

---

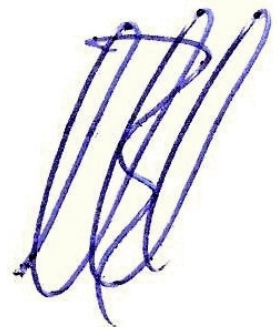
**Informe:**

**ADECUACIÓN DEL SISTEMA PALEX CE15**

**PARA LA TRANSMISIÓN DE CARGAS DE TRÁFICO DE VEHÍCULOS**

**Ingeniero de Caminos, C y P:**

**Luis A. Cuevas Franco**



**DICIEMBRE-2024**

## **Informe:**

### **ADECUACIÓN DEL SISTEMA PALEX CE15**

### **PARA LA TRANSMISIÓN DE CARGAS DE TRÁFICO DE VEHÍCULOS**

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| 1. ANTECEDENTES, OBJETO Y ALCANCE .....                          | 3  |
| 2. NORMATIVA DE REFERENCIA .....                                 | 4  |
| 2.1. Materiales .....                                            | 4  |
| 2.1.1. Hormigón armado .....                                     | 4  |
| 3. DATOS DE PARTIDA .....                                        | 5  |
| o Vehículo ligero .....                                          | 5  |
| o Vehículo pesado .....                                          | 5  |
| 4. MODELO DE CÁLCULO Y PLANTEAMIENTO DE LA VERIFICACIÓN .....    | 7  |
| 4.1. Cálculo .....                                               | 8  |
| 4.2. Resultados .....                                            | 8  |
| 5. CONCLUSIONES .....                                            | 10 |
| 6. ANEJOS .....                                                  | 11 |
| 6.1. - Características sistema PALEX-CE15 .....                  | 11 |
| 6.2. - Masas máximas por eje permitidas según RD 2822/1998 ..... | 11 |
| 6.3. - Resultados gráficos de tensiones y deformaciones .....    | 11 |

## **1. ANTECEDENTES, OBJETO Y ALCANCE**

Se plantea la ejecución de una solera vegetal drenante y de rodadura, con capacidad para vegetación, mediante el sistema PALEX CE15 sobre una subbase de material granular compactado según la normativa correspondiente (habitualmente, norma 6.1-IC).

El objeto del presente informe es verificar el correcto funcionamiento del conjunto solera-subbase para las cargas de tráfico que se describen en el apartado de datos de partida.

Queda fuera del alcance de este informe cualquier verificación sobre el diseño, caracterización, y ejecución de la subbase de apoyo, o tipo de explanada si se trata de tráfico de vehículos. Este punto debe figurar en el Proyecto de Ejecución y depende de otros factores mas restrictivos que los considerados para el diseño de la solera vegetal drenante.

## 2. NORMATIVA DE REFERENCIA

El dimensionamiento y ejecución de la solera vegetal drenante se realiza de acuerdo con el Código Estructural CE-21.

### 2.1. MATERIALES

#### 2.1.1. HORMIGÓN ARMADO

##### 2.1.1.1. HORMIGÓN ( HA30/F/16/XC4) (1), (2)

|                                                                    | Solera vegetal drenante |
|--------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Resistencia Característica: $f_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )          | 30                      |
| Tipo de cemento (RC-16)                                            | CEM I/32.5              |
| Cantidad máx/mín de cemento (kp/m <sup>3</sup> )                   | 400/300                 |
| Máxima relación agua/cemento                                       | 0.55                    |
| Tamaño máximo del árido (mm)                                       | 16                      |
| Clase de exposición (agresividad)                                  | XC4                     |
| Consistencia del hormigón                                          | Fluida                  |
| Asiento Cono de Abrams (cm)                                        | 10 a 15                 |
| Sistema de compactación                                            | Vibrado                 |
| Nivel de Control Previsto                                          | Estadístico             |
| Coefficiente de Minoración                                         | 1.5                     |
| Resistencia de cálculo del hormigón: $f_{cd}$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 20.00                   |

##### 2.1.1.2. ACERO EN BARRAS

|                                                                          | Toda la obra |
|--------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Designación                                                              | B-500-SD     |
| Límite Elástico (N/mm <sup>2</sup> )                                     | 500          |
| Nivel de Control Previsto                                                | Normal       |
| Coefficiente de Minoración                                               | 1.15         |
| Resistencia de cálculo del acero (barras): $f_{yd}$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 434.78       |

##### 2.1.1.3. ACERO EN MALLAZOS

|                                      | Toda la obra |
|--------------------------------------|--------------|
| Designación                          | B-500-T      |
| Límite Elástico (N/mm <sup>2</sup> ) | 500          |

##### 2.1.1.4. EJECUCIÓN

|                                                                   | Solera vegetal drenante |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| <b>A. Nivel de Control previsto</b>                               | Normal                  |
| <b>B. Coeficiente de Mayoración de las acciones desfavorables</b> | 1.60/1.60               |
| Permanentes/Variables                                             |                         |

(1) Según el Artículo 27 de CE-21, la clase de exposición a considerar para los elementos de hormigón armado o pretensado en el exterior, expuestos al contacto con el agua, de forma no permanente (por ejemplo, la procedente de la lluvia, será XC4.

(2) Para otros casos particulares, ambientes agresivos, ciclos de hielo-deshielo, empleo de sales fundentes, etc, la designación y tipo de hormigón puede ser mas restrictiva. Artículo 27 de CE-21.

### 3. DATOS DE PARTIDA

Para la elaboración de este Informe se cuenta con los siguientes datos de partida que se adjuntan, como Anejo, al final de este Informe:

- Catálogo y características del sistema PALEX-CE15.
- Masas máximas autorizadas según RD 2822/1998
- Masas máximas por eje permitidas según RD 2822/1998

Según los Datos del Registro General del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible:

**o VEHÍCULO LIGERO**

Vehículo automóvil especialmente acondicionado para el transporte de mercancías cuyo peso máximo autorizado no exceda de 6 toneladas, o que, aun sobrepasando dicho peso, tenga una capacidad de carga útil no superior a 3,5 toneladas.

**o VEHÍCULO PESADO**

Vehículo automóvil especialmente acondicionado para el transporte de mercancías cuyo peso máximo autorizado sea superior a 6 toneladas y cuya capacidad de carga exceda de 3,5 toneladas. Las cabezas tractoras tendrán la consideración de vehículos pesados cuando tengan una capacidad de arrastre de más de 3,5 toneladas de carga.

Se han estudiado seis escalones de carga según la masa de los vehículos:

1. Masa del vehículo de 0 a 3.50 toneladas

- Casos de carga:
  - o Eje simple de 3.50 ton 1.75 ton/rueda

2. Masa del vehículo de 3.60 a 4.50 toneladas

- Casos de carga:
  - o Eje simple de 4.50 ton 2.25 ton/rueda

3. Masa del vehículo de 4.60 a 11.00 toneladas

- Casos de carga:
  - o Eje simple de 9.00 ton 4.50 ton/rueda

4. Masa del vehículo de 11.10 a 13.50 toneladas

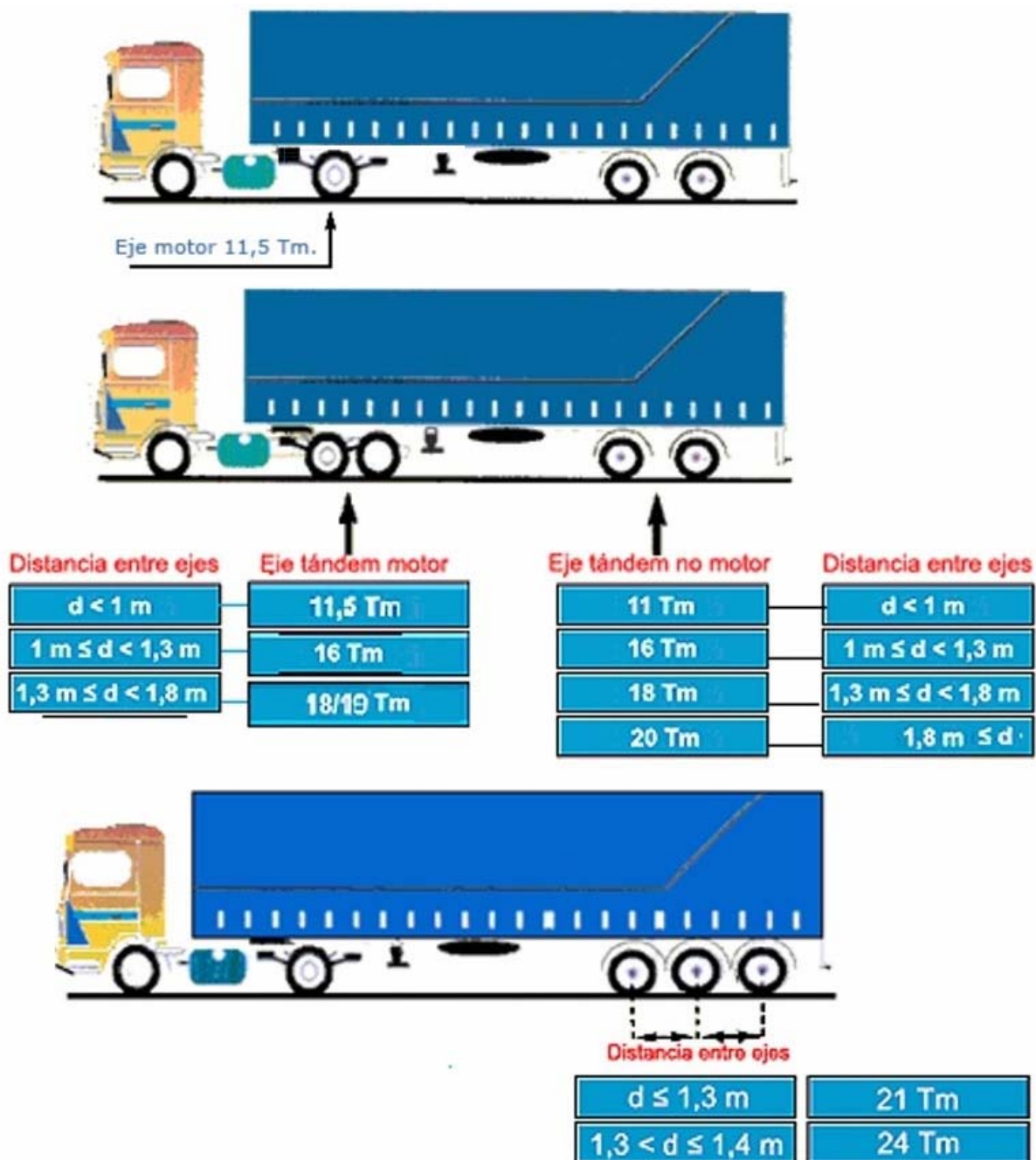
- Casos de carga:
  - o Eje simple motor de 11.50 ton 5.75 ton/rueda

5. Masa del vehículo de 13.60 a 30.00 toneladas

- Vehículos de motor rígidos de dos ejes.
- Vehículos de motor rígidos de tres ejes.
- Remolques de dos ejes.
- Remolques de tres ejes.
- Casos de carga:
  - o Eje simple motor de 11.50 ton 5.75 ton/rueda
  - o Eje tandem de 18 ton con d= 1.3 m 4.50 ton/rueda, separadas 1.3 m

## 6. Masa del vehículo de 30.10 a 40.00 toneladas

- Vehículos de motor rígidos de cuatro ejes.
- Vehículos articulados de cuatro ejes.
- Trenes de carretera de cuatro ejes.
- Vehículos articulados de cinco o mas ejes.
- Trenes de carretera de cinco o mas ejes.

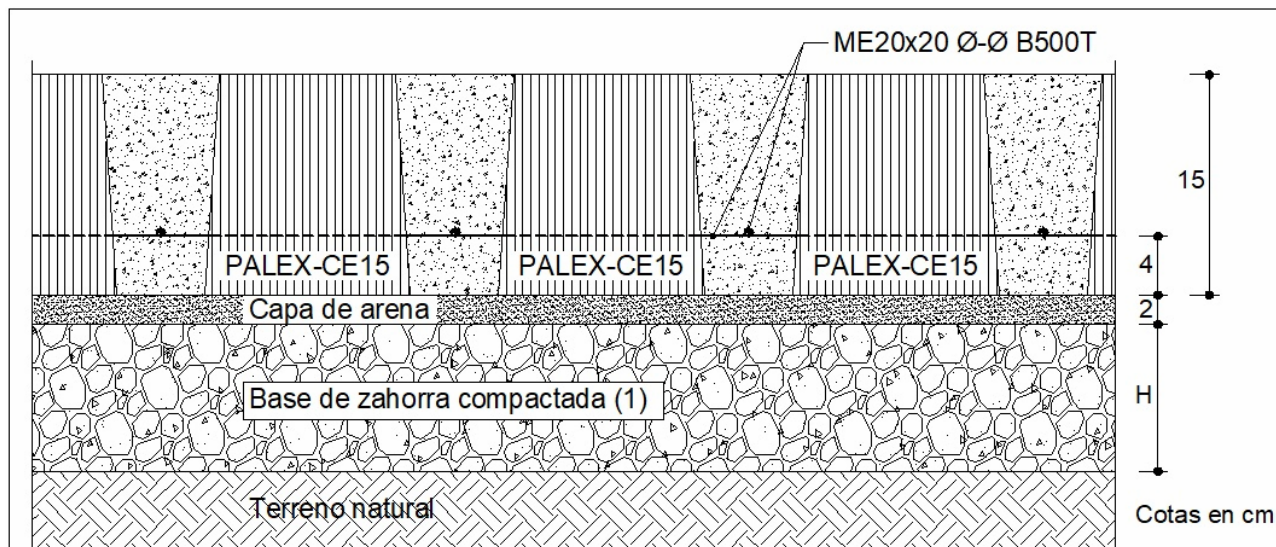


## • Casos de carga:

- o Eje simple motor de 11.50 ton 5.75 ton/rueda
- o Eje tándem motor de 11.50 ton con  $d=1.0 \text{ m}$  2.875 ton/rueda, separadas 1.0 m
- o Eje tándem de 18 ton con  $d= 1.3 \text{ m}$  4.50 ton/rueda, separadas 1.3 m
- o Tándem triaxial de 24 ton con  $d= 1.3 \text{ m}$  4.00 ton/rueda, separadas 1.3 m

#### 4. MODELO DE CÁLCULO Y PLANTEAMIENTO DE LA VERIFICACIÓN

La sección constructiva de la solera drenante vegetal es, de forma general, la siguiente:



(1) La sección de proyecto puede requerir la formación de explanadas (E1, E2, E3), y de capas de zahorra sobre ellas, que colaboran de manera favorable en la respuesta del conjunto. En todos los casos la solera drenante vegetal resuelta mediante el sistema PALEX-CE15 es la capa superior, de rodadura. La solera ejecutada mediante este sistema debe transmitir la carga al terreno natural, como mínimo, a través de la capa base de zahorra compactada de H cm de espesor.

En la verificación planteada se realizan las siguientes hipótesis:

- La solera se discretiza como un emparillado de hormigón armado en retícula de 20x20 cm y canto de 15 cm, armada con malla electrosoldada 20x20  $\phi$ - $\phi$  B500T.
- La solera transmite la carga al terreno mediante deformación del conjunto, de forma proporcional al módulo de balasto de la base compactada. De acuerdo con la bibliografía existente, para una zahorra compactada se puede considerar un módulo de balasto promedio de 74 MN/m<sup>3</sup>, es decir, 7400 ton/m<sup>3</sup> (7.40 Kg/cm<sup>3</sup>).
- Aunque la verificación del sistema debe hacerse en términos de deformación, y no de tensiones admisibles, puede hacerse una primera estimación de la carga transmitida al terreno:

De acuerdo con 4.1.2 de IAP-11, "...Para las comprobaciones locales, la carga puntual de cada rueda de un vehículo pesado se supondrá uniformemente repartida en una superficie de contacto cuadrada de 0,4 m x 0,4 m. Se considerará que esta carga se reparte con una pendiente 1:1 (H:V), tanto a través del pavimento como a través de la losa..."

La carga máxima de 5.75 ton/rueda en una superficie de 0.4mx0.4m, transmitida con pendiente 1:1 a una profundidad de 32 cm (15+2+15), supone una tensión de:

$$\sigma = 5.75 / (0.72 \times 0.72) = 11.09 \text{ ton/m}^2 = 1.11 \text{ Kg/cm}^2$$

Es decir, **el sistema de solera drenante vegetal PALEX-CE15 debe ser ejecutado sobre terrenos con capacidad portante superior a 1.25 Kg/cm<sup>2</sup>**

#### 4.1. CÁLCULO.

A la vista de los escalones de carga resultantes del apartado de Datos de Partida se observa que la sollicitación sobre la solera no depende tanto de la masa total del vehículo como del tipo de este y del número y tipo de ejes.

De acuerdo con esto, se resuelven los siguientes casos:

1. Masa del vehículo de 0 a 3.50 toneladas
  - Casos de carga:
    - o Eje simple de 3.50 ton 1.75 ton/rueda
2. Masa del vehículo de 3.60 a 4.50 toneladas
  - Casos de carga:
    - o Eje simple de 4.50 ton 2.25 ton/rueda
3. Masa del vehículo de 4.60 a 11.00 toneladas
  - Casos de carga:
    - o Eje simple de 9.00 ton 4.50 ton/rueda
4. Masa del vehículo de 11.10 a 13.50 toneladas
  - Casos de carga:
    - o Eje simple motor de 11.50 ton 5.75 ton/rueda
5. Masa del vehículo de 13.60 a 30.00 toneladas
  - Casos de carga:
    - o Eje tándem de 18 ton con  $d = 1.3$  m 4.50 ton/rueda, separadas 1.3 m
6. Masa del vehículo de 30.10 a 40.00 toneladas
  - Casos de carga:
    - o Tándem triaxial de 24 ton con  $d = 1.3$  m 4.00 ton/rueda, separadas 1.3 m

En todos los casos se ha considerado, del lado de la seguridad, una anchura de eje de 2.40m

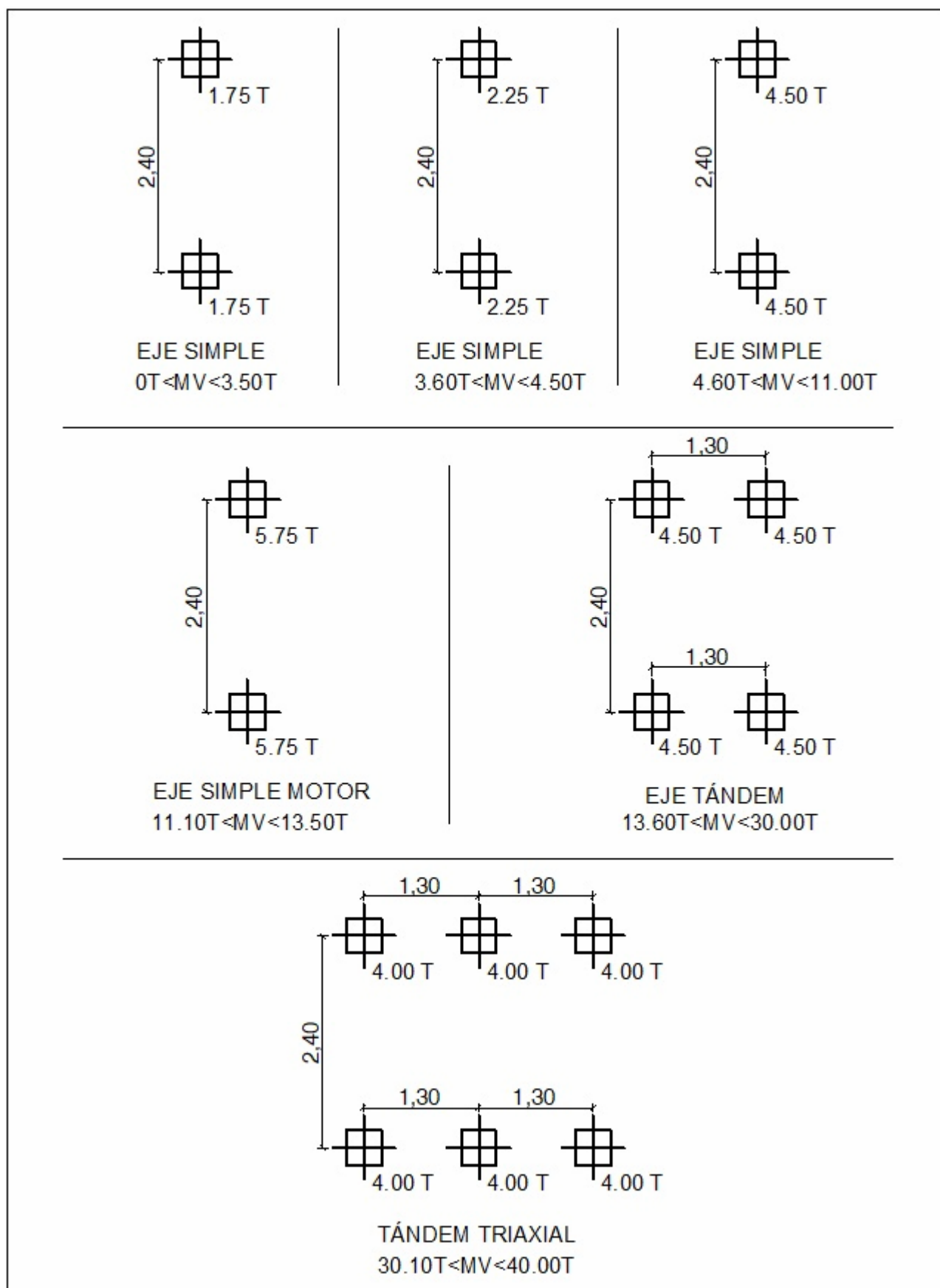
Se ha modelizado una losa flotante sobre un terreno con un módulo de balasto correspondiente al K promedio considerado:  $7400 \text{ ton/m}^3$

Sobre la losa flotante se aplican las cargas correspondientes a las acciones de la ruedas según los esquemas que se muestran en la página siguiente:

#### 4.2. RESULTADOS.

Como se puede ver en la representación gráfica de tensiones, estas se reparten en una superficie alrededor del área cargada. La zona de influencia de la carga puede estimarse en no mas de 1.35 m alrededor de la posición de las ruedas y el valor de la tensión transmitida a la explanada no supera los  $0.25 \text{ kp/cm}^2$ .

Los asientos correspondientes son inferiores a 0.40 mm bajo rueda.

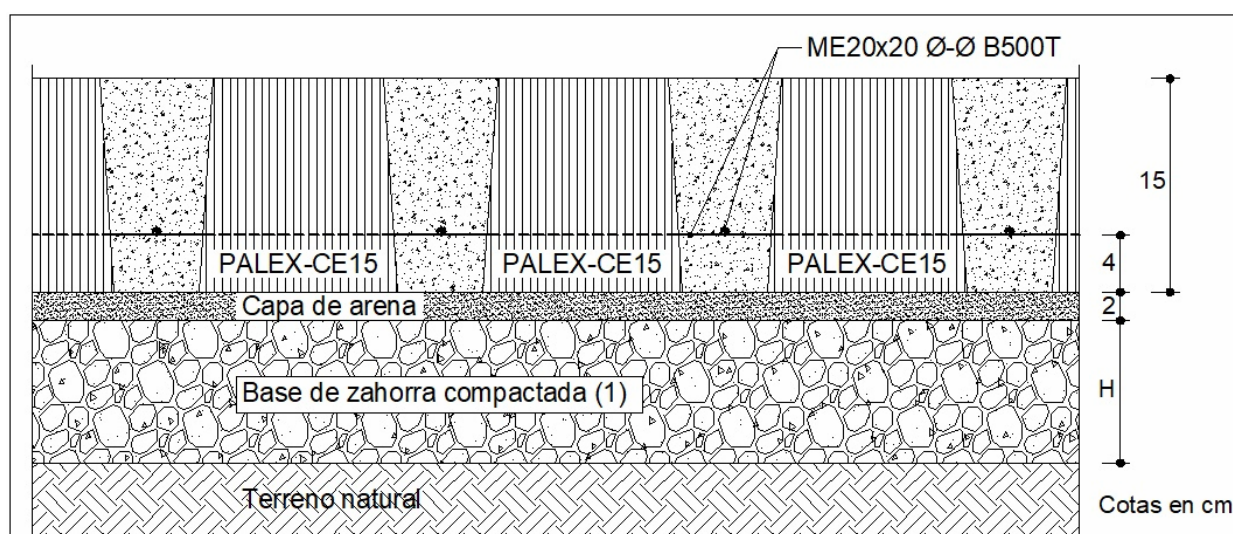


Los resultados gráficos de tensiones y deformaciones se adjuntan en el Anejo 6.3.

## 5. CONCLUSIONES.

Los resultados de la verificación realizada, que se plasman en la siguiente tabla, permiten sacar las siguientes conclusiones:

- La solera drenante vegetal ejecutada con el sistema PALEX-CE15 es capaz de transmitir las cargas al terreno mediante deformaciones admisibles a nivel de la base compactada y de la propia solera.
- Las tensiones máximas que aparecen bajo rueda a nivel del terreno son inferiores a las admisibles para terrenos de capacidad portante superior a  $0.50 \text{ Kg/cm}^2$ .



| Masa del vehículo  | Armadura                 | H, espesor base compactada (mm) |
|--------------------|--------------------------|---------------------------------|
| De 0 a 3,50 T      | ME20x20 $\Phi$ 6-6 B500T | 100 (1)                         |
| De 3,50 a 4,50 T   | ME20x20 $\Phi$ 8-8 B500T | 100 (1)                         |
| De 4,50 a 11,00 T  | ME20x20 $\Phi$ 8-8 B500T | 150 (1)                         |
| De 11,00 a 13,50 T | ME20x20 $\Phi$ 8-8 B500T | 150 (1)                         |
| De 13,50 a 30,00 T | ME20x20 $\Phi$ 8-8 B500T | 150 (1)                         |
| De 30,00 a 40,00 T | ME20x20 $\Phi$ 8-8 B500T | 200 (1)                         |

(1) Espesor mínimo requerido.

La solución de Proyecto puede contemplar espesores mayores

Torrelavega, 11 de diciembre de 2024

Fdo: Luis A. Cuevas Franco  
Ingeniero de Caminos, C. y P.

## **6. ANEJOS**

### **6.1. - CARACTERÍSTICAS SISTEMA PALEX-CE15**

### **6.2.- MASAS MÁXIMAS POR EJE PERMITIDAS SEGÚN RD 2822/1998**

### **6.3.- RESULTADOS GRÁFICOS DE TENSIONES Y DEFORMACIONES**

## 6.1.- Características sistema PALEX-CE15



## Ficha Técnica PALEX CE15 \*\*\*\*\*

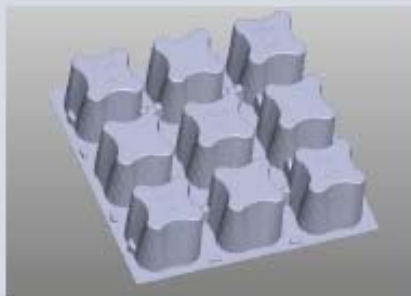
### MOLDE PARA EL HORMIGON Y LA HIERBA PALEX CE15

El ecológico Molde PALEX CE 15 permite la construcción de una superficie continua hormigón-hierba con una gran capacidad de carga y drenante, proporcionando así un sistema de pavimentación sostenible y de impacto ambiental cero.



#### CARACTERISTICAS TECNICAS DEL MOLDE PARA EL HORMIGON Y LA HIERBA PALEX CE15 3 UNIDADES = 1,08 M2

|                                     |                                     |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| MATERIAL                            | POLIESTIRENO RECICLADO Y RECICLABLE |
| DIMENSION                           | 60 x 60 x15 cm.                     |
| SUPERFICIE CON HIERBA (DRENAJE)     | 45,1 %                              |
| SUPERFICIE DE APOYO                 | 54,9 %                              |
| VOLUMEN HORMIGON                    | 0,084 M3/M2                         |
| VOLUMEN DE TIERRA                   | 0,067 M3/M2                         |
| ESPACIADORES PARA LA MALLA          | H 4 cm.                             |
| CARACTERISTICAS HORMIGON ACONSEJADO | RcK $\geq$ 300 Kg/cm2               |





## TABLA DE CARGAS

## PUESTA EN OBRA



COLOCACION DE MOLDE PARA EL HORMIGON Y LA HIERBA



COLOCACIÓN DE MALLA ELECTROSOLDADA



FASE DE HORMIGONADO A RAS DE LA PARTE SUPERIOR DEL MOLDE



ROTURA Y QUEMADO DE LA PARTE SUPERIOR Y PAREDES DEL MOLDE



RELLENO CON TIERRA VEGETAL Y SEMILLADO



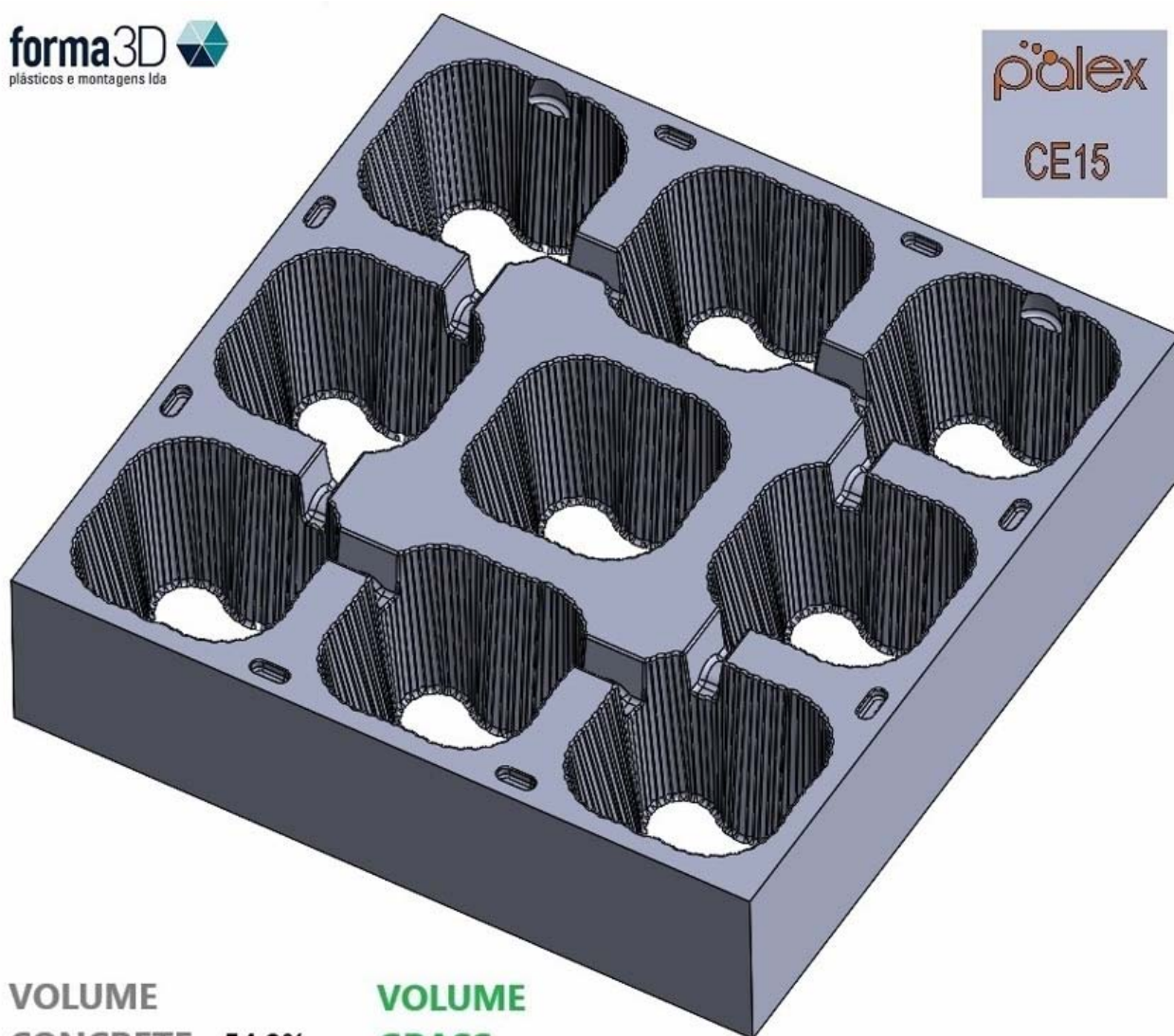
PAVIMENTO HIERBA HORMIGON REALIZADO CON MOLDE PALEX CE15





forma3D  
plásticos e montagens lda

palex  
CE15



**VOLUME  
CONCRETE 54,9%**

**VOLUME  
GRASS 45,1%**

Density = 0.0024 kilograms per cubic centimeter

Mass = 70.9948 kilograms

Volume = 29581.1462 cubic centimeters

Density = 0.0013 kilograms per cubic centimeter

Mass = 31.5596 kilograms

Volume = 24276.6088 cubic centimeters

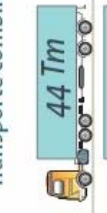
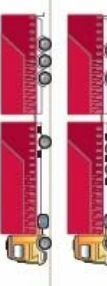
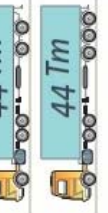
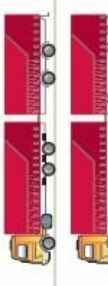
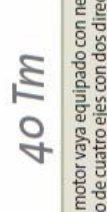
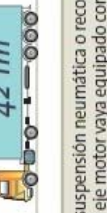
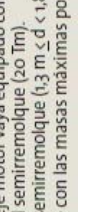
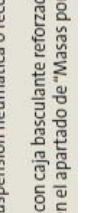
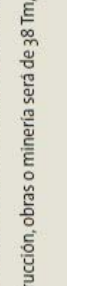
## 6.2.- Masas máximas por eje permitidas

### Masas máximas por eje permitidas RD 2822/1998

Tabla 1. Masas por eje máximas permitidas RD 2822/1998

|            |                                                                                                                                                                                                                                                                          | Toneladas |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Eje simple | Eje motor                                                                                                                                                                                                                                                                | 11,5      |
|            | Eje motor de los vehículos de la clase I (autobuses urbanos), según la clasificación de la Directiva 2001/85/CE, de 20 de noviembre                                                                                                                                      | 13        |
|            | Eje motor de los vehículos de las clases II y III (autobuses interurbanos), según la clasificación de la Directiva 2001/85/CE de 20 de noviembre                                                                                                                         | 12,6      |
|            | Eje no motor                                                                                                                                                                                                                                                             | 10        |
|            | <b>Eje tándem de los vehículos de motor</b>                                                                                                                                                                                                                              |           |
| Eje Tandem | Si la separación «d» de dos ejes es inferior a 1,00 metros ( $d < 1,00 \text{ m}$ )                                                                                                                                                                                      | 11,5      |
|            | Si es igual o superior a 1,00 metros e inferior a 1,30 metros ( $1,00 \text{ m} \leq d < 1,30 \text{ m}$ )                                                                                                                                                               | 16        |
|            | Si es igual o superior a 1,30 metros e inferior a 1,80 metros ( $1,30 \text{ m} \leq d < 1,80 \text{ m}$ )                                                                                                                                                               | 18        |
|            | En el caso anterior si el eje motor va equipado con neumáticos dobles y suspensión neumática o reconocida como equivalente a escala comunitaria, o cuando cada eje motor esté equipado con neumáticos dobles y la masa máxima de cada eje no excede de las 9,5 toneladas | 19        |
|            | <b>Eje tándem de los remolques o semirremolques</b>                                                                                                                                                                                                                      |           |
|            | Si la separación «d» de los ejes es inferior a 1,00 metros ( $d < 1,00 \text{ m}$ )                                                                                                                                                                                      | 11        |
|            | Si es igual o superior a 1,00 metros e inferior a 1,30 metros ( $1,00 \leq d < 1,30 \text{ m}$ )                                                                                                                                                                         | 16        |
|            | Si es igual o superior a 1,30 metros e inferior a 1,80 metros ( $1,30 \text{ m} \leq d < 1,80 \text{ m}$ ) (1)                                                                                                                                                           | 18        |
|            | Si es igual o superior a 1,80 metros ( $1,80 \text{ m} \leq d$ )                                                                                                                                                                                                         | 20        |
|            | <b>Tándem triaxial de los remolques o semirremolques</b>                                                                                                                                                                                                                 |           |
|            | Si la distancia es igual o inferior a 1,30 metros ( $d \leq 1,30 \text{ m}$ )                                                                                                                                                                                            | 21        |
|            | Si la distancia es superior a 1,30 metros e inferior o igual a 1,40 metros ( $1,30 < d \leq 1,40 \text{ m}$ )                                                                                                                                                            | 24        |

## MASAS MÁXIMAS AUTORIZADAS

| Vehículos de motor de dos ejes                                                        |              | Vehículos de motor de tres ejes                                                       |                                                                                                                     | Vehículos de motor rígidos de cuatro ejes                                            |                                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
|    | <b>18 Tm</b> |    | Autobuses (clase A y B) 18 Tm<br>Autobuses URBANOS (clase I) 20 Tm<br>Autobuses INTERURBANOS (clase II y III) 19 Tm |    | 25/26 <sup>(a)</sup> Tm                     |
|    | <b>18 Tm</b> |    | <b>Remolques de tres ejes</b>                                                                                       |    | <b>Vehículos articulados de cuatro ejes</b> |
|   | <b>40 Tm</b> |   | <b>Vehículos articulados de cinco o más ejes</b>                                                                    |   | <b>Trenes de carretera de cuatro ejes</b>   |
|   | <b>40 Tm</b> |   | <b>Transporte combinado homologado</b>                                                                              |  | <b>Autobuses articulados de tres ejes</b>   |
|  | <b>40 Tm</b> |  | <b>Contenedor ISO ≥ 20 PIES O CAJA MÓVIL CERRADO</b>                                                                |  | <b>28 Tm</b>                                |
|  | <b>40 Tm</b> |  | <b>Contenedor ISO ≥ 20 PIES O CAJA MÓVIL CERRADO</b>                                                                |  | <b>36 Tm</b>                                |
|  | <b>40 Tm</b> |  | <b>Contenedor ISO ≥ 20 PIES O CAJA MÓVIL CERRADO</b>                                                                |  | <b>31/32<sup>(b)</sup> Tm</b>               |

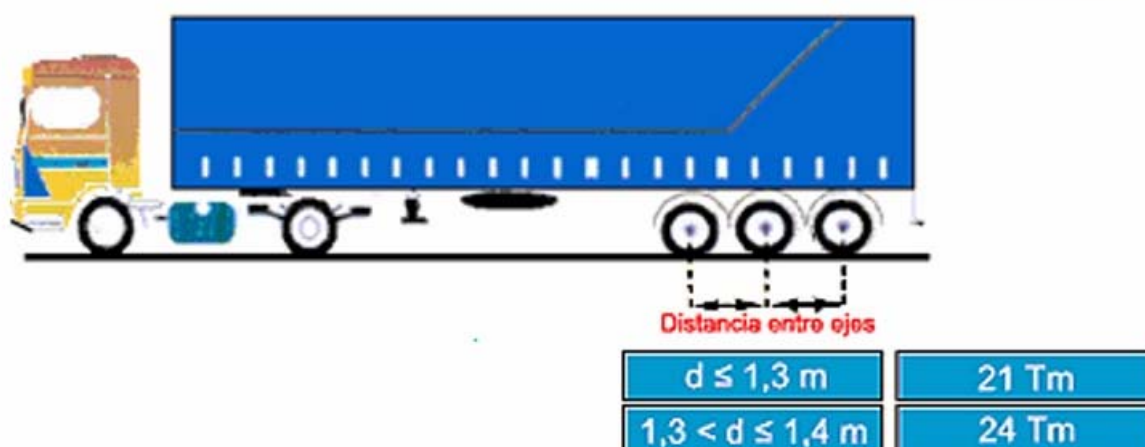
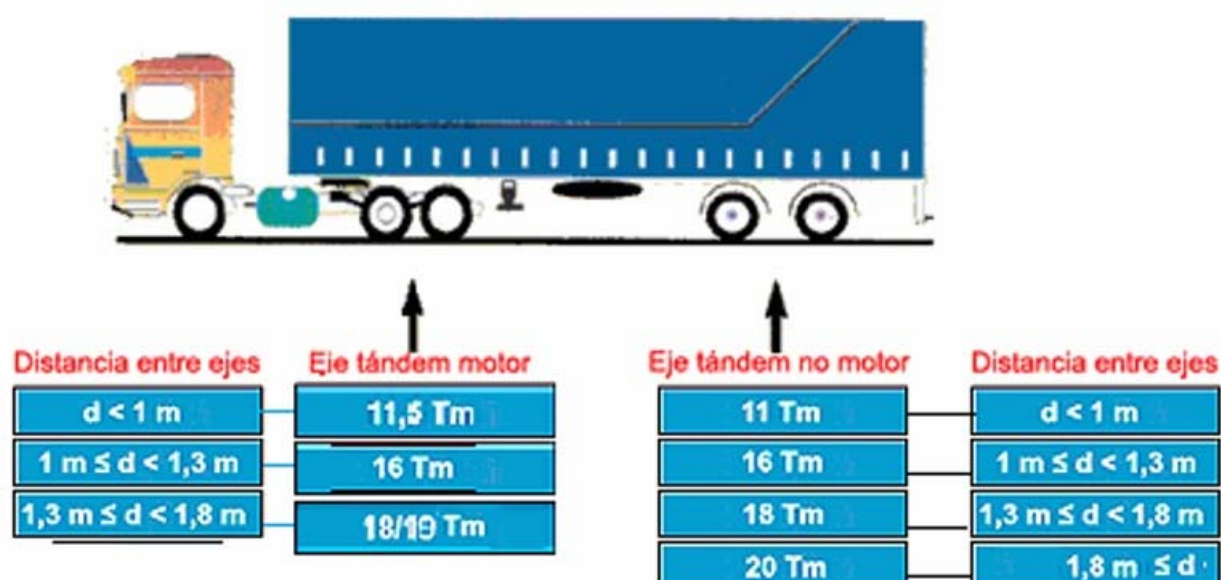
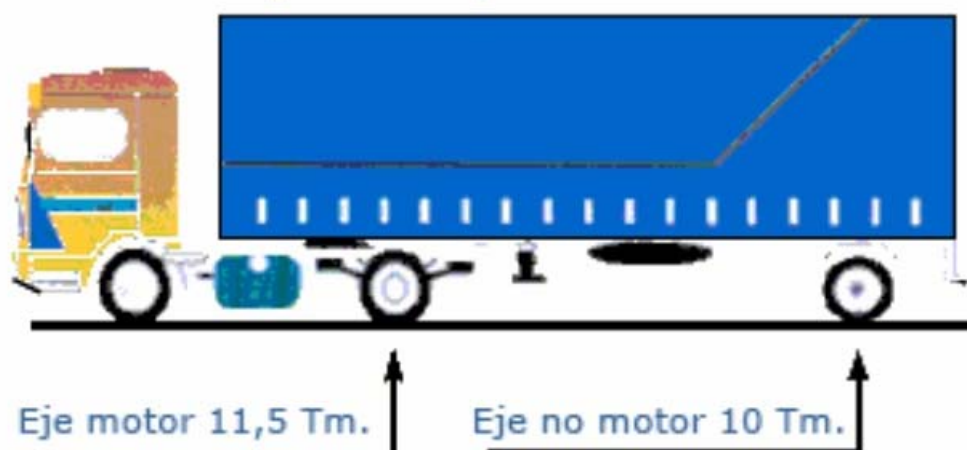
(a) Cuando el eje motor vaya equipado con neumáticos dobles y suspensión neumática o reconocida como equivalente a escala comunitaria, o cuando cada eje motor esté equipado de neumáticos dobles y la MMA de cada eje no exceda de 9,5 Tm.

(b) Vehículo rígido de cuatro ejes con dos direccionales, cuando el eje motor vaya equipado con neumáticos dobles y suspensión neumática o reconocida como equivalente a escala comunitaria, o cuando cada eje motor esté equipado de neumáticos dobles y la MMA de cada eje no exceda de 9,5 Tm.

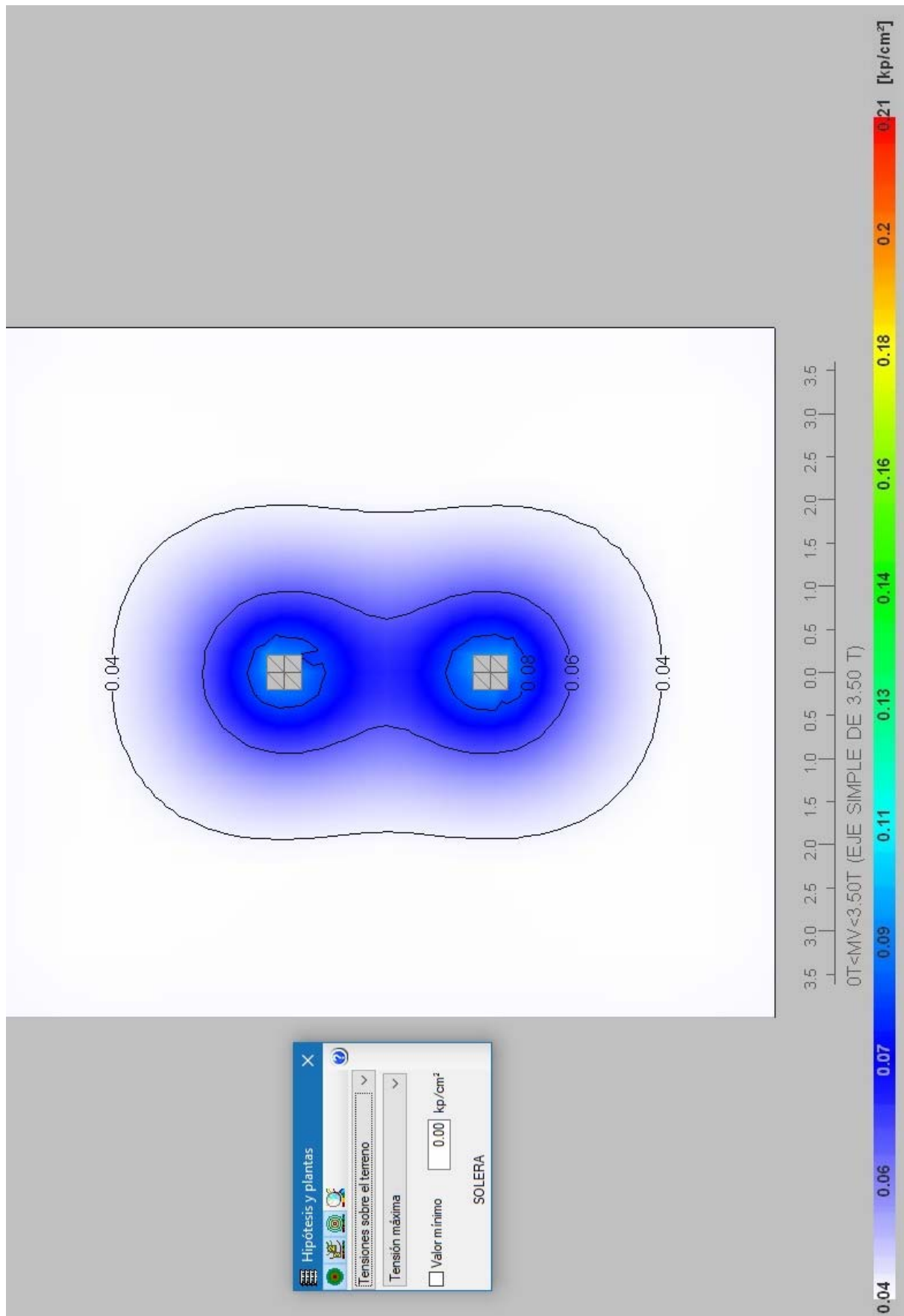
(c) 1. Cuando el eje motor vaya equipado con ruedas gemelas, suspensión neumática o reconocida como equivalente, la distancia entre ejes del semirremolque sea > 1,8 m, y se respeten las MMA del vehículo motor (18 Tm) y la MMA de un eje tandem del semirremolque (20 Tm).

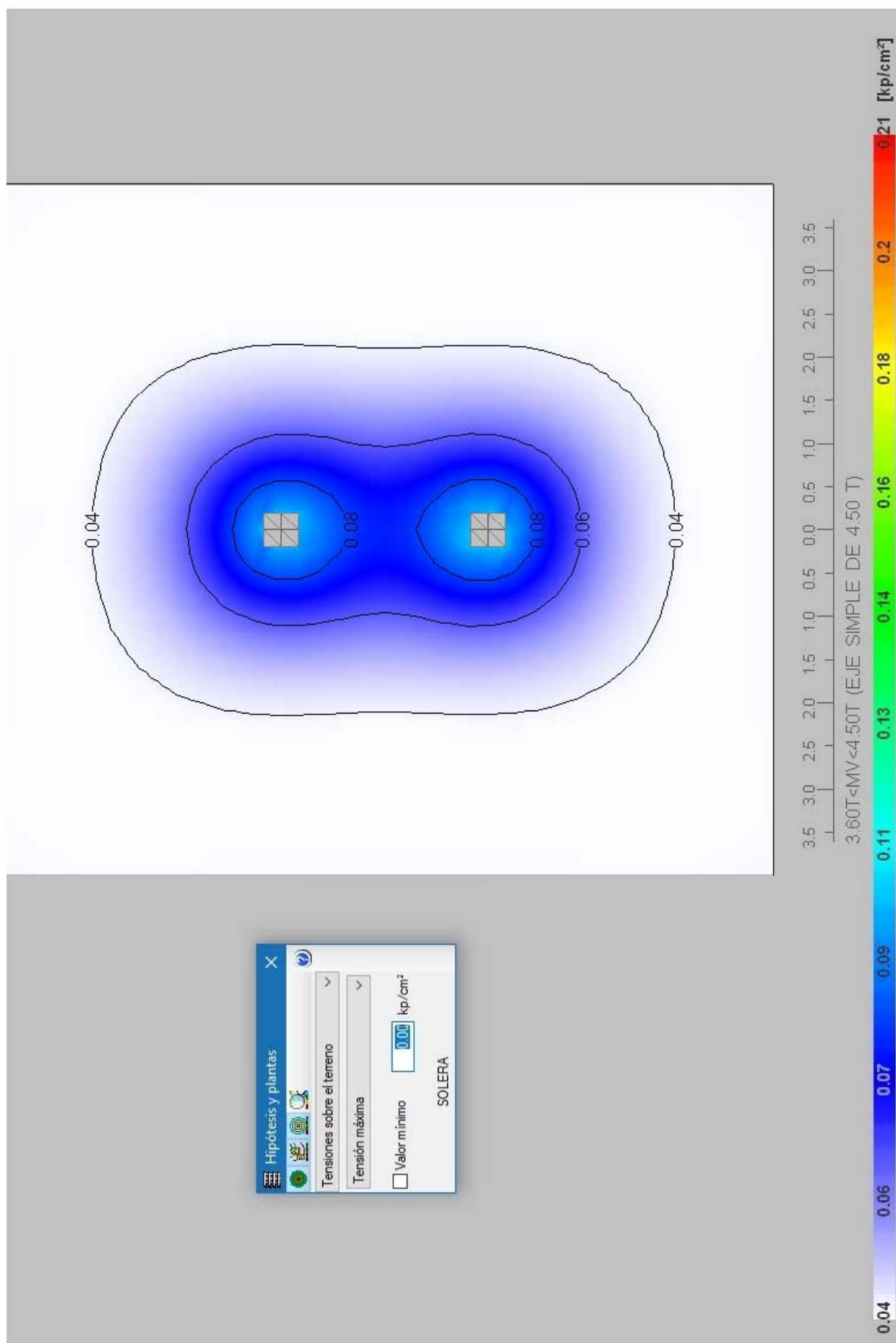
2. Cuando el semirremolque (1,3 m ≤ d < 1,8 m) esté equipado con caja basculante reforzada para la utilización específica en construcción, obras o minería será de 38 Tm, siempre que la carga impuesta sobre el dispositivo de acoplamiento sea compatible con las masas máximas por eje establecidas en el apartado de "Masas por eje máximas permitidas".

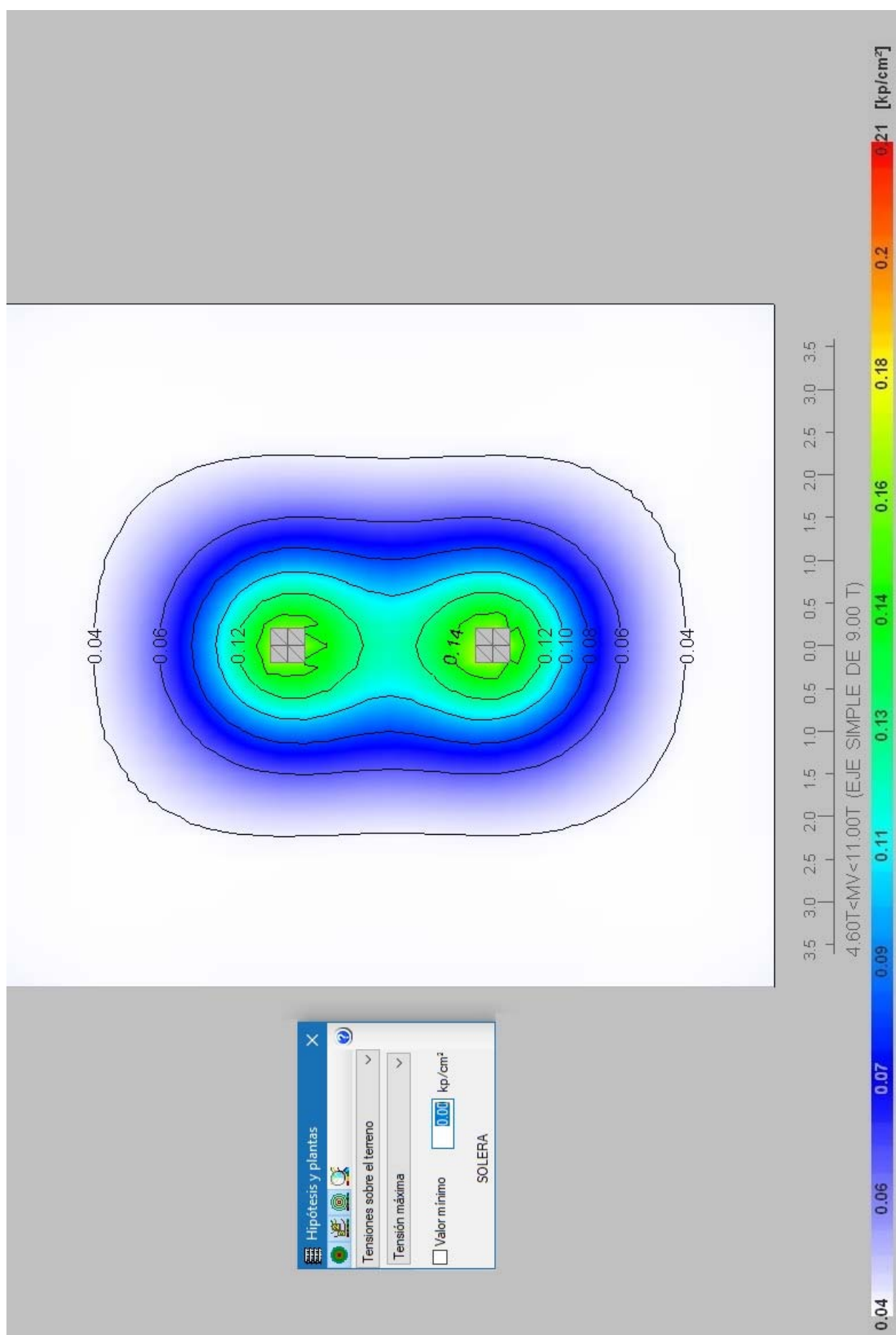
## Ejes simples MMA

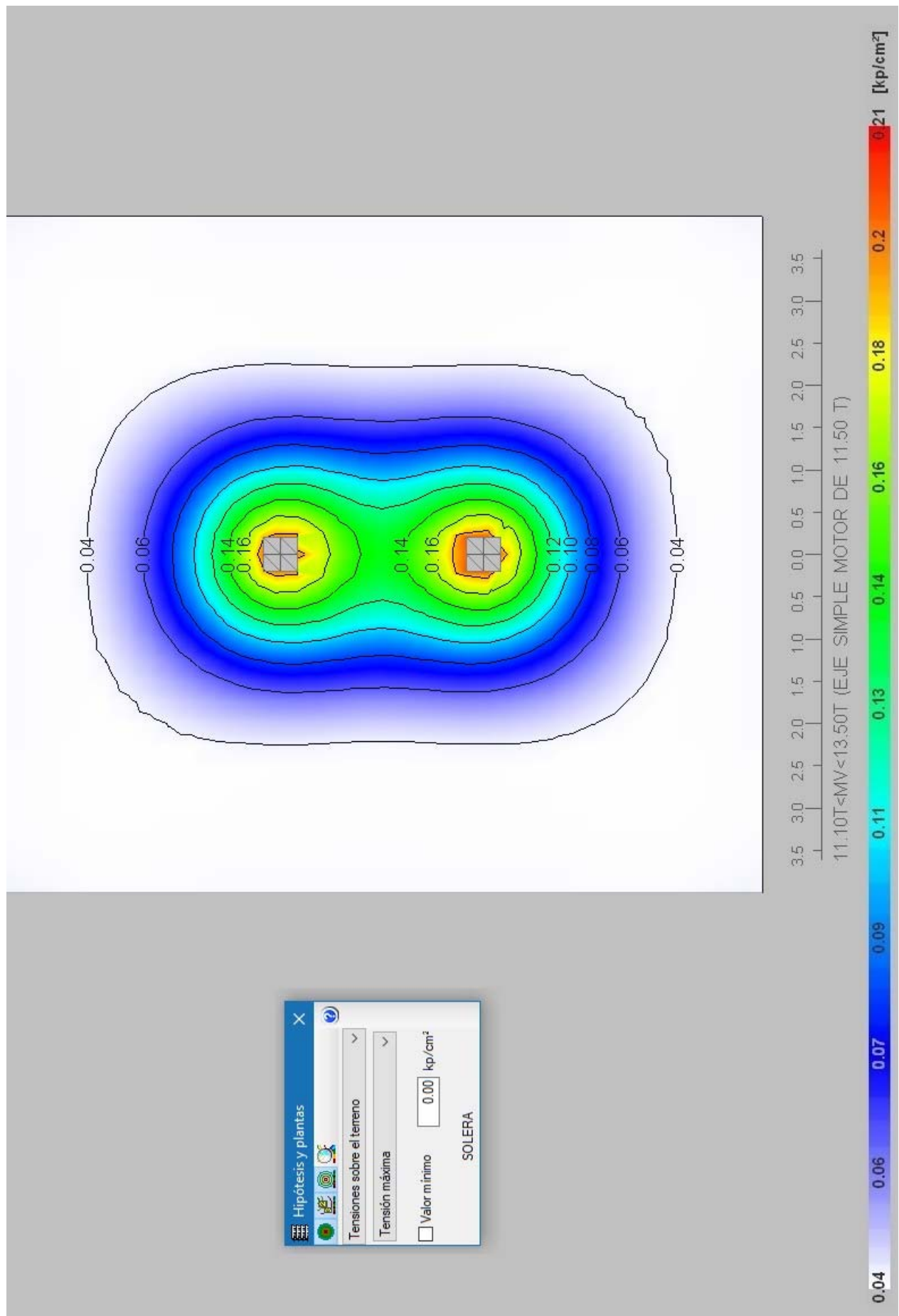


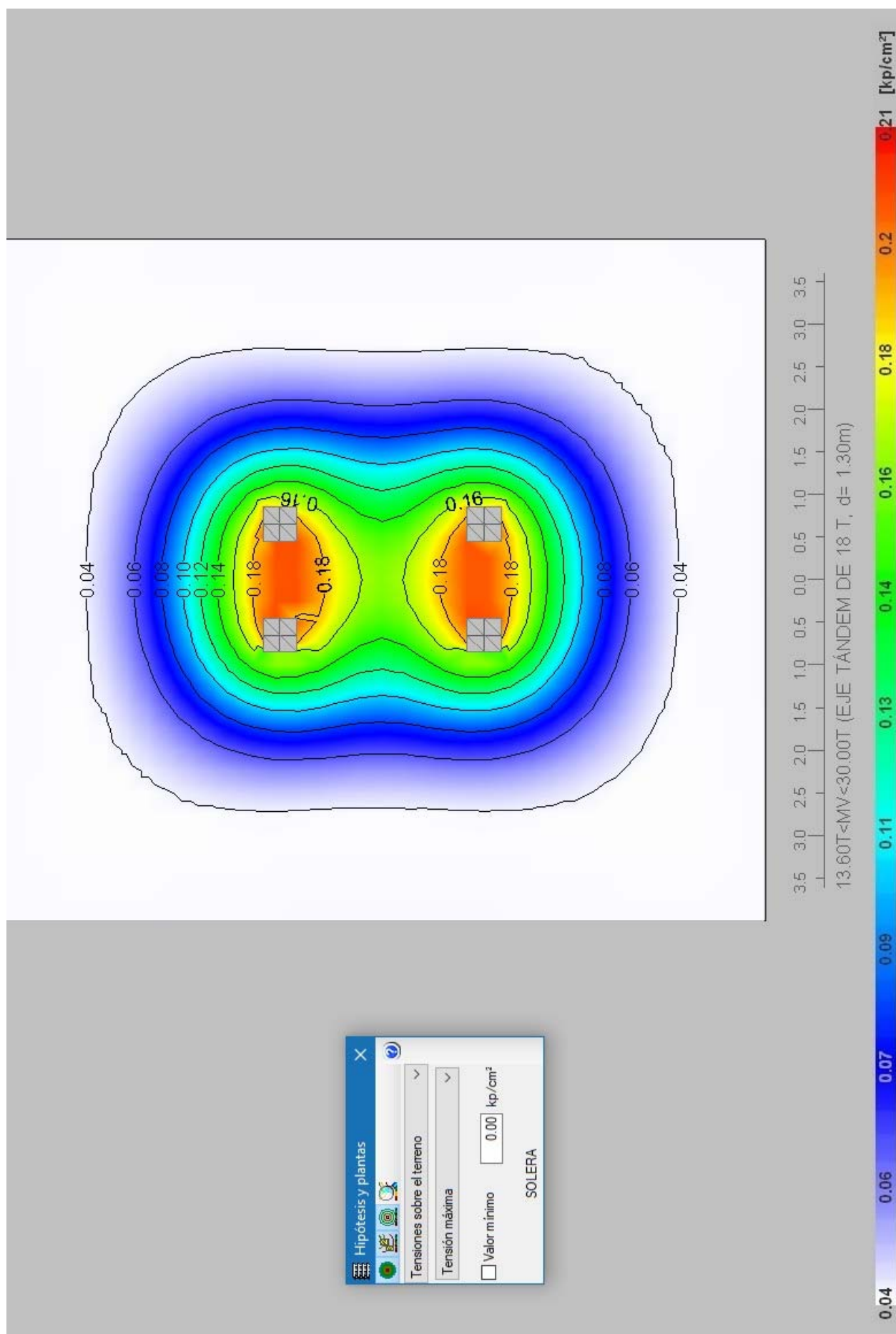
## TENSIONES SOBRE EL TERRENO













## DEFORMACIONES

