante con línea de anclaje rígida.



- Mala o falta de visibilidad.
  - Utilizar la escala llevando cargas excesivas en mochila, cinturón portaherramientas, etc.
  - Utilizar la escala sin tener las dos manos libres.
  - Subir o bajar de forma rápida.
  - Saltar desde algún peldaño de la escalera. Intentar alcanzar zonas de trabajo separadas de los largueros produciendo un desplazamiento del centro de gravedad del operario originando su desequilibrio hasta su caída.
- Golpes, cortes y caída de objetos
    - Peldaños o largueros con astillas, esquinas o aristas cortantes, rebabas de soldaduras metálicas, etc.
    - No utilización de un equipo de protección individual (EPI) para las manos o selección incorrecta del mismo.
    - Contacto con la jaula de seguridad.
    - Caída de materiales u objetos durante el uso por más de una persona.
    - No utilización de casco de altas prestaciones.
    - Golpe o cizallamiento con partes móviles de la escala (puertas, trampillas...). Malas posturas y sobreesfuerzos
    - Al subir o bajar por la escala en posturas inadecuadas.
    - Debido a las dimensiones del lugar de trabajo.
    - Subir o bajar por la escala portando cargas pesadas.
    - Esfuerzo físico importante al franquear alturas totales elevadas.
- Resbalones y patinazos
    - Mal estado o suciedad de los peldaños o pates.
    - Inadecuada selección o no utilización del calzado de uso profesional.
- Contactos eléctricos
    - Directos: por presencia de líneas eléctricas en tensión accesibles situadas en las proximidades de la escala.
    - Indirectos: por corrientes de inducción, derivaciones, etc. en escalas que no están puestas a tierra



#### 4. PREDIMENSIONADO DE UNA ESCALERA DE MANO EN CONCRETO

En este capítulo realizaremos un cálculo de una escalera simple de apoyo. Estas escaleras como ya vimos en capítulos anteriores se componen de dos zancas y varios escalones.

Para realizar el cálculo hemos utilizado el programa SAP2000<sup>10</sup>. Con el programa citado vamos a comparar escaleras de distinto tipo de perfil 67x25 frente al de 80x25 ambas construidas en aluminio 6082. Dentro del mismo perfil compararemos la variación en los cálculos al modificar la longitud de la escalera y también variando el ángulo en el que se dispone la escalera, todo esto aplicando una fuerza unitaria en el centro de la escalera que a continuación demostraremos que es el punto más desfavorable para aplicarla.

En primer lugar, justificaremos a modo de teoría porque el punto central del peldaño y la zanca es el punto más desfavorable y por consiguiente el que deberemos estudiar.

A continuación, justificaremos el uso de SAP2000 como programa escogido para realizar los cálculos.

Seguidamente Indicaremos los pasos básicos para construir el modelo de cada una de las escaleras con el programa citado. Definiendo las secciones, materiales y aplicando la fuerza unitaria. Dicha fuerza le asignaremos un valor unitario debido a que supondremos un valor genérico pudiendo más tarde multiplicar por el valor real y obtener los esfuerzos. Esta fuerza simula un estado de cargas hipotético de una persona subida a la escalera.

Dentro de cada modelo incluiremos los estados tensionales, la deformada producida por esta fuerza unitaria y el coeficiente de pandeo.

Para finalizar realizaremos una comparativa de los cálculos obtenidos. Comparando como puede variar la deformada, las tensiones y el factor de pandeo cambiando el perfil, la longitud y/o el ángulo con el que se está usando la escalera.

---

<sup>10</sup> Es un software puntero de cálculo por elementos finitos y modelado de estructuras. A la hora de modelar cuenta con diversas plantillas de elementos estructurales facilitando la acción del modelado de estructuras. Presenta una interfaz en la que durante el modelado de una estructura puedes verla tanto en 2D como en 3D facilitando la visión y concepción de esta. SAP2000 tiene la facilidad de poder elegir si queremos realizar los cálculos necesarios mediante un análisis estático o dinámico.

Cabe destacar que los modelos que se van a realizar a continuación son en 3D, a pesar de que, en la carrera GRADO INGENIERÍA MECÁNICA no se ha trabajado con estructuras en 3D.

#### 4.1 JUSTIFICACIÓN DE LA CARGA.

A continuación, estudiaremos varios estados de la carga para ello hemos utilizado como referencia un prontuario de vigas simples<sup>11</sup>. Estudiaremos para viga biempotrada y viga biapoyada el caso de aplicar una carga centrada y una carga genérica para unas medidas hipotéticas de aplicación.

En la figura 4.1 vemos para una carga genérica las diferentes reacciones y momentos que debemos calcular si la viga esta biempotrada.

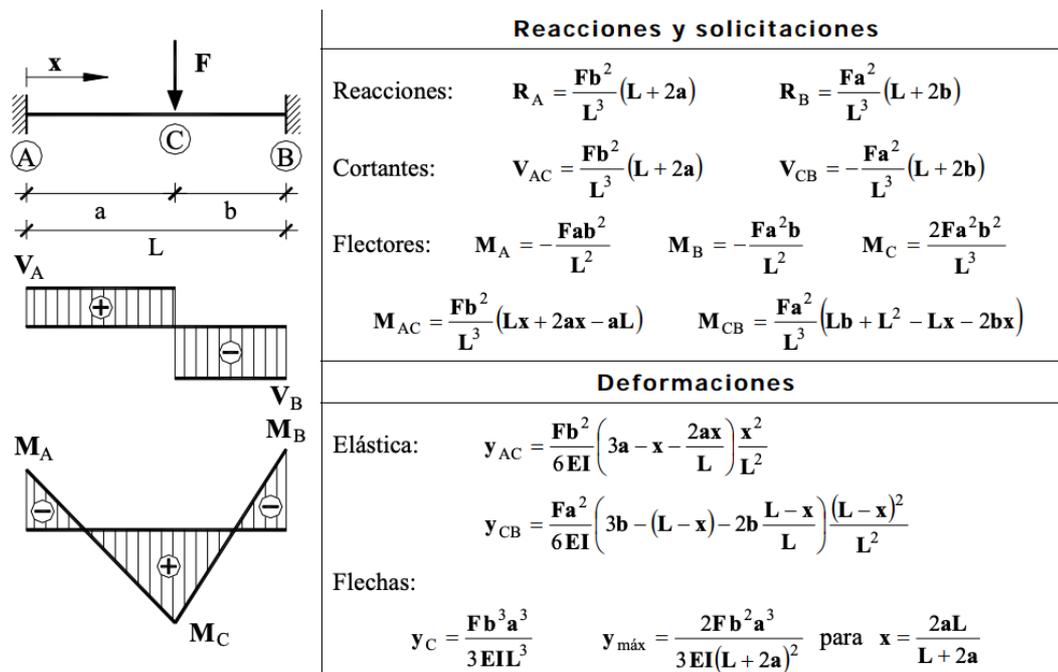


Figura 4-1 Prontuario viga bi empotrada Fuente [15]

A continuación, se ha realizado el cálculo de la flecha máxima para unas medidas genéricas que hemos escogido  $a = L/3$  Y  $b = 2L/3$  y seguidamente para la fuerza cargada en el medio de la barra  $a = L/2$   $b = L/2$ .

<sup>11</sup> <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/25612/1/Estructuras%20Met%C3%A1licas%20-%20Material%20apoyo.pdf>

Aplicando la ecuación de la flecha máxima de la figura 4.1 y sustituyendo los valores a y b de por los valores indicados anteriores de las medidas genéricas escogidas se obtiene el siguiente resultado:

$$y_C = \frac{2F \left(\frac{L}{3}\right)^3 \left(\frac{2L}{3}\right)^2}{3EI \left(\frac{5L}{3}\right)^2} = \frac{8FL^3}{2025EI}$$

Realizando el mismo procedimiento, pero sustituyendo los valores a y b por las L/2 la flecha máxima obtenida es:

$$y_C = \frac{2F \left(\frac{L}{2}\right)^3 \left(\frac{L}{2}\right)^2}{3EI (2L)^2} = \frac{1FL^3}{192EI}$$

Como indicamos a continuación el caso más desfavorable para el desplazamiento máximo de la viga biempotrada es el caso en el que la viga esta aplicada en el centro de la barra.

$$\frac{1FL^3}{192EI} > \frac{8FL^3}{2025EI}$$

Ahora se compara con el mismo procedimiento que en el caso anterior la viga biapoyada.

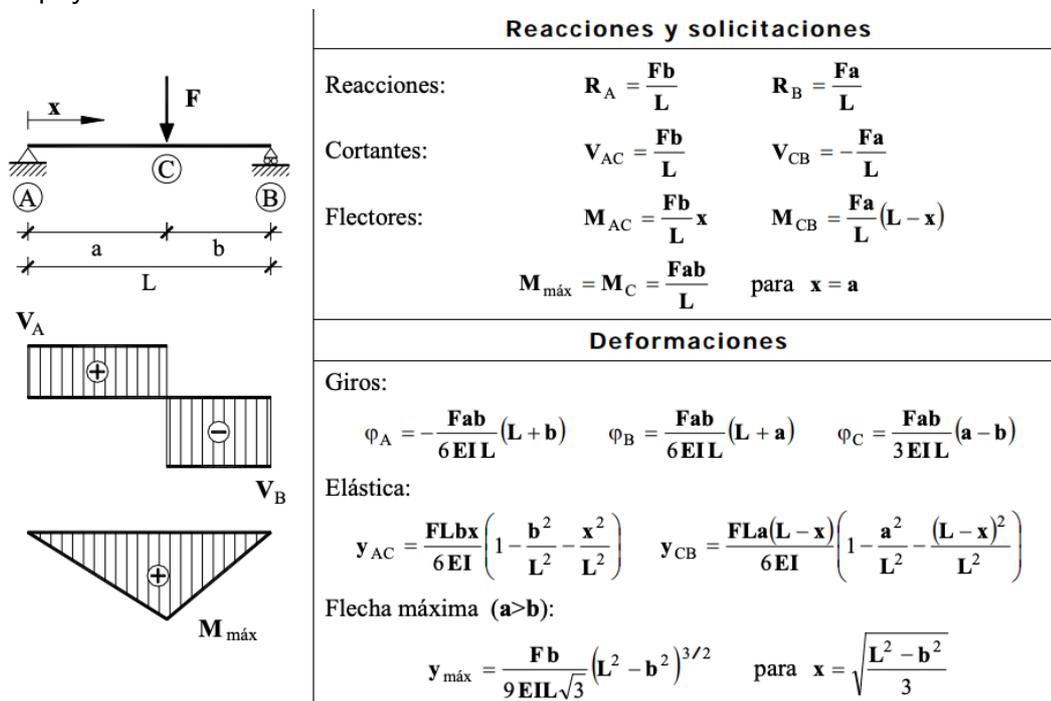


Figura 4-2 Prontuario viga bi apoyada. Fuente [15]

Ahora comparamos para unas medidas genéricas  $a = L/3$   $b = 2L/3$  y para cargar en el medio de la barra  $a = L/2$   $b = L/2$ .

La flecha máxima obtenida a partir de la ecuación de la figura 4.2 que hemos obtenido es la siguiente para el caso de las medidas genéricas

$$y_c = \frac{F \frac{2L}{3}}{9EI\sqrt{3}} \left(\frac{5L^2}{9}\right)^{3/2} = \frac{0.0177FL^2}{EI}$$

Para el caso de aplicar la fuerza centrada en la barra la flecha máxima obtenida es la siguiente:

$$y_c = \frac{FL^3}{48EI}$$

Comparando los resultados anteriores vemos que en los dos casos la flecha es mayor para la carga aplicada en el centro de la viga, y es mayor para el caso de la viga biapoyada.

$$\frac{FL^3}{48EI} > \frac{0.0177FL^2}{EI}$$

#### 4.2 VALIDACIÓN DEL USO DEL SAP2000 COMO PROGRAMA DE CÁLCULO.

Para validar el uso de SAP2000 como programa de cálculo vamos a modelar una barra sencilla biapoyada y otra biempotrada, a las cuales aplicaremos una carga unitaria en el centro y compararemos los resultados obtenidos con los resultados obtenidos manualmente basándonos en el prontuario.

##### 4.2.1 BARRA BIAPOYADA

A continuación, se va a estudiar una barra biapoyada. La barra tiene una longitud de 12 m, la fuerza centrada aplicada es de valor unitario, el perfil utilizado se trata de un perfil tubular de 30 x 30 mm con un espesor de 1,2 mm. El momento de inercia de es  $I=1,91E-08$ , y el material seleccionado tiene un módulo de elasticidad  $E= 6,964E+10$ .

Seguidamente en la figura 4.3 comparamos el diagrama de momento obtenido con SAP2000 y el que momento teórico del prontuario figura 4.4

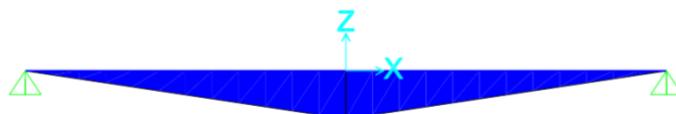


Figura 4-3 Diagrama momentos SAP2000

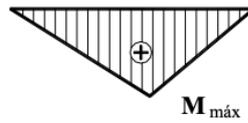


Figura 4-4 Diagrama teórico prontuario

El momento calculado con la siguiente ecuación es de 3 Nm igual que el obtenido con SAP2000 como se indica en la figura 4.5.

$$M_{\max} = \frac{Fab}{L} = \frac{1 \times 6 \times 6}{12} = 3 \text{ Nm}$$



Figura 4-5 Momento obtenido.

Ahora procedemos a calcular de forma teórica y con el programa de SAP2000 la flecha máxima. El resultado obtenido es de 0.0270085 así como el que da el programa es 0,02701 como vemos en la figura 4.6

$$y_c = \frac{FL^3}{48EI} = 0.0270085 \text{ m}$$

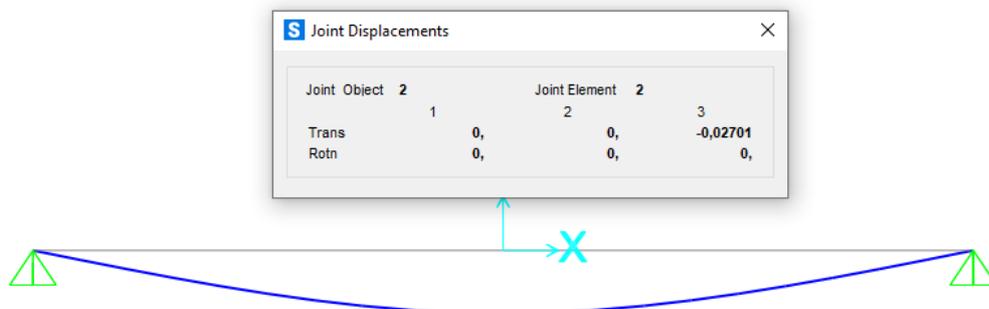


Figura 4-6 Desplazamiento SAP2000.

#### 4.2.2 BARRA BIEMPOTRADA

Además de la barra biapoyada sea justificado el uso de SAP2000 calculando una barra biempotrada con las medidas y características que en el apartado anterior.

La barra tiene una longitud de 12 m, la fuerza centrada aplicada es de valor unitario, el perfil utilizado se trata de un perfil tubular de 30 x 30 mm con un espesor de 1,2 mm. El momento de inercia de es  $I=1,91E-08$ , y el material seleccionado tiene un módulo de elasticidad  $E= 6,964E+10$ .

En la figura 4.7. vemos el diagrama de momento obtenido con el programa que podemos comparar con el diagrama de momento teórico del prontuario en el que aparece en la figura 4.8.

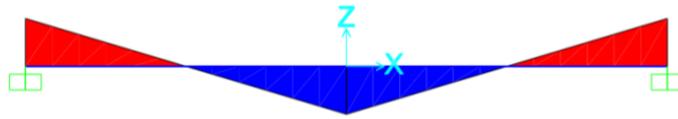


Figura 4-7 Diagrama momentos SAP2000.

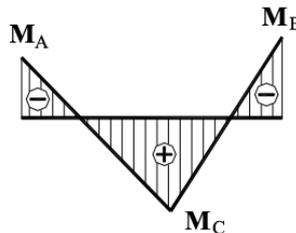


Figura 4-8 Diagrama momentos prontuario

Los momentos que hemos calculado son el  $M_a$ ,  $M_c$ ,  $M_b$  que aparecen indicados en la figura 4.8. Los momentos calculados con SAP2000 vienen reflejado en la figura 4.9 y es de valor 1,5 Nm igual que los obtenidos.

$$M_a = \frac{F a b^2}{L^2} = 1.5 \text{ Nm}$$

$$M_c = \frac{2 F a^2 b^2}{L^3} = 1.5 \text{ Nm}$$

$$M_b = \frac{F b a^2}{L^2} = 1.5 \text{ Nm}$$



Figura 4-9 Momentos SAP2000.

En el estudio de la deformada se ha obtenido un valor de desplazamiento del punto central de  $6,7662E-3$  m realizando el cálculo y un valor de 0,0068 con el programa como vemos en el programa como vemos en la figura 4.10.

$$y_c = \frac{1FL^3}{192EI} = 6,7662E-3 \text{ m}$$

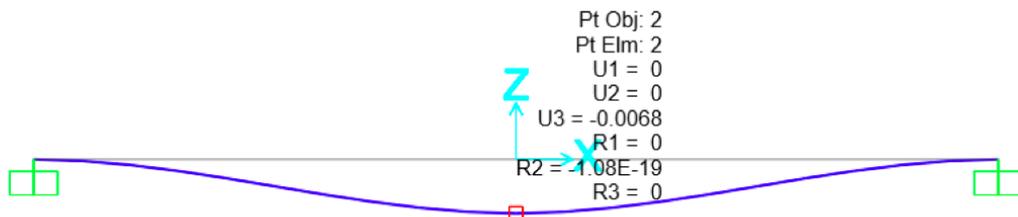


Figura 4-10 Desplazamiento SAP2000.

### 4.3 ESCALERAS

A continuación, vamos a proceder a indicar las características de las escaleras que vamos a modelar en SAP2000.

Como ya hemos indicado en alguna otra ocasión las escaleras son de tipo simples de apoyo, estas escaleras están formadas por dos zancas y por unos peldaños. Se trata de escaleras de medidas reales que hemos seleccionado del catálogo de un fabricante.<sup>12</sup>

En el caso del perfil del peldaño en todas en las escaleras es el mismo y se trata de un perfil de aluminio tubular de 30 x 30 mm.

<sup>12</sup>Catálogo de escaleras estudiadas: <https://www.lacasadelaescalera.com/escaleras-profesionales/escalera-un-tramo-en-aluminio-para-apoyo.html#/>



En el caso de las zancas el perfil es rectangular y diferentes. En las escaleras 1 y 2 el perfil de la zanca es de 67 x 25 mm. Para las escaleras 3 y 4 el perfil de la zanca es de 80 x 25 mm.

El número de escalones es diferente en cada una de las escaleras, así como la longitud y el peso.

El ancho de las escaleras es el mismo para los 4 ejemplos modelos siendo de 400 mm, al igual que la distancia entre peldaños que también es igual para las 4 siendo esta distancia de 280 mm.

En las tablas 4.1 , 4.2 , 4.3 , 4.4 que se adjuntan a continuación se indican las principales características de las diferentes escaleras:

- Escalera 1

TIPO	SIMPLE APOYO	PERFIL ZANCA	67x25mm	MATERIAL	Al 6082T6
Nº ESCALONES	7	ESPEJOR PERFIL	1,2mm	PESO	3,58Kg
PERFIL PELDAÑO	30X30mm	LONGITUD	2,05m	DENSIDAD	2.700kg/m <sup>3</sup>
DISTANCIA PELDAÑOS	28cm	ANCHO	40cm	NORMATIVA	EN 131

Tabla 4-1 Escalera 1

- Escalera 2

TIPO	SIMPLE APOYO	PERFIL ZANCA	67x25mm	MATERIAL	Al 6082T6
Nº ESCALONES	12	ESPEJOR PERFIL	1,2mm	PESO	6,67Kg
PERFIL PELDAÑO	30X30mm	LONGITUD	3,45m	DENSIDAD	2.700kg/m <sup>3</sup>
DISTANCIA PELDAÑOS	28cm	ANCHO	40cm	NORMATIVA	EN 131

Tabla 4-2 Escalera 2

- Escalera 3

TIPO	SIMPLE APOYO	PERFIL ZANCA	80x25mm	MATERIAL	Al 6082T6
Nº ESCALONES	17	ESPEJOR PERFIL	1,2mm	PESO	11,97kg
PERFIL PELDAÑO	30X30mm	LONGITUD	4,85m	DENSIDAD	2.700kg/m <sup>3</sup>
DISTANCIA PELDAÑOS	28cm	ANCHO	40cm	NORMATIVA	EN 131

Tabla 4-3. Escalera 3



- Escalera 4

TIPO	SIMPLE APOYO	PERFIL ZANCA	80x25mm	MATERIAL	Al 6082T6
Nº ESCALONES	21	ESPEJOR PERFIL	1,2mm	PESO	13,10kg
PERFIL PELDAÑO	30X30mm	LONGITUD	5,97m	DENSIDAD	2.700kg/m <sup>3</sup>
DISTANCIA PELDAÑOS	28cm	ANCHO	40cm	NORMATIVA	EN 131

Tabla 4-4. Escalera 4

#### 4.4 MODELADO DE LAS ESCALERAS

En este apartado explicaremos como realizar el modelado de las 4 escaleras en las cuales indicaremos los esfuerzos de axil, torsión, la deformada y el coeficiente de pandeo al cargar con una fuerza unitaria.

El modelado de las escaleras tiene puntos en común y partes que especificaremos que son exclusivas de cada escalera ya que cambian sus características.

Para definir el modelo lo primero será construir una malla inicial que nos permita realizar un primer tramo de escalera que incluya el primer escalón. Para ello definimos las características de la malla que vienen reflejadas en la figura 4.11., las líneas de mallado, la distancia entre ellas y el punto inicial para situar los ejes.

Vamos a dividir la malla en tres divisiones en el eje Y con una distancia de 0,2 metros entre ellas, ya que como sabemos la anchura total de los escalones es de 0,4 m. En el eje X también tendremos tres divisiones con una distancia entre ellas de 0,14 m, la distancia entre escalones es de 0,28 m y el centro de los ejes de coordenada lo situamos en el origen (0,0,0).

Para modelar colocaremos la escalera de manera horizontal, es decir en el plano XY, para estudiar luego los diferentes ángulos en los que colocaremos la escalera utilizaremos la descomposición de fuerzas como explicaremos más adelante.

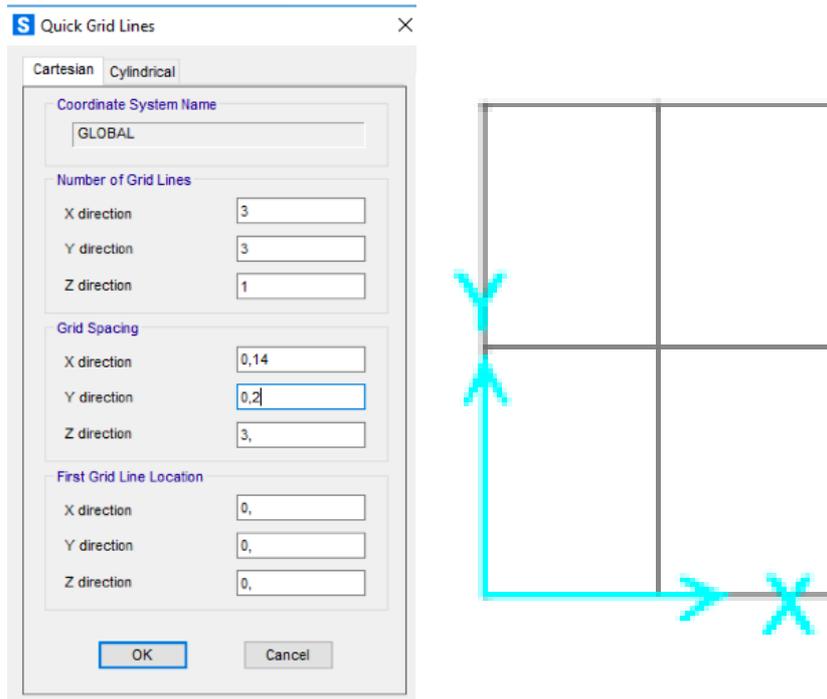


Figura 4-11 Malla Escalera.

Después de tener el mallado listo para dibujar la estructura toca definir los materiales y los perfiles que utilizaremos para las zancas y los peldaños de la escalera.

La escalera está construida tanto las dos zancas como los peldaños con aluminio 6082 T6 las características principales del material son como vemos en la figura 4.12.

- Densidad 2700 kg/m<sup>3</sup>
- Módulo de elasticidad. 7,00E+10 MPa
- Tensión máxima admisible 2,60E+8 MPa

General Data	
Material Name and Display Color	6082T6
Material Type	Aluminum
Material Grade	Alloy 6082 T6
Material Notes	Modify/Show Notes...

Weight and Mass		Units
Weight per Unit Volume	26487,	N, m, C
Mass per Unit Volume	2700,	

Isotropic Property Data	
Modulus Of Elasticity, E	7,000E+10
Poisson, U	0,3
Coefficient Of Thermal Expansion, A	2,300E-05
Shear Modulus, G	2,692E+10

Other Properties For Aluminum Materials	
Aluminum Type	Wrought
Aluminum Alloy Designation	6082-T6
Compressive Yield Strength, Fcy	2,600E+08
Tensile Yield Strength, Fty	2,600E+08
Tensile Ultimate Strength, Ftu	3,100E+08
Shear Ultimate Strength, Fsu	2,600E+08

Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

Figura 4-12 Detalle del material 6082T6.

Una vez tenemos definido el material debemos definir los diferentes perfiles que conforman las escaleras. Como aquí tenemos diferentes perfiles en las zancas vamos a diferenciar entre el modelado del perfil 67x25 y el del 80x25. El peldaño en todos los casos se trata de un perfil cuadrado del mismo material de 30x30 mm.

- 67x25

El perfil de la zanca es tubo rectangular fabricado en aluminio con unas medidas de 67 x 25 mm. Los escalones están conformados en tubo cuadrado de aluminio de 30 x 30 mm. Ambos perfiles tienen un espesor de 1,2 mm.

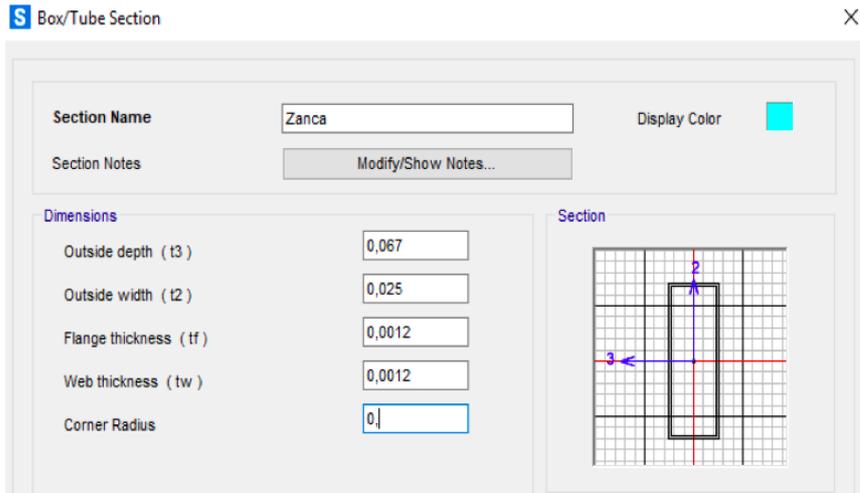


Figura 4-13 Perfil Zanca Escalera 1 y 2.

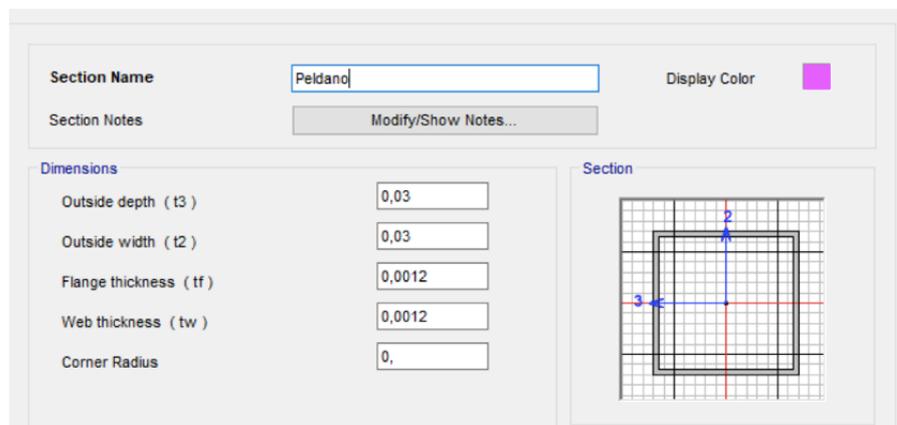


Figura 4-14 Perfil peldaño. .

- Perfil 80 x25

El perfil de la zanca es tubo rectangular fabricado en aluminio con unas medidas de 80 x 25 mm. Los escalones están conformados en tubo cuadrado de aluminio de 30 x 30 mm. Ambos perfiles tienen un espesor de 1,2 mm.

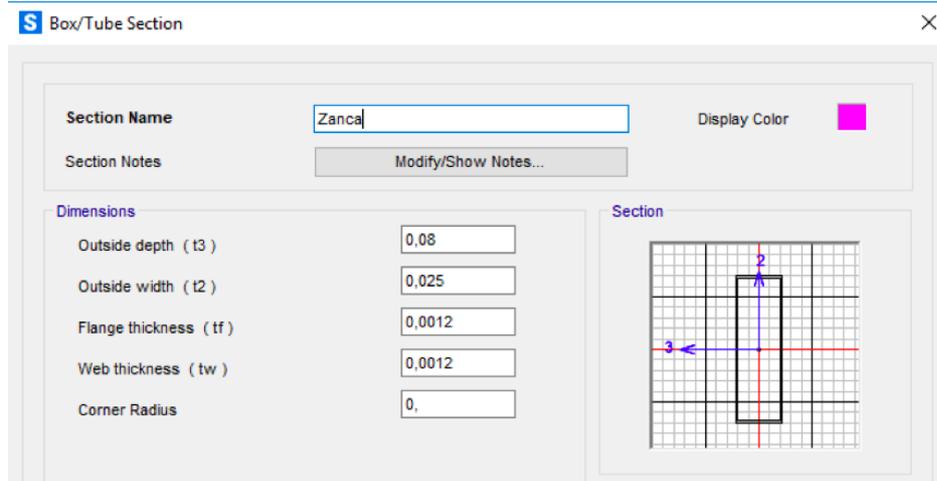


Figura 4-15 Perfil Zanca Escalera 3 y 4.

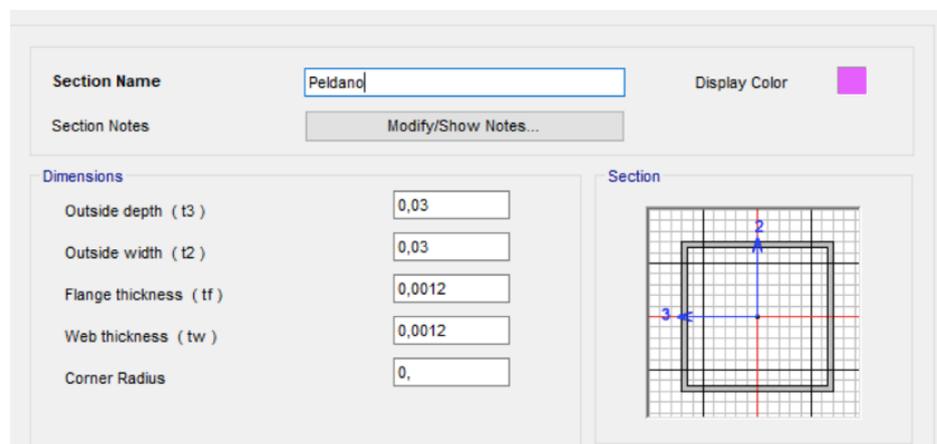


Figura 4-16 Perfil Peldaño.

Una vez definidos los perfiles con la herramienta del programa *quick frame* asignaremos los diferentes perfiles a la malla, en la figura 4.17 aparecen los perfiles ya definidos en la malla.

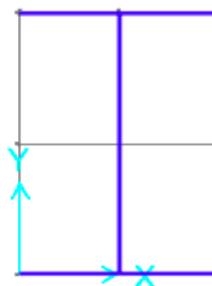


Figura 4-17 Detalle malla inicial con perfiles definidos.

Cuando tenemos definidos los diferentes perfiles debemos seleccionar todo, figura 4.17 y con la ventana *Edit* → *Replicate* accedemos a la ventana que aparece en las figuras que aparecen a continuación.

Esta parte del modelado es diferente para cada una de las 4 escaleras, indicaremos a continuación los pasos a seguir en cada una de las escaleras

- Escalera 1

Seleccionados que con una distancia de 0,28 se replique 6 veces para obtener los 7 escalones que conforman nuestra escalera.

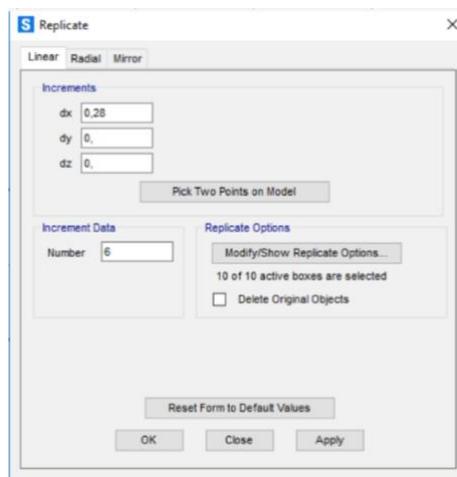


Figura 4-18 Ventana Replicate 1.

- Escalera 2

Seleccionados que con una distancia de 0,28 se replique 11 veces para obtener los 12 escalones que conforman nuestra escalera.

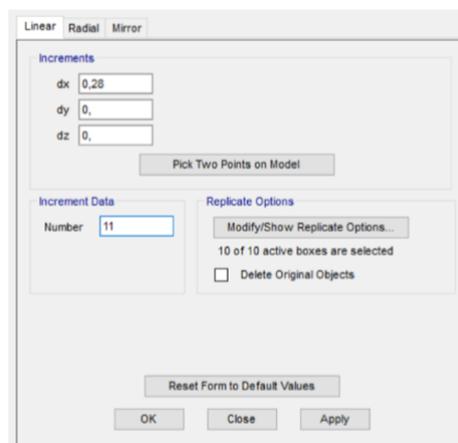


Figura 4-19 Ventana Replicate 2.

- Escalera 3

Seleccionados que con una distancia de 0,28 se replique 16 veces para obtener los 17 escalones que conforman nuestra escalera.

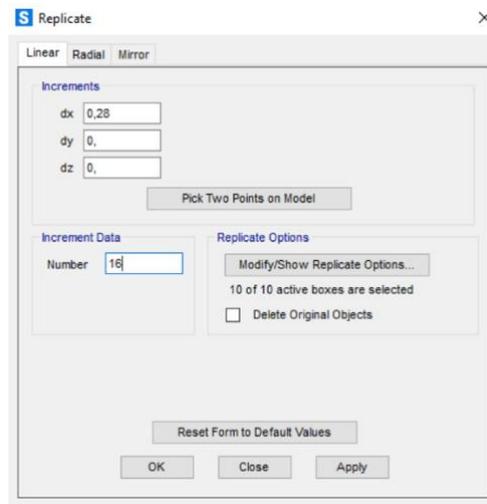


Figura 4-20 Ventana Replicate 3.

- Escalera 4

Seleccionados que con una distancia de 0,28 se replique 20 veces para obtener los 21 escalones que conforman nuestra escalera

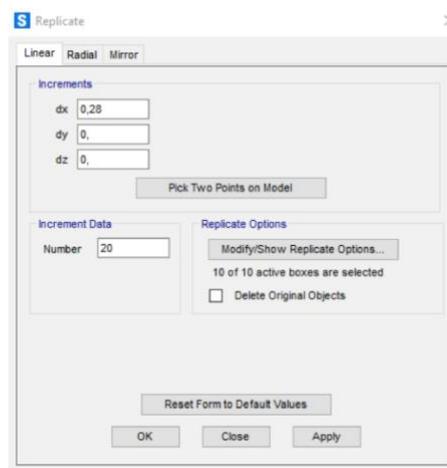


Figura 4-21 Ventana Replicate 4.

Después de realizar los pasos anteriores tendremos las escaleras modeladas en 3D a falta de aplicar las cargas y colocar los apoyos según los ángulos.

Para estudiar las escaleras en diferentes ángulos, como ya hemos dicho anteriormente, hemos utilizado la forma de descomposición fuerza, es decir descomponer la fuerza  $F$  que aparece en la figura 4.22 en los ejes  $X$  y  $Z$  que aparecen en la misma figura.

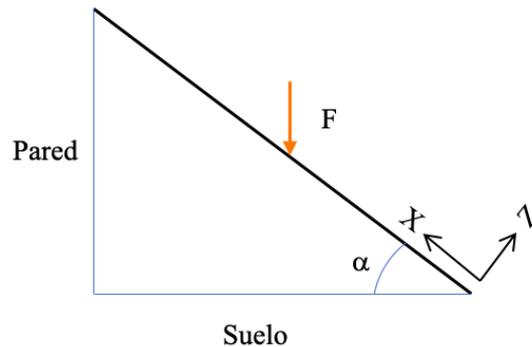


Figura 4-22 Fuerzas.

Los ángulos en los colocaremos las escaleras son  $\alpha$   $0^\circ$ ,  $45^\circ$  y  $90^\circ$

- Ángulo  $0^\circ$

Para este tipo de ángulo debemos definir los 4 apoyos de las escaleras, como apoyos fijos debido a que de lo contrario la escalera sería hiperestática y no podríamos realizar el cálculo.

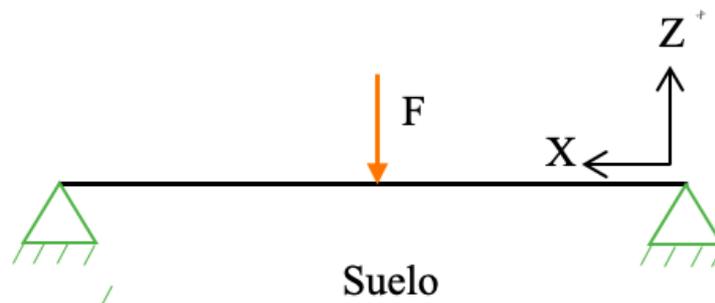


Figura 4-23 Escalera  $0^\circ$ .

Una vez colocados los apoyos *Assing*  $\rightarrow$  *Joints*  $\rightarrow$  *Restraints*, procederemos a colocar la fuerza en el escalón central. La fuerza de valor unitario 1 N en este caso solo tiene componente en el eje  $Z$  como vemos en la figura 4.24.

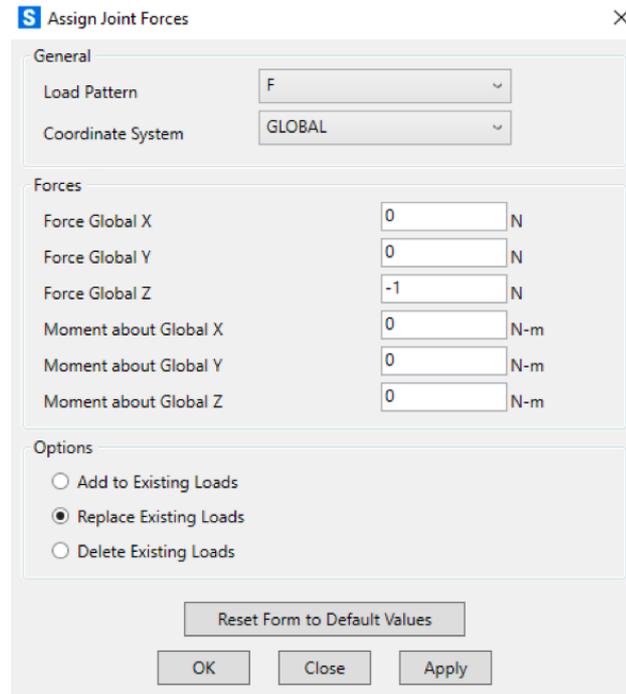


Figura 4-24 Asignación fuerza 0°.

Una vez asignada la fuerza y los apoyos podemos proceder a realizar los cálculos que indicaran en el apartado siguiente.

- Ángulo de 45°

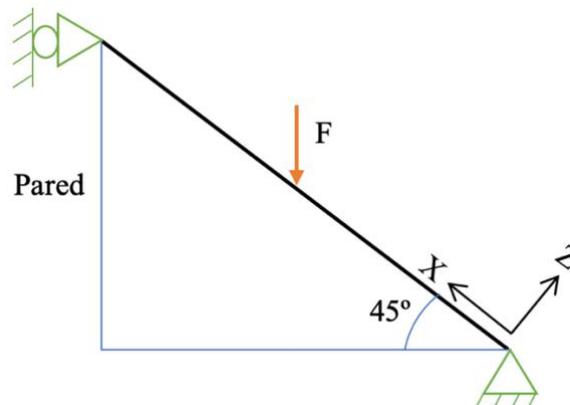


Figura 4-25 Escalera a 45°.

Los apoyos para este caso son diferentes, los apoyos que simulan estar en la en el suelo se tratan de apoyos fijos y los que se soportan en la pared son apoyos móviles.

La descomposición de la fuerza unitaria para un ángulo de 45° es de 0,707 N en el eje X y de 0,707 en el eje 0,707 como vienen reflejados en la figura 4.26.

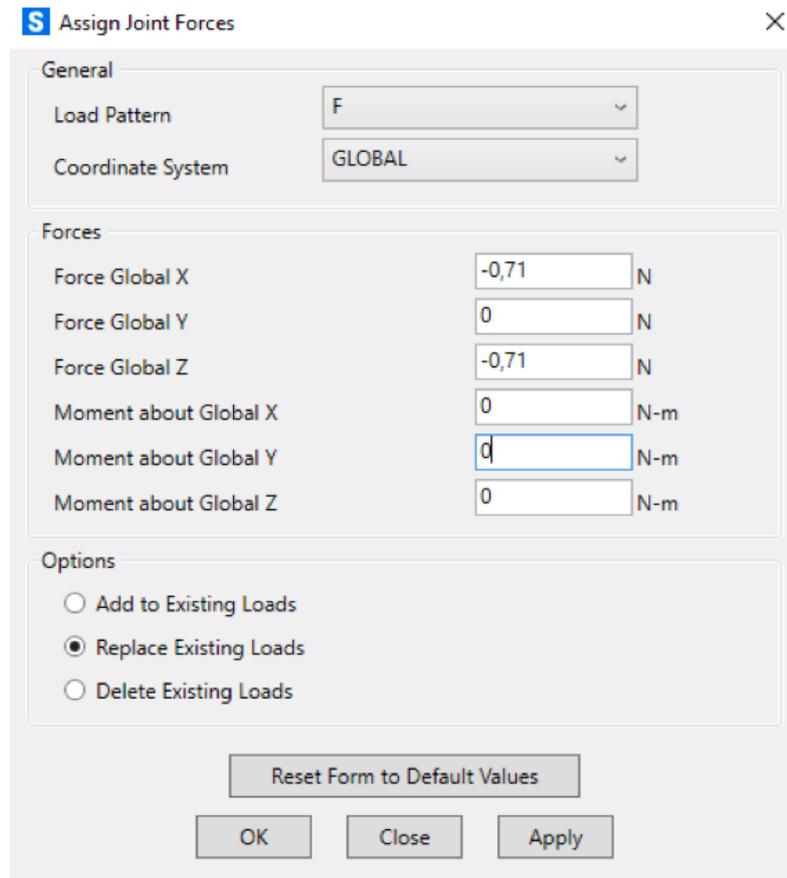


Figura 4-26 Asignación fuerza 45°.

- Ángulo 90°

Los apoyos para este caso son diferentes como en el caso anterior, los apoyos que simulan estar en el suelo se tratan de apoyos fijos y los que se soportan en la pared son apoyos móviles.

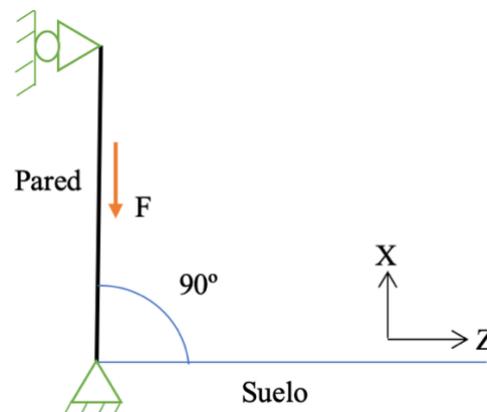


Figura 4-27 Escalera a 90°.

La descomposición de la fuerza unitaria para un ángulo de  $90^\circ$  es de 1 N en el eje Z y como vienen reflejados en la figura 4.28.

Section	Parameter	Value	Unit
General	Load Pattern	F	
	Coordinate System	GLOBAL	
Forces	Force Global X	-1	N
	Force Global Y	0	N
	Force Global Z	0	N
	Moment about Global X	0	N-m
	Moment about Global Y	0	N-m
	Moment about Global Z	0	N-m
Options	Add to Existing Loads	<input type="radio"/>	
	Replace Existing Loads	<input checked="" type="radio"/>	
	Delete Existing Loads	<input type="radio"/>	

Figura 4-28 Asignación fuerza 45°.

## 4.5 DIAGRAMAS OBTENIDOS

Este apartado lo dedicaremos a recoger los resultados obtenidos con el programa. Para cada una de las escaleras indicaremos la deformada, los diagramas de axiles y torsión. El diagrama de tensiones de Von Mises y el factor de pandeo.

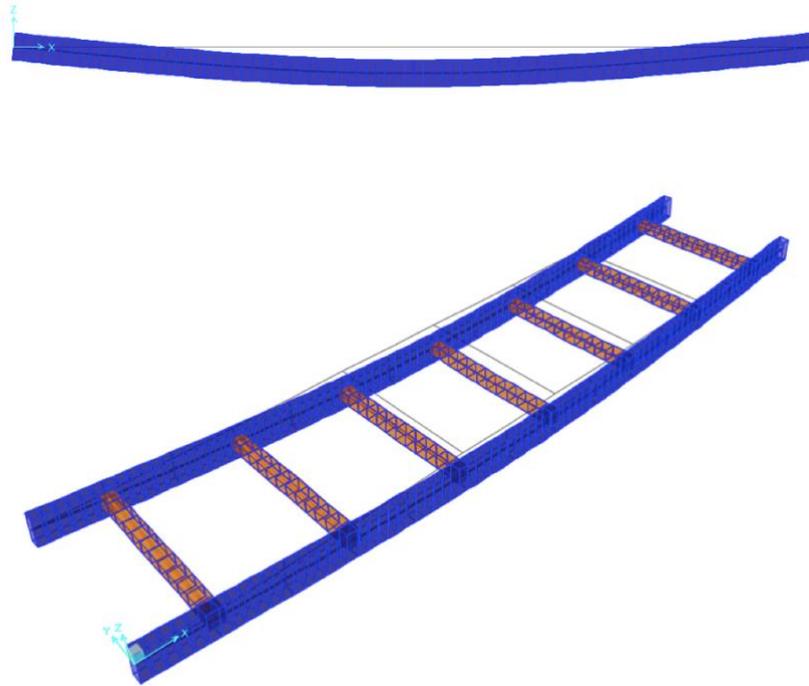
### 4.5.1 ESCALERA 1

#### 4.5.1.1. COLOCADA A $0^\circ$

##### 4.5.1.1.1 DEFORMADA

En la figura 4.29. observamos como la acción de fuerzas desplaza la estructura. Como la fuerza solo tiene componente vertical (eje Z) el desplazamiento solo se produce en esta dirección.

El valor máximo de desplazamiento se produce en el escalón central, lugar donde hemos aplicado la fuerza con un valor de  $1,013E-05$  m en la dirección negativa del eje Z.



*Figura 4-29 Deformada.*

Los valores de desplazamiento son muy pequeños debido a que la que hemos aplicado una fuerza de valor unitario.

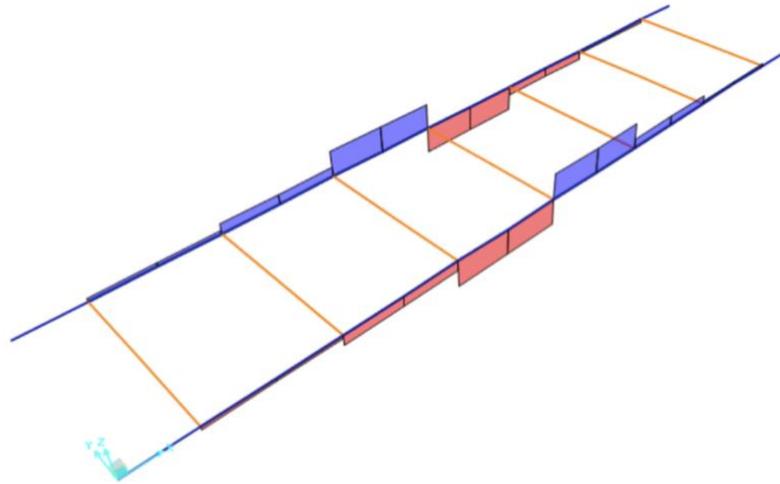
#### 4.5.1.1.2 AXILES

Para la disposición de la escalera en este ángulo no tiene sentido el estudio del diagrama de axiles debido a que no existe ninguna fuerza que produzca este tipo de esfuerzos.

#### 4.5.1.1.3 TORSIÓN

El diagrama de esfuerzos de torsión figura 4.30, se reflejan los esfuerzos de torsión que sufren las zancas de la escalera sometido a la fuerza aplicada en el peldaño. Debido a que la flexión de este se transmite en forma de torsión a las zancas de la escalera.

Este esfuerzo tiene un valor máximo, en el tramo de las zancas que rodean al peldaño central, de  $1,352E-02$  Nm, y van disminuyendo de forma escalada a medida que se aleja del centro de la escalera.



*Figura 4-30 Diagrama de torsión.*

#### 4.5.1.1.4 DIAGRAMA DE TENSIONES

En la figura 4.31 mostraremos el diagrama de tensiones. Se trata de la tensión de Von Mises que produce la carga unitaria que hemos aplicado.

Esta tensión es muy importante en el cálculo de estructuras metálicas debido a que los valores obtenidos en estos diagramas nos van a permitir comprobar si para las cargas a las que hemos sometido la escalera estas cumplen la norma y/o si hemos escogido un material con las características adecuadas.

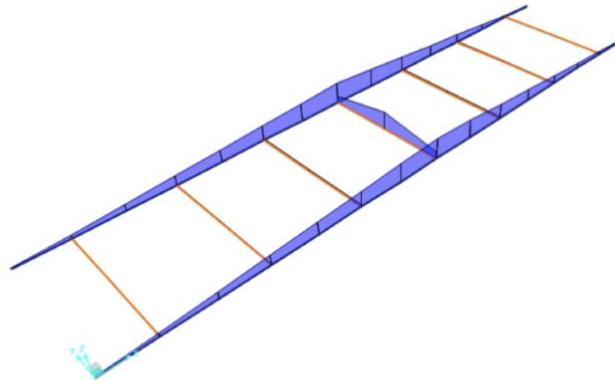


Figura 4-31 Diagrama de tensiones.

El valor máximo de las tensiones en la zanca se produce en el punto central con un valor de 69327 Pa y el valor de la tensión máxima del peldaño se produce también en el punto central de este con un valor de 57534 Pa. Y van disminuyendo a medida que se van alejando del punto central donde se aplica la carga.

#### 4.5.1.1.5 DIAGRAMA DE FLECTORES

Los momentos flectores máximos se producen en el punto central del peldaño, donde aplicamos la fuerza y un valor de  $7,924E-02$  Nm, en la zanca el momento flector máximo es de 0,25 Nm. En la figura 4.32 observamos el diagrama de flectores.

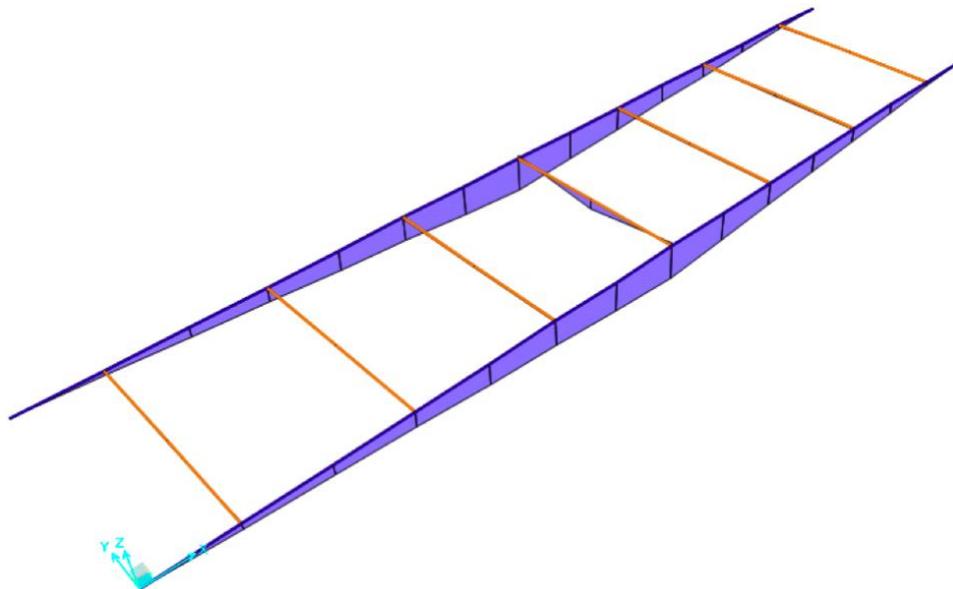
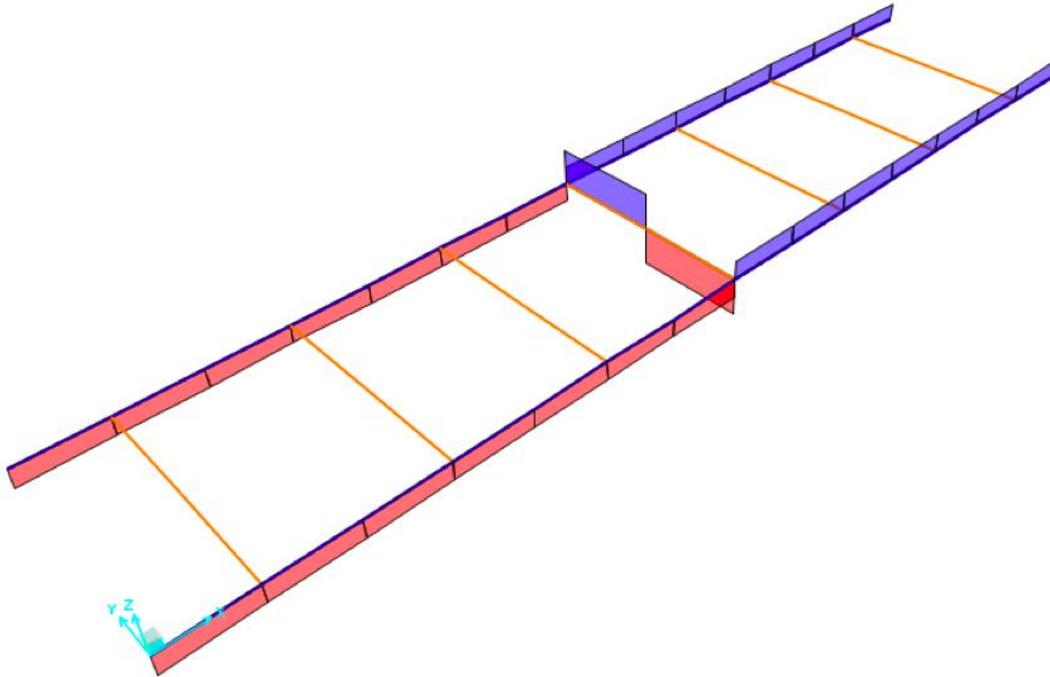


Figura 4-32 Diagrama de flectores

#### 4.5.1.1.6 DIAGRAMA DE CORTANTES

El diagrama de cortantes se adjunta en la figura 4.33. En el peldaño tiene unos esfuerzos de 0,5 N y para toda la zanca el valor es de 0,25 N.



*Figura 4-33 Diagrama de flectores*

#### 4.5.1.1.7 PANDEO

No tiene sentido estudiar el pandeo ya que no tenemos axiles que lo produzcan

#### 4.5.1.2 COLOCADA A 45 °

##### 4.5.1.2.1 DEFORMADA

En la siguiente figura 4.34 observamos como la acción de fuerzas desplaza la estructura. En este caso la fuerza tiene componente vertical (eje Z) y componente horizontal (eje X). El valor de desplazamiento en el eje x es de valor  $3,104E-07$  m no es apreciable en la deformada y el desplazamiento en z es de  $7,159E-06$  m.

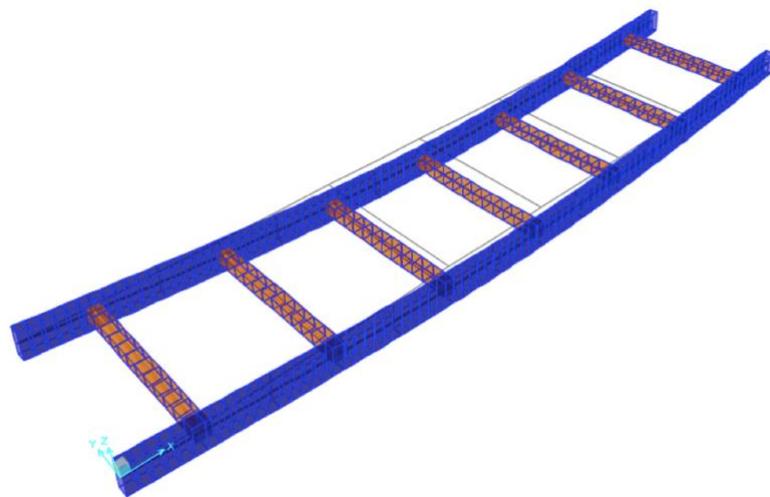
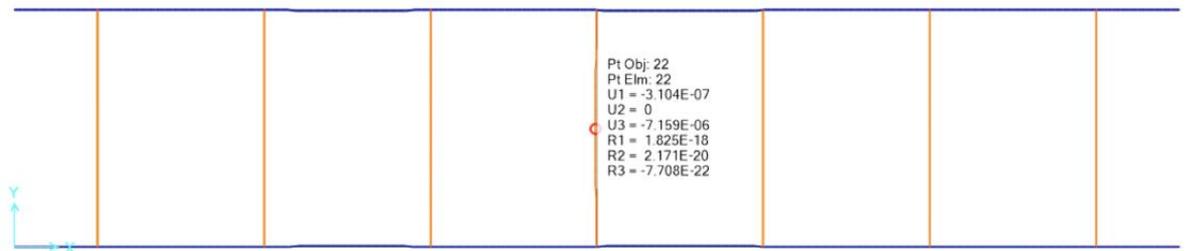


Figura 4-34 Deformada.

Como observamos, los desplazamientos sufridos en la escalera son muy pequeños

#### 4.5.1.2.2 AXILES

La siguiente figura refleja los diagramas de axiles que sufre la estructura debido a la carga unitaria aplicada. Los diagramas de axiles de color rojo se corresponden a las zonas donde se encuentran a compresión, mientras que los axiles en color azul, escalón inferior al que se aplica la fuerza corresponden a las zonas donde se encuentran a tracción.

El diagrama de esfuerzos como vemos en la figura es completamente lineal y en la zanca, donde se produce el esfuerzo axil más grande tiene un valor de 0,35 N. En el peldaño la fuerza tiene un valor de 8,058E-02 N.

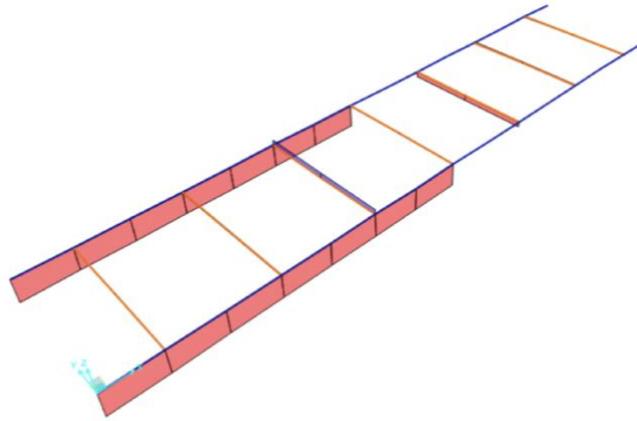


Figura 4-35 Diagrama de axiles.

#### 4.5.1.2.3 TORSIÓN

El diagrama de esfuerzos de torsión figura 4.36, refleja los esfuerzos de torsión que sufren las zancas de la escalera sometido a la fuerza aplicada en el peldaño. Debido a que la flexión de este se transmite en forma de torsión a las zancas de la escalera. Este esfuerzo tiene un valor máximo, en el tramo de las zancas que rodean al peldaño central, de  $9,56E-03$  Nm y van disminuyendo de forma escalda a medida que nos alejamos del peldaño central.

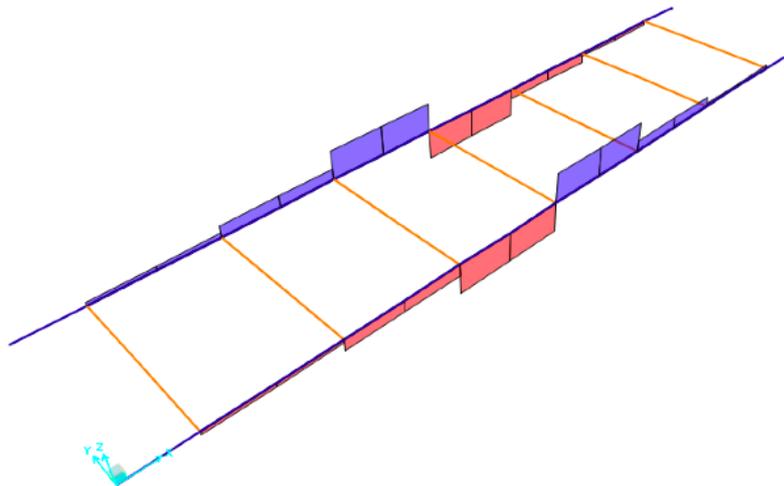


Figura 4-36 Diagrama de torsores.

#### 4.5.1.2.4 DIAGRAMA DE TENSIONES

En la figura 4.37 se reflejan el diagrama de tensiones de la escalera. El valor máximo de las tensiones en la zanca se produce en el punto central con un valor de 72045 Pa y el valor de la tensión máxima del peldaño se produce también en el punto central de este con valor de 58065 Pa.

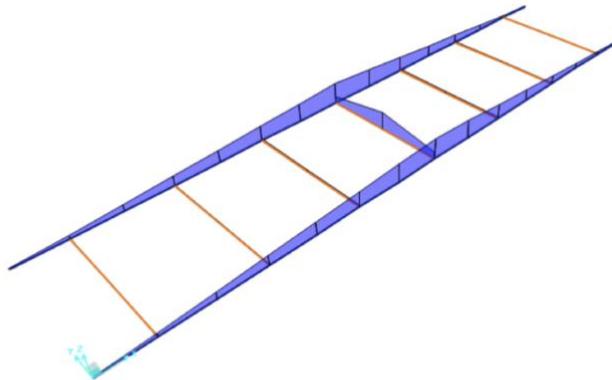


Figura 4-37 Deformada.

#### 4.5.1.2.5 DIAGRAMA DE FLECTORES

Para este ángulo la fuerza aplicada como ya hemos explicado anteriormente se ha descompuesto en los ejes Z y X . Es decir tendremos diagrama de flectores respecto del plano ZX , figura 4.38 y para el plano XY , figura 4.39. En el caso 1 los momentos flectores máximos en el peldaño son  $5157E-02$  Nm y 0,15 N en la zanca, ambos en el punto central como se observa en la figura 4.38, para el caso 2 tenemos en el peldaño  $4,038E-02$  Nm en el punto central y en la zanca el valor es de  $1,516E-02$  Nm.

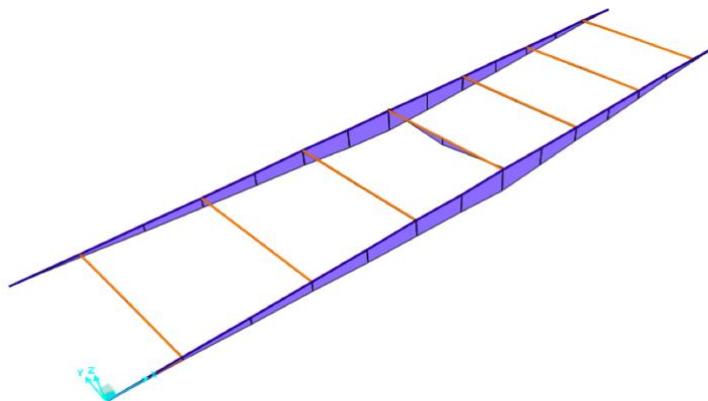


Figura 4-38 Diagrama de flectores 1

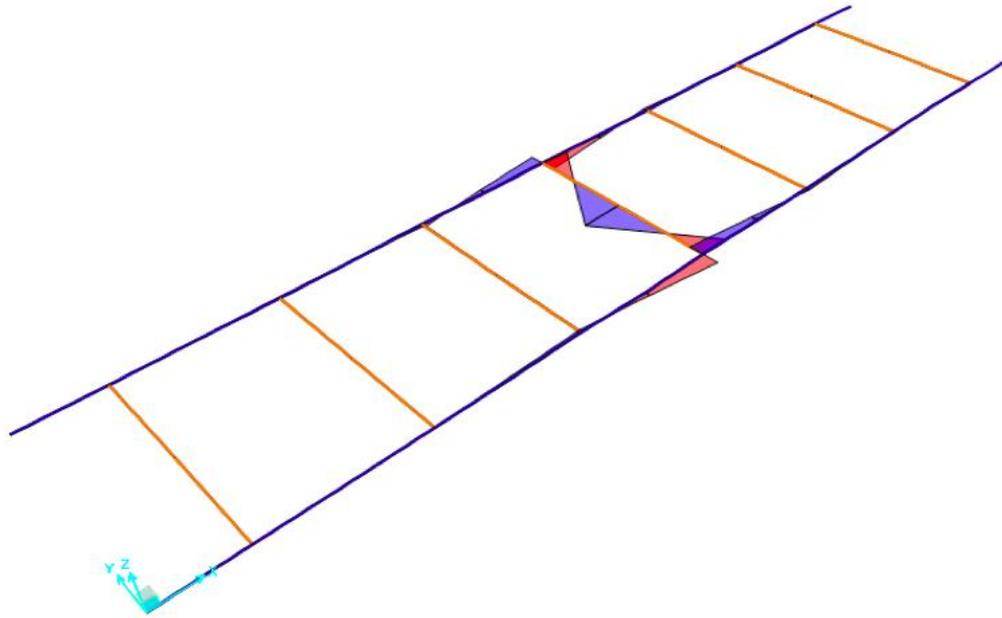


Figura 4-39 Diagrama de flectores 2

#### 4.5.1.2.6 DIAGRAMA DE CORTANTES

Para este ángulo como ya hemos explicado en el apartado anterior la fuerza esta descompuesta en los dos ejes X y Z por lo que observamos los esfuerzos cortantes respecto de los ejes. Se adjuntan en las figuras 4.40 y figura 4.41. En el caso 1 los esfuerzos cortantes son 0,35 N en el peldaño y 0,175 N en la zanca. En el caso 2 en el peldaño tenemos 0,35 N y en la zanca 6,794 E-02 N.

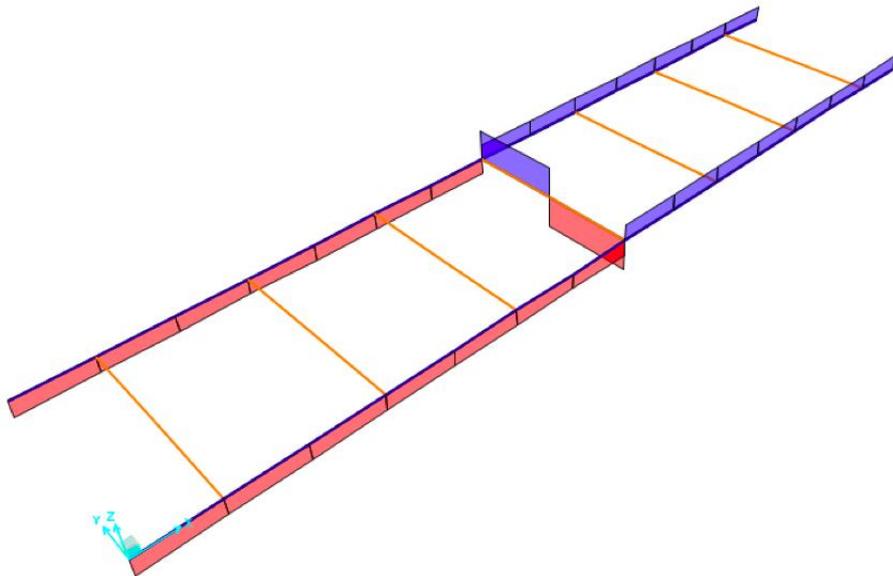


Figura 4-40 Diagrama de cortantes 1

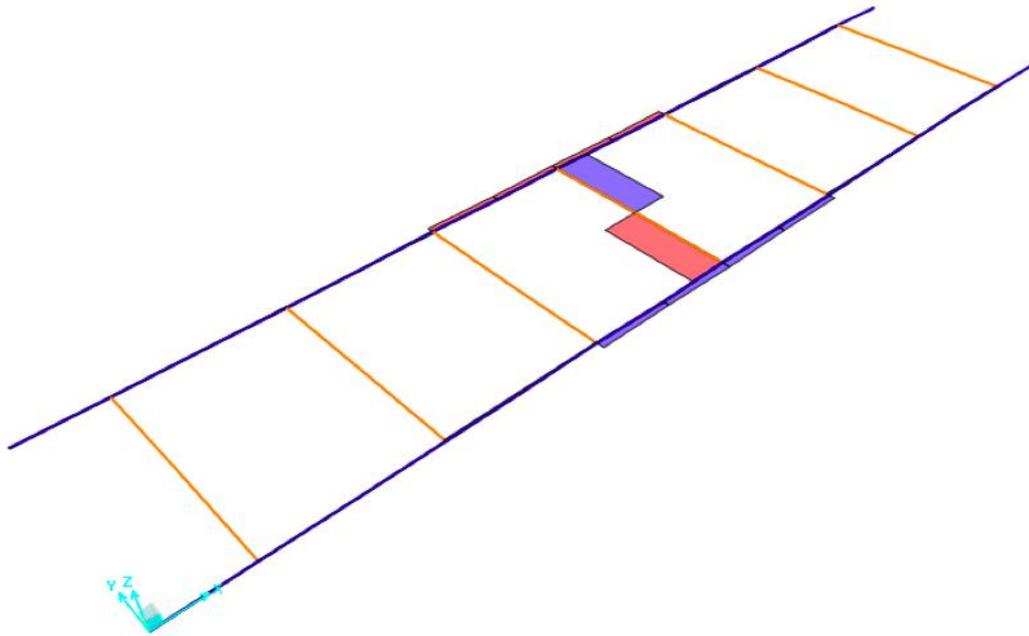


Figura 4-41 Diagrama de cortantes 2

#### 4.5.1.2.7 PANDEO

El factor de pandeo que vamos a estudiar es primer modo. El coeficiente de pandeo que obtenemos para este modo es 113690,5679. El modo de pandeo aparece en la figura 4.42.



Figura 4-42 Factor Pandeo.

#### 4.5.1.3 COLOCADA A 90°

##### 4.5.1.3.1 DEFORMADA.

En la siguiente figura observamos como la acción de fuerzas deforma la escalera como con la fuerza unitaria no se aprecia desplazamiento a modo de ejemplo lo calculamos también con una fuerza de 1000 N. El valor de desplazamiento solo tiene componente en el eje X debido a que solo existe

fuerza aplicada en esa dirección.

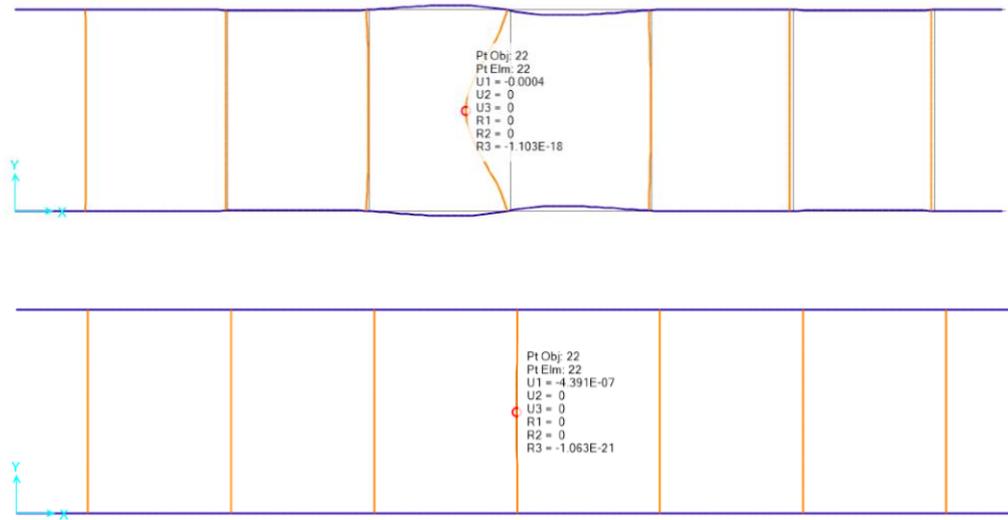


Figura 4-43 Deformada.

Como observamos en las figuras el desplazamiento aplicando la fuerza de valor 1000 N 0,0004m es mayor que con la fuerza unitaria 4,391E-07 m. pero aun así es muy pequeño.

#### 4.5.1.3.2 AXILES

La siguiente figura refleja los diagramas de axiles que sufre la estructura debido a la carga unitaria aplicada. Los diagramas de axiles de color rojo se corresponden a las zonas donde se encuentran a compresión, mientras que los axiles en color azul, escalón inferior al que se aplica la fuerza corresponden a las zonas donde se encuentran a tracción.

El diagrama de esfuerzos como vemos en la figura es completamente lineal y en la zanca, donde se produce el esfuerzo axil más grande tiene un valor de 0,11 N.

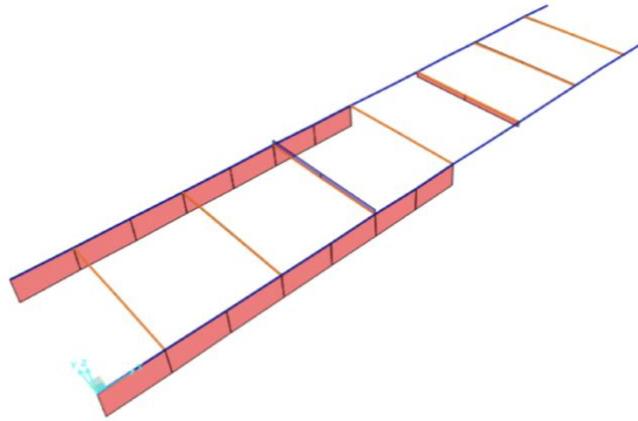


Figura 4-44 Diagrama de axiles.

#### 4.5.1.3.3 TORSOR

Este diagrama no tiene sentido representarlo ya que para esta carga aplicada no se produce torsión en las zancas.

#### 4.5.1.3.4 DIAGRAMA DE TENSIONES

En la figura 4.45 se reflejan el diagrama de tensiones de la escalera. El valor máximo de las tensiones en el peldaño se produce en el punto central con un valor de 45242,28 Pa y el valor de la tensión máxima de la zanca se produce también el punto central de este con valor de 13133,7 Pa.

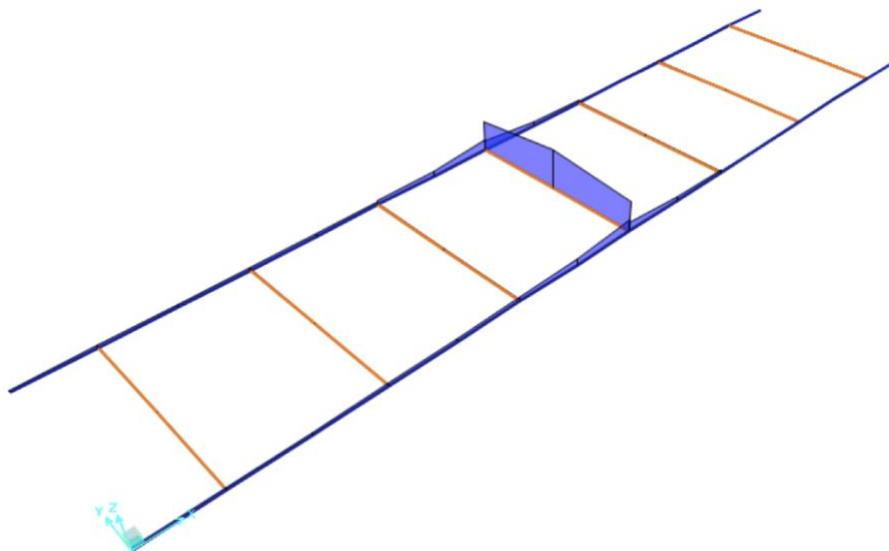


Figura 4-45 Diagrama de tensiones.

#### 4.5.1.3.5 DIAGRAMA DE FLECTORES

En la figura 4.46 se adjunta el diagrama de flectores obtenido. El punto central del peldaño es el que está sometido a un mayor flector siendo este de  $5,711E-02$  Nm. En la zanca el punto del momento máximo tiene un valor de  $2,144E-02$  Nm.

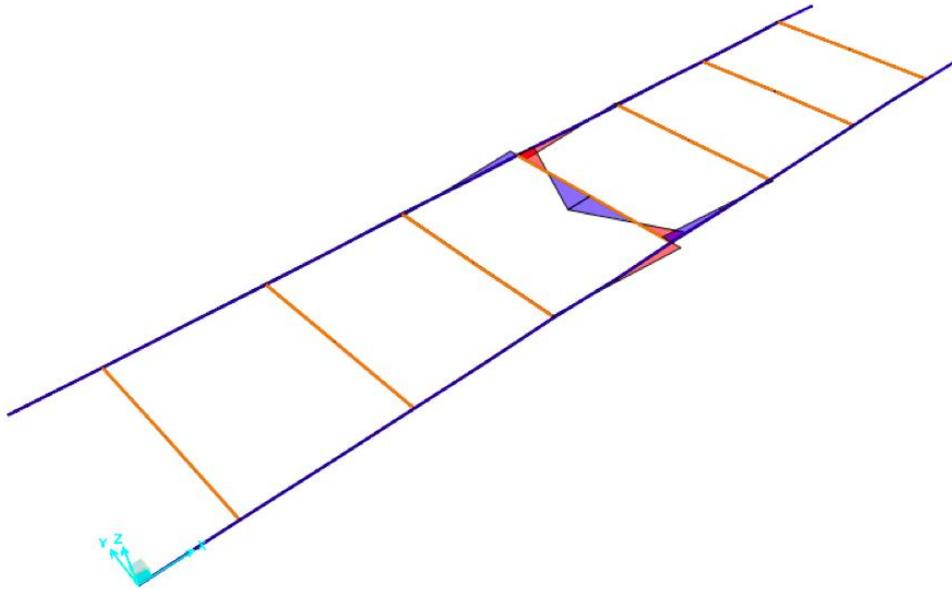


Figura 4-46 Diagrama de flectores

#### 4.5.1.3.6 DIAGRAMA DE CORTANTES

El diagrama de cortante se adjunta en la siguiente figura. El esfuerzo cortante en el peldaño es de  $0,5$  N y en la zanca los esfuerzos cortantes tienen un valor de  $9,6096E-02$  N.

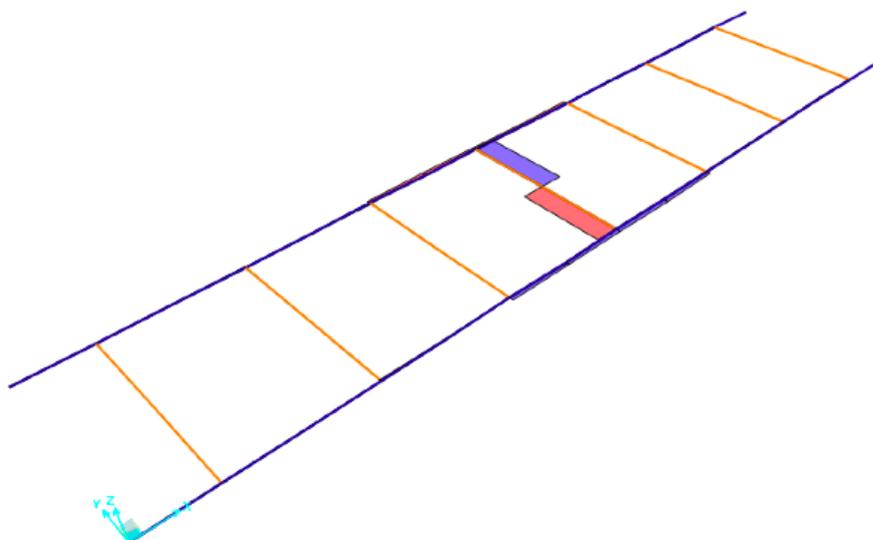


Figura 4-47 Diagrama de cortantes



#### 4.5.1.3.7 PANDEO

El coeficiente de pandeo del primer modo que hemos obtenido es  $-80374,2711$ . En la figura 4.48 observamos que el desplazamiento es hacia arriba es por esto por lo que el coeficiente es negativo.



Figura 4-48 Coeficiente pandeo.

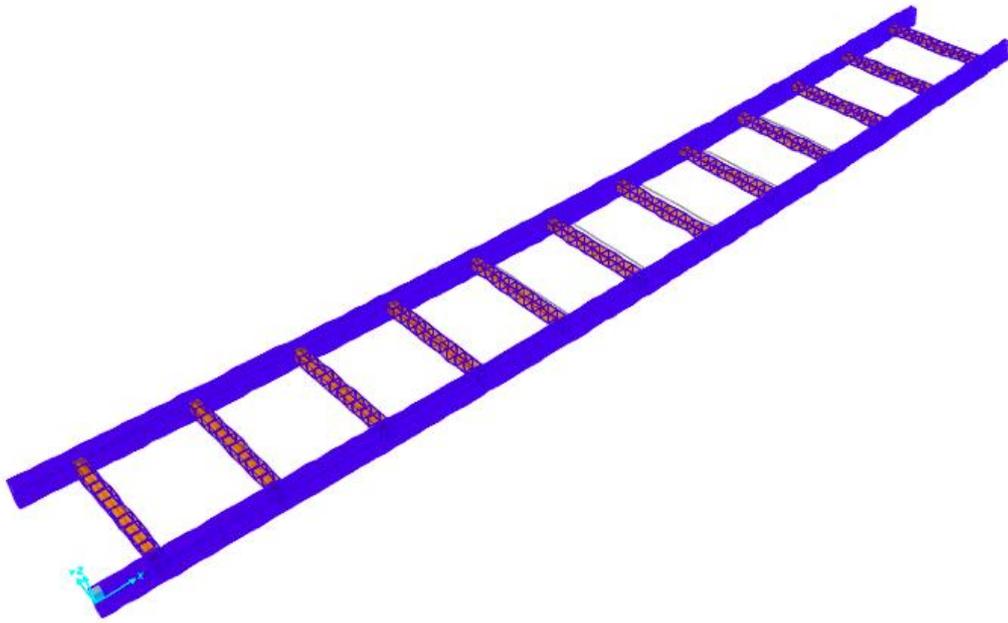
#### 4.5.2 ESCALERA 2

##### 4.5.2.1 COLOCADA A $0^\circ$

###### 4.5.2.1.1 DEFORMADA

En la siguiente figura observamos como la acción de fuerzas desplaza la estructura. Como la fuerza solo tiene componente vertical (eje Z) el desplazamiento solo se produce en esta dirección. El valor máximo de desplazamiento se produce en el escalón central, lugar donde hemos aplicado la fuerza con un valor de  $4,75E-05$  m en la dirección negativa del eje Z.





*Figura 4-49 Deformada.*

#### 4.5.2.1.2 AXILES

Para la disposición de la escalera en este ángulo no tiene sentido el estudio del diagrama de axiles debido a que no existe ninguna fuerza que produzca este tipo de esfuerzos.

#### 4.5.2.1.3 TORSIÓN

El diagrama de esfuerzos de torsión figura 4.50, refleja los esfuerzos de torsión que sufren las zancas de la escalera sometido a la fuerza aplicada en el peldaño. Debido a que la flexión de éste se transmite en forma de torsión a las zancas de la escalera. Este esfuerzo tiene un valor máximo, en el tramo de las zancas que rodean al peldaño central, de  $1,352E-02$  Nm.

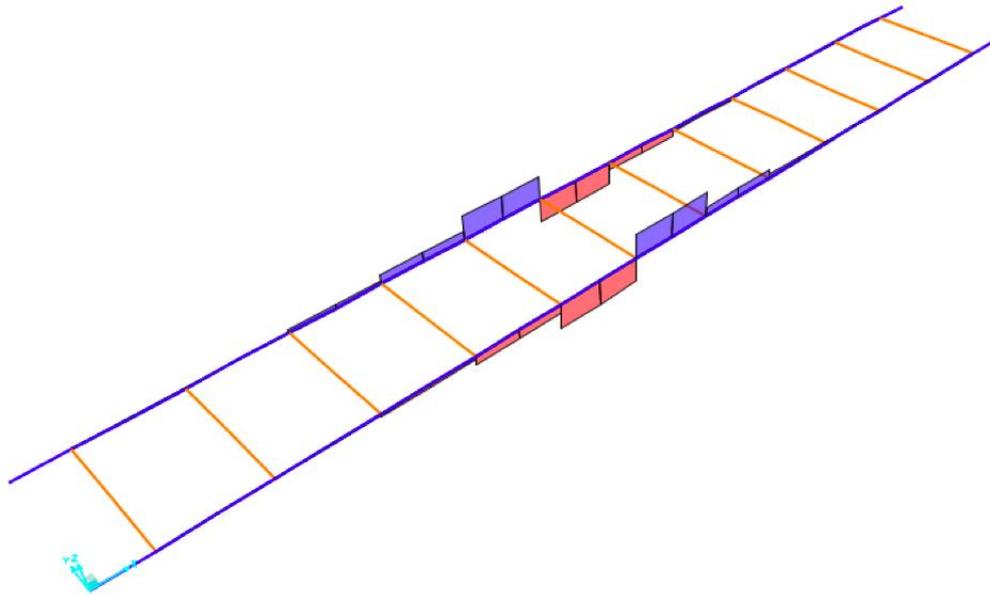


Figura 4-50 Diagrama de torsión.

#### 4.5.2.1.4 DIAGRAMA DE TENSIONES

En la figura 4.51 se reflejan el diagrama de tensiones de la escalera. El valor máximo de las tensiones en la zanca se produce en el punto central con un valor de 117709 Pa y el valor de la tensión máxima de la zanca se produce también el punto central de este con valor de 57499 Pa.

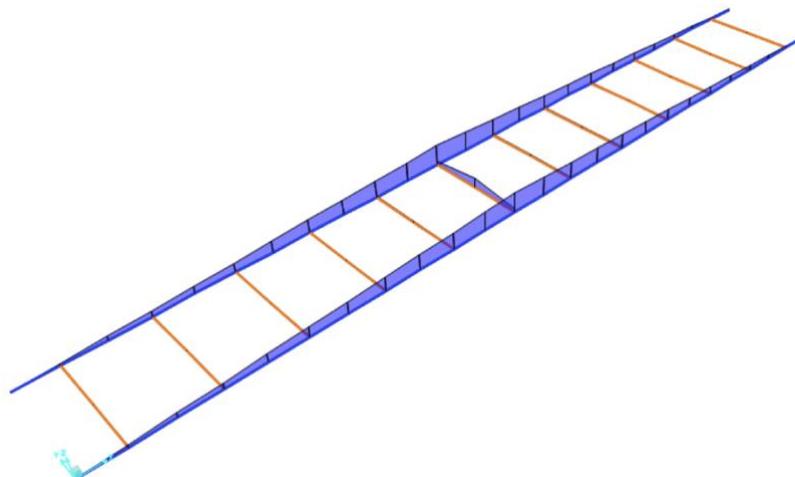
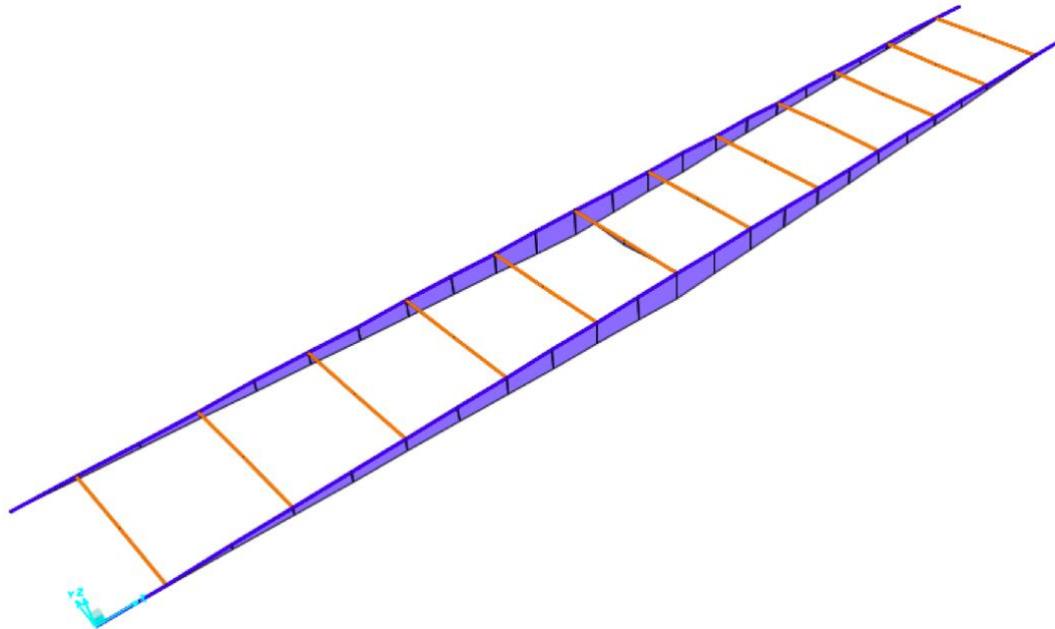


Figura 4-51 Diagrama de tensiones.

#### 4.5.2.1.5 DIAGRAMA DE FLECTOR

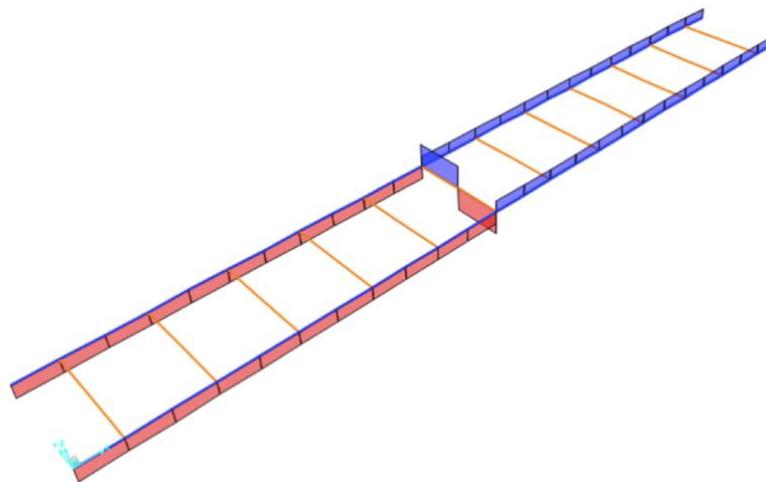
Los momentos flectores máximos se producen en el punto central del peldaño, donde aplicamos la fuerza y un valor de  $7,924E-02$  Nm, en la zanca el momento flector máximo es de  $0,42$  Nm. En la figura 4.52 observamos el diagrama de flectores.



*Figura 4-52 Diagrama de flectores*

#### 4.5.2.1.6 DIAGRAMA DE CORTANTES

El diagrama de cortantes se adjunta en la figura 4.53. En el peldaño tiene unos esfuerzos de  $0,5$  N y para toda la zanca el valor es de  $0,25$  N.



*Figura 4-53 Diagrama de cortantes*

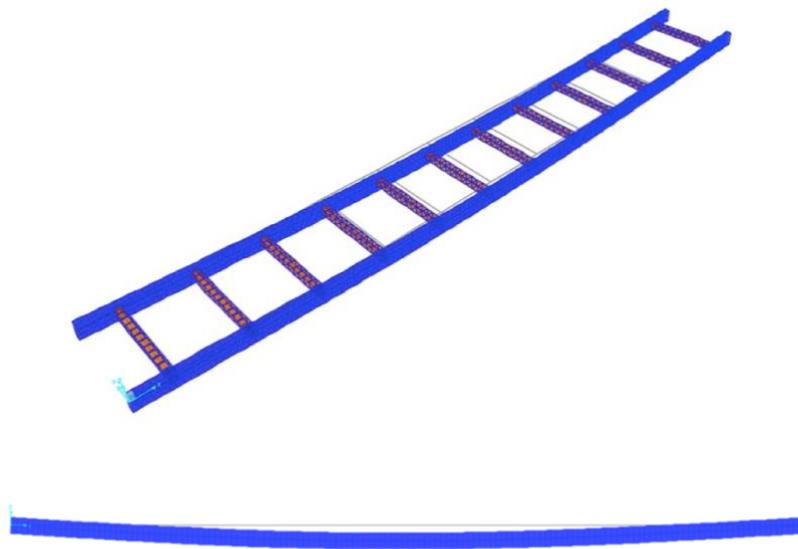
#### 4.5.2.1.7 PANDEO

No tiene sentido estudiar el pandeo ya que no tenemos axiles que lo provoquen.

#### 4.5.2.2 COLOCADA A 45°

##### 4.5.2.2.1 DEFORMADA

En la siguiente figura 4.54 observamos como la acción de fuerzas desplaza la estructura. En este caso la fuerza tiene componente vertical (eje Z) y componente horizontal (eje X). El valor de desplazamiento en el eje x es de valor  $3,236E-07$  m no es apreciable en la deformada y el desplazamiento en z es de  $3,363-06$  m.

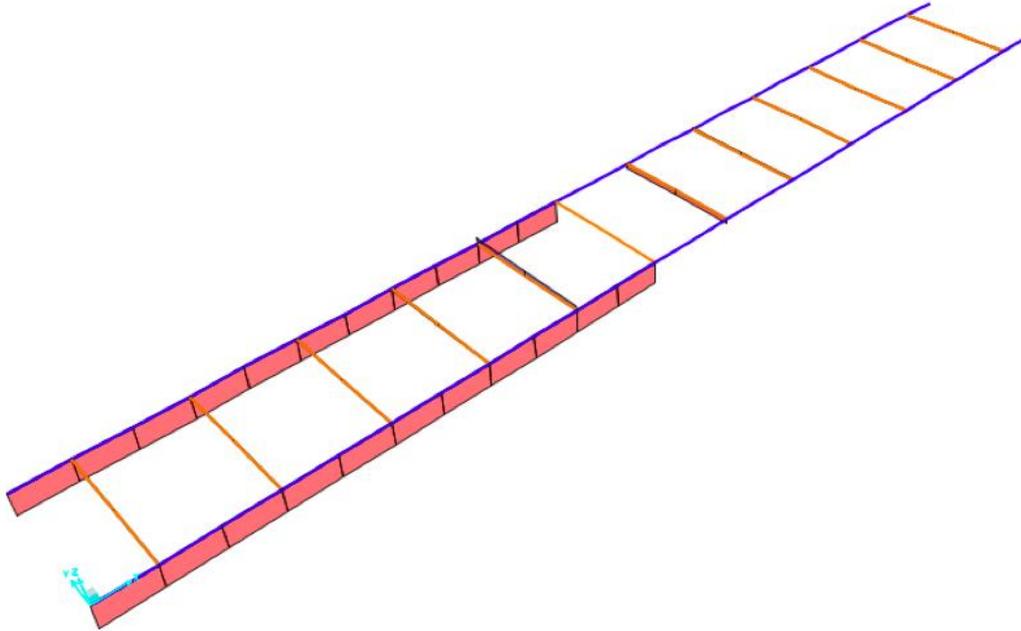


*Figura 4-54 Deformada.*

##### 4.5.2.2.2 AXILES

La siguiente figura refleja los diagramas de axiles que sufre la estructura debido a la carga unitaria aplicada. Los diagramas de axiles de color rojo se corresponden a las zonas donde se encuentran a compresión, mientras que los axiles en color azul, escalón inferior al que se aplica la fuerza corresponden a las zonas donde se encuentran a tracción.

El diagrama de esfuerzos como vemos en la figura es completamente lineal y en la zanca, donde se produce el esfuerzo axial más grande tiene un valor de 0,35 N.



*Figura 4-55 Diagrama de axiles.*

#### 4.5.2.2.3 TORSIÓN

El diagrama de esfuerzos de torsión figura 4.56, refleja los esfuerzos de torsión que sufren las zancas de la escalera sometido a la fuerza aplicada en el peldaño. Debido a que la flexión de este se transmite en forma de torsión a las zancas de la escalera. Este esfuerzo tiene un valor máximo, en el tramo de las zancas que rodean al peldaño central, de  $9,582E-03$  Nm.

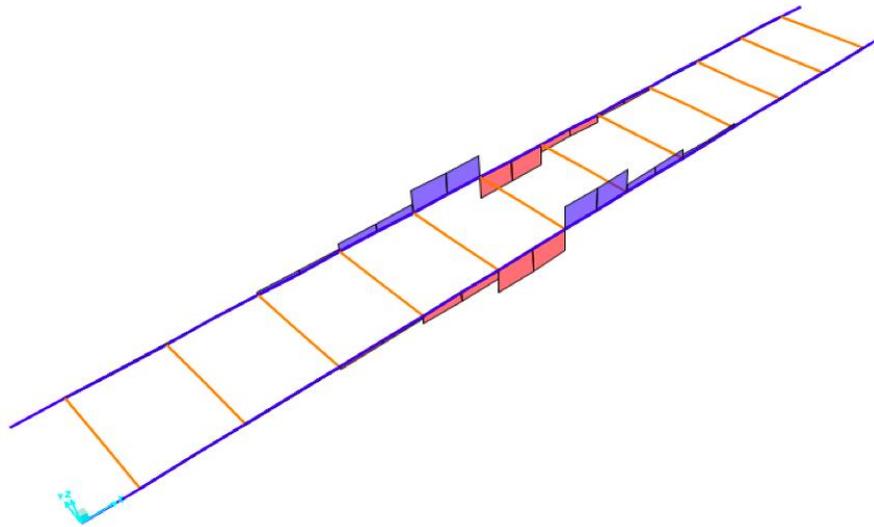


Figura 4-56 Diagrama de torsión.

#### 4.5.2.2.4 DIAGRAMA DE TENSIONES

En la figura 4.57 se reflejan el diagrama de tensiones de la escalera.

El valor máximo de las tensiones la zanca se produce en el punto central con un valor de 90707 Pa y el valor de la tensión máxima de la zanca se produce también en el punto central de este con valor de 72021 Pa.

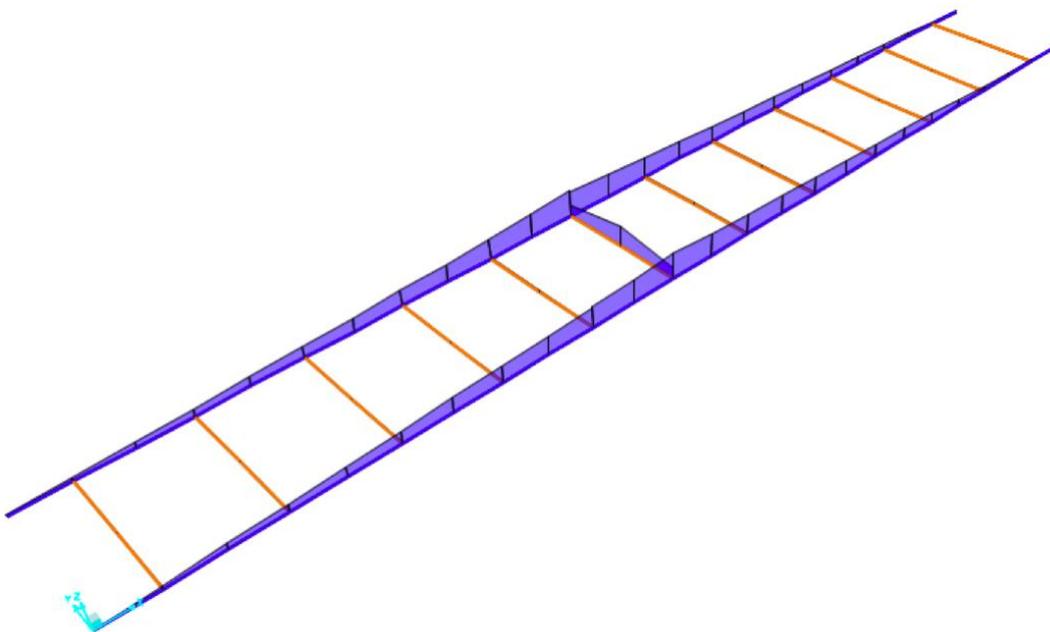


Figura 4-57 Diagrama de tensiones.

#### 4.5.2.2.5 DIAGRAMA DE FLECTORES

Para este ángulo la fuerza aplicada como ya hemos explicado anteriormente se ha descompuesto en los ejes Z y X. Es decir, tendremos diagrama de flectores respecto del plano ZX, ver figura 4.58 y para el plano XY, ver figura 4.59. En el caso 1 los momentos flectores máximos en el peldaño son de  $5,157E-02$  Nm y  $0,29$  Nm en la zanca, ambos en el punto central como se observa en la figura 4.58, para el caso 2 tenemos en el peldaño  $4,038E-02$  Nm en el punto central y en la zanca el valor es de  $1,516E-02$  Nm.

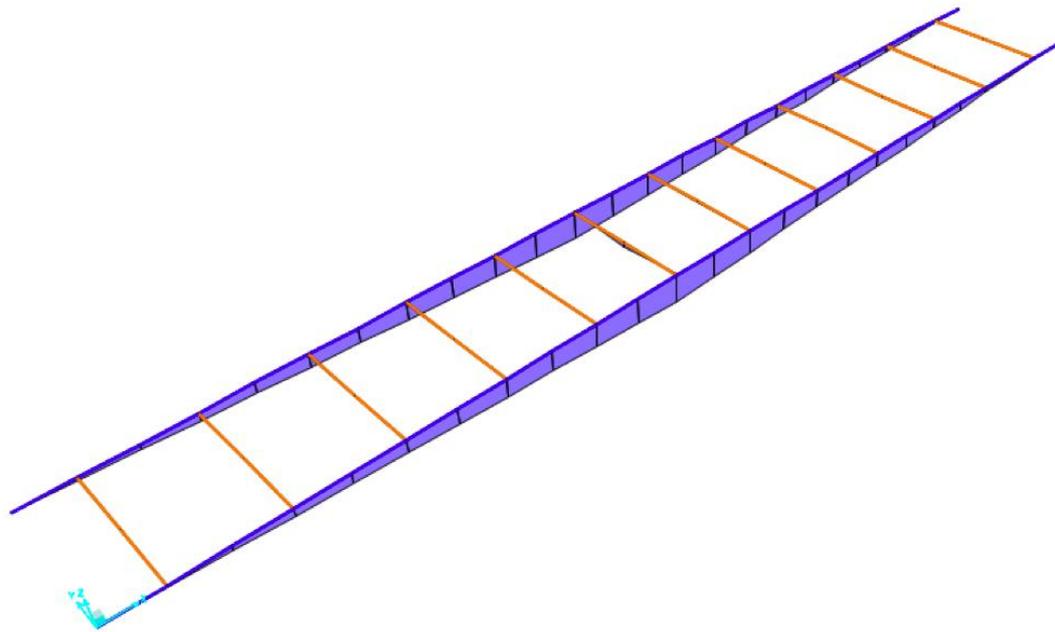


Figura 4-58 Diagrama de flectores 1

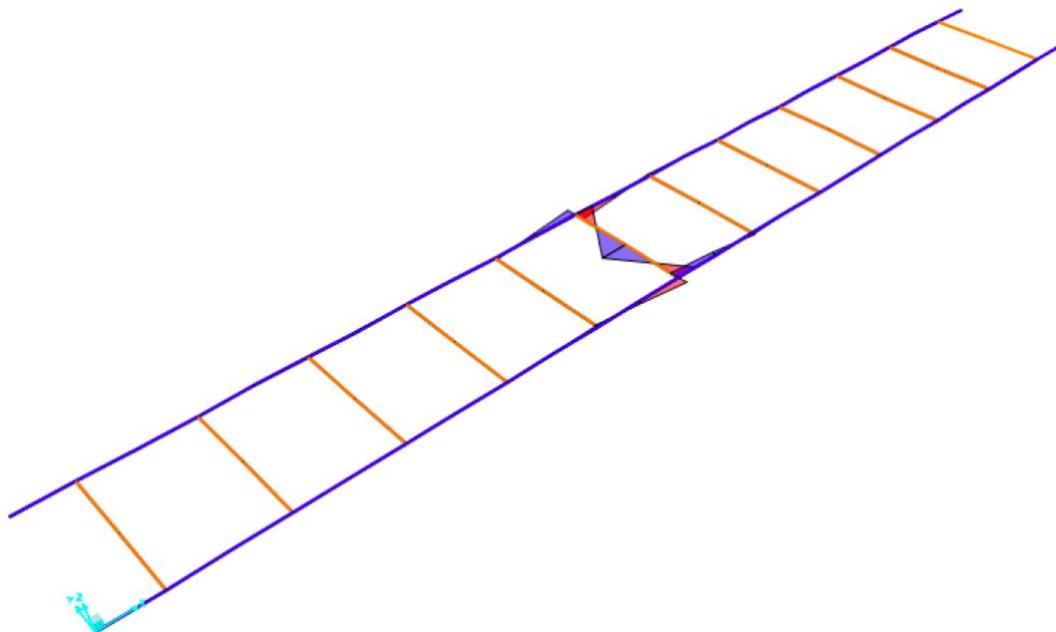


Figura 4-59 Diagrama de flectores 2

#### 4.5.2.2.6 DIAGRAMA DE CORTANTES

Para este ángulo como ya hemos explicado en el apartado anterior la fuerza esta descompuesta en los dos ejes X y Z por lo que observamos los esfuerzos cortantes respecto de los ejes. Se adjuntan en la figura 4.60 y figura 4.61. En el caso 1 los esfuerzos cortantes son 0,35 N en el peldaño y 0,175 N en la zanca. En el caso 2, figura 4,61 los esfuerzos son en el peldaño 0,35 N y 6,795E-02N en la zanca.

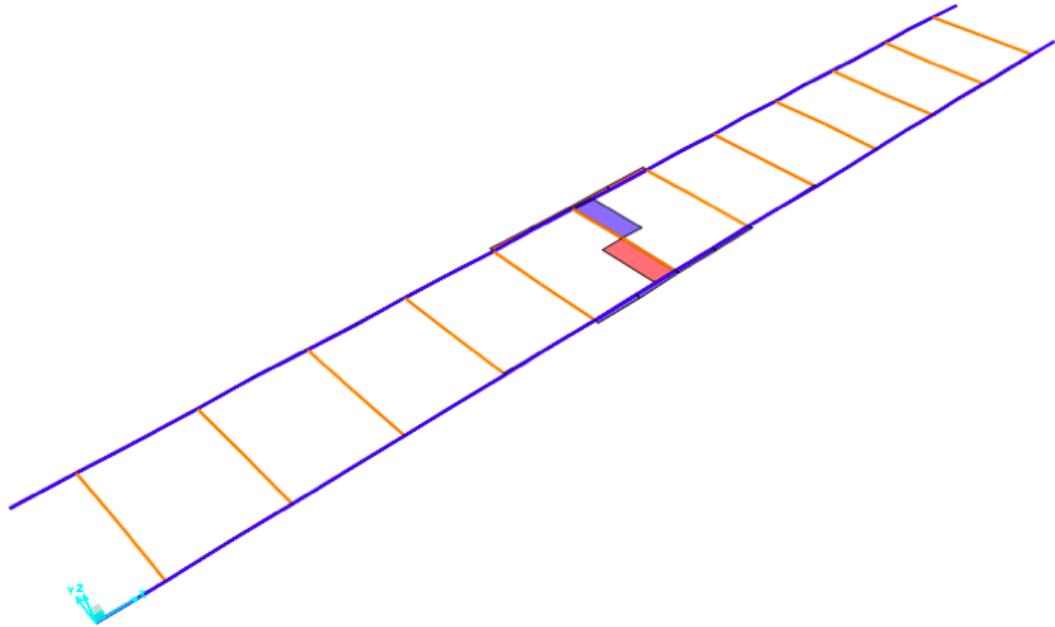


Figura 4-60 Diagram de cortantes 1

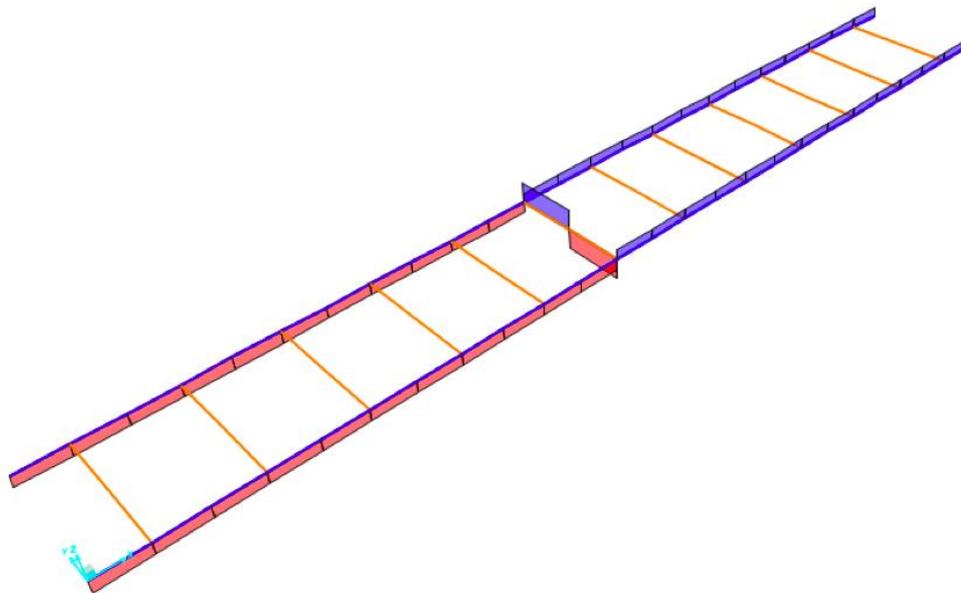
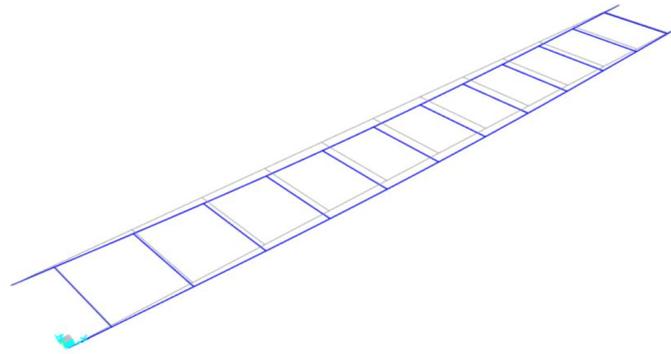


Figura 4-61 Diagrama de cortantes 2



#### 4.5.2.2.7 PANDEO

El coeficiente de pandeo del primer modo que hemos obtenido es 55994,16. En la figura 4.62 observamos que el desplazamiento.



*Figura 4-62 Coeficiente pandeo.*

#### 4.5.2.3 COLOCADA A 90°

##### 4.5.2.3.1 DEFORMADA.

En la siguiente figura observamos como la acción de fuerzas deforma la escalera como con la fuerza unitaria no se aprecia desplazamiento a modo de ejemplo lo calculamos también con una fuerza de 1000 N. El valor de desplazamiento solo tiene componente en el eje X debido a que solo existe fuerza aplicada en esa dirección.

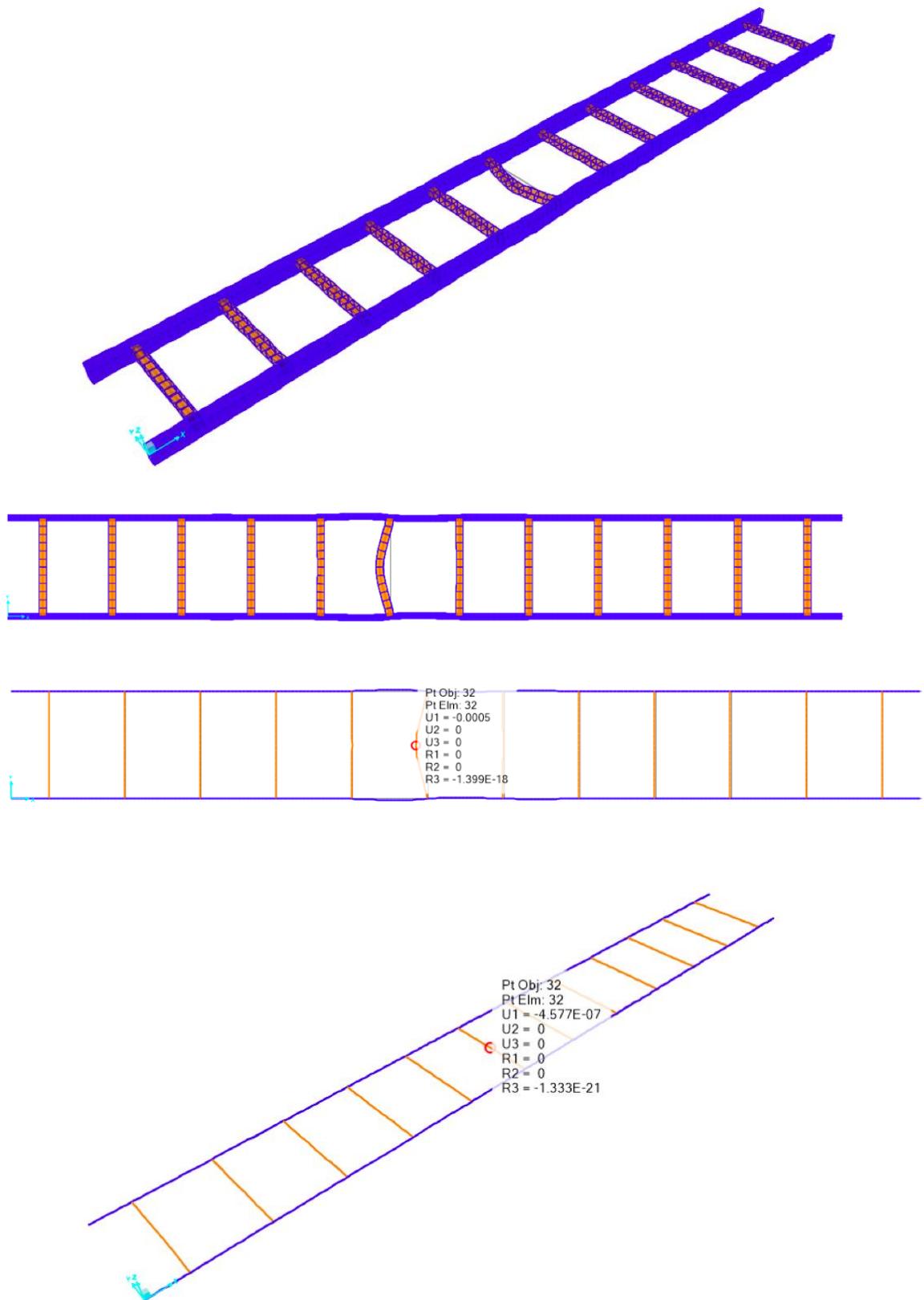


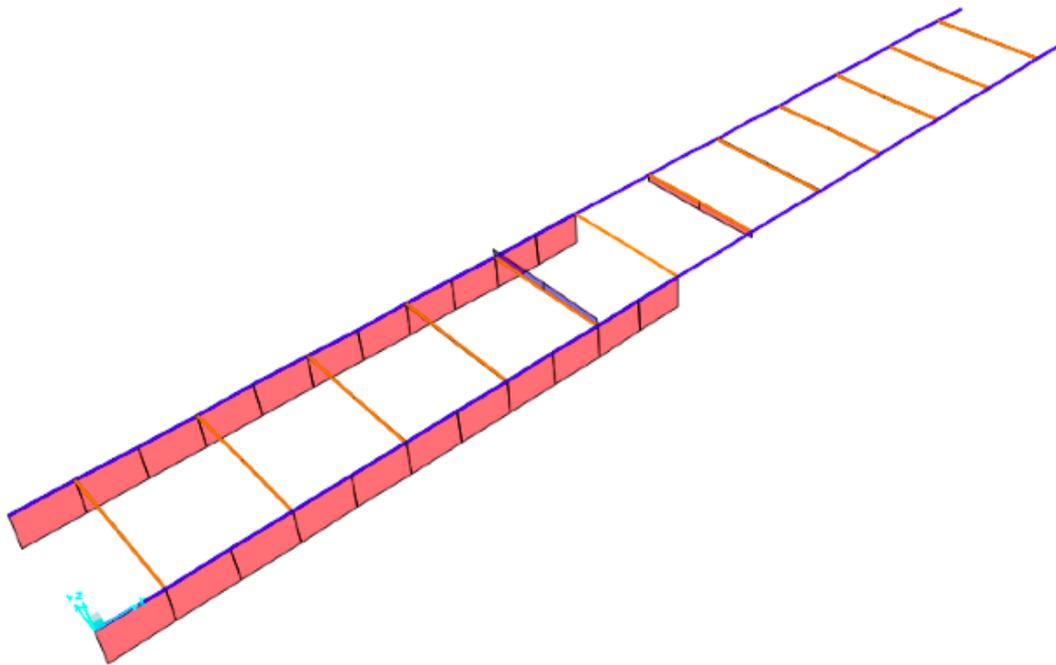
Figura 4-63 Deformada.

Como observamos en las figuras anteriores, el desplazamiento aplicando la fuerza de valor  $1000\text{ N}$   $0,0005\text{ m}$  es mayor que con la fuerza unitaria  $4,577\text{E}-07\text{ m}$  pero aun así es muy pequeño.

#### 4.5.2.3.2 AXILES

La siguiente figura 4.64 refleja los diagramas de axiles que sufre la estructura debido a la carga unitaria aplicada. Los diagramas de axiles de color rojo se corresponden a las zonas donde se encuentran a compresión, mientras que los axiles en color azul, escalón inferior al que se aplica la fuerza corresponden a las zonas donde se encuentran a tracción.

El diagrama de esfuerzos como vemos en la figura es completamente lineal y en la zanca, donde se produce el esfuerzo axil más grande tiene un valor de  $0,5\text{ N}$ .



*Figura 4-64 Diagrama de axiles.*

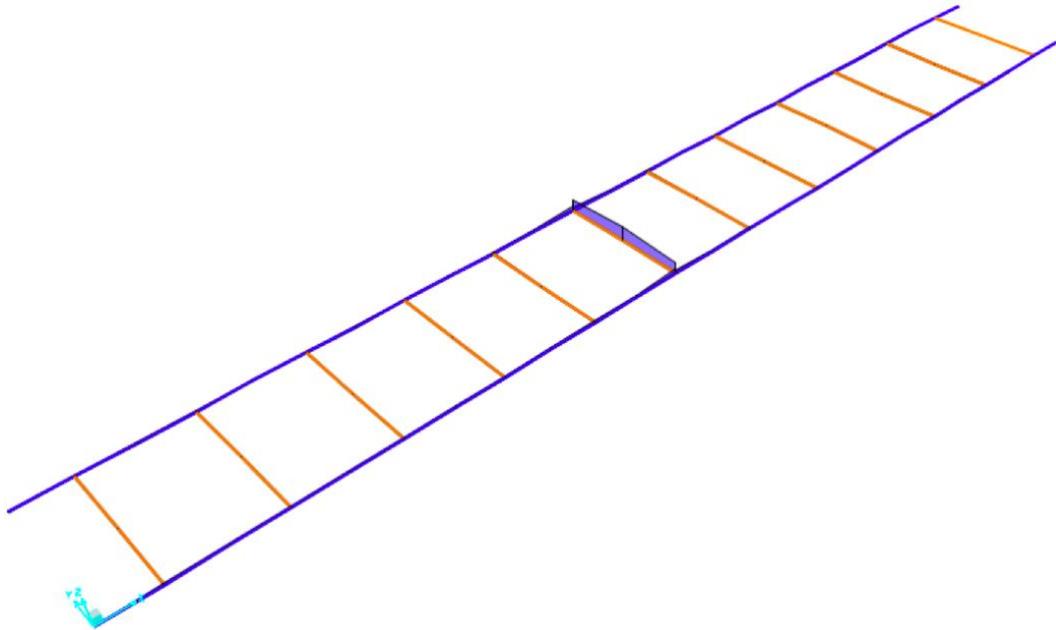
#### 4.5.2.3.3 TORSOR

Este diagrama no tiene sentido representarlo ya que para esta carga aplicada no se produce torsión en las zancas.

#### 4.5.2.3.4 DIAGRAMA DE TENSIONES

En la figura 4.65 se reflejan el diagrama de tensiones de la escalera.

El valor máximo de las tensiones en el peldaño se produce en el punto central con un valor de 45242,05 Pa y el valor de la tensión máxima de la zanca se produce también en el punto central de este con valor de 10835 Pa.



*Figura 4-65 Diagrama de tensiones.*

#### 4.5.2.3.5 DIAGRAMA DE FLECTORES

En la figura 4.66 se adjunta el diagrama de flectores obtenido. El punto central del peldaño es el que está sometido a un mayor flector siendo este de 5,711E-02 Nm. En la zanca el punto del momento máximo tiene un valor de 2,144E-02 Nm.

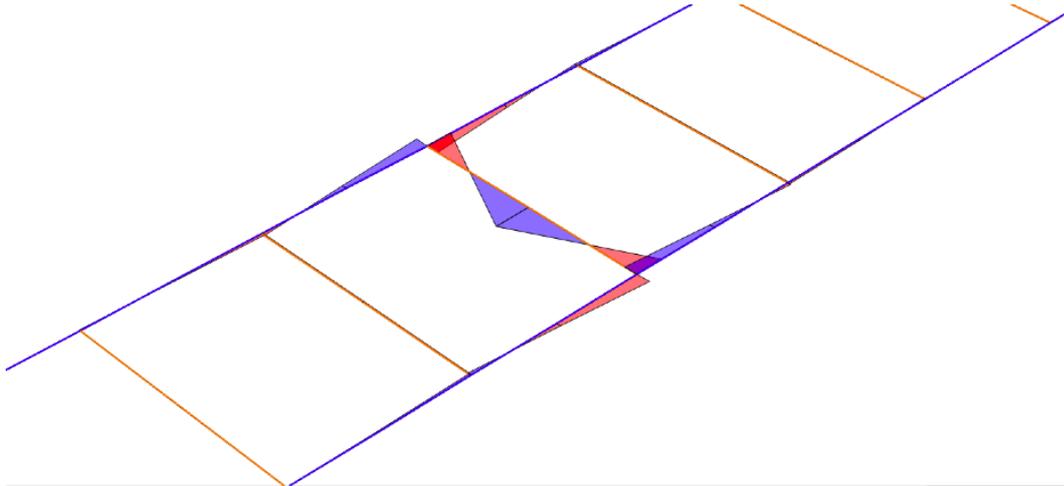


Figura 4-66 Diagrama de flectores

#### 4.5.2.3.6 DIAGRAMA DE CORTANTES

El diagrama de cortante se adjunta en la siguiente figura. El esfuerzo cortante en el peldaño es de 0,5 N y en la zanca los esfuerzos cortantes tienen un valor de  $9,6096E-02$  N. El diagrama se adjunta en la figura 4.67.

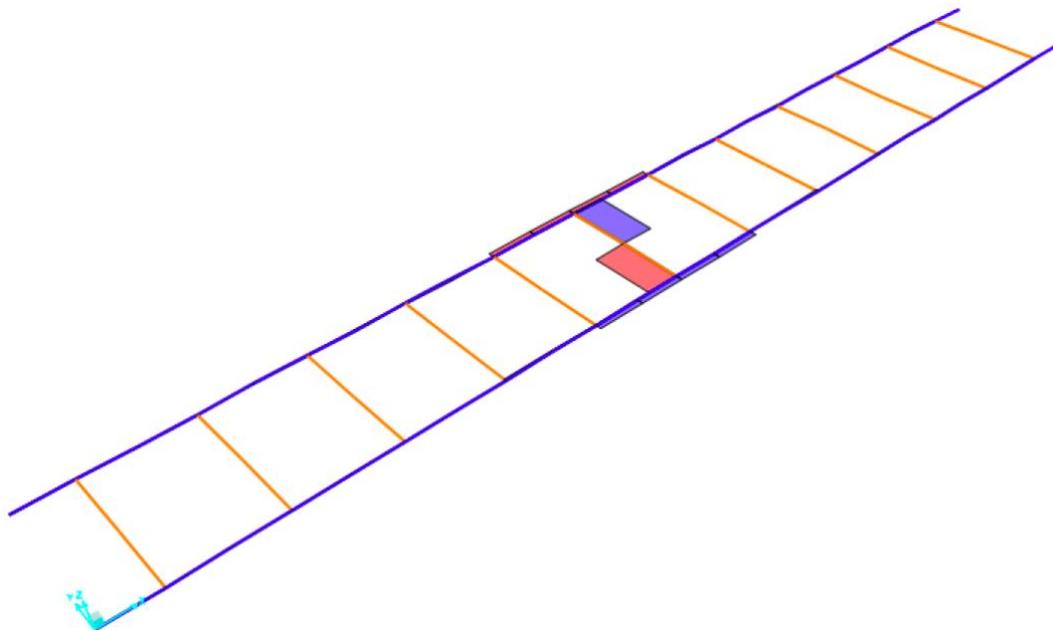
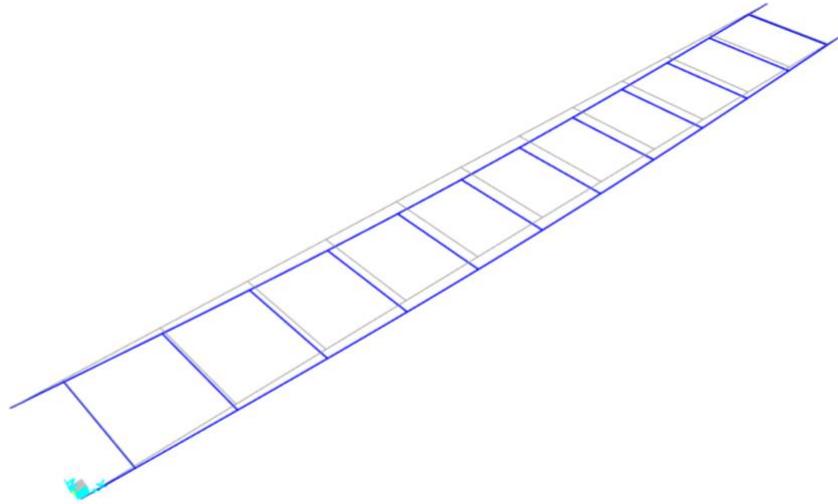


Figura 4-67 Diagrama de cortantes

#### 4.5.2.3.7 PANDEO

El coeficiente de pandeo del primer modo que hemos obtenido es 55994,16. El modo de pandeo lo vemos en la figura 4.68.



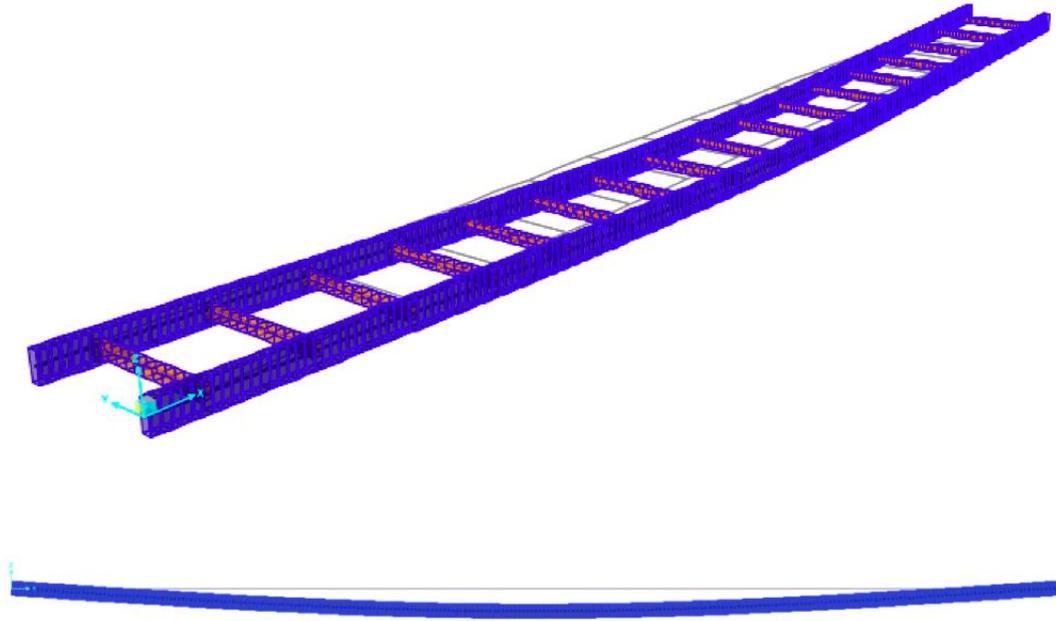
*Figura 4-68 Coeficiente de pandeo.*

### 4.5.3 ESCALERA 3

#### 4.5.3.1 COLOCADA A 0°

##### 4.5.3.1.1 DEFORMADA

En la siguiente figura observamos como la acción de fuerzas desplaza la estructura. Como la fuerza solo tiene componente vertical (eje Z) el desplazamiento solo se produce en esta dirección. El valor máximo de desplazamiento se produce en el escalón central, lugar donde hemos aplicado la fuerza con un valor de  $7.888E-05$  m en la dirección negativa del eje Z.



*Figura 4-69 Deformada.*

Los valores de desplazamiento son muy pequeños debido a que hemos aplicado una carga unitaria.

#### 4.5.3.1.2 AXILES

Para la disposición de la escalera en este ángulo no tiene sentido el estudio del diagrama de axiles debido a que no existe ninguna fuerza que produzca este tipo de esfuerzos.

#### 4.5.3.1.3 TORSIÓN

El diagrama de esfuerzos de torsión figura 4.70, refleja los esfuerzos de torsión que sufren las zancas de la escalera sometido a la fuerza aplicada en el peldaño. Debido a que la flexión de este se transmite en forma de torsión a las zancas de la escalera. Este esfuerzo tiene un valor máximo, en el tramo de las zancas que rodean al peldaño central, de  $1,593E-02$  Nm.

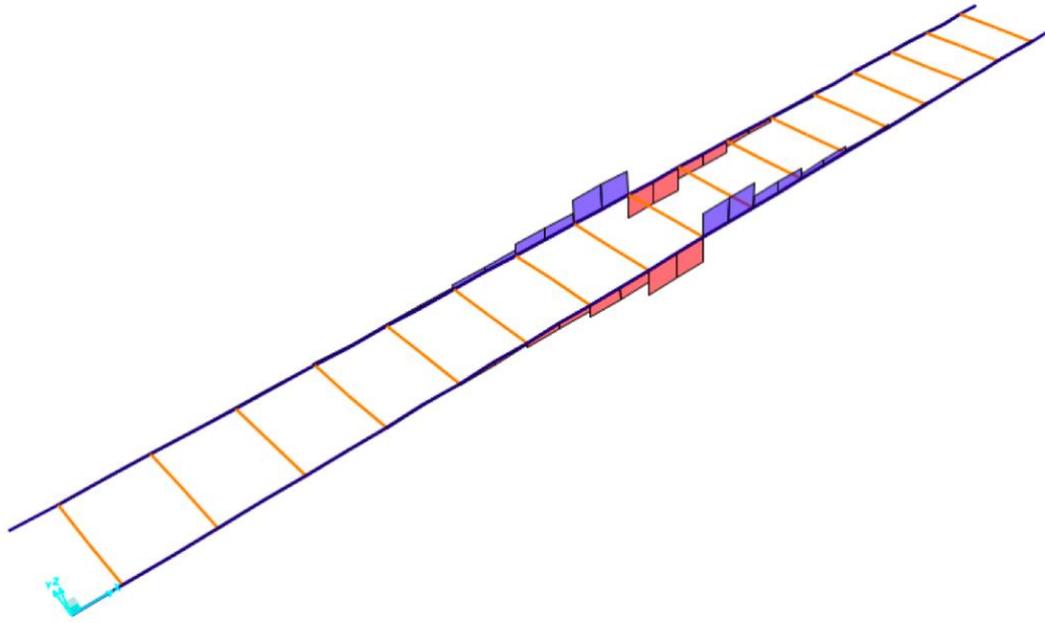


Figura 4-70 Diagrama de torsores.

#### 4.5.3.1.4 DIAGRAMA DE TENSIONES.

En la figura 4.71 mostraremos el diagrama de tensiones. Se trata de la tensión de Von Mises que produce la carga unitaria que hemos aplicado.

Esta tensión es muy importante en el cálculo de estructuras metálicas debido a que los valores obtenidos en estos diagramas nos van a permitir comprobar si para las cargas a las que hemos sometido la escalera estas cumplen la norma y/o si hemos escogido un material con las características adecuadas.

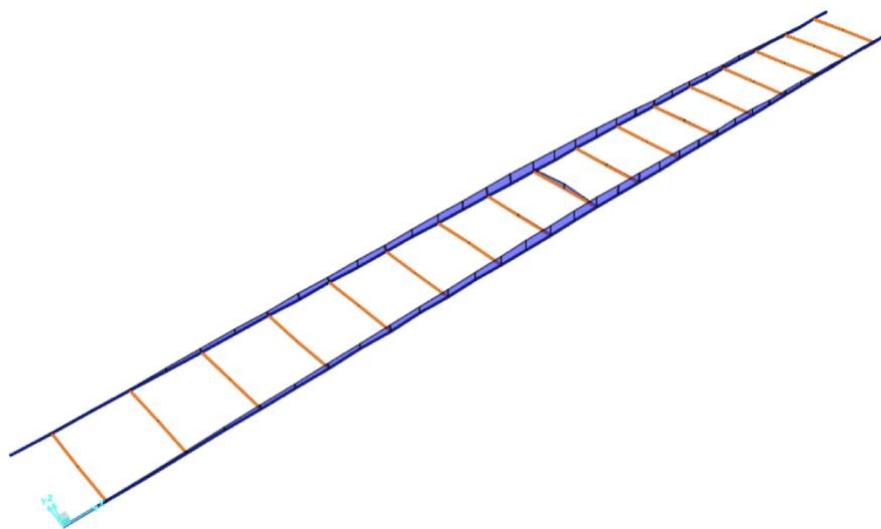
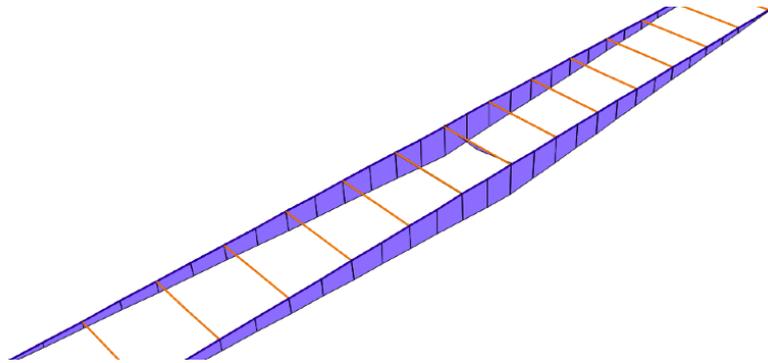


Figura 4-71 Diagrama de tensiones.

El valor máximo de las tensiones en la zanca se produce en el punto central con un valor de 116074,47 Pa y el valor de la tensión máxima del peldaño se produce también en el punto central de este con valor de 53805,61 Pa. Y van disminuyendo a medida que se van alejando del punto central donde se aplica la carga.

#### 4.5.3.1.5 DIAGRAMA DE FLECTORES

Los momentos flectores máximos se producen en el punto central del peldaño, donde aplicamos la fuerza y un valor de  $7,090E-02$  Nm, en la zanca el momento flector máximo es de 0,52 Nm. En la figura 4.72 observamos el diagrama de flectores.



*Figura 4-72 Diagrama de flectores*

#### 4.5.3.1.6 DIAGRAMA DE CORTANTES

El diagrama de cortantes se adjunta en la figura 4.73. En el peldaño tiene unos esfuerzos de 0,5 N y para toda la zanca el valor es de 0,25 N.

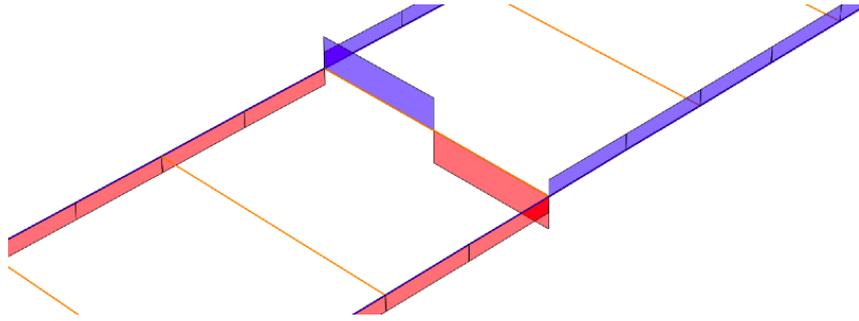


Figura 4-73 Diagrama de cortantes

#### 4.5.3.1.7 PANDEO

No tiene sentido estudiar el coeficiente a pandeo ya que no tenemos axiles que lo provocan.

#### 4.5.3.2 COLOCADA A 45°

##### 4.5.3.2.1 DEFORMADA

En la siguiente figura observamos como la acción de fuerzas desplaza la estructura. En este caso la fuerza tiene componente vertical (eje Z) y componente horizontal (eje X). El valor de desplazamiento en el eje x es de valor  $3,064E-07$  m no es apreciable en la deformada y el desplazamiento en z es de  $5,577E-05$  m

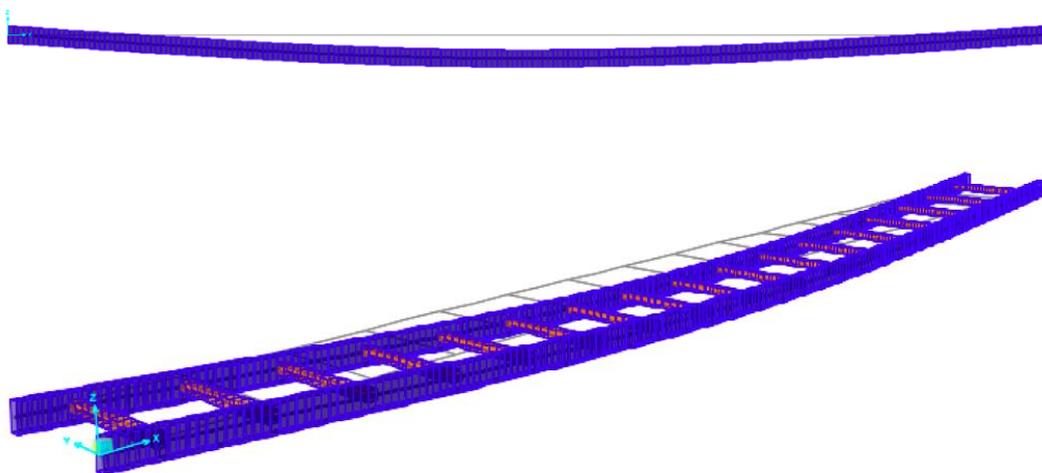


Figura 4-74 Deformada.

#### 4.5.3.2.2 AXILES

La siguiente figura 4.75 refleja los diagramas de axiles que sufre la estructura debido a la carga unitaria aplicada. Los diagramas de axiles de color rojo se corresponden a las zonas donde se encuentran a compresión, mientras que los axiles en color azul, escalón inferior al que se aplica la fuerza corresponden a las zonas donde se encuentran a tracción.

El diagrama de esfuerzos como vemos en la figura es completamente lineal y en la zanca, donde se produce el esfuerzo axial más grande tiene un valor de 0,35 N.

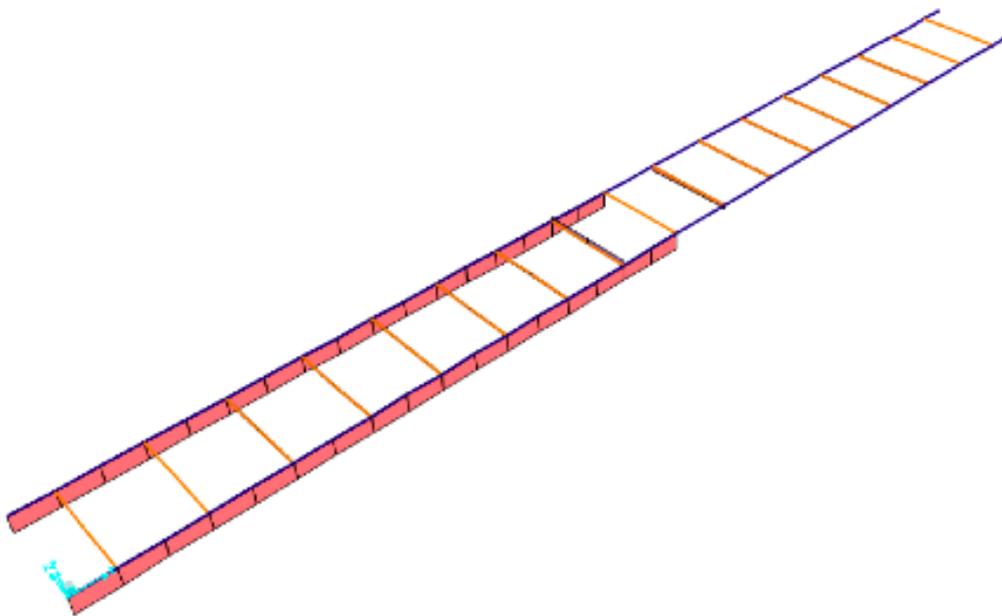


Figura 4-75 Diagrama de axiles.

#### 4.5.3.2.3 TORSIÓN

El diagrama de esfuerzos de torsión figura 4.76, refleja los esfuerzos de torsión que sufren las zancas de la escalera sometido a la fuerza aplicada en el peldaño. Debido a que la flexión de este se transmite en forma de torsión a las zancas de la escalera. Este esfuerzo tiene un valor máximo, en el tramo de las zancas que rodean al peldaño central, de  $5,263E-03$  Nm.

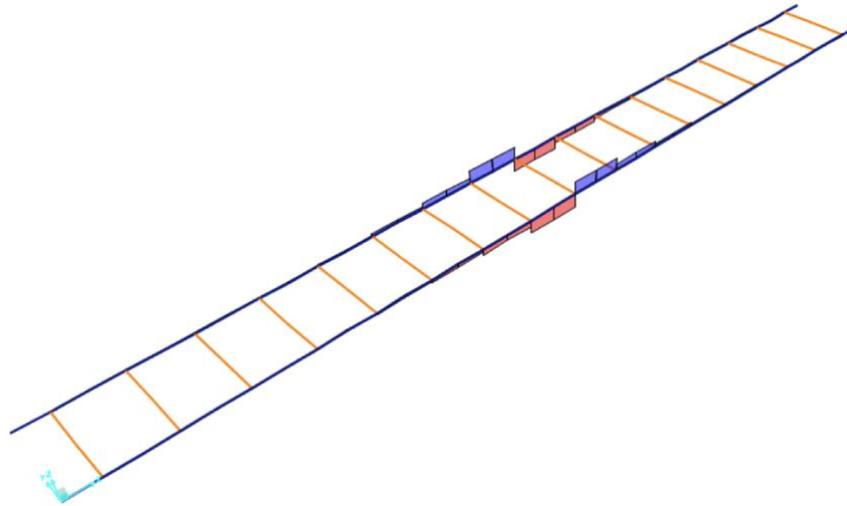


Figura 4-76 Diagrama de torsores.

#### 4.5.3.2.4 DIAGRAMA DE TENSIONES

En la figura 4.77 se reflejan el diagrama de tensiones de la escalera. El valor máximo de las tensiones la zanca se produce en el punto central con un valor de 88855,92 Pa y el valor de la tensión máxima de la zanca se produce también el punto central de este con valor de 67945,73 Pa.

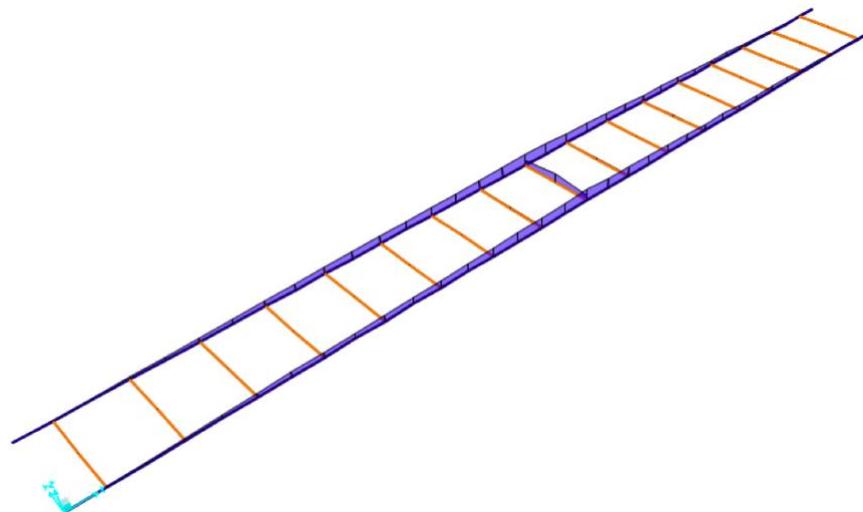


Figura 4-77 Diagrama de tensiones.

#### 4.5.3.2.5 DIAGRAMA DE FLECTORES

Para este ángulo la fuerza aplicada como ya hemos explicado anteriormente se ha descompuesto en los ejes Z y X. Es decir tendremos diagrama de flectores respecto del plano ZX, figura 4.78 y para el plano XY, figura 4.79. En el caso 1 los momentos flectores máximos en el peldaño son de  $5,157E-02$  Nm y  $0,37$  Nm en la zanca, ambos en el punto central como se observa en la figura 4.78, para el caso 2 tenemos en el peldaño  $3,978E-02$  Nm en el punto central y en la zanca el valor es de  $1,546E-02$  Nm.

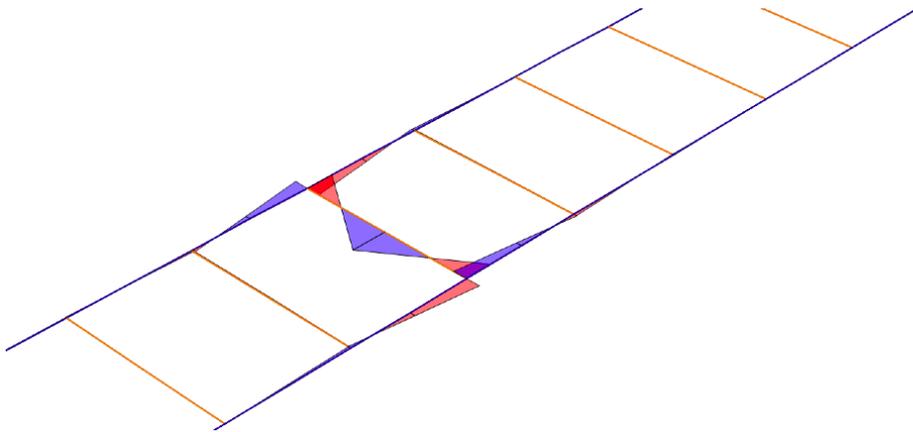


Figura 4-78 Diagrama de flectores 1

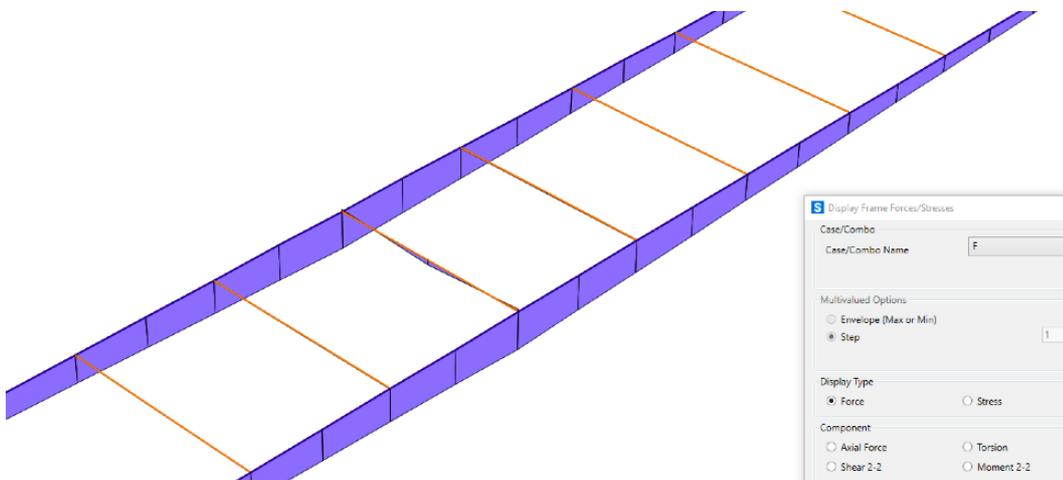


Figura 4-79 Diagrama de flectores 2

#### 4.5.3.2.6 DIAGRAMA DE CORTANTES.

Para este ángulo como ya hemos explicado en el apartado anterior la fuerza esta descompuesta en los dos ejes X y Z por lo que observamos los esfuerzos cortantes respecto de los ejes. Se adjuntan en las figuras 4.80 y figura 4.81. En el caso 1 los esfuerzos cortantes son  $0,35$  N en el peldaño y  $0,175$  N en la zanca. En el caso 2, figura 4.81 los esfuerzos son en el peldaño  $0,35$  N y  $6,863E-02$  N en la zanca.

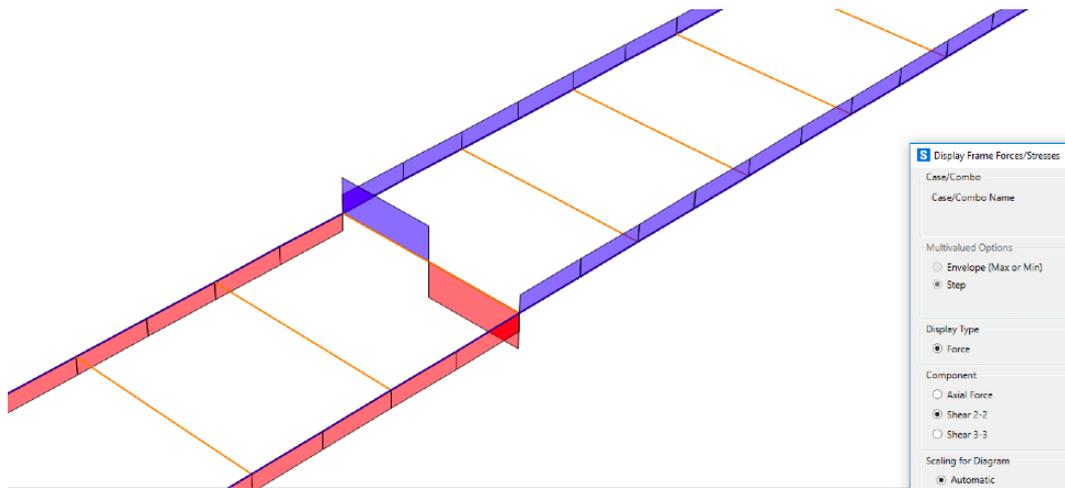


Figura 4-80 Diagrama de cortantes

#### 4.5.3.2.7 PANDEO

El coeficiente de pandeo del primer modo que hemos obtenido es 33431,48976 .El modo de pandeo lo vemos en la figura 4.81.

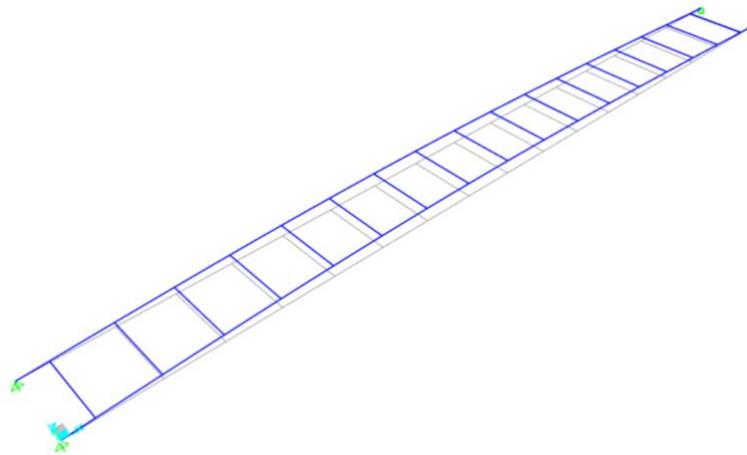
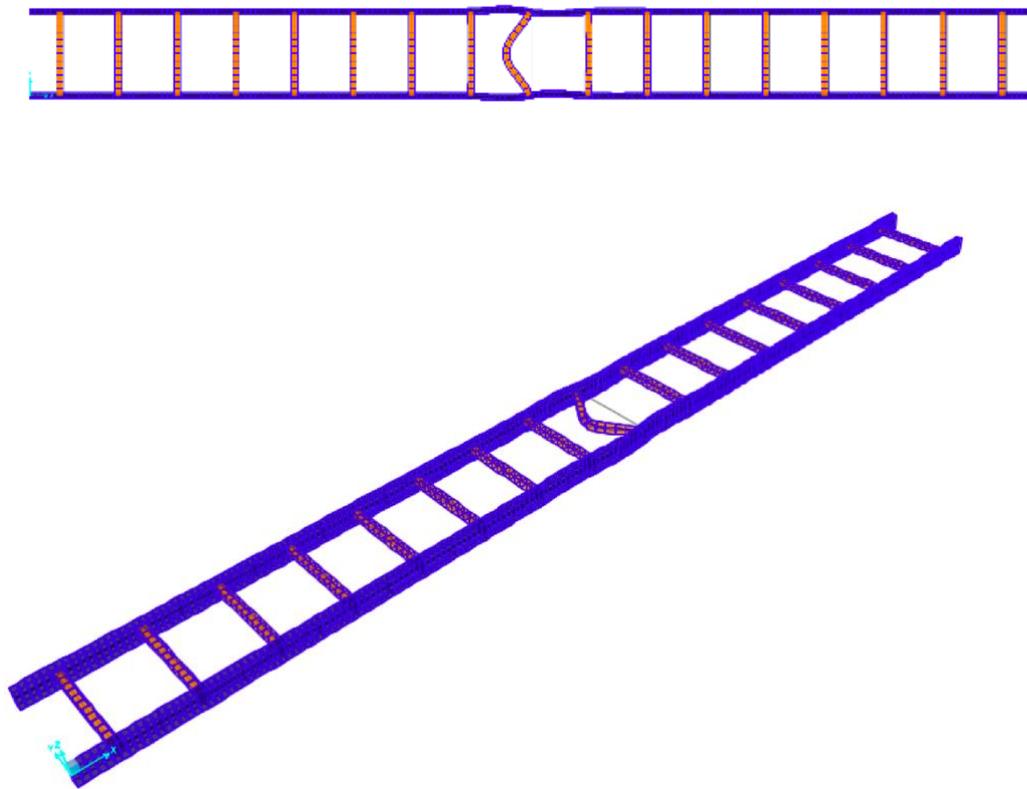


Figura 4-81 Coeficiente de pandeo.

### 4.5.3.3 COLOCADA A 90°

#### 4.5.3.3.1 DEFORMADA.

En la siguiente figura observamos como la acción de fuerzas deforma la escalera como con la fuerza unitaria no se aprecia desplazamiento a modo de ejemplo lo calculamos también con una fuerza de 1000 N. El valor de desplazamiento solo tiene componente en el eje X debido a que solo existe fuerza aplicada en esa dirección.



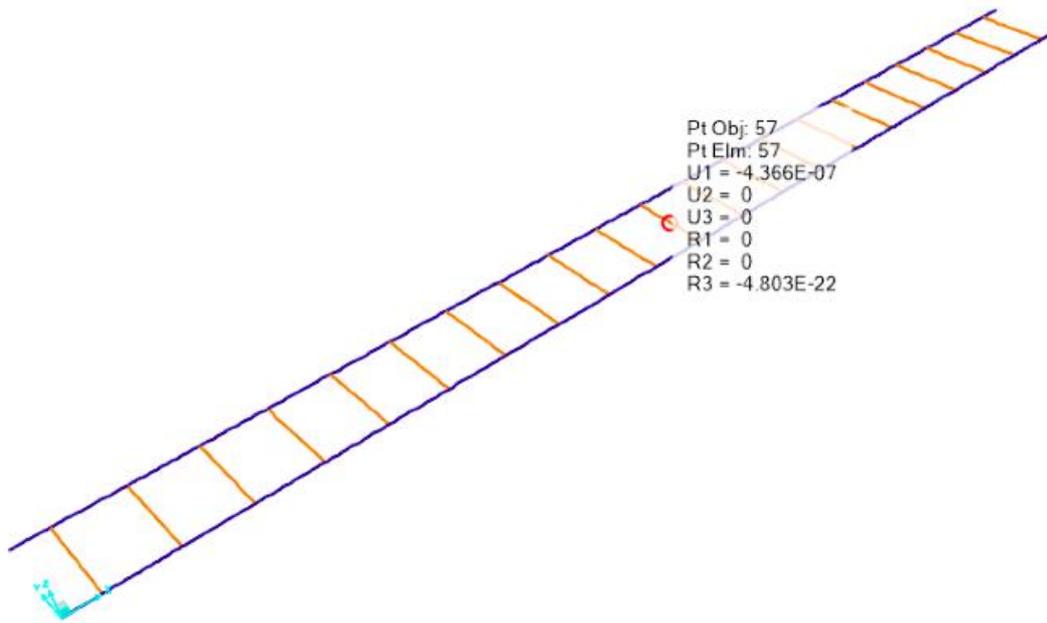


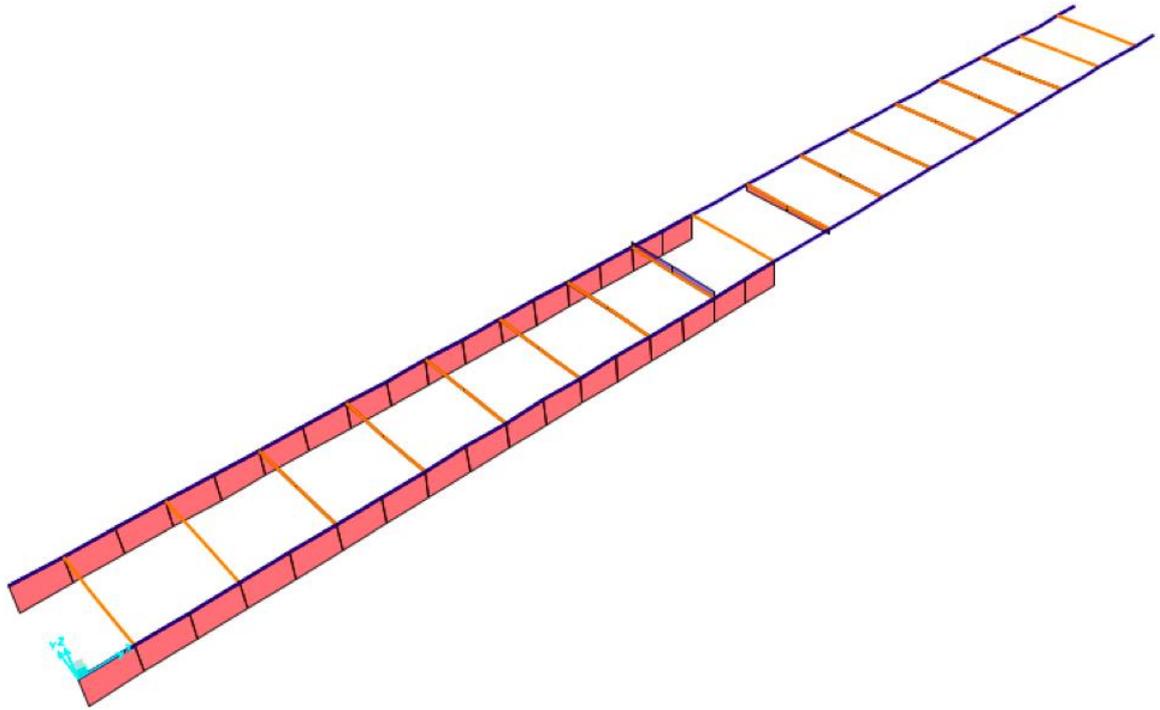
Figura 4-82 Deformada.

Como observamos en las figuras el desplazamiento aplicando la fuerza de valor 1000 N 0,000434m es mayor que con la fuerza unitaria 4,334E-07 m pero aun así es muy pequeño.

#### 4.5.3.3.2 AXILES

La figura 4.83 refleja los diagramas de axiles que sufre la estructura debido a la carga unitaria aplicada. Los diagramas de axiles de color rojo se corresponden a las zonas donde se encuentran a compresión, mientras que los axiles en color azul, escalón inferior al que se aplica la fuerza corresponden a las zonas donde se encuentran a tracción.

El diagrama de esfuerzos como vemos en la figura es completamente lineal y en la zanca, donde se produce el esfuerzo axil más grande tiene un valor de 0,5 N.



*Figura 4-83 Diagrama de axiles.*

#### 4.5.3.3.3 TORSOR

Este diagrama no tiene sentido representarlo ya que para esta carga aplicada no se produce torsión en las zancas.

#### 4.5.3.3.4 DIAGRAMA DE TENSIONES

En la figura 4.84 se reflejan el diagrama de tensiones de la escalera.

El valor máximo de las tensiones en el peldaño se produce en el punto central con un valor de 43221,16 Pa y el valor de la tensión máxima de la zanca se produce también en el punto central de este con valor de 9809,29Pa.

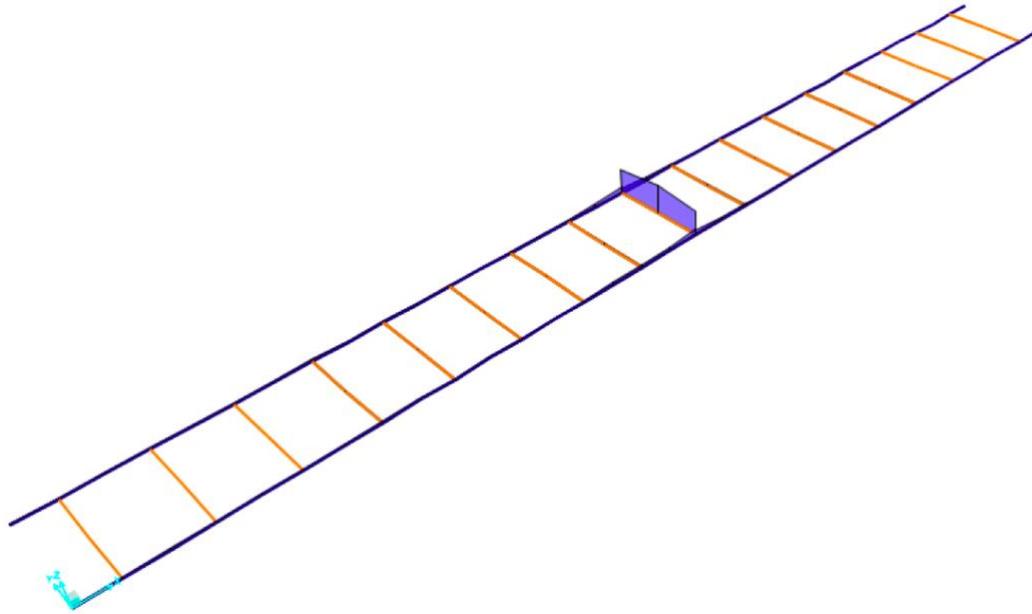


Figura 4-84 Diagrama de tensiones.

#### 4.5.3.3.5 DIAGRAMA DE FLECTORES

En la figura 4.85 se adjunta el diagrama de flectores obtenido. El punto central del peldaño es el que está sometido a un mayor flector siendo este de  $5,627E-02$  Nm. En la zanca el punto del momento máximo tiene un valor de  $2,186E-02$  Nm.

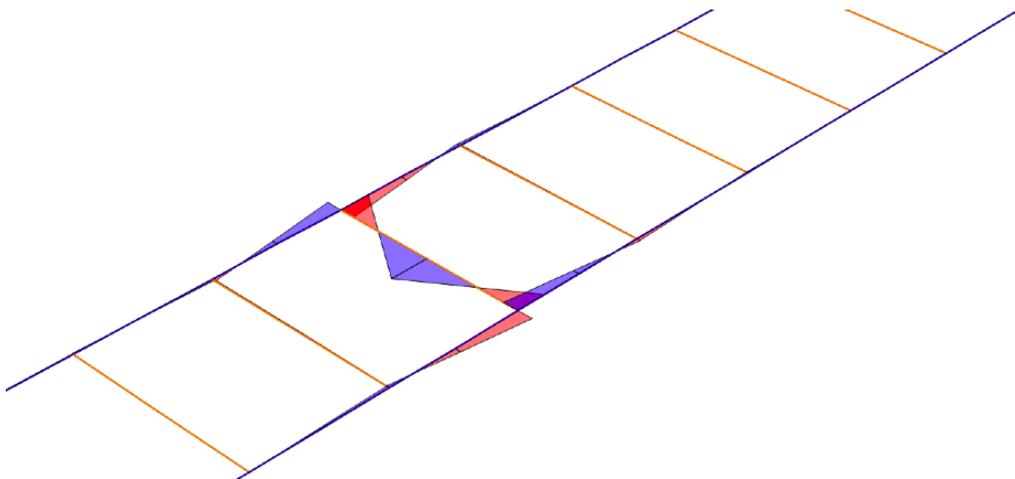


Figura 4-85 Diagrama de flectores

#### 4.5.3.3.6 DIAGRAMA DE CORTANTES

El diagrama de cortante se adjunta en la siguiente figura. El esfuerzo cortante en el peldaño es de 0,5 N y en la zanca los esfuerzos cortantes tienen un valor de  $9,707E-02$  N. El diagrama se adjunta en la figura 4.86.

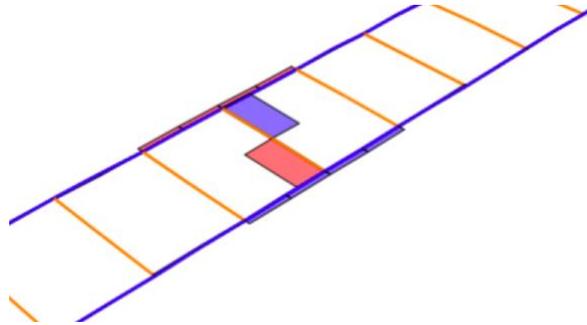


Figura 4-86 Diagrama de cortantes

#### 4.5.3.3.7 PANDEO

El coeficiente de pandeo del primer modo que hemos obtenido es 23636,06326. El modo de pandeo lo vemos en la figura 4.87.

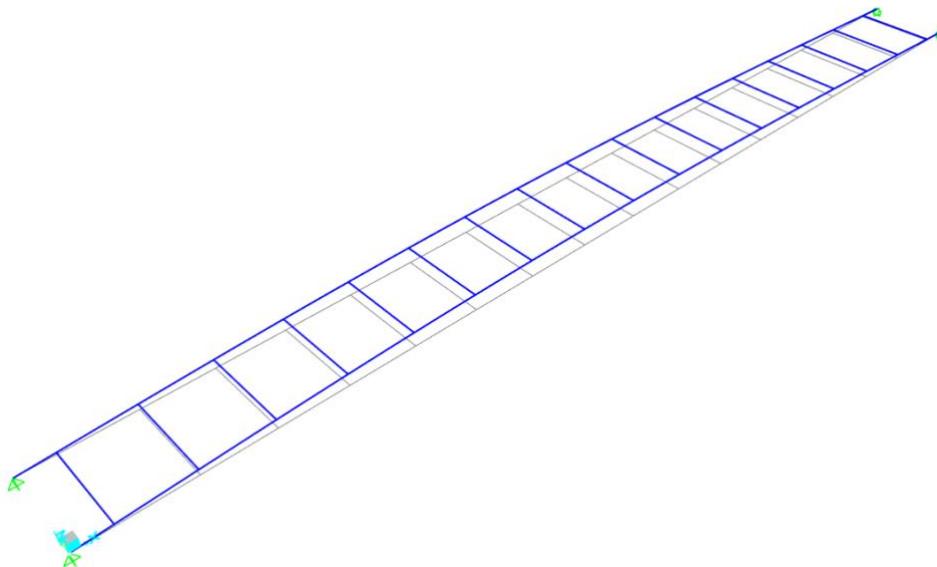


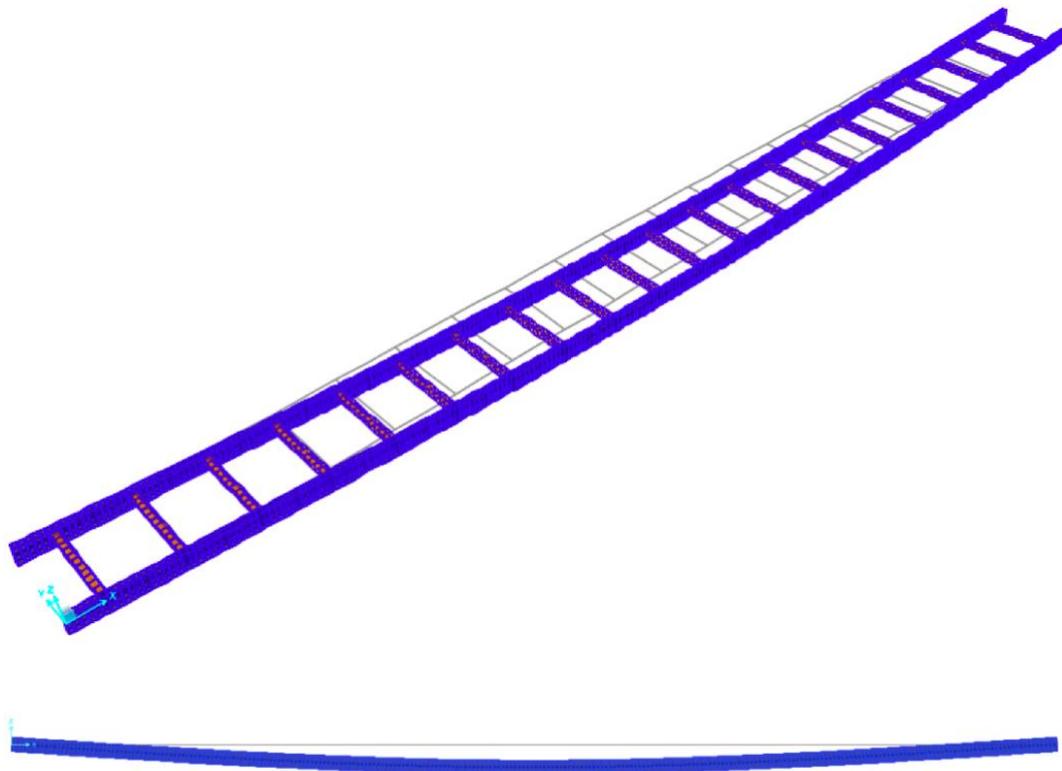
Figura 4-87 Coeficiente de Pandeo.

#### 4.5.4 ESCALERA 4

##### 4.5.4.1 COLOCADA A 0°

###### 4.5.4.1.1 DEFORMADA

En la siguiente figura observamos como la acción de fuerzas desplaza la estructura. Como la fuerza solo tiene componente vertical (eje Z) el desplazamiento solo se produce en esta dirección. El valor máximo de desplazamiento se produce en el escalón central, lugar donde hemos aplicado la fuerza con un valor de 0,0002 m en la dirección negativa del eje Z.



*Figura 4-88 Deformada.*

Los valores de desplazamiento son muy pequeños debido a que hemos aplicado una carga unitaria

#### 4.5.4.1.2 AXILES

Para la disposición de la escalera en este ángulo no tiene sentido el estudio del diagrama de axiles debido a que no existe ninguna fuerza que produzca este tipo de esfuerzos.

#### 4.5.4.1.3 TORSIÓN

El diagrama de esfuerzos de torsión, figura 4.89, refleja los esfuerzos de torsión que sufren las zancas de la escalera sometido a la fuerza aplicada en el peldaño. Debido a la flexión del peldaño, se transmite en forma de torsión a las zancas de la escalera. Este esfuerzo tiene un valor máximo, en el tramo de las zancas que rodean al peldaño central, de  $1,455E-02$  Nm.

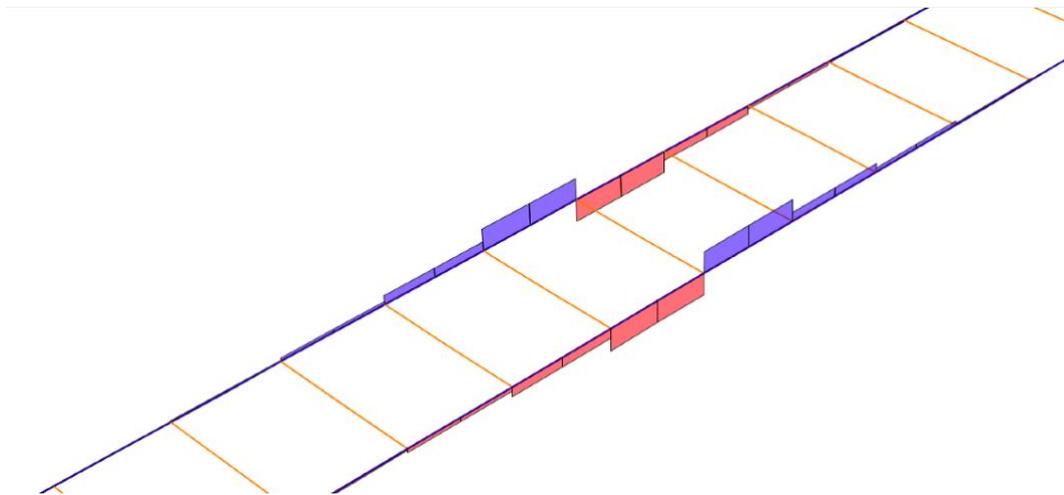


Figura 4-89 Diagrama de torsores.

#### 4.5.4.1.4 DIAGRAMA DE TENSIONES.

En la figura 4. 90 mostraremos el diagrama de tensiones. Se trata de la tensión de Von Mises que produce la carga unitaria que hemos aplicado.

Esta tensión es muy importante en el cálculo de estructuras metálicas debido a que los valores obtenidos en estos diagramas nos van a permitir comprobar si para las cargas a las que hemos sometido la escalera estas cumplen la norma y/o si hemos escogido un material con las características adecuadas.

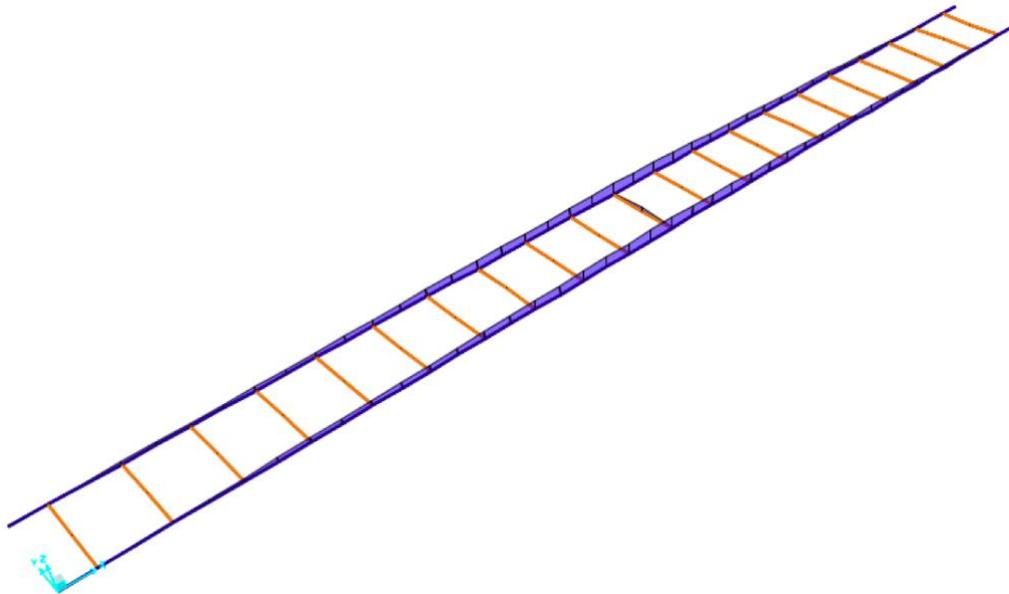


Figura 4-90 Diagrama de tensiones.

El valor máximo de las tensiones en la zanca se produce en el punto central con un valor de 1550152,77 Pa y el valor de la tensión máxima del peldaño se produce también en el punto central de este con un valor de 55950,05 Pa. Y van disminuyendo a medida que se van alejando del punto central donde se aplica la carga.

#### 4.5.4.1.5 DIAGRAMA DE FLECTORES

Los momentos flectores máximos se producen en el punto central del peldaño, donde aplicamos la fuerza y un valor de  $7,090E-02$  Nm, en la zanca el momento flector máximo es de 0,72 Nm. En la figura 4.91 observamos el diagrama de flectores.

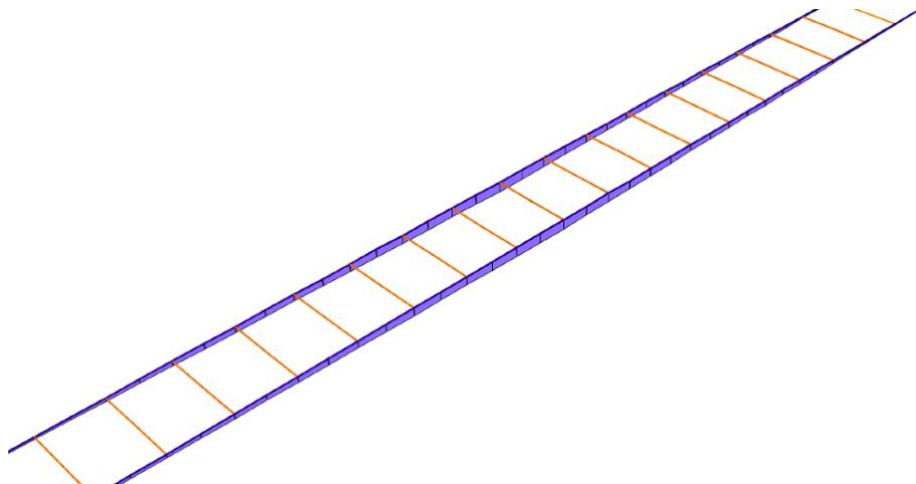
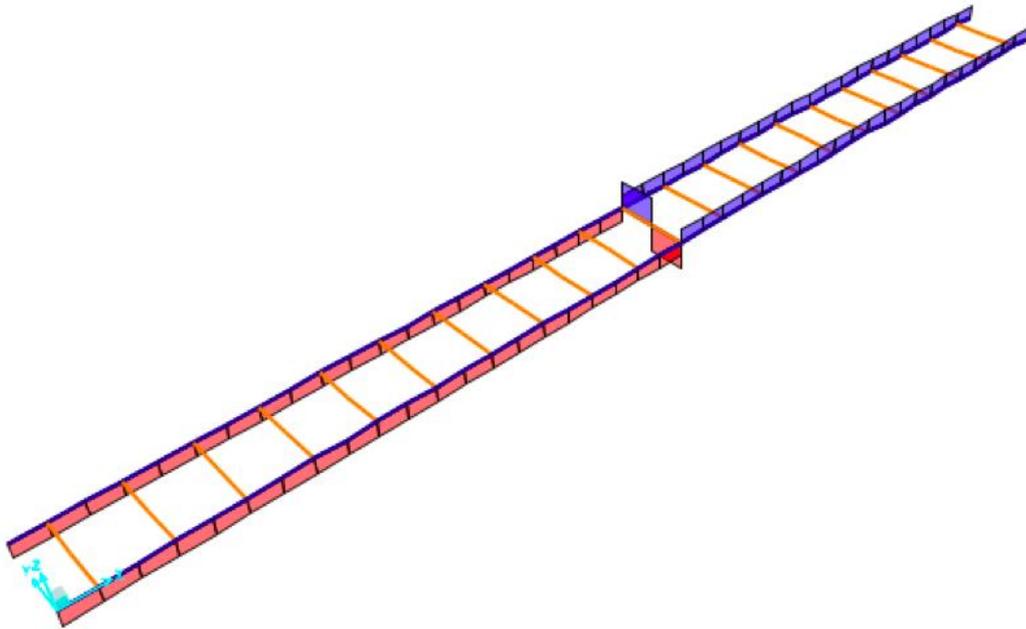


Figura 4-91 Diagrama de flectores

#### 4.5.4.1.6 DIAGRAMA DE CORTANTES

El diagrama de cortantes se adjunta en la figura 4.92. En el peldaño tiene unos esfuerzos de 0,5 N y para toda la zanca el valor es de 0,25 N.



*Figura 4-92 Diagrama de cortantes*

#### 4.5.4.1.7 PANDEO

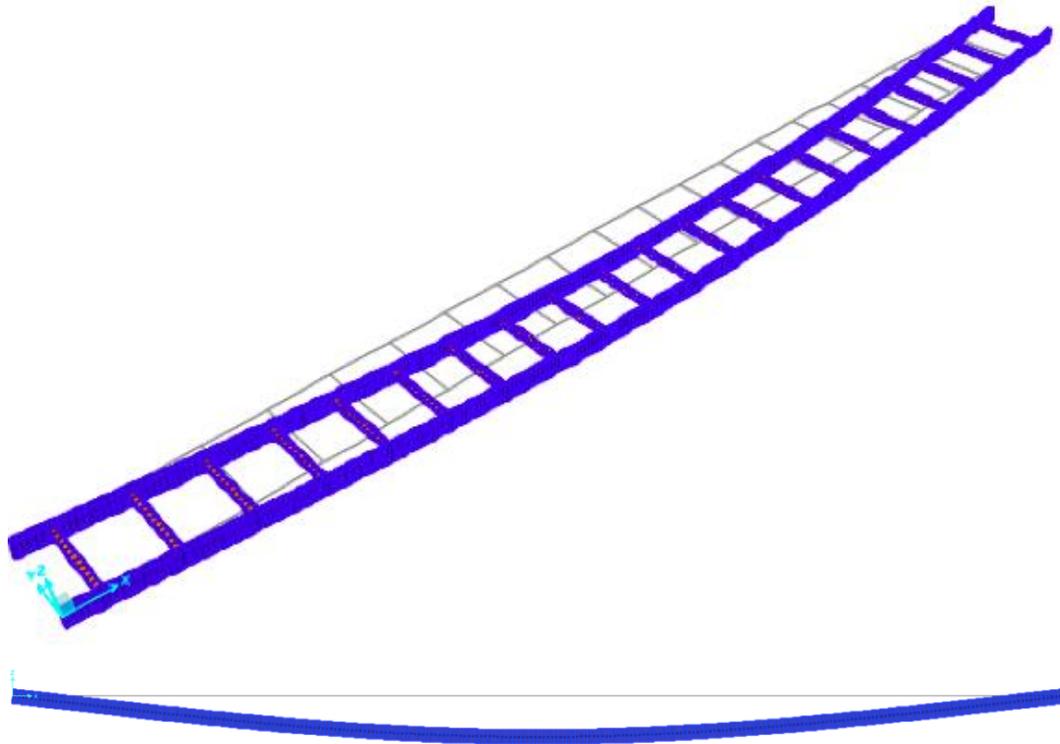
No tiene sentido estudiar el coeficiente a pandeo ya que no tenemos ninguna fuerza que someta a la estructura a axil.

#### 4.5.4.2 COLOCADA A 45°

##### 4.5.4.2.1 DEFORMADA

En la siguiente figura observamos como la acción de fuerzas desplaza la estructura. En este caso la fuerza tiene componente vertical (eje Z) y componente horizontal (eje X). El valor de desplazamiento en el eje x es de valor

$3,388E-07$  m no es apreciable en la deformada y el desplazamiento en z es de  $1E-04$  m.



*Figura 4-93 Deformada.*

#### 4.5.4.2.2 AXILES

La siguiente figura refleja los diagramas de axiles que sufre la estructura debido a la carga unitaria aplicada. Los diagramas de axiles de color rojo se corresponden a las zonas donde se encuentran a compresión, mientras que los axiles en color azul, escalón inferior al que se aplica la fuerza corresponden a las zonas donde se encuentran a tracción.

El diagrama de esfuerzos como vemos en la figura es completamente lineal y en la zanca, donde se produce el esfuerzo axil más grande tiene un valor de  $0,35$  N.

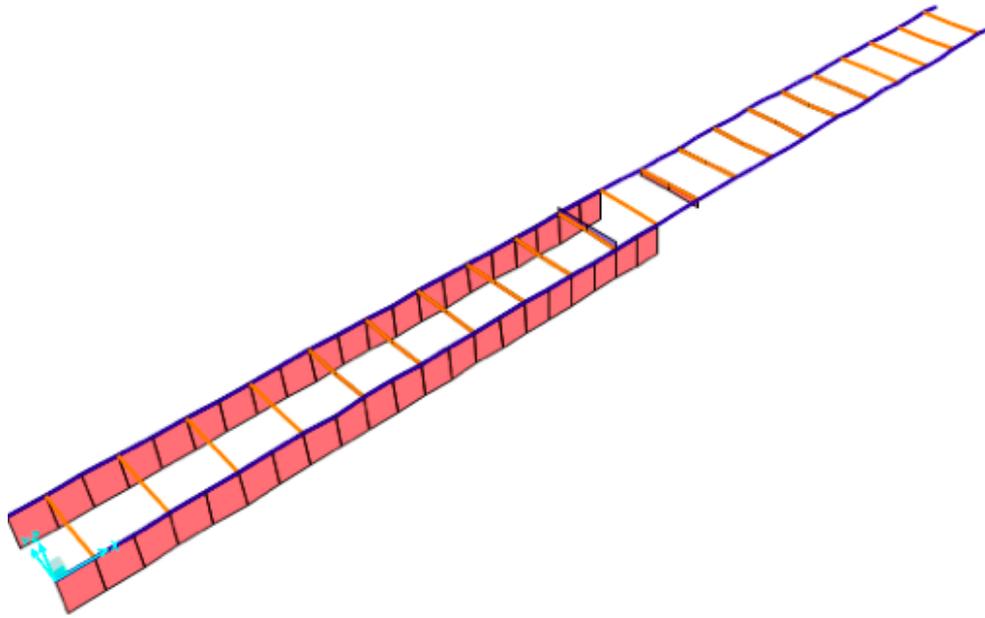


Figura 4-94 Diagrama de axiles.

#### 4.5.4.2.3 TORSIÓN

El diagrama de esfuerzos de torsión figura 4.95, refleja los esfuerzos de torsión que sufren las zancas de la escalera sometido a la fuerza aplicada en el peldaño. Debido a que la flexión de este se transmite en forma de torsión a las zancas de la escalera. Este esfuerzo tiene un valor máximo, en el tramo de las zancas que rodean al peldaño central, de  $4,222E-03$  Nm.

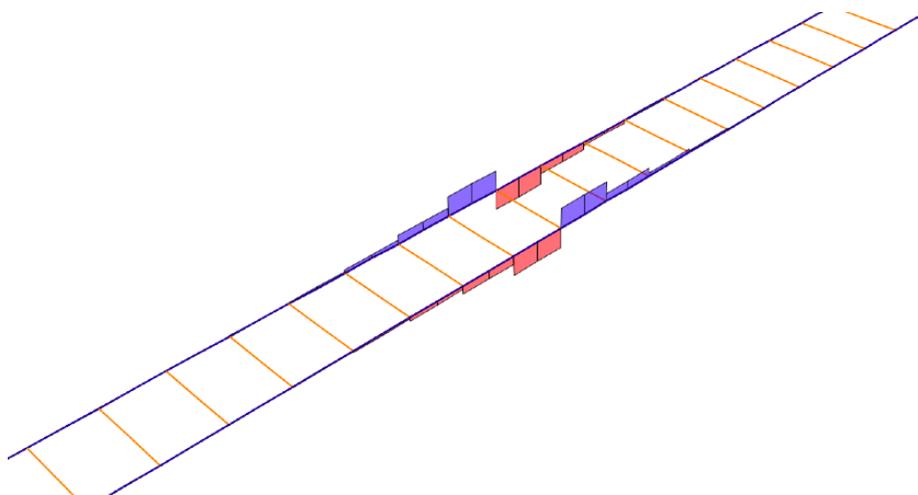


Figura 4-95 Diagrama de torsores.

#### 4.5.4.2.4 DIAGRAMA DE TENSIONES

En la figura 4.96 se reflejan el diagrama de tensiones de la escalera. El valor máximo de las tensiones la zanca se produce en el punto central con un valor de 119386,27 Pa y el valor de la tensión máxima de la zanca se produce también el punto central de este con valor de 70451,32 Pa.

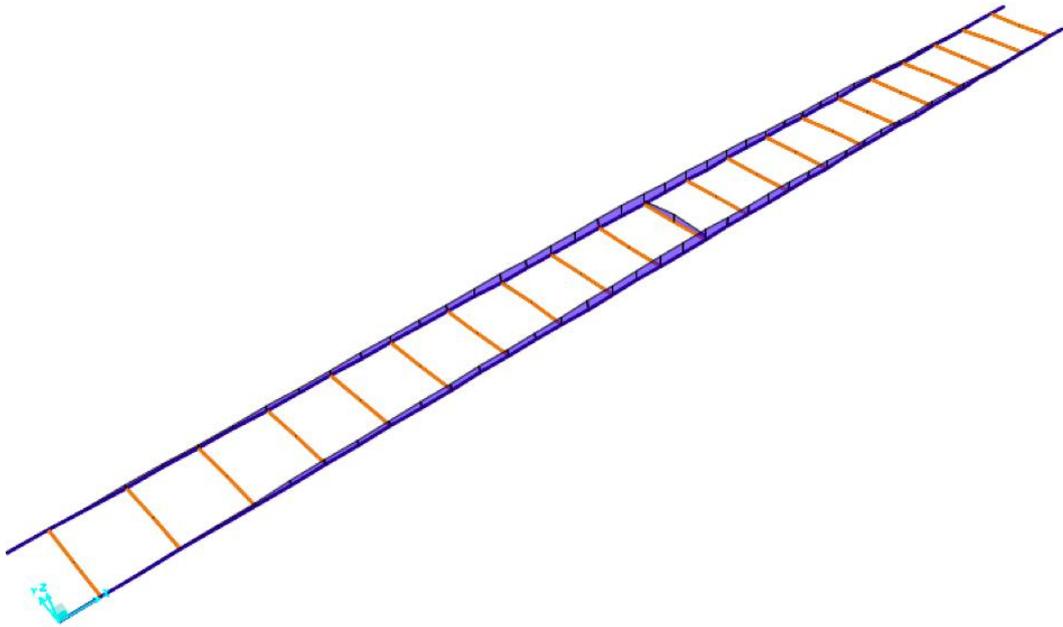


Figura 4-96 Diagrama de tensiones.

#### 4.5.4.2.5 DIAGRAMA DE FLECTORES

Para este ángulo la fuerza aplicada como ya hemos explicado anteriormente se ha descompuesto en los ejes Z y X. Es decir tendremos diagrama de flectores respecto del plano ZX, figura 4.97 y para el plano XY, figura 4.98. En el caso 1 los momentos flectores máximos en el peldaño son de 5,013E-02 Nm y 0,52 Nm en la zanca, ambos en el punto central como se observa en la figura 4.97, para el caso 2 tenemos en el peldaño 3,978E-02 Nm en el punto central y en la zanca el valor es de 1,546E-02 Nm.

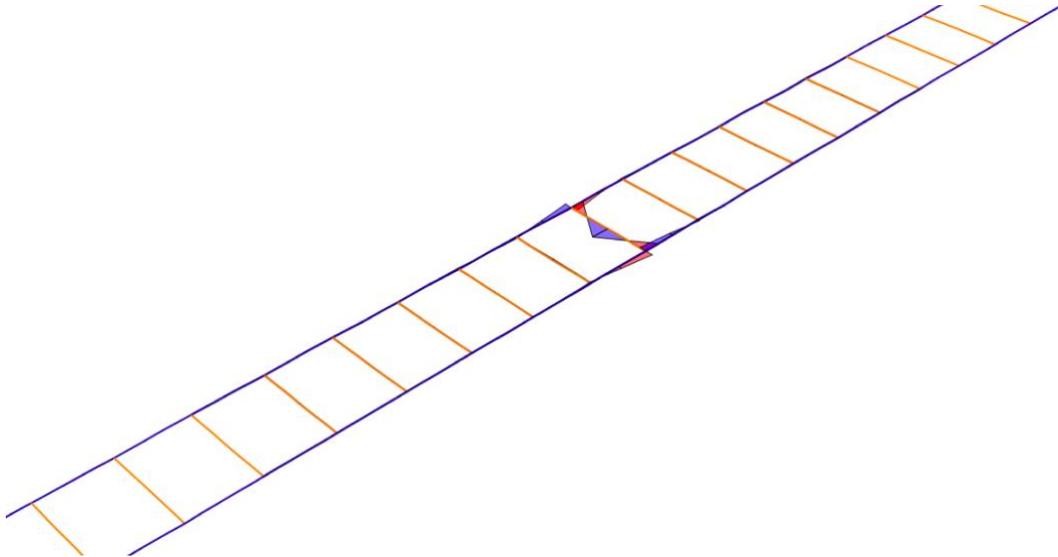


Figura 4-97 Diagrama de flectores 1

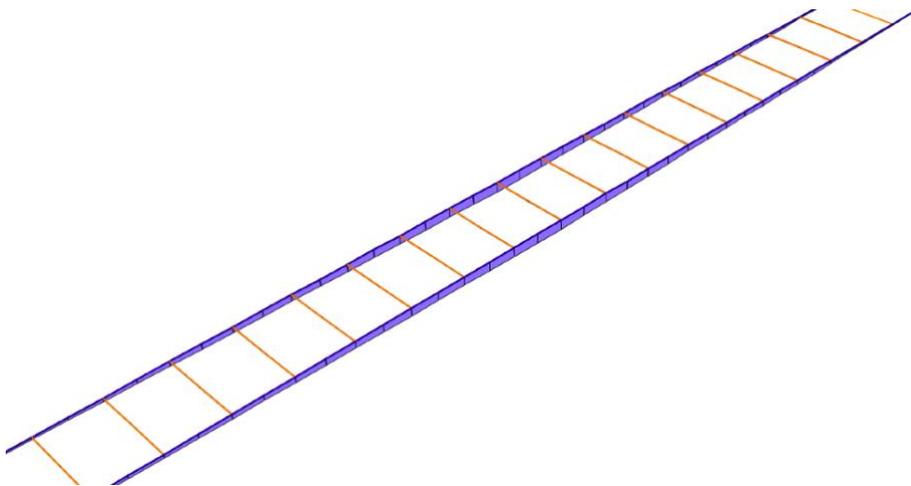


Figura 4-98 Diagrama de flectores 2

#### 4.5.4.2.6 DIAGRAMA DE CORTANTES

Para este ángulo como ya hemos explicado en el apartado anterior la fuerza esta descompuesta en los dos ejes X y Z por lo que observamos los esfuerzos cortantes respecto de los ejes. Se adjuntan en las figuras 4.99 y figura 4.100. En el caso 1 los esfuerzos cortantes son 0,35 N en el peldaño y 0,175 N en la zanca. En el caso 2, figura 4.100. los esfuerzos son en el peldaño 0,35 N y  $6,863E-02N$  en la zanca.

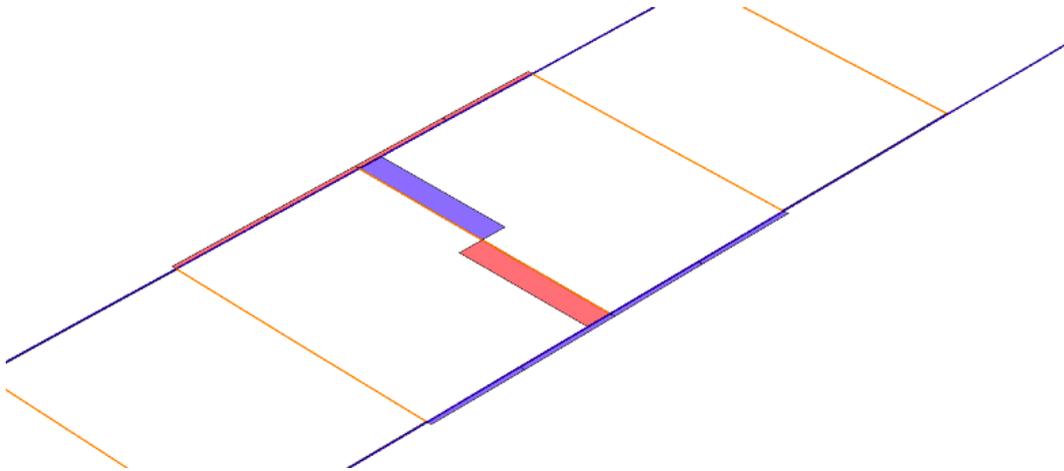


Figura 4-99 Diagrama de cortantes 1

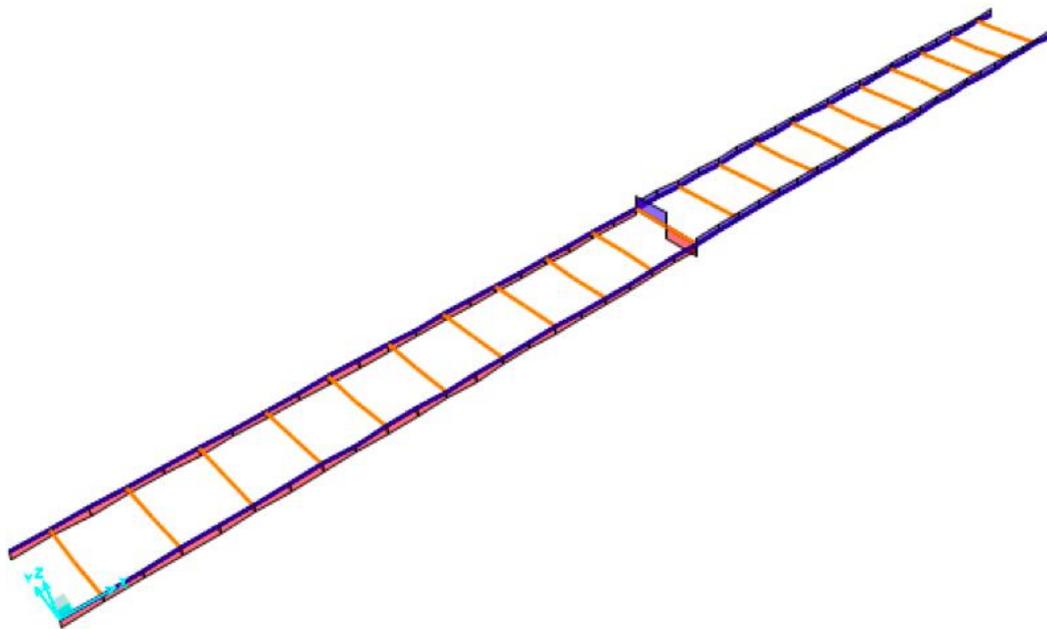
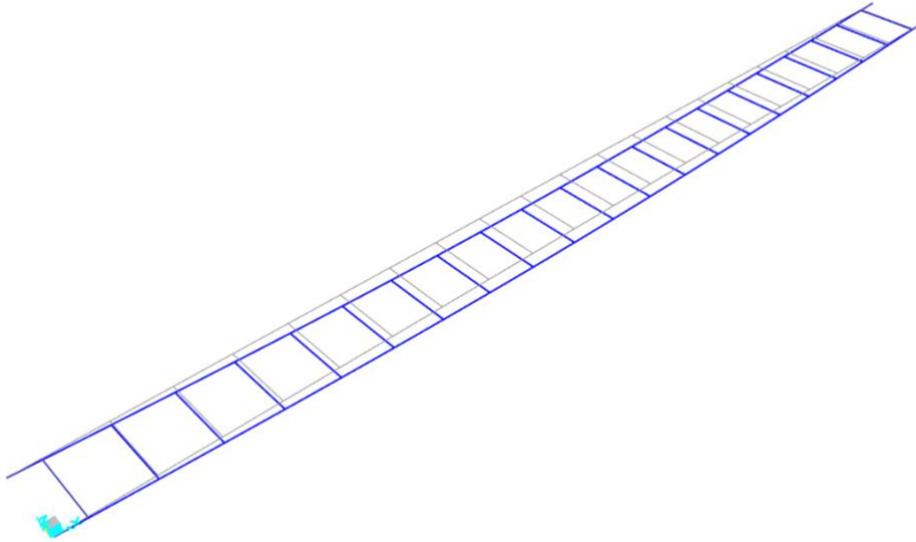


Figura 4-100 Diagrama de cortantes 2

#### 4.5.4.2.7 PANDEO

El factor de pandeo es 23636,06326. El coeficiente de pandeo indicado es el primer viene indicado en la figura 4.101.



*Figura 4-101 Coeficiente de Pandeo.*

### 4.5.4.3 COLOCADA A 90°

#### 4.5.4.3.1 DEFORMADA.

En la siguiente figura observamos como la acción de fuerzas deforma la escalera como con la fuerza unitaria no se aprecia desplazamiento a modo de ejemplo lo calculamos también con una fuerza de 1000 N. El valor de desplazamiento solo tiene componente en el eje X debido a que solo existe fuerza aplicada en esa dirección.

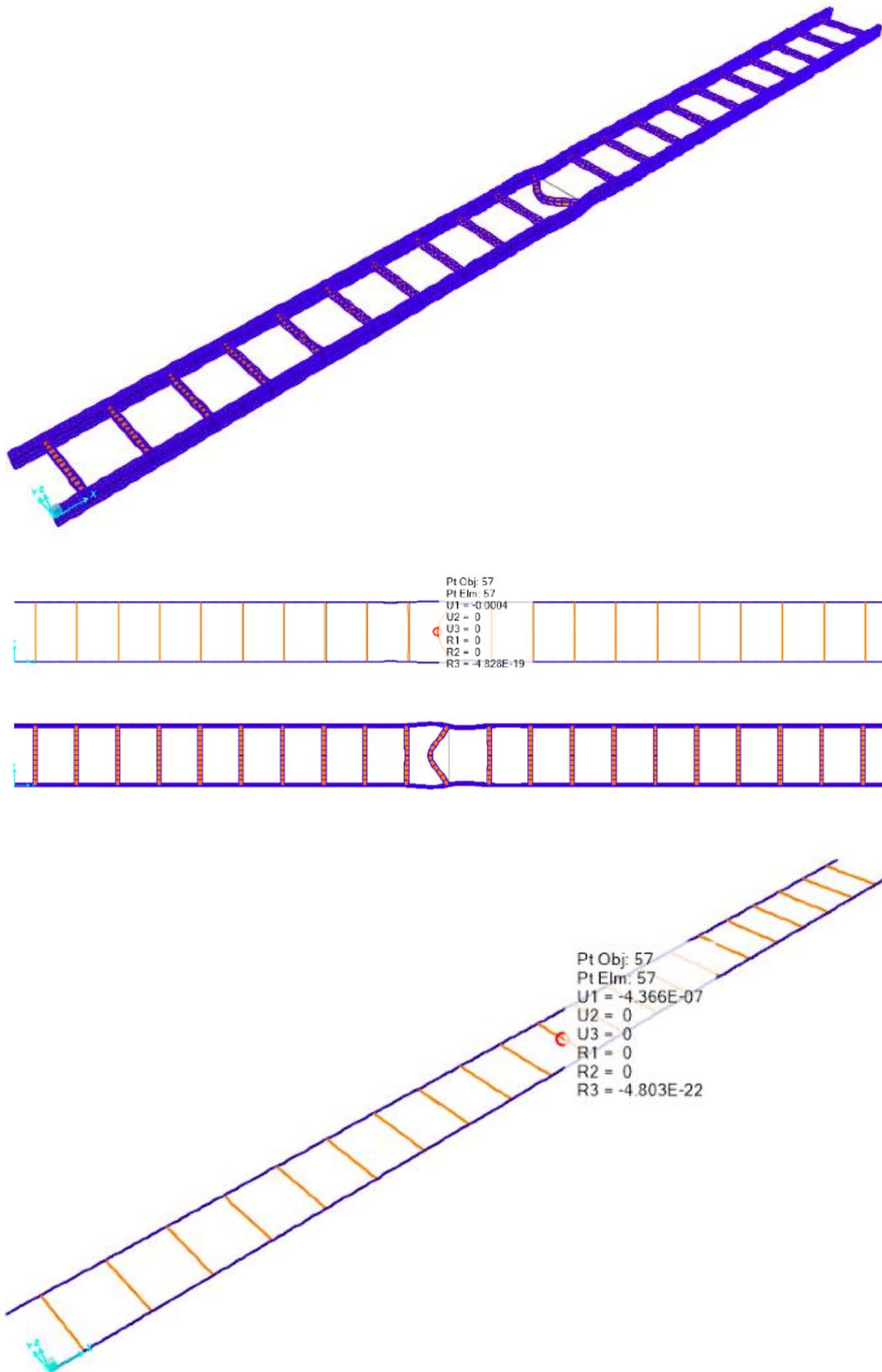


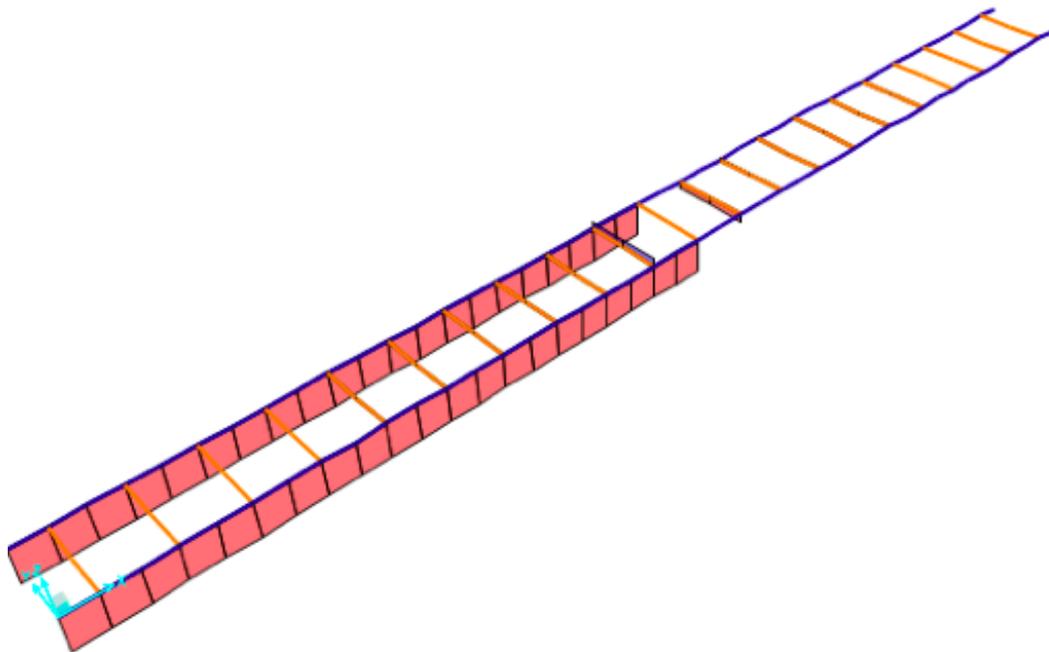
Figura 4-102 Deformada.

Como observamos en las figuras el desplazamiento aplicando la fuerza de valor 1000 N 0,0004m es mayor que con la fuerza unitaria  $4,366E-07$  m. pero aun así es muy pequeño.

#### 4.5.4.3.2 AXILES

La siguiente figura refleja los diagramas de axiles que sufre la estructura debido a la carga unitaria aplicada. Los diagramas de axiles de color rojo se corresponden a las zonas donde se encuentran a compresión, mientras que los axiles en color azul, escalón inferior al que se aplica la fuerza corresponden a las zonas donde se encuentran a tracción.

El diagrama de esfuerzos como vemos en la figura es completamente lineal y en la zanca, donde se produce el esfuerzo axil más grande tiene un valor de 0,5 N.



*Figura 4-103 Diagrama de axiles.*

#### 4.5.4.3.3 TORSOR

Este diagrama no tiene sentido representarlo ya que para esta carga aplicada no se produce torsión en las zancas.

#### 4.5.4.3.4 DIAGRAMA DE TENSIONES

En la figura 4.104. se reflejan el diagrama de tensiones de la escalera.

El valor máximo de las tensiones en el peldaño se produce en el punto central con un valor de 44588,95 Pa y el valor de la tensión máxima de la zanca se produce también en el punto central de este con valor de 11445 Pa.

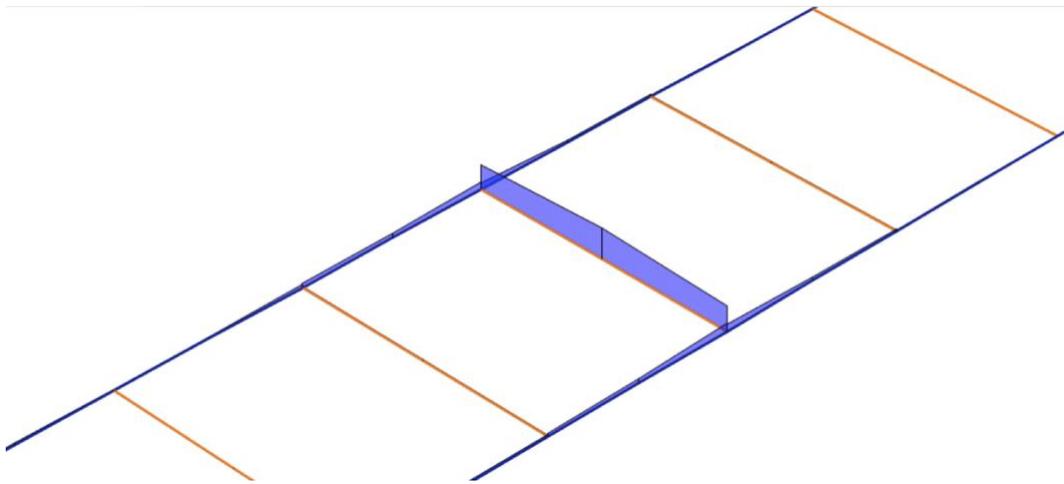


Figura 4-104 Diagrama de tensiones.

#### 4.5.4.3.5 DIAGRAMA DE FLECTORES

En la figura 4.105 se adjunta el diagrama de flectores obtenido. El punto central del peldaño es el que está sometido a un mayor flector siendo este de 5,627E-02 Nm. En la zanca el punto del momento máximo tiene un valor de 2,186E-02 Nm.

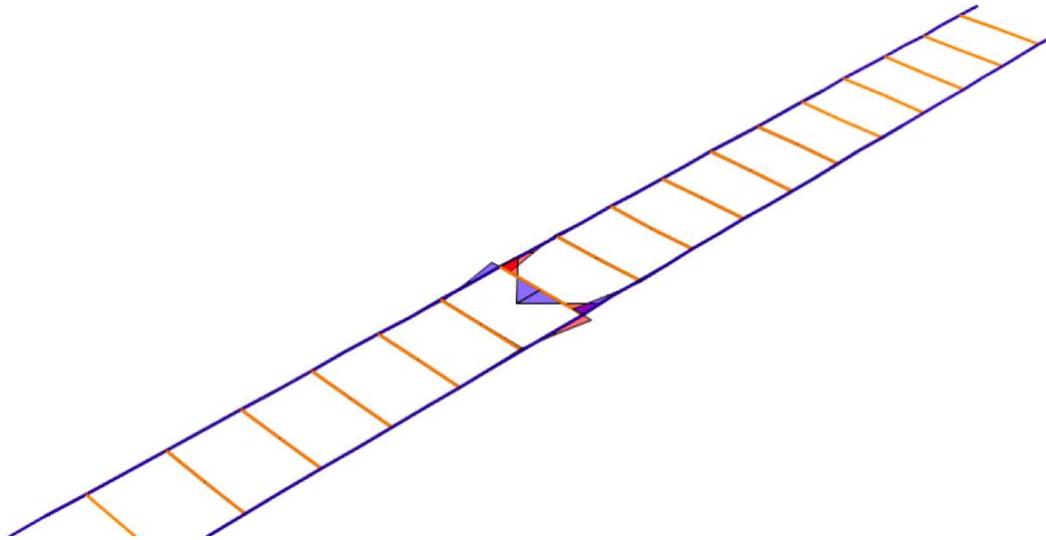


Figura 4-105 Diagrama de flectores

#### 4.5.4.3.6 DIAGRAMA DE CORTANTES

El diagrama de cortante se adjunta en la siguiente figura. El esfuerzo cortante en el peldaño es de 0,5 N y en la zanca los esfuerzos cortantes tienen un valor de  $9,707E-02$  N. El diagrama se adjunta en la figura 4.106.

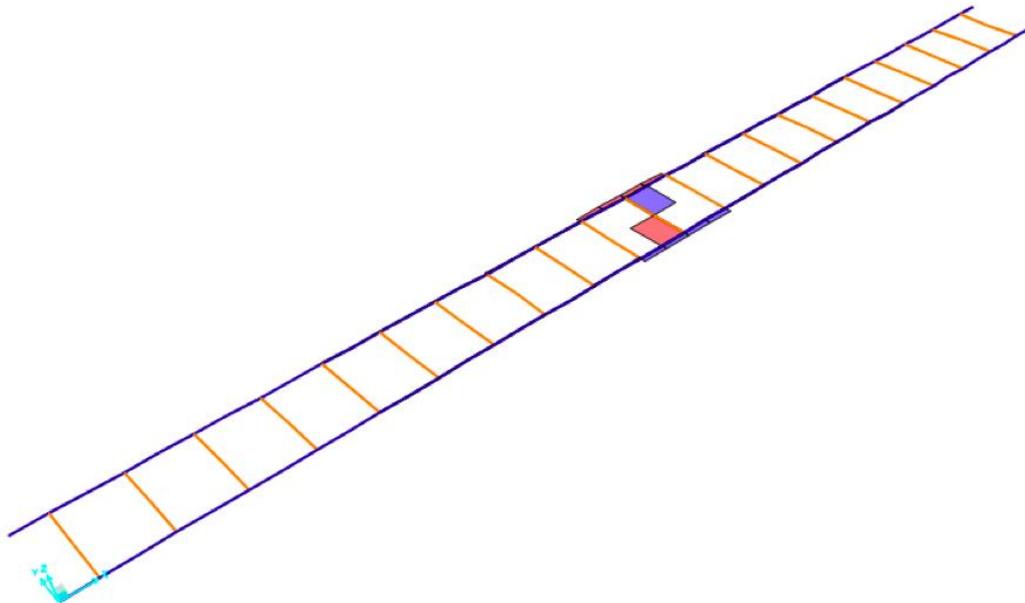
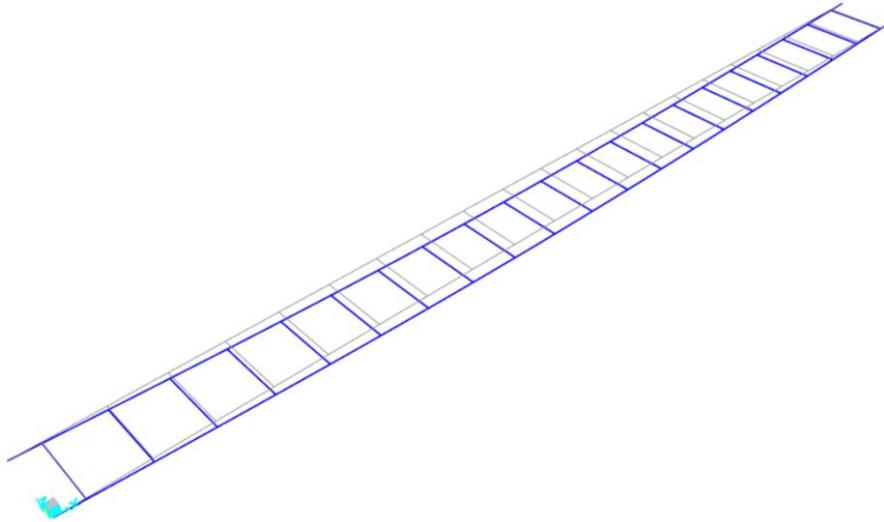


Figura 4-106 Diagrama de cortantes

#### 4.5.4.3.7 PANDEO

El factor de pandeo del primer modo es 23636,06326. En la figura 4.107 aparece representado.



*Figura 4-107 Coeficiente de Pandeo.*

#### 4.6 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En este apartado comentaremos los resultados obtenidos, comparando dichos resultados de cada una de las 4 escaleras estudiadas. También incluiremos las conclusiones obtenidas al comparar los resultados.

Estudiaremos porque puede fallar antes, si por deformada, pandeo o por tensiones y que factor de seguridad tiene para ello aplicaremos los criterios de flecha, de tensión de estabilidad respectivamente.

- Criterio de flecha: Comprobaremos que desplazamiento se produce en las escaleras y si cumple la norma  $\delta \leq L/100$ . Esto quiere decir que el desplazamiento tiene que ser menor a la luz partido por 100.
- Criterio de tensión: Indicaremos para que fuerza superara la tensión máxima admisible y también comprobaremos si el material elegido para la fabricación de la escalera es el correcto.

- Criterio de estabilidad: Estudiaremos el momento de pandeo de las escaleras, y para que fuerza se produce el fallo por pandeo

#### 4.6.1 DEFORMADA

En la tabla 4.5 observamos que el desplazamiento horizontal de la escalera no varía prácticamente para las 4 escaleras cuando se estudia en el mismo ángulo.

Ángulo	Desplazamiento	Escalera 1	Escalera 2	Escalera 3	Escalera 4
0	Horizontal				
	Vertical	1,01E-05	4,75E-05	7,89E-05	2,00E-04
45	Horizontal	3,10E-07	3,24E-07	3,06E-07	3,39E-07
	Vertical	7,16E-06	3,36E-06	5,58E-05	1,00E-04
90	Horizontal	4,39E-07	4,58E-07	4,33E-07	4,37E-07
	Vertical				

Tabla 4-5 Desplazamientos[m].

En cambio, si lo hace el desplazamiento vertical del punto central siendo más desfavorable cuanto más larga se es la escalera, es decir, la conclusión que sacamos al observar la tabla y la siguiente gráfica es que el desplazamiento vertical de la escalera al aplicar las fuerzas no depende en gran medida del perfil de la zanca, pero si que lo hace de la longitud de la escalera siendo mayor el desplazamiento cuanto la escalera es más larga.

En la gráfica también observamos que la diferencia de desplazamiento cambiando los ángulos se hace más notable con el perfil de zanca 67x25 mm ( Escalera 1 y 2 )

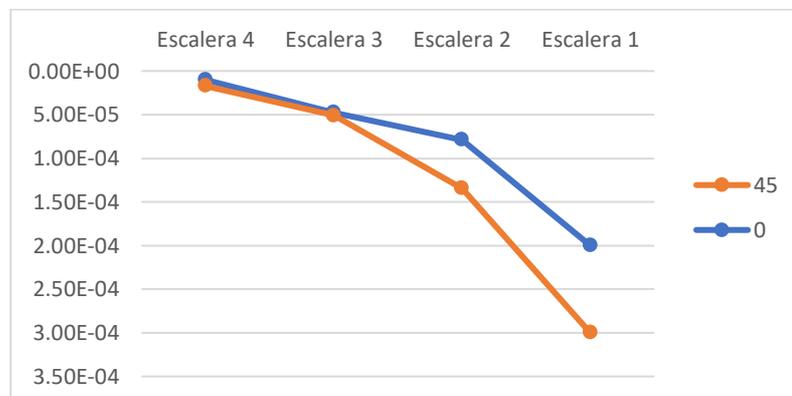


Figura 4-108 Gráfica Desplazamientos.

#### 4.6.2 AXILES

Los axiles a los que se ha sometido la zanca de todas las escaleras tienen un valor de 0,35 N para el caso de colocar la escalera en un ángulo de  $45^\circ$  y el esfuerzo axil para el caso de colocar la escalera en  $90^\circ$  los esfuerzos a los que se somete la zanca son de 0,5.

Como indicamos con anterioridad los esfuerzos axiles en el caso de colocar las escaleras en posición horizontal ya que al cargar la estructura no se produce ningún esfuerzo axil.

#### 4.6.3 TORSIÓN

La fuerza  $F$  que se aplica en el peldaño como ya hemos dicho ocasiona un esfuerzo de flexión en este. Esta fuerza produce un momento  $M$  en la zanca que es este momento que ocasiona los esfuerzos de torsión en la zanca, es decir, la flexión del peldaño se traduce en un esfuerzo de torsión en la zanca. En la figura 4.109 indicamos la fuerza  $F$  que se aplica en el peldaño y el momento  $M$ .

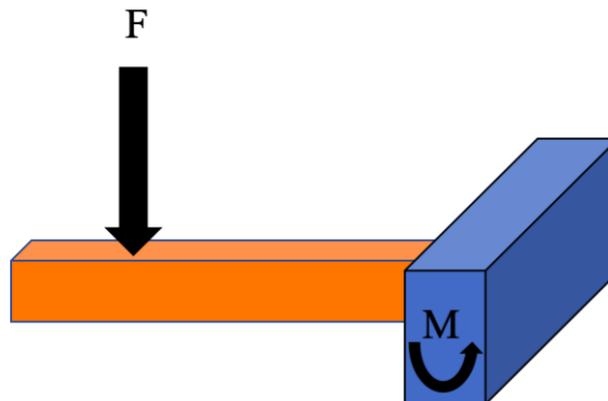


Figura 4-109 Esfuerzo torsor.

Ángulo	Escalera 1	Escalera 2	Escalera 3	Escalera 4
0	1,35E-02	1,35E-02	1,59E-02	1,46E-02
45	9,56E-03	9,58E-03	5,26E-03	4,22E-03
90				

Tabla 4-6 Esfuerzos de torsión[Nm].



La carga aplicada en el ángulo de 90° como ya hemos indicados en repetidas ocasiones no produce esfuerzo de torsión en la zanca.

Como vemos en la tabla en los 8 casos el esfuerzo de torsión producido es muy pequeño debido a que se trata de una fuerza unitaria.

#### 4.6.4 TENSIONES MÁXIMAS.

En la tabla 4.7 hemos recogido las tensiones máximas que sufre las escaleras al aplicar la carga diferenciando para los diferentes ángulos y los valores tomados en la zanca y el peldaño.

Ángulo		Escalera 1	Escalera 2	Escalera 3	Escalera 4
0	Zanca	6,93E+04	1,18E+05	1,16E+05	1,50E+05
	Peldaño	5,75E+04	5,75E+04	5,38E+04	5,60E+04
45	Zanca	7,20E+04	9,07E+04	8,89E+04	1,19E+05
	Peldaño	5,81E+04	7,20E+04	6,79E+04	7,05E+04
90	Zanca	1,31E+04	1,08E+04	4,32E+04	4,46E+04
	Peldaño	45242	45242,05	9809,29	11445

Tabla 4-7 Tensiones máximas [Pa].

#### 4.6.5 FLECTORES

En la tabla 4.8 adjuntamos a modo de resumen los momentos flectores obtenidos diferenciando para los diferentes ángulos y los valores tomados en la zanca y el peldaño. En la tabla observamos que para el ángulo 45 tenemos dos valores, el primero de ellos refleja los valores para el caso 1 y el segundo el caso 2.

Ángulo		Escalera 1	Escalera 2	Escalera 3	Escalera 4
0	Zanca	2,50E-01	4,20E-01	5,20E-01	7,30E-01
	Peldaño	7,92E-02	7,29E-02	7,09E-02	7,00E-01
45	Zanca	1,52E-02	1,52E-02	1,55E-02	1,55E-02
	Peldaño	4,04E-02	4,04E-02	3,98E-02	3,98E-02
45	Zanca	1,50E-01	2,90E-01	3,70E-01	5,20E-01
	Peldaño	5,16E-02	5,15E-02	5,01E-02	5,01E-02
90	Zanca	2,14E-02	2,14E-02	2,19E-02	2,19E-02
	Peldaño	5,71E-02	5,71E-02	5,63E-02	5,63E-02

Tabla 4-8 Momentos Flectores [Nm]



#### 4.6.6 CORTANTES

En la tabla 4.9 adjuntamos a modo de resumen los esfuerzos cortantes obtenidos diferenciando para los diferentes ángulos y los valores tomados en la zanca y el peldaño. En la tabla observamos que para el ángulo 45 tenemos dos valores, el primero de ellos refleja los valores para el caso 1 y el segundo el caso 2.

Ángulo		Escalera 1	Escalera 2	Escalera 3	Escalera 4
0	Zanca	2,50E-01	2,30E-01	2,50E-01	2,50E-01
	Peldaño	5,00E-01	5,00E-01	5,00E-01	5,00E-01
45	Zanca	1,80E-01	1,60E-01	1,80E-01	1,80E-01
	Peldaño	3,50E-01	3,50E-01	3,50E-01	3,50E-01
45	Zanca	6,79E-02	6,79E-02	6,86E-02	6,86E-02
	Peldaño	3,50E-01	3,50E-01	3,50E-01	3,60E-01
90	Zanca	9,61E-02	9,61E-02	9,71E-02	9,71E-02
	Peldaño	5,00E-01	5,00E-01	5,00E-01	5,00E-01

Tabla 4-9 Cortantes [N]

#### 4.6.7 COEFICIENTES DE PANDEO.

En la tabla siguiente mostramos los valores de los coeficientes de pandeo obtenidos de las escaleras, al igual que en los casos anteriores los indicaremos para las cuatro escaleras y dentro de estas para los tres ángulos, aunque como se indicó en capítulos anteriores el estado de carga para 0° no produce esfuerzos axiales por lo que no genera coeficientes de pandeo.

Ángulo	Escalera 1	Escalera 2	Escalera 3	Escalera 4
0				
45	1,14E+05	5,60E+04	3,34E+04	2,36E+04
90	80374,2711	55994,16	23636,0633	23636,0633

Tabla 4-10 Pandeo.

#### 4.6.8 APLICACIÓN DE LOS CRITERIOS.

##### 4.6.8.1 CRITERIO DE TENSIÓN

Al aplicar este criterio comprobamos que la tensión no excede de la tensión máxima admisible del material que hemos utilizado. En nuestro caso el material es aluminio 6082 T6 con una tensión máxima admisible de 260 Mpa.

Para calcular el factor con el que estamos trabajando debemos multiplicar los valores indicados en la tabla 4.7 y comprobar que este valor no exceda de la tensión máxima admisible del material.

Valores tabla 4.7  $\lambda = 260 \text{ E}+6 \rightarrow \lambda = \text{tabla 4.11.}$

Ángulo		Escalera 1	Escalera 2	Escalera 3	Escalera 4
0	Zanca	3,75E+03	2,21E+03	2,24E+03	1,73E+03
	Peldaño	4,52E+03	4,52E+03	4,83E+03	4,65E+03
45	Zanca	3,61E+03	2,87E+03	2,93E+03	2,18E+03
	Peldaño	4,48E+03	3,61E+03	3,83E+03	3,69E+03
90	Zanca	1,98E+04	2,40E+04	6,02E+03	5,83E+03
	Peldaño	5,75E+03	5,75E+03	2,65E+04	2,27E+04

Tabla 4-11 Factores  $\lambda$ .

En la tabla anterior se recogen los factores  $\lambda$ , cuyo factor es más pequeño en la posición de la escalera horizontal es decir ángulo 0°.

Para obtener la fuerza a la que se produciría el fallo debemos multiplicar el factor  $\lambda$  que hemos obtenido por la carga que aplicar. Como observando los valores de la tabla 4.11 hemos llegado a la conclusión de que para este ángulo la fuerza sería menor ya que el factor  $\lambda$  es menor.

- Escalera 1

$$\lambda_1 * 1 \text{ N} \rightarrow 3750 \text{ N}$$

- Escalera 2

$$\lambda_2 * 1 \text{ N} \rightarrow 2210 \text{ N}$$

- Escalera 3

$$\lambda_3 * 1 \text{ N} \rightarrow 2240 \text{ N}$$



- Escalera 4

$$\lambda_4 * 1 \text{ N} \rightarrow 1730 \text{ N}$$

Esto quiere decir que la escalera 4 soportaría una fuerza de 1,73 KN colocándola horizontalmente antes de fallar, siendo la fuerza menor para las cuatro escaleras.

#### 4.6.8.2 CRITERIO DE ESTABILIDAD.

Para este criterio debemos comprobar el coeficiente de Pandeo con este coeficiente calcularemos la carga máxima que soporta la escalera antes de pandee y por lo tanto falle por pandeo.

Debemos multiplicar los coeficientes de pandeo calculados por el estado de carga que tenemos en este caso tenemos una carga unitaria.

$$\lambda * F \rightarrow \text{Tabla 4.12}$$

Ángulo	Escalera 1	Escalera 2	Escalera 3	Escalera 4
0				
45	1,14E+05	5,60E+04	3,34E+04	2,36E+04
90	80374,2711	55994,16	23636,0633	23636,0633

Tabla 4-12 Factores  $\lambda$ .

- Escalera 1

$$\lambda_1 * 1 \text{ N} \rightarrow 80374 \text{ N}$$

- Escalera 2

$$\lambda_2 * 1 \text{ N} \rightarrow 55994 \text{ N}$$

- Escalera 3

$$\lambda_3 * 1 \text{ N} \rightarrow 23636 \text{ N}$$

- Escalera 4

$$\lambda_4 * 1 \text{ N} \rightarrow 23636 \text{ N}$$



Observando los resultados la escalera más desfavorable se trata al igual que en el criterio anterior la escalera 4 a la que hay que aplicar una fuerza de 23600 N , 23,600 KN para que se produzca el fallo por pandeo. En este criterio la escalera 3 también fallaría al aplicar una fuerza del mismo valor 23,600 KN.

#### 4.6.8.3 CRITERIO DE FLECHA

En este apartado comprobaremos que desplazamiento se produce en las escaleras y si cumple la norma  $\delta \leq L/100$ . Esto quiere decir que el desplazamiento tiene que ser menor a la luz partido por 100.

- Escalera 1

La longitud es de 2,05 luego el desplazamiento máximo que se permite es de 20,5 mm

- Escalera 2

La longitud es 3,45 luego el desplazamiento máximo que se permite en este caso es de 34,5 mm

- Escalera 3

La longitud es 4,85 luego el desplazamiento máximo que se permite en este caso es 48,5 mm

- Escalera 4

La longitud es de 5,97 luego el desplazamiento máximo no puede ser superior a 59,7 mm

Como cada escalera tiene un criterio de desplazamiento diferente vamos a calcular el factor para el desplazamiento máximo de cada escalera observando la tabla 4.5.

El desplazamiento máximo se produce en todas las escaleras al colocar la fuerza en el ángulo 0°

- Escalera 1

$$1,01E-05 * \lambda \leq 0,0205 \quad \lambda = 2029,70$$



- Escalera 2

$$4,75E-05 * \lambda \leq 0,0345 \quad \lambda = 726,315$$

- Escalera 3

$$7,89E-05 * \lambda \leq 0,0485 \quad \lambda = 614,70$$

- Escalera 4

$$2,00E-04 * \lambda \leq 0,0597 \quad \lambda = 298,5$$

Multiplicando el factor anterior por el estado de carga unitaria vemos que la escalera 1 fallaría para una carga de 2029,70 N la escalera 2 726,315 N la escalera, La tres para 614 N, mientras que la escalera 4 fallaría para una carga de 298,5 Nm.

A continuación, mostramos una tabla donde indicamos las fuerzas para las cuales las diferentes escaleras fallarían aplicando los tres criterios.

Como vemos para las cuatro escaleras el criterio más restrictivo, es decir se produce el fallo para una carga menor se trata del criterio de flecha.

Criterio	Escalera 1	Escalera 2	Escalera 3	Escalera 4
Flecha	2029,7 N	726,315 N	614,7 N	298,5 N
Tensiones	3750 N	2210 N	2240 N	1730 N
Estabilidad	80374 N	55994 N	23636 N	236636 N

Tabla 4-13 Fuerzas fallo.



## 5. CONCLUSIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

Este Trabajo Fin de Grado se ha centrado en analizar los medios de acceso industrial, en concreto, las estructuras ligeras de acceso industrial.

Como se ha podido analizar durante el trabajo, estas estructuras de acceso industrial son imprescindibles para las instalaciones industriales, y concretamente para cumplir con la normativa de prevención de riesgos laborales, que asegura la seguridad de las personas. Actualmente, la prevención de riesgos laborales es una de las bases sobre las que las empresas realizan las actividades productivas, siendo la garantía de la seguridad y salud de los trabajadores una tendencia al alza, que cada vez es más restrictiva.

Se han analizado los tipos de acceso industrial, principalmente las escaleras (fijas y móviles), plataformas valladas, así como otros medios de acceso: barandillas y pasos elevados. Adicionalmente, se han examinado los materiales con los que se construyen principalmente estos medios de acceso, siendo los aceros, aluminio y acero inoxidable los más utilizados en la industria.

En el trabajo también se ha considerado la normativa aplicable a estos medios de acceso industrial. En la normativa de pasarelas hemos apreciado que hay acciones permanentes, sobrecarga de uso y acciones temporales como es el viento, nieve, sísmicas, etc. Por otro lado, se ha considerado la normativa de las escaleras móviles, que principalmente se rige por la normativa EN 131, así como los posibles riesgos que puedan tener las escaleras móviles.

Por último, y como análisis práctico se ha procedido a realizar un predimensionado de una escalera de mano. La elección de la escalera de mano obedece a que se trata de uno de los medios de acceso industrial más utilizados en todo tipo de instalaciones técnicas e industrias. El diseño y cálculo de la escalera de mano se ha realizado mediante el programa informático SAP2000.

A partir del diseño de la escalera de mano se han obtenido cuatro diagramas, cuya imagen y cálculo se reflejan en el trabajo, así como también se explican los resultados obtenidos y los diagramas que se han utilizado: deformada, axiles, torsión, tensiones máximas y coeficiente de pandeo.



## 5.2 LÍNEAS FUTURAS

Como futuras líneas de análisis en el trabajo podrán ser el cálculo y diseño de escaleras de mano en entornos industriales concretos, por ejemplo, cálculo de una escalera de mano con temporales concretos: viento, nieve, etc. o también realizar un mallado local con elementos shell para ver posibles efectos de pandeo local por abolladura.

## 5.3 CONSIDERACIONES ADICIONALES

En este apartado vamos a hacer una estimación de las horas invertidas en la elaboración de este Trabajo Fin de Grado. Para ello, vamos a diferenciar entre coste directos, considerando estos como los costes de la mano de obra a la hora de modelar, y, por otro lado, los costes indirectos, teniendo en cuenta el costo de las licencias de los programas utilizados, en este caso SAP2000.

Como gastos directos, como ya se ha especificado en el apartado anterior, hay que tener en cuenta la mano de obra. Teniendo en cuenta que un ingeniero en formación o recién egresado tiene un sueldo medio de 22.700 €/año, con una aproximación de 1.800 h/año (la jornada máxima anual es de 1826 h/año). Realizando el cálculo, saldría un precio medio de 12,6 €/hora.

Además de la realización del TFG, se ha debido emplear horas en el aprendizaje de utilización del software utilizado para el cálculo y modelización de la escalera. Las horas empleadas se han estimado en unas 300 horas, lo que supondría un costo de 3.780 € .

A los costos directo habría que sumarle los gastos que supondría adquirir la licencia del software SAP2000, que asciende a un total de 2.022.17 €.

El importe total de costes indirectos y costes directos supondría un coste total de 5.802,17 €.



## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Arquitectura adaptable seminario organizado por el Instituto organizado por el Instituto de Estructuras Ligeras / Frei Otto
- [2] Estructuras ligeras : Schlaich Bergermann und Partner / Pepa Cassinello
- [3] Ingeniería estructural / José Oscar Jaramillo Jiménez 2010.

## WEBGRAFÍA

- [4] ACCIONES SOBRE PASARELAS. MINISTERIO DE FOMENTO  
[https://www.mitma.gob.es/recursos\\_mfom/0820303.pdf](https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/0820303.pdf)  
Fecha de última consulta : 14 de junio
- [5] CÁLCULO DE UNA ESCALERA  
[Portada del documento \(upv.es\)](#)  
Fecha de última consulta : 21 de junio
- [6] EN 131 NORMA EUROPEA SOBRE ESCALERAS  
<https://en131.com>  
Fecha de última consulta: 25 de junio
- [7] ESCALERAS PORTÁTILES EN 131. HYMER-STEIGTECHNIK  
[https://www.hymer-steigtechnik.de/fileadmin/pdf/HYM\\_20-09\\_ES\\_Flyer\\_EN131-Allgemein\\_03.pdf](https://www.hymer-steigtechnik.de/fileadmin/pdf/HYM_20-09_ES_Flyer_EN131-Allgemein_03.pdf)  
Fecha de última consulta: 25 de junio
- [8] NORMATIVA ISO 12944: Pinturas y ambientes corrosivos. BLOG DALMAR PROTECCIONES Y PINTURAS  
<http://blog.proteccionesy pinturas.com/normativa-iso-12944/>  
Fecha de última consulta: 20 de junio
- [9] NORMATIVA NSCP-07 ESFUERZOS SISMORESISTENTES PUENTES  
[https://iisee.kenken.go.jp/worldlist/49\\_Spain/NCSP-07.pdf](https://iisee.kenken.go.jp/worldlist/49_Spain/NCSP-07.pdf)  
Fecha de última consulta: 20 de junio



- [10] NTP 1160. INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO  
<https://www.insst.es/documents/94886/566858/NTP+1160+Escala+fijas+de+servicio+%28%29+-+A%C3%B1o+2021.pdf/5a2ecef3-5771-30ed-c6b0-c79b8a3a2ac4?version=3.0&t=1643717737545>  
Fecha de última consulta: 20 de junio
- [11] NTP 239. INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO  
[NTP 239: Escaleras manuales \(insst.es\)](#)  
Fecha de última consulta : 20 de junio
- [12] NTP 404. INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO  
[https://www.insst.es/documents/94886/326962/ntp\\_404.pdf/5fb3590b-8f8f-4f0e-bf66-cc3dff015cf4](https://www.insst.es/documents/94886/326962/ntp_404.pdf/5fb3590b-8f8f-4f0e-bf66-cc3dff015cf4)  
Fecha de última consulta 20 de junio
- [13] [PASARELAS DE ACCESO Y TRÁNSITO EN CUBIERTAS E INSTALACIONES INDUSTRIALES - Huma Safety](#)  
<https://www.humasafety.com/services/pasarelas-acceso-transito-cubiertas/.com>  
Fecha de última consulta 24 de junio
- [14] PERFILES ALUMINIO. ALUMISAN  
[https://www.alumisan.com/ficheros/2015/SistemasALUMISAN\\_Perfil.es.pdf](https://www.alumisan.com/ficheros/2015/SistemasALUMISAN_Perfil.es.pdf)  
Fecha de ultima consulta: 25 de junio
- [15] PRONTUARIO BÁSICO DE ESTRUCTURAS SIMPLES  
<https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/25612/1/Estructuras%20Met%C3%A1licas%20-%20Material%20apoyo.pdf>  
Fecha de última consulta: 28 de junio
- [16] [Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo \(juridicas.com\)](#)  
Fecha de última consulta: 14 de junio
- [17] [Real Decreto 2177/2004, de 12 de noviembre, por el que se modifica el Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los](#)



[trabajadores de los equipos de trabajo, en materia de trabajos temporales en altura. \(juridicas.com\)](#)

Fecha de última consulta: 14 de junio

[18] [UNE-EN 14122 Medios de acceso permanente a máquinas e instalaciones industriales. – Actitud Preventiva \(wordpress.com\)](#)

Fecha de ultima consulta: 26 de junio

[19] [UNE-EN 14122 Medios de acceso permanente a máquinas e instalaciones industriales. – Actitud Preventiva \(wordpress.com\)](#)

Fecha de última consulta: 26 de junio