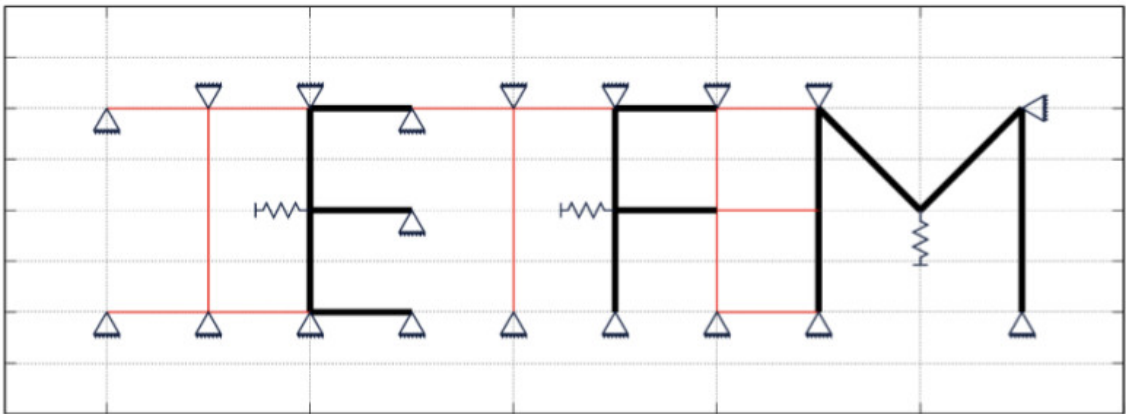


**Tutorial IETFEM - Linear Truss v2.11**  
Pablo Castrillo, Jorge Pérez  
17 de marzo de 2015

El programa IETFEM, es una herramienta desarrollada por docentes del Departamento de Estructuras del Instituto de Estructuras y Transporte de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República. Éste tutorial se enfoca en los problemas de estructuras de barras articuladas formadas por materiales elástico lineales bajo las hipótesis de pequeñas deformaciones y desplazamientos utilizando el Método de los Elementos Finitos (MEF). Éste programa está implementado usando la sintaxis de la herramienta de cálculo numérico GNU-Octave y su código es abierto.

En éste tutorial se describirá el funcionamiento de los modulos Linear Truss que es utilizado durante el curso de Elasticidad.



**Índice**

<b>1. Entrada de datos.</b>	<b>2</b>
<b>2. Ejecución del programa</b>	<b>6</b>
<b>3. Salida de datos.</b>	<b>7</b>
<b>4. Ejemplo</b>	<b>8</b>
4.1. Archivo de entrada: cercha.txt . . . . .	8
4.2. Resultados en consola ejemplo cercha . . . . .	10
4.3. Posibilidad de generar videos ejemplo cercha . . . . .	11

## 1. Entrada de datos.

Para introducir los datos del problema se utiliza un archivo `.txt`, con los datos que se detallarán a continuación. El nombre de este archivo será formado con un texto que el programa solicita al ser ejecutado, mas la terminación `.txt`. Como ejemplo puede tomarse un archivo cuyo nombre es `Ejemplo_1` y por lo tanto el nombre del archivo de texto donde se deben introducir los parámetros será `Ejemplo_1.txt`. En lo que sigue, el nombre del archivo de entrada de datos será mencionado como “name”. El archivo de entrada de datos debe encontrarse dentro de la carpeta

1D: `input\1D\Truss_1D_sd,`

2D: `input\2D\Truss_2D_sd,`

3D: `input\3D\Truss_3D_sd.`

A continuación se detallan las entradas de datos para los problemas, teniendo en cuenta las posibles dimensiones (1D, 2D y 3D).

**IMPORTANTE:** Para que el programa pueda leer de forma correcta el archivo de entrada se debe dejar vacía una línea entre los parámetros, como en los ejemplos adjuntos al tutorial.

**Force Magnitude** Se debe introducir la unidad a utilizar para los parámetros que tengan magnitud fuerza (fuerza, tensión, módulo de Young, rigidez del resorte, etc). La unidad no puede tener más de dos caracteres. Ejemplos: kN, N.

**Length Magnitude** Se debe introducir la unidad a utilizar para los parámetros que tengan magnitud de longitud (posición, tensión, módulo de Young, rigidez del resorte, etc). La unidad no puede tener más de dos caracteres. Ejemplos: cm, m.

**Number of degrees of freedom per node** Se indica el número de grados de libertad por nodo dependiendo de la del problema en estudio. Para el curso de Elasticidad se utilizará el módulo Linear Truss por tanto este número coincide con el de la dimensión del problema: 1 para 1D, 2 para 2D y 3 para 3D.

**Number of nodes per element** Se indica el número de nodos por elemento. Para el curso de Elasticidad se utilizarán elementos de barra de dos nodos, por tanto se deberá indicar siempre 2 nodos por elemento.

**Number of materials** Se indica la cantidad de materiales, cada material se considera diferente si al menos uno de los parámetros definidos en **Materials** es diferente con otro.

**Materials** Se ingresan por orden las propiedades de los materiales: Young Modulus,  $b$  y  $\alpha$  (1/C). La matriz `Materials` tendrá tantas filas como cantidad de materiales diferentes existan en la estructura y 3 columnas. La fila  $i$  representará el material  $i$ -ésimo. El coeficiente de dilatación térmica  $\alpha$  tiene como unidad impuesta 1/C, mientras que las unidades de las otras variables deben ser coherentes con las definidas en **Force Magnitude** y **Length Magnitude**. El vector fuerza de volumen  $b$  tiene sentido del nodo inicial al nodo final con el que se define el elemento en que este aplicado:

$$[\text{Young Modulus}] = \frac{[\text{Force Magnitude}]}{[\text{Length Magnitude}]^2} \quad [b] = \frac{[\text{Force Magnitude}]}{[\text{Length Magnitude}]^3}$$

En este programa solo se puede considerar módulo de Young, fuerza de volumen y coeficiente de dilatación térmica uniformes en el elemento de barra.

**Number of temperature cases** Cantidad de casos de temperatura que existan. Puede existir más de un caso en una misma estructura si por ejemplo una barra esta sometida a una temperatura y otra barra a una temperatura diferente.

**Temperature cases** Se deben ingresar los valores de la temperaturas para cada uno de los casos que se quieran definir. Es una matriz columna, tiene tantas filas como casos existan y una única columna que indica los valores de la temperatura para cada caso. La fila  $i$  corresponde al valor de temperatura del caso  $i$ -ésimo. La unidad de la temperatura es asumida C (en este programa solo se puede considerar temperatura uniforme en la barra).

**Number of sections** Cantidad de secciones diferentes que existan en la estructura. En el caso de reticulados, una sección se diferencia de otra únicamente por el área transversal (en este programa solo se puede considerar área uniforme en la barra).

**Sections** Se introducen las áreas de cada elemento, las áreas deben introducirse en orden según el número de elemento (el primer valor corresponde al elemento número 1). La unidad en la que deben introducirse dichos valores es  $[Areas] = [Length\ Magnitude]^2$

**Number of nodes** Se introduce la cantidad de nodos total de la estructura.

**Node matrix** Matriz donde se introducen las cordenadas de cada nodo según coordenadas globales. Las coordenadas son  $X_s$ ,  $Y_s$  y  $Z_s$  (dependiendo si es 1D, 2D o 3D), dichas coordenadas son introducidas por orden según el número de nodo (el primer par de coordenadas corresponde al nodo 1). La unidad en la que deben introducirse dichos valores es  $[X_s] = [Y_s] = [Z_s] = [Length\ Magnitude]$

**Number of elements** Se debe indicar el número de elementos total de la estructura.

**Conectivity matrix** Matriz de conectividad de elementos. Esta matriz tiene tantas filas como elementos la estructura y 5 columnas. Las 5 columnas son: material, section, Tempcase, start y end. Las primeras 3 columnas dependen de las matrices antes comentadas, se deben ingresar números enteros que representen el caso que refiere a ese elemento (Ej: Si queremos que el elemento  $i$  tenga la sección  $m$  se debe ingresar en la entrada ( $i\ 2$ ) de la matriz el valor  $m$ ). En las últimas dos columnas se indica cual es el nodo inicial (start) y el nodo final (end) de cada elemento, se introducen por orden (el primer par de nodos corresponden al primer elemento). Si un elemento no tiene temperatura aplicado se coloca un 0 en la entrada correspondiente, en caso de que no exista ningún caso de temperatura definido (Number of temperature cases = 0) toda la columna correspondiente a Tempcase debe tener 0 en sus entradas.

**Number of displacements conditions nodes** Se introduce la cantidad de nodos con condición en desplazamientos.

**Displacements conditions nodes matrix** En esta matriz se deben introducir 2, 3 o 4 columnas según el caso (problema 1D, 2D o 3D). La primer columna hace referencia al número de nodo con desplazamiento impuesto, la segunda a la condición sobre el eje X de dicho nodo, la tercera a la condición sobre el eje Y del nodo y la cuarta a la condición sobre el eje Z referido. En caso de que un nodo sea restringido en algún eje pero libre en otro, el eje libre puede marcarse, por ejemplo, con F (free). Las columnas 2, 3 y 4 deben estar en la unidad  $[Length\ Magnitude]$ .

**Number of puntual load conditions** Se introduce la cantidad de nodos con cargas puntuales aplicadas.

**Puntual loads conditions nodes matrix** En esta matriz se deben introducir 2, 3 o 4 columnas según el caso (problema 1D, 2D o 3D). La primera columna hace referencia al número de nodo, la segunda a la condición sobre el eje X de dicho nodo, la tercera a la condición sobre el eje Y y la cuarta al eje Z del nodo referido. Las columnas 2, 3 y 4 deben estar en la unidad [Force Magnitude].

**Number of dead volume load conditions** Se introduce la cantidad de elementos con cargas muertas aplicadas.

**Dead volume loads conditions matrix** En esta matriz se deben introducir 2, 3 o 4 columnas según el caso (problema 1D, 2D o 3D). La primera columna hace referencia al número de elemento, la segunda a la condición sobre el eje X de dicho elemento, la tercera a la condición sobre el eje Y y la cuarta al eje Z del elemento referido. Las columnas 2, 3 y 4 deben estar en la unidad  $\frac{[\text{Force Magnitude}]}{[\text{Length Magnitude}]}$ .

**Number of springs conditions nodes** Se introduce la cantidad de nodos en los que existe un resorte.

**Springs conditions nodes matrix** En esta matriz se deben introducir 2, 3 o 4 columnas según el caso (problema 1D, 2D o 3D). La primera columna hace referencia al número de nodo (nodo de resorte - spring node), la segunda a la condición sobre el eje X de dicho nodo, la tercera a la condición sobre el eje Y y la cuarta a la condición sobre el eje Z del nodo referido. En caso de que un nodo sea restringido en algún eje pero libre en otro, el eje libre puede marcarse con F (free). La unidad correspondiente en que deben introducirse los valores de las constantes de los resortes es  $\frac{[\text{Force Magnitude}]}{[\text{Length Magnitude}]}$ .

**Scale Factors** Los siguientes factores de escala deben ser todos positivos.

- SD\_Deformed: Determina cuanto se deforma la estructura en el gráfico de la deformada, si el factor tiene como valor 1 se observa la deformada real.
- Supports: Define el tamaño de los apoyos en la salida gráfica de la estructura indeformada.
- Areas: Define el tamaño máximo de las áreas que se visualizan en la estructura indeformada (grosor de las líneas).
- Frame: Determina el tamaño mínimo de los márgenes del gráfico de la estructura indeformada.
- Numbers: Modifica la posición de los valores en los diagramas de directa.

**What you wanna see?** Se debe indicar con 1 (afirmativo) o 0 (negativo) si se desean ver los siguientes gráficos:

- Indeformed: Estructura indeformada.
- SD\_Deformed: Estructura deformada.
- SD\_Axial: Esquema de fuerzas axiales.

**Which of the plots selected above do you want to print (.png image)?** Se debe indicar con 1 (afirmativo) o 0 (negativo) si se desea imprimir algún gráfico de los seleccionados en el punto anterior:

- Indeformed: Estructura indeformada.
- SD\_Deformed: Estructura deformada.
- SD\_Axial: Esquema de fuerzas axiales.

**How many images do you wanna see for small deformation?** Se debe indicar con la cantidad de imagenes (con un número natural) que se desean imprimir de alguna de los siguientes gráficos:

- `SD_Deformed`: Estructura deformada.
- `SD_Axial`: Esquema de fuerzas axiales.

**What you wanna see in plots?** Se debe indicar con 1 (afirmativo) o 0 (negativo) que de las siguientes opciones se desea ver en los gráficos:

- `Supports`: Apoyos en estructura indeformada.
- `Node_Numbers`: El número de los nodos.
- `Elements_Numbers`: El número de los elementos.
- `Forces`: Las fuerzas en la estructura indeformada.
- `Axial_Force_Value`: El valor de las fuerzas axiales en el gráfico esquema de fuerzas axiales.

**For 3D plots, what you wanna see?** Ésta opción es solo valida para los problemas 3D. En IETFEM se tiene la opción de ver los cortes según los planos XY, XZ e YZ, para esto debe indicarse 1 (afirmativo) o 0 (negativo) en las siguientes opciones:

- `XY_plane`: Plano XY.
- `XZ_plane`: Plano XZ.
- `YZ_plane`: Plano YZ.

Para cada uno de estos planos seleccionados se realizará una imagen de cada una de las posibles imagenes seleccionadas (`Indeformed`, `SD_Deformed` y `SD_Axial`) la cantidad de veces que se haya pedido cada una de ellas. Además de esos 3 planos IETFEM genera, siempre que se haya indicado que se quiere ver al menos un gráfico, los gráficos según una vista genérica. Para definir esta vista Octave trabaja con 2 variables `AZIMUTH` y `ELEVATION`, estas pueden ser modificadas con el comando `Dif_View`. Para el caso por defecto `Dif_View` debe valer 1 y para elegir la vista debe valer 0. Para mas ayuda se puede usar la ayuda de Octave del comando `view` (`help view`).

**Text output format** El programa tiene dos opciones de salida de texto, en la que se muestran resultados, se debe indicar con 1 (afirmativo) o 0 (negativo) dentro de las posibilidades

- `TXT`: Salida en archivo de texto plano `.txt`.
- `TEX`: Salida en archivo formato  $\text{\LaTeX}$ , con extensión `.tex`. Usuarios Windows deben cerrar Octave para poder compilar los archivos `.tex`.

Para los usuarios que no utilicen  $\text{\LaTeX}$  se recomienda ver los Talleres de Introducción a  $\text{\LaTeX}$ <sup>1</sup>.

**IMPORTANTE:** Para que el programa pueda leer de forma correcta el archivo de entrada se debe dejar vacia una linea entre los parámetros, como en los ejemplos adjuntos al tutorial.

<sup>1</sup>URL: <https://eva.fing.edu.uy/course/view.php?id=307>

## 2. Ejecución del programa

Al ejecutar el script `ietfem` desde la consola de Octave se despliega el siguiente texto:

```
=====
===== Welcome to IETFEM v2.11 / Bienvenido a IETFEM v2.11 =====
Choose language - English(1) / Elija el lenguaje - Espanol(2) :
```

IETFEM tiene la opción de elegir entre dos posibles lenguajes, el español y el inglés. Aquí el usuario debe tomar nota de que éste aspecto, el lenguaje, no ha sido revisado exhaustivamente por los desarrolladores (al igual que en muchos programas comerciales), por tanto es posible que el usuario encuentre errores. En tal caso enviar errores y comentarios al Foro de EVA de errores y sugerencias. de Elasticidad. Si el usuario elige la opción 2 se encontrará que tanto los tildes como las ñ no aparecerán. Suponiendo que se haya elegido 2 se tiene lo siguiente:

- IETFEM puede resolver (por ahora) 3 clases de problemas:
  - 1 - Problemas de Reticulados
  - 2 - Problemas de Porticos
  - 3 - Problemas de Arcos

Introduzca la clase de problema:

Este tutorial es únicamente para Problemas de Reticulados, por tanto será la opción 1.

- Cuantas dimensiones tiene su Problema de Reticulado?
  - 1 - 1D
  - 2 - 2D
  - 3 - 3D

Introduzca la dimension del problema:

Aquí el usuario elegirá la opción que deseé, en este caso se optará por la opción de 2D, por tanto será 2.

- Para Problemas de Retiulados, IETFEM puede resolver:
  - 1 - Pequenas Deformaciones y Desplazamientos
  - 2 - Grandes Deformaciones y Desplazamientos

Pequenas o Grandes?:

En Problemas de Reticulados IETFEM puede resolver bajo dos tipos de teorías, la teoría usual y en la que se enfoca este tutorial es la 1 (Pequenas Deformaciones y Desplazamientos).

Por favor introduzca el nombre del problema

IETFEM se ocupara de:

- leer los parametros desde el archivo "nombre.txt" que se encuentra en la carpeta "input",
- producir archivos de salida dentro de la carpeta "output".

Introduzca el nombre del problema:

Se debe ingresar el nombre del problema (name) que se creó introduciendo los parámetros indicados en la sección anterior; como ejemplo el nombre podría ser: `cercha`.

Luego de ingresado el nombre, si ya se había corrido con anterioridad un problema con el mismo nombre (mismo tipo de problema con el mismo nombre) IETFEM hará la siguiente consulta:

```
***** ATENCION *****
```

```
Existe una carpeta dentro de "output" con el nombre del archivo a ejecutar,  
desea borrarla?
```

```
Por SI puede usar: S, s, Y, y - Por NO puede usar cualquier otra letra:
```

En caso de elegir SI, el programa comienza a ejecutarse borrando todos los archivos que antes existieran. En caso de seleccionar NO IETFEM dirá

```
***** DEBE INTRODUCIR OTRO NOMBRE DE ARCHIVO DE ENTRADA *****
```

y finalizará el programa, sin haber perdido ningún archivo anterior.

### 3. Salida de datos.

La salida de datos del programa son 3 gráficos (e imágenes si el usuario lo desea) y varios archivos de texto (en dos formatos distintos). Todos estos archivos se pueden encontrar dentro de una carpeta con el nombre elegido (name) que esta dentro de la carpeta

1D: `output\1D\Truss_1D_sd,`

2D: `output\2D\Truss_2D_sd,`

3D: `output\3D\Truss_3D_sd.`

## 4. Ejemplo

### 4.1. Archivo de entrada: cercha.txt

En la siguiente figura vemos el esquema de una cercha que se diseña como reticulada. La imagen es generada con el programa, es la imagen indeformada. El nombre del archivo de entrada de datos se llama `cercha.txt`.

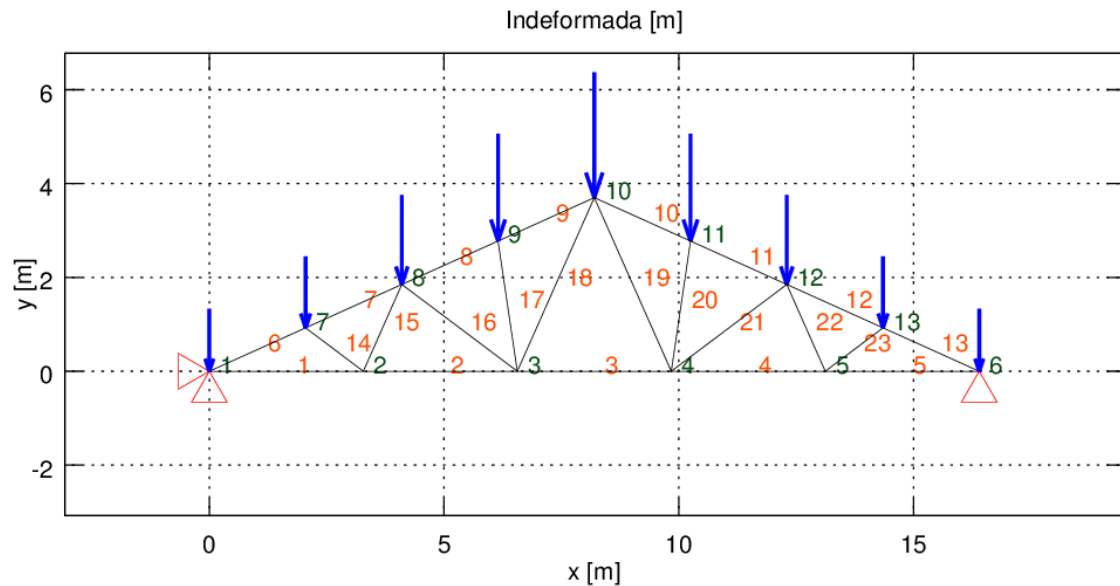


Figura 1: Ejemplo 1 - Cercha Indeformada

Los apoyos pueden modificarse con el factor `Supports` y las áreas con el factor `Areas`.

El archivo input para obtener la cercha de la Figura 1 se adjunta en la `input\2D\Truss_2D_sd`.

El resto de las imágenes que el programa adjunta son las siguientes:

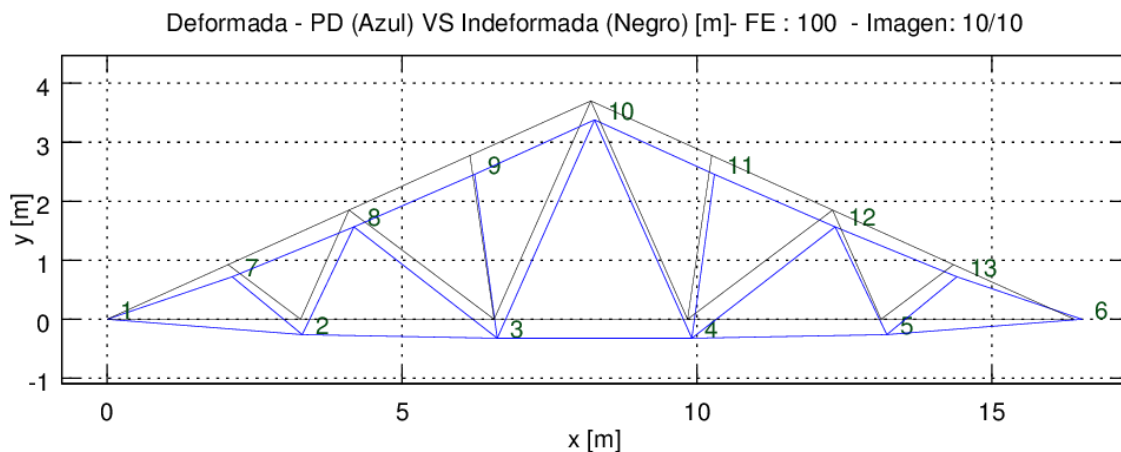


Figura 2: Ejemplo 1 - Cercha Deformada

La deformada puede modificarse con el factor de escala `Deformed`, en caso de que la visualización no sea la que



desee el usuario.

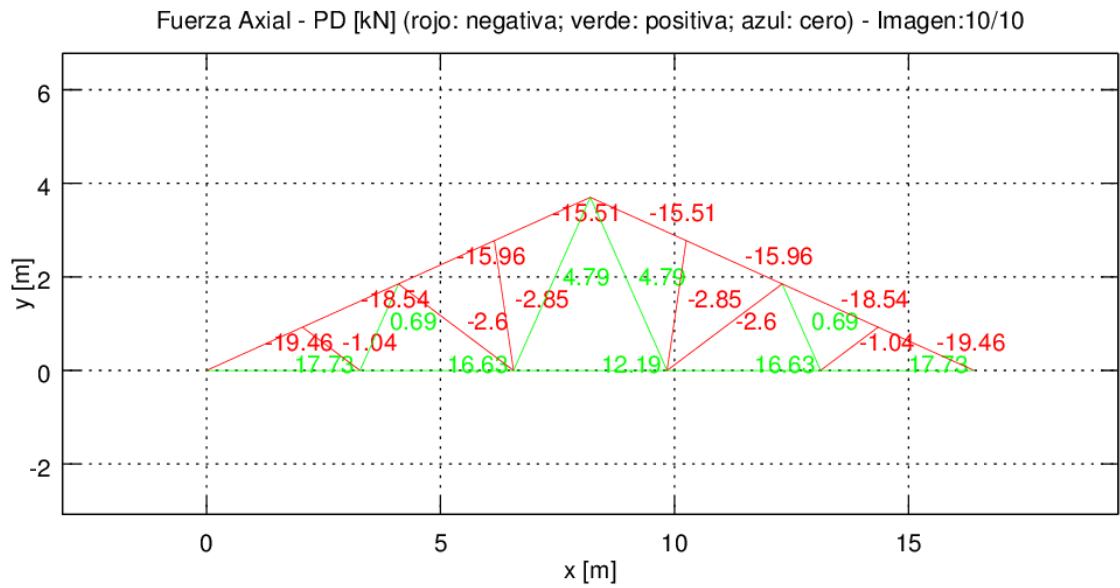


Figura 3: Ejemplo 1 - Cercha: Fuerzas en las barras

A continuación se muestra unicamente a modo de ejemplo una tabla que se genera con  $\text{\LaTeX}$ .

Desplazamientos (m)		
Nodo	$u$	$v$
1	0	0
2	$2.77 \times 10^{-4}$	$-2.60 \times 10^{-3}$
3	$5.37 \times 10^{-4}$	$-3.22 \times 10^{-3}$
4	$7.27 \times 10^{-4}$	$-3.22 \times 10^{-3}$
5	$9.87 \times 10^{-4}$	$-2.60 \times 10^{-3}$
6	$1.26 \times 10^{-3}$	0
7	$6.97 \times 10^{-4}$	$-2.05 \times 10^{-3}$
8	$8.38 \times 10^{-4}$	$-2.85 \times 10^{-3}$
9	$8.08 \times 10^{-4}$	$-3.20 \times 10^{-3}$
10	$6.32 \times 10^{-4}$	$-3.21 \times 10^{-3}$
11	$4.55 \times 10^{-4}$	$-3.20 \times 10^{-3}$
12	$4.25 \times 10^{-4}$	$-2.85 \times 10^{-3}$
13	$5.67 \times 10^{-4}$	$-2.05 \times 10^{-3}$

Tabla 1: Desplazamiento Lineal

## 4.2. Resultados en consola ejemplo cercha

\*\*\*\*\* IETFEM COMENZO A EJECUTARSE \*\*\*\*\*

Leyendo datos ingresados por el usuario en el archivo: cercha

- Magnitud de Fuerza, Magnitud de Longitud y otros parametros.
- Materiales.
- Secciones.
- Coordenadas de nodos.
- Matriz de conectividad.
- Condiciones en desplazamientos.
- Fuerzas puntuales externas.
- Parametros de grafico e imagen.
- Salida de texto: Si para el archivo .txt y Si para el archivo .tex.
- Luego de 0.077 segundos, IETFEM completo el modulo "Reading".

Calculo de parametros internos:

- Parametros iniciales.
- Matrices elementales.
- Luego de 0.008 segundos, IETFEM completo el modulo "PreProcess".

Aqui IETFEM comienza a resolver el problema:

- Realizando solucion lineal.
- Luego de 0.009 segundos, IETFEM completo el modulo "Process".

Aqui IETFEM comienza a realizar el grafico e impresion de algunas figuras:

- Algunos parametros importantes para la creacion de graficos e imagenes.
- Grafico de Indeformada.
- Impresion de Indeformada 2D para pequenas deformaciones.
- Grafico de Deformada para pequenas deformaciones.
- Impresion de Deformada 2D para pequenas deformaciones para 10 pasos.
- Grafico de Fuerza Axial para pequenas deformaciones.
- Impresion de Fuerza Axial 2D para pequenas deformaciones para 10 pasos.
- Luego de 32.128 segundos, IETFEM completo el modulo "PosProcess".

Lista de graficos e imagenes a realizar segun variable:

Variable	Grafico	Tiempo (s)	Imagen	Tiempo (s)	Tiempo total (s)
Indeformada	Si	1.381	Si	0.859	2.240
PD Deformada	Si	9.080	Si	7.619	16.698
PD Fuerza Axial	Si	6.581	Si	6.604	13.185
Tiempo para graficos		Tiempo para imagenes		Tiempo total empleado	
17.041 segundos		15.082 segundos		32.123 segundos	

IETFEM inicio el modulo de salida TXT.

- Luego de 0.078 segundos, IETFEM completo el modulo de salida TXT.

IETFEM inicio el modulo de salida TEX.

- Luego de 0.141 segundos, IETFEM completo el modulo de salida TEX.

IETFEM finalizo luego de 32.436 segundos.

### 4.3. Posibilidad de generar videos ejemplo cercha

Con  $\text{\LaTeX}$ es muy sencillo generar animaciones, IETFEM contempla esto en sus salidas, en caso de haber generado más de una imagen para alguno de sus gráficos como es el caso de la `cercha` se puede obtener la siguiente animación (utilizar versiones recientes de Adobe para poder utilizarlo)