



*Jornadas*  
**XX GEOTÉCNICAS**  
**XXIII ESTRUCTURALES**

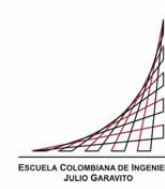
**Análisis numérico de la  
protección de tuberías flexibles  
enterradas mediante láminas  
de acero ante cargas sobre la  
superficie del terreno**

Carlos Arturo Gómez Jiménez

**Escuela Colombiana de  
Ingenieros**



# Presentación



1. Antecedentes y motivación
2. Revisión de literatura
3. Metodología
4. Análisis numérico
5. Resultados
6. Conclusiones



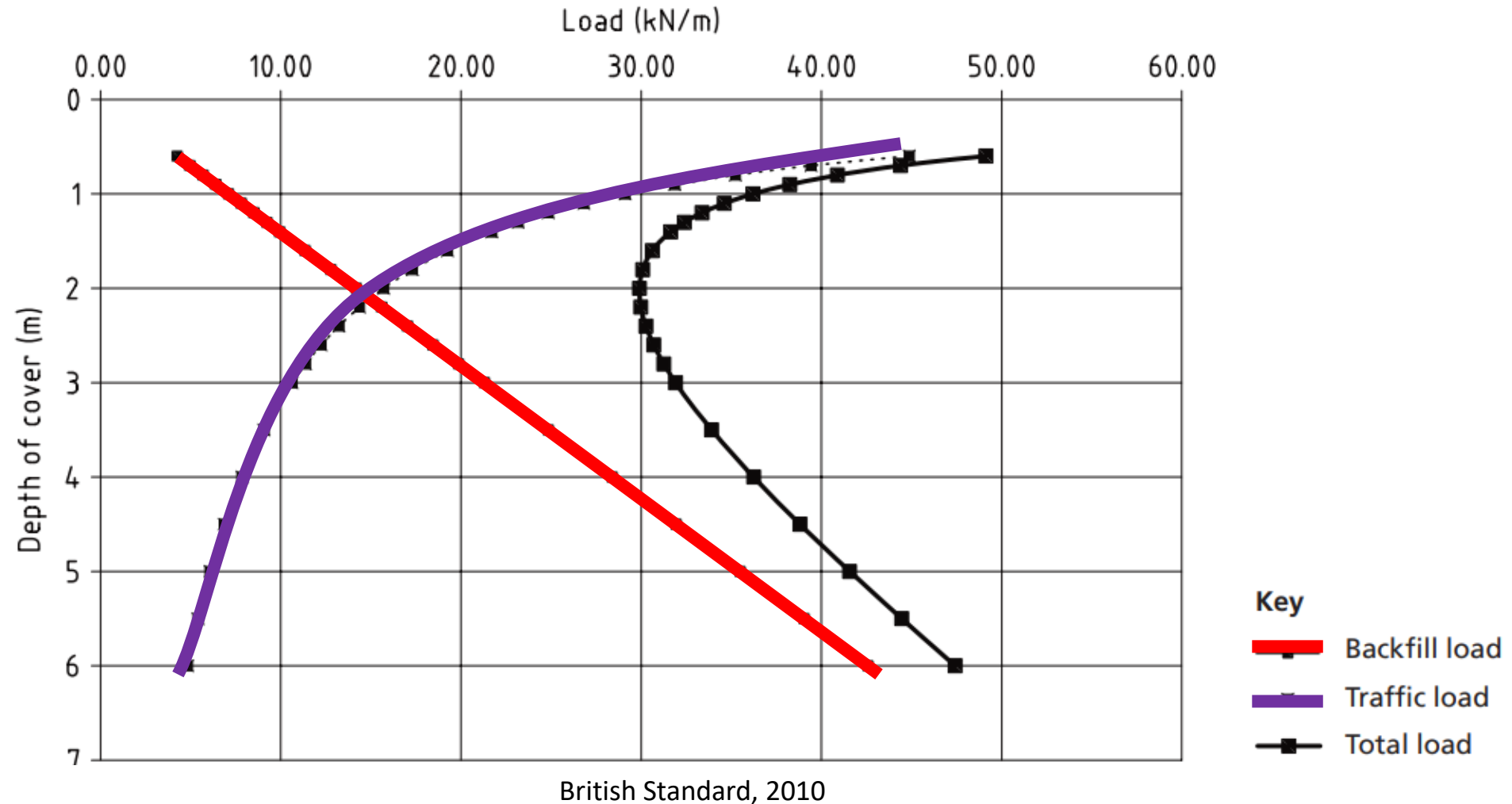
# 1. Antecedentes y motivación



- Diseños de trazados de ductos se proyectan a 50 años, siendo imposible predecir lo que va a ocurrir en el ducto.
- Cuando cruzamos una tubería enterrada, estamos en la obligación de protegerla
- Pero si solo debo de transitar mi maquinaria, por poco tiempo y de manera puntual, ¿qué opción tengo?

# 2. Revisión de literatura

## ¿Qué significa proteger una tubería?





# 2. Revisión de literatura

## Formas de proteger una tubería



Autor Desconocido.



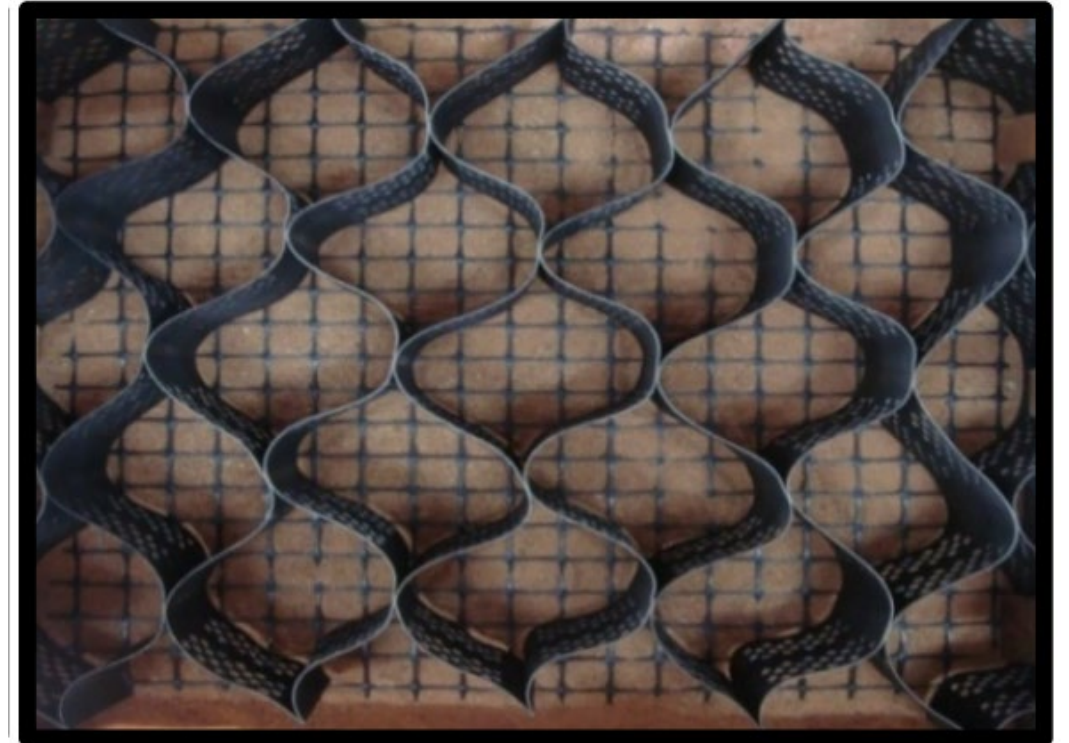
Autor Desconocido.

# 2. Revisión de literatura

## Formas de proteger una tubería



(Cheguevara Orlando Salhuana Quichiz, 2008)

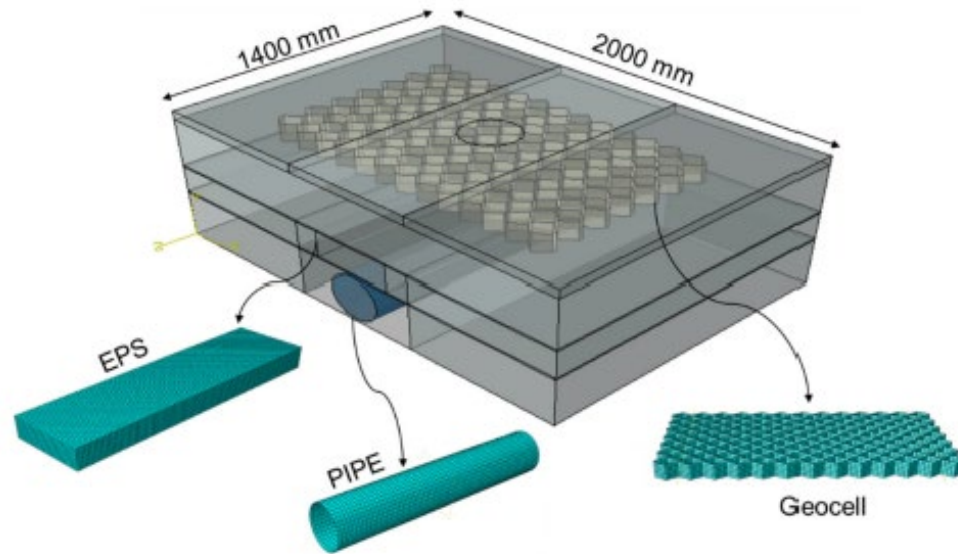


(Hegde et al., 2014)

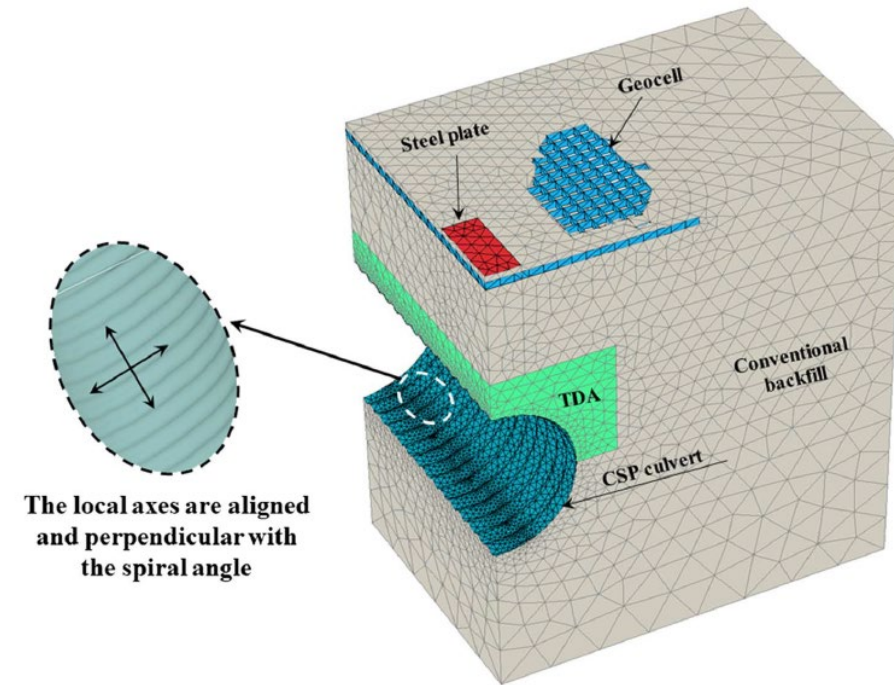


# 2. Revisión de literatura

## Formas de proteger una tubería



Khalaj et al. (2020)



(Mahgoub y Naggar, 2020)

# 2. Revisión de literatura

## ¿Cómo lo analizamos?

(Pires.G., Palmerira. E. ,2020)



(b) View of the equipment

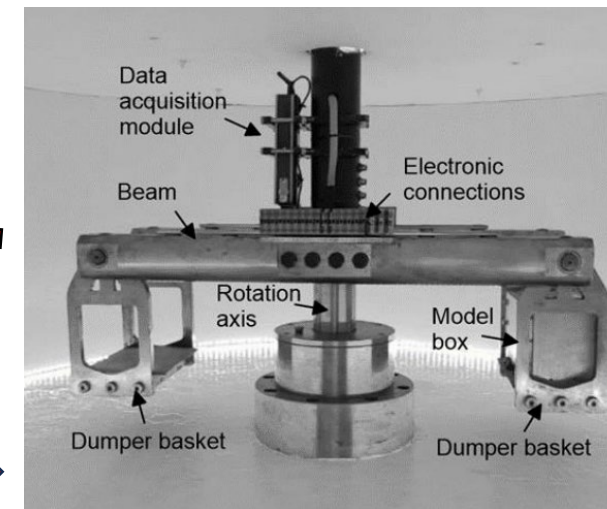
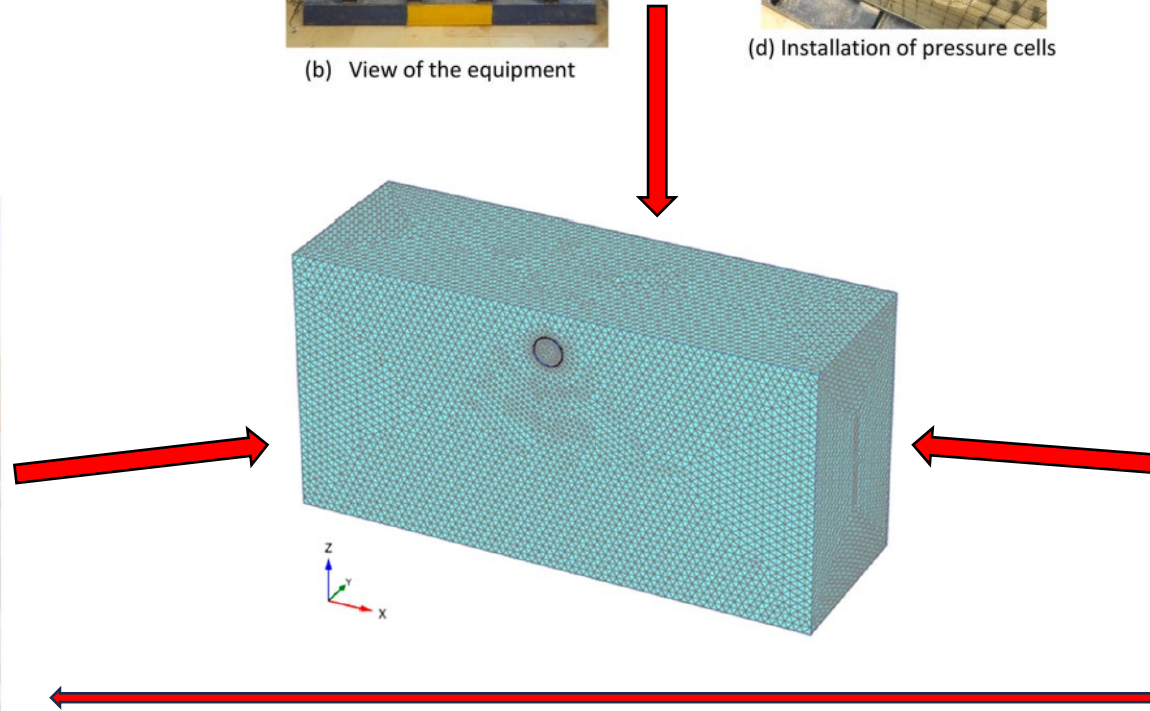


(c) Instrumented pipe



(d) Installation of pressure cells

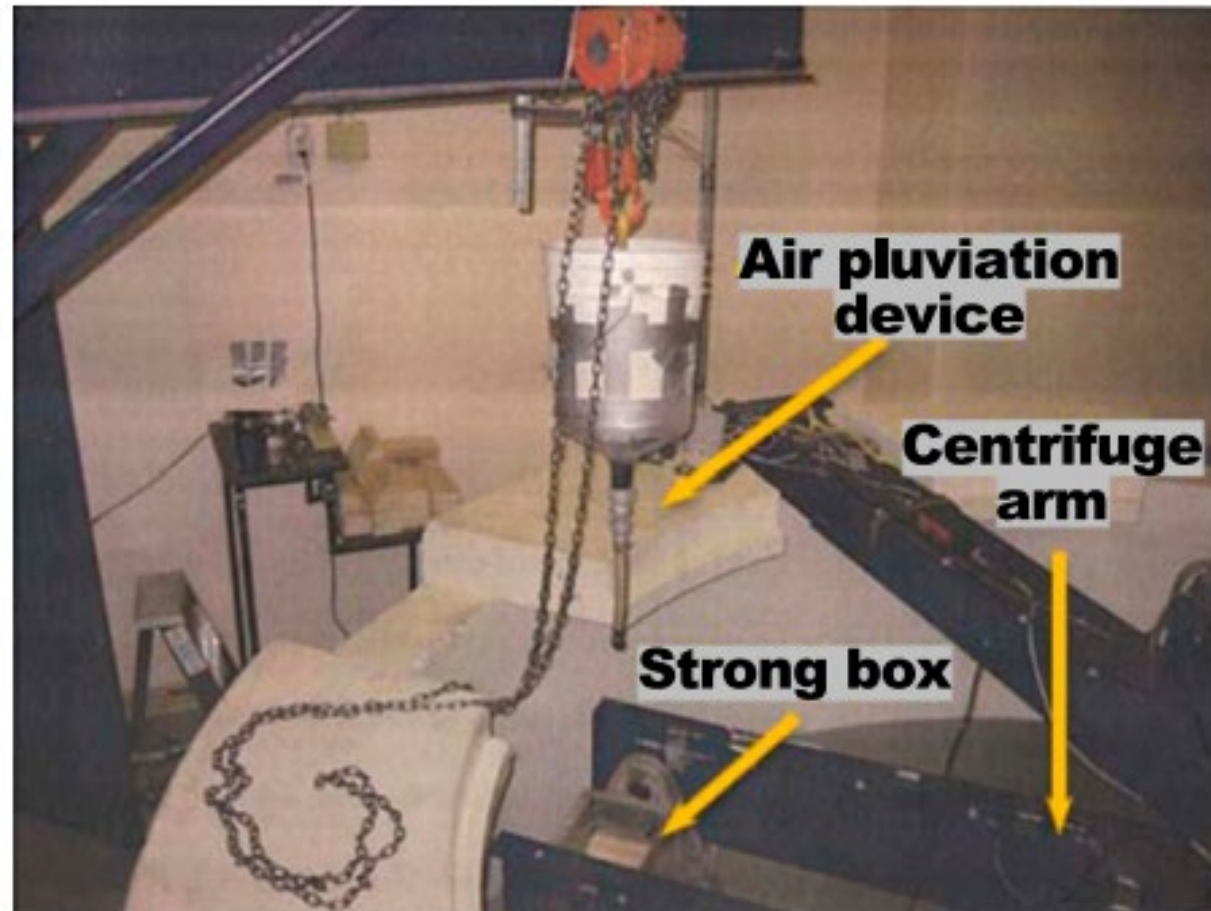
(Boris Rakitin et Ming xu. 2013)





# 2. Revisión de literatura

¿Por qué generalmente arena?

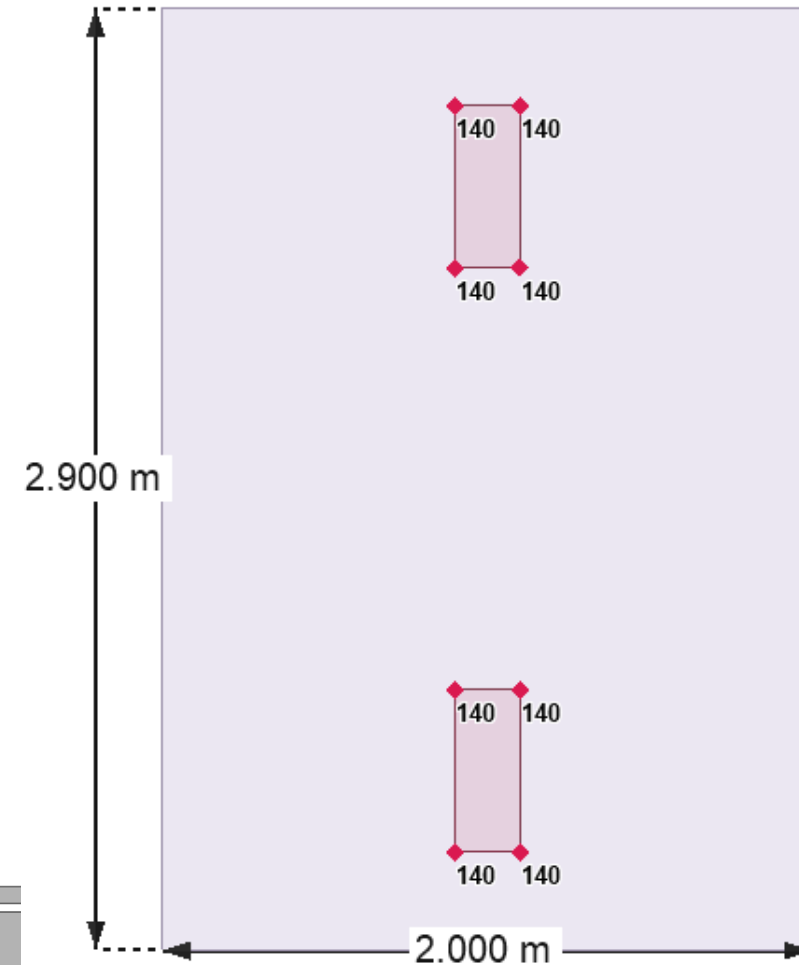
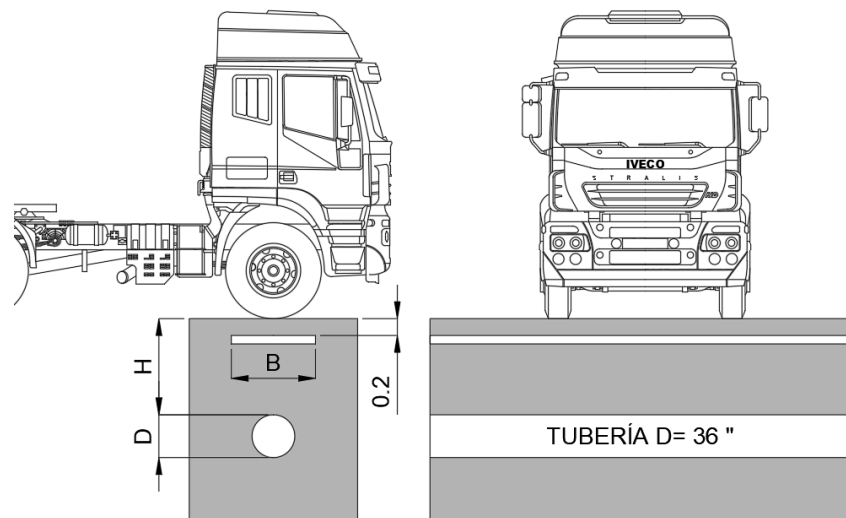


(Bryden et Al. ,2015)

# 3. Metodología

## ¿Qué se buscó?

Determinar mediante análisis numérico los efectos en los esfuerzos y deformaciones de tuberías enterradas debido a la instalación de láminas de acero de 1/8", 1", 3" de espesor como protección contra cargas superficiales.

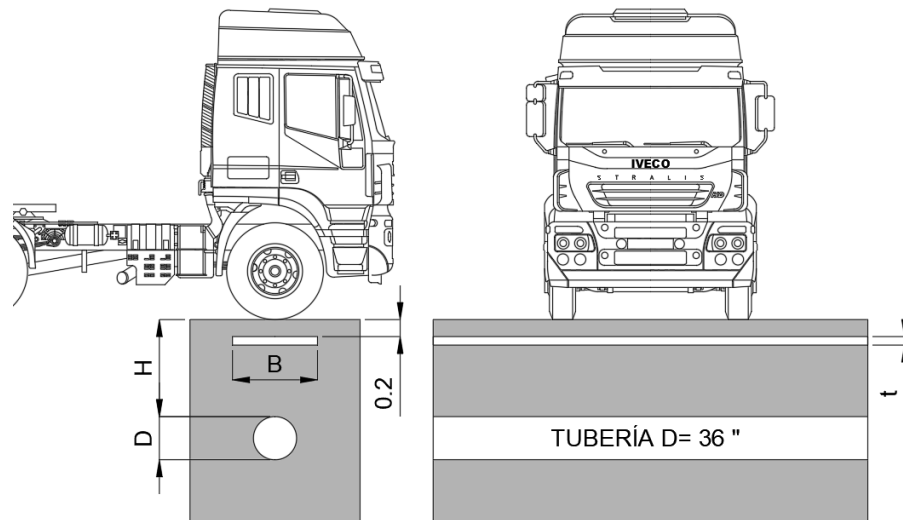


# 3. Metodología

## ¿Cómo se hizo?

### Sin protección mecánica

VARIANTE	DESCRIPCIÓN	MODELOS
Profundidad tubería (H)	0.5 D – 1 D – 1.5 D	3
Geología	Suelta – Media – Densa	3
Total de modelos de cálculo		9



### Con protección mecánica

VARIANTE	DESCRIPCIÓN	MODELOS
Profundidad (H)	0.5 D – 1 D – 1.5 D	3
Geología	Suelta – Media – Densa	3
Esesor placa (t)	1/8 " – 1 " – 3 " 3.2 – 25.4 – 76.2 mm	3
Ancho placa (B)	1 D - 1.5 D - 2 D	3
Total de modelos de cálculo		81



# 3. Metodología

## ¿Cómo se hizo?

Etapas constructivas

Geometría

Geología

Restricciones

Mallado

Interacción de la tubería con el suelo

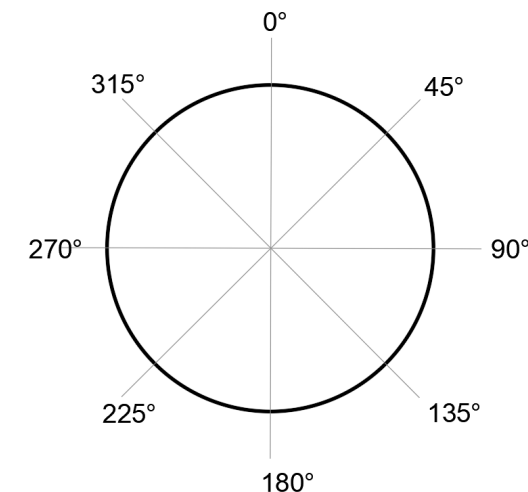
Valores de entrada de la tubería de PVC

Modelo constitutivo

Presentación 90 resultados

### Geología del suelo

MATERIAL	$\gamma$	E	U	$\phi$
Arena suelta	13	5000	0.3	28
Arena media	16	20000	0.3	36
Arena densa	19	40000	0.3	45



# 3. Metodología

MODELO: 254-1D-0.5D-36°



## Datos del modelo

Radio [D]: 1D

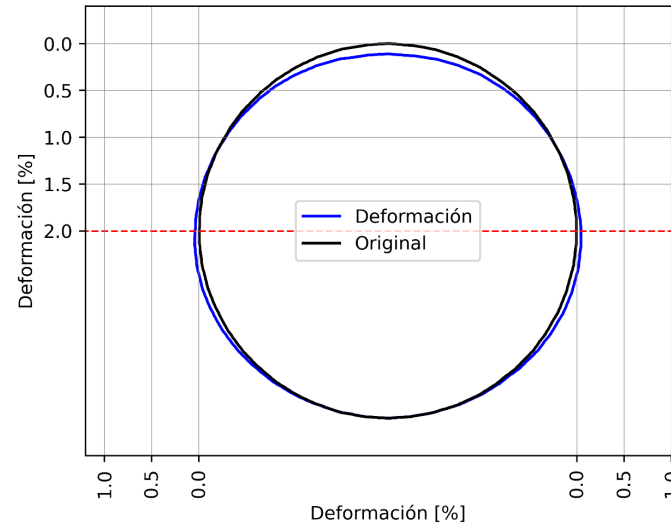
Protección: Con protección  
 Espesor placa [t]: 25.4mm  
 Ancho placa [D]: 1D

Material: Arena media  
 Peso unitario: 16 [kN/m<sup>3</sup>]  
 Relación de poisson: 0.3  
 Módulo de Young [kPa]: 20000  
 Ángulo de fricción: 36°

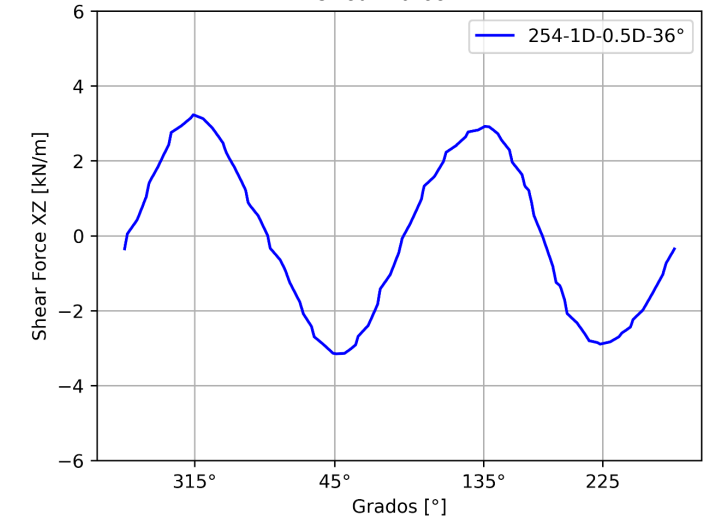
Tubería: PVC  
 Módulo de Young [MPa]: 2800  
 Relación de poisson: 0.4  
 Espesor [mm]: 3.81

Profundidad [D]: 1.5D

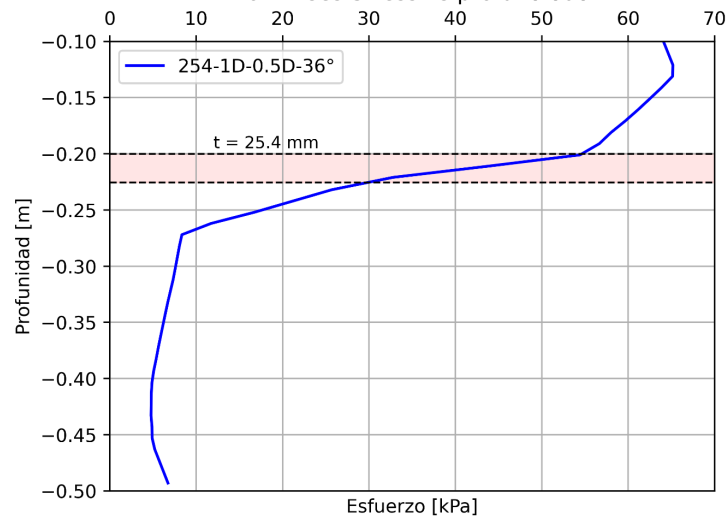
## Deformación por ovalación



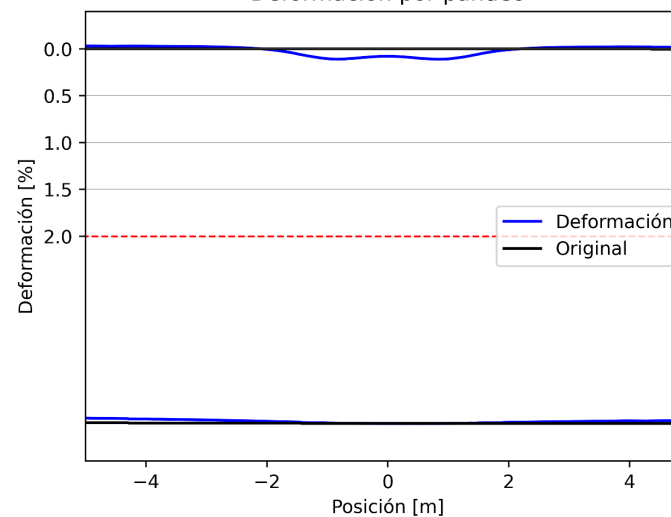
## Shear Force XZ



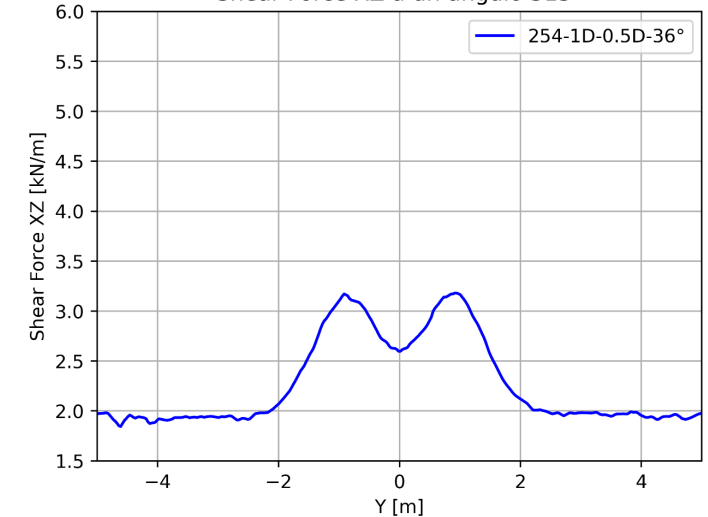
## Von Mises Stress vs profundidad



## Deformación por pandeo

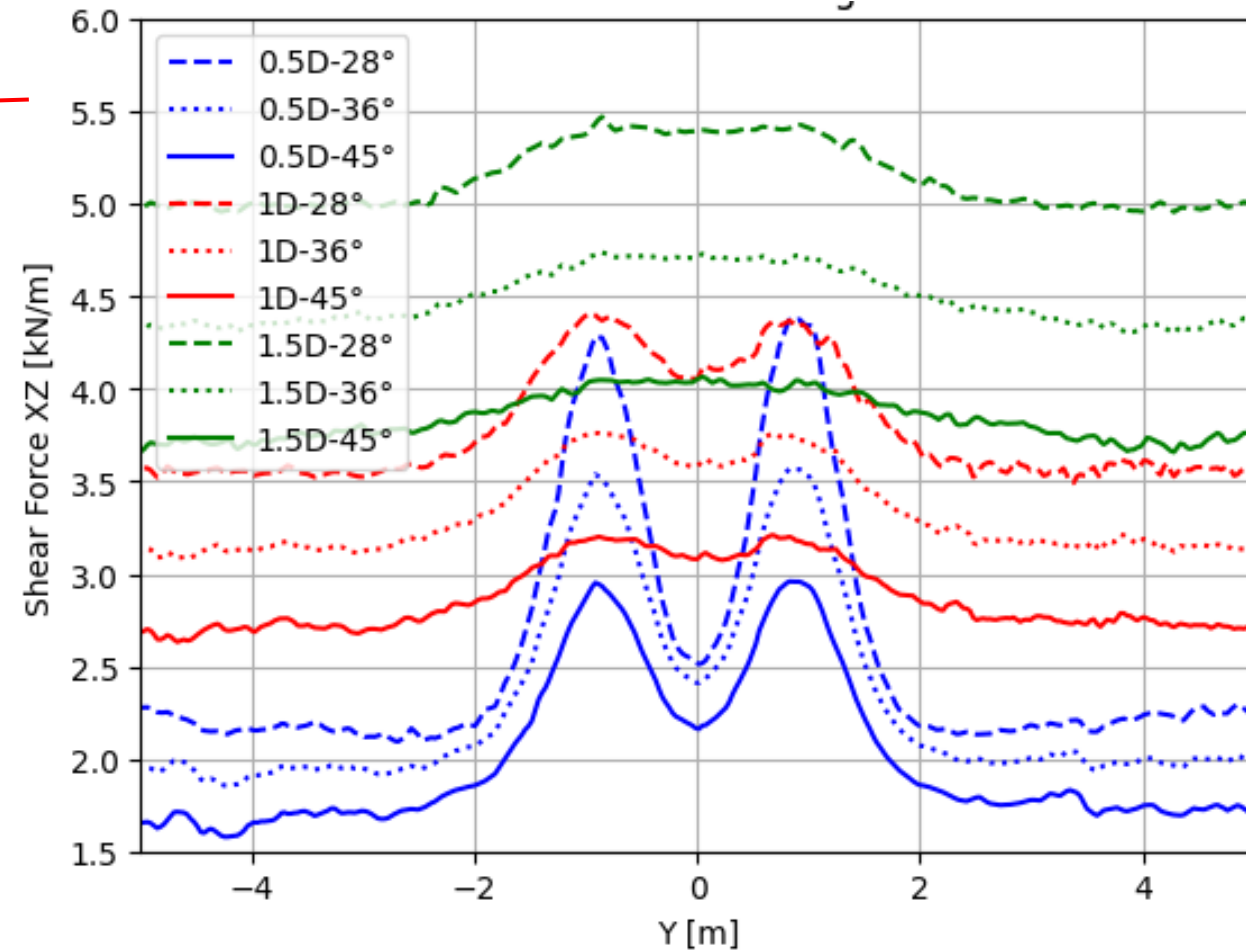
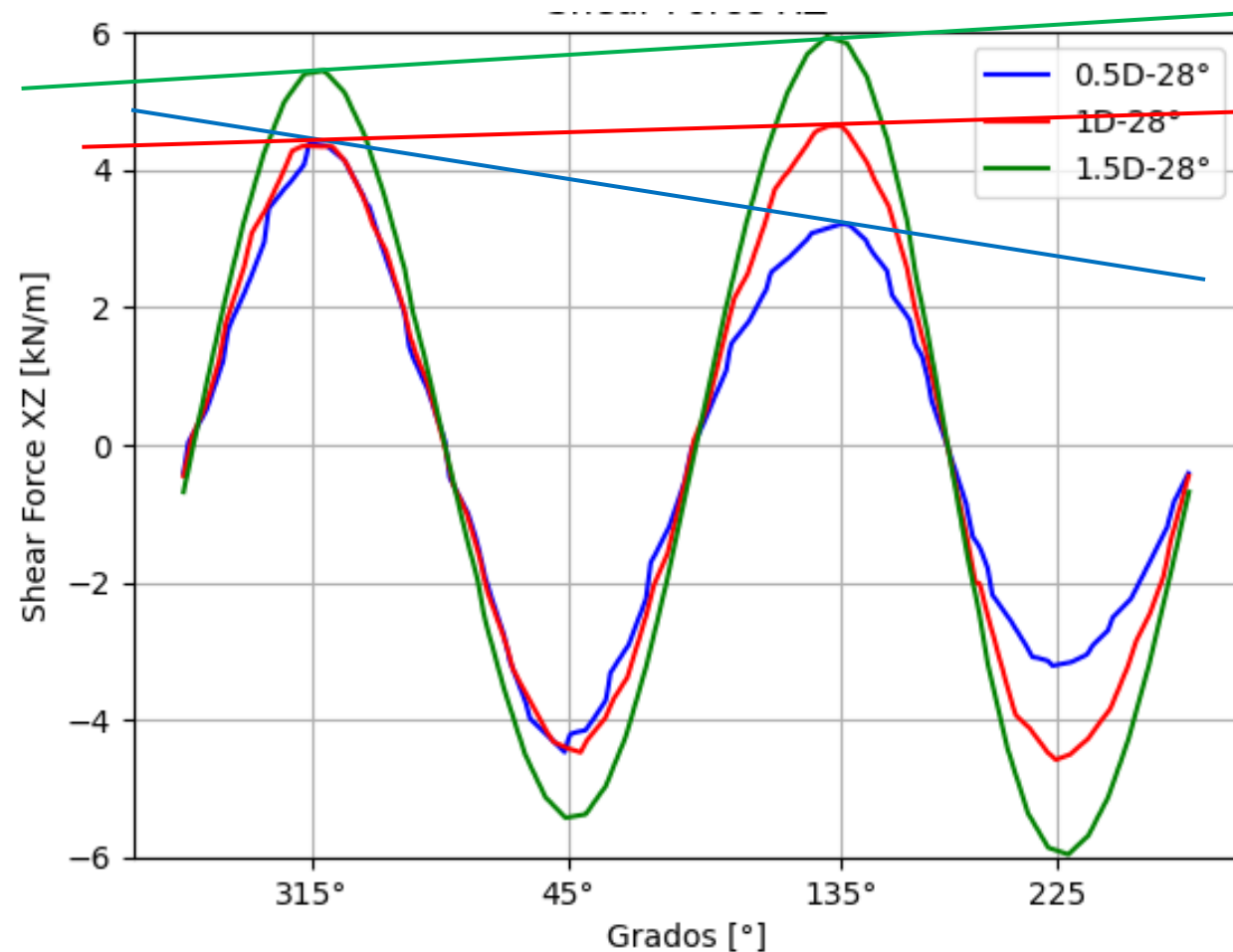


## Shear Force XZ a un ángulo 315°



# 4. Análisis numérico

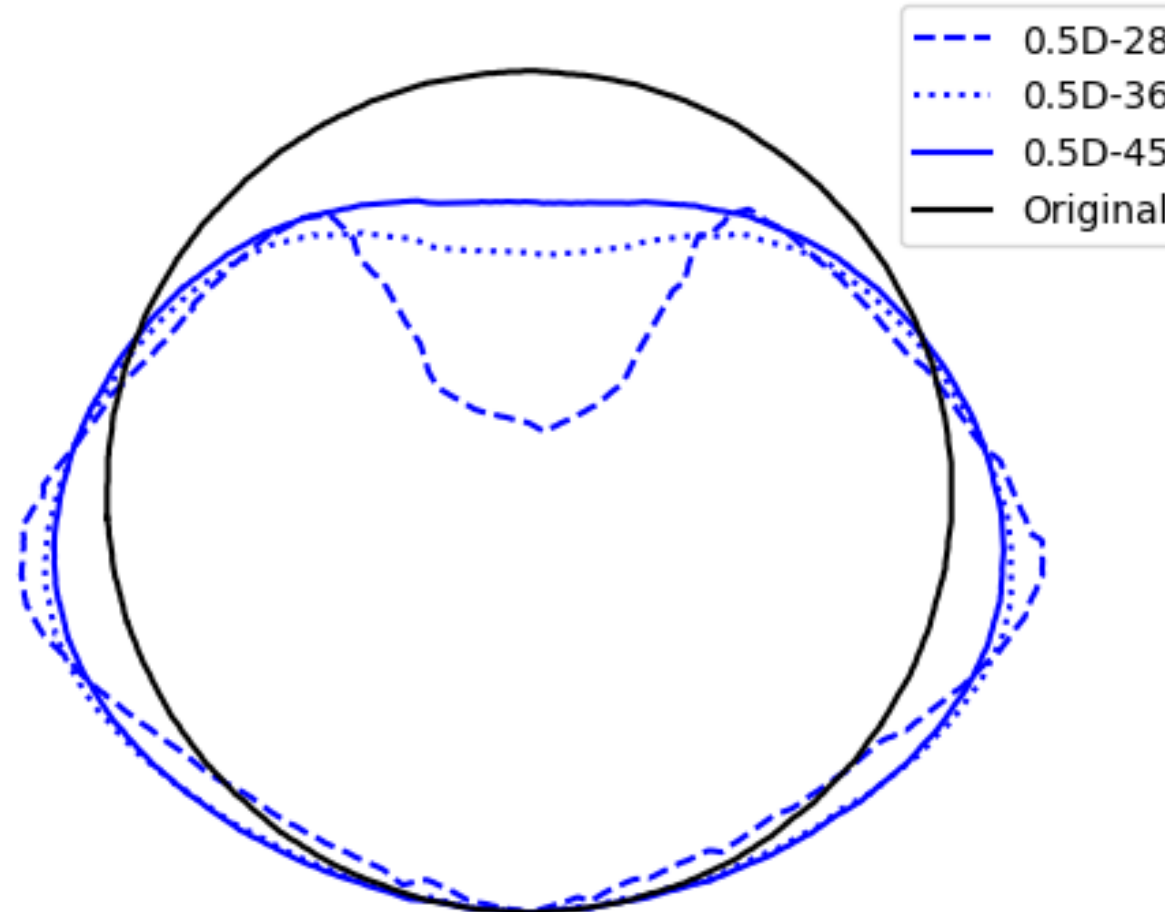
## Sin placa de protección Efecto de la profundidad



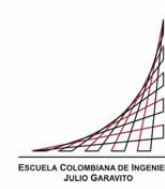


# 4. Análisis numérico

**Sin placa de protección      Efecto de la densificación**



# 4. Análisis numérico



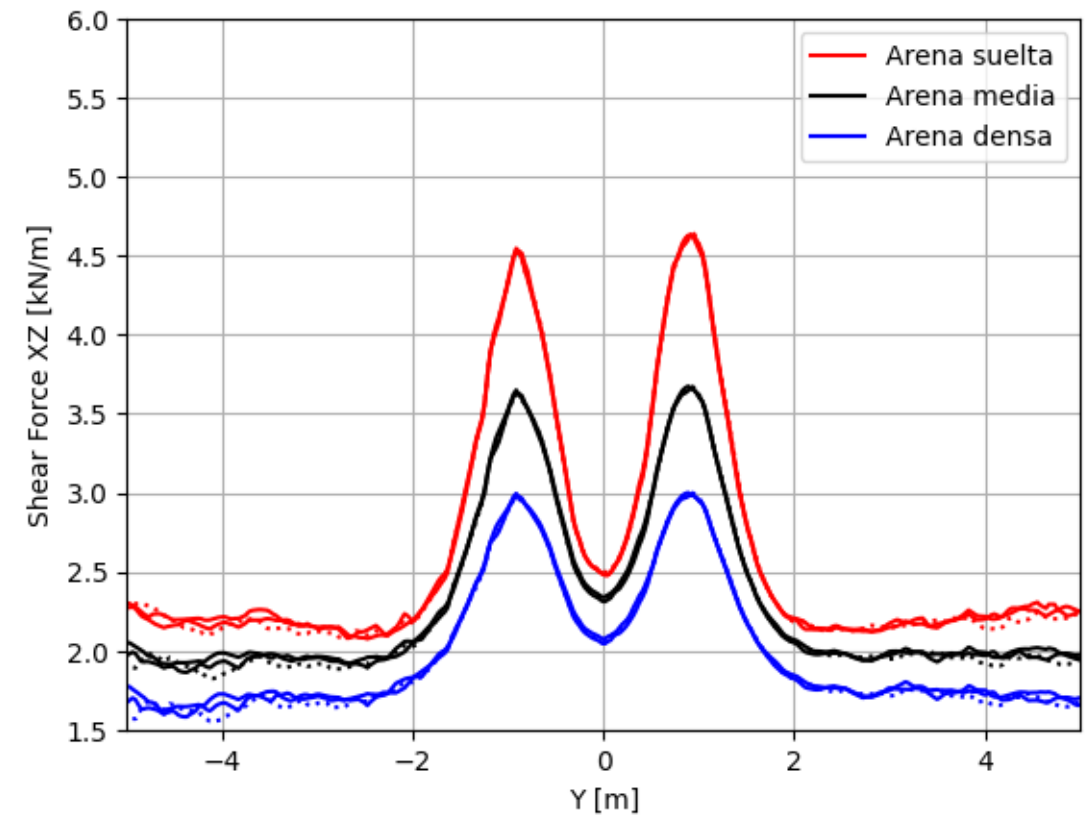
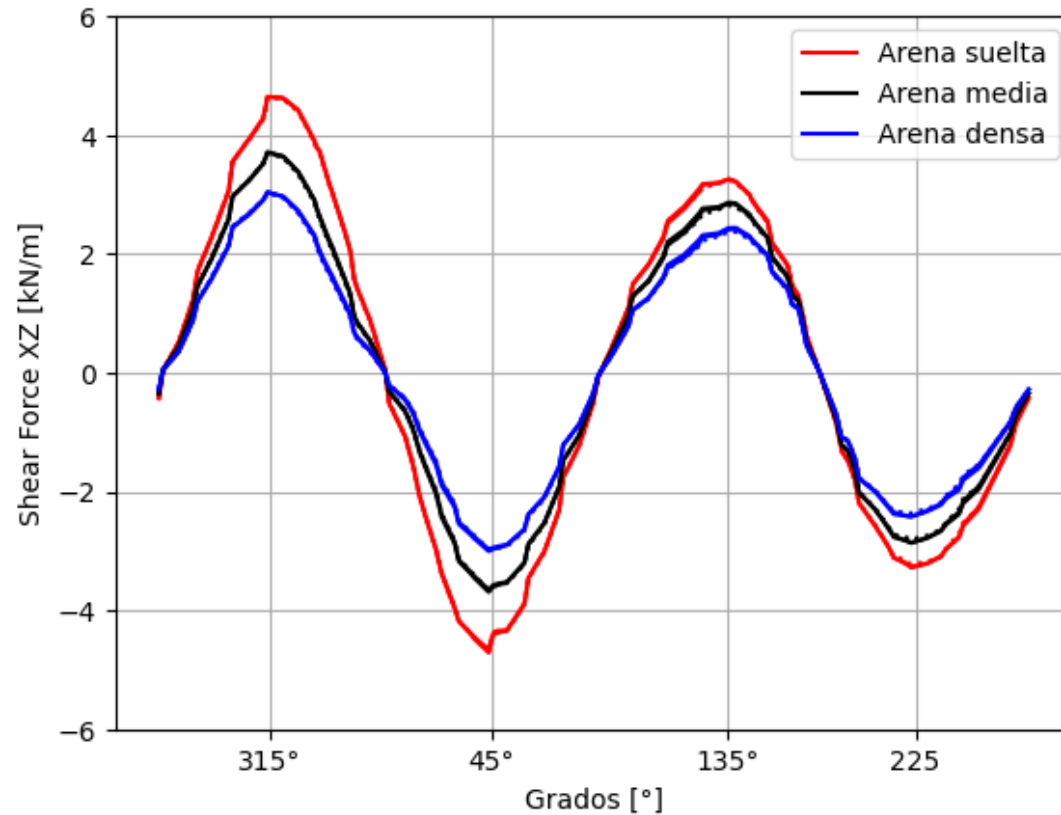
## Sin placa de protección Resumen

- En la situación más crítica analizada, se pudo observar que la deformación no superó el umbral del 0.5%.
- Estos resultados son similares a los obtenidos en investigaciones previas realizadas por Navas et al. (2020), quienes utilizaron el software Rocscience para sus análisis. Además, al revisar diversas referencias consultadas, se encontraron resultados consistentes con esta tendencia.
- Estos hallazgos indican que el comportamiento de la tubería muestra una buena capacidad de resistencia y estabilidad ante las condiciones críticas evaluadas.

# 4. Análisis numérico

Con placa de protección Efecto del ancho de la placa

H=0.5D y lámina 1/8"

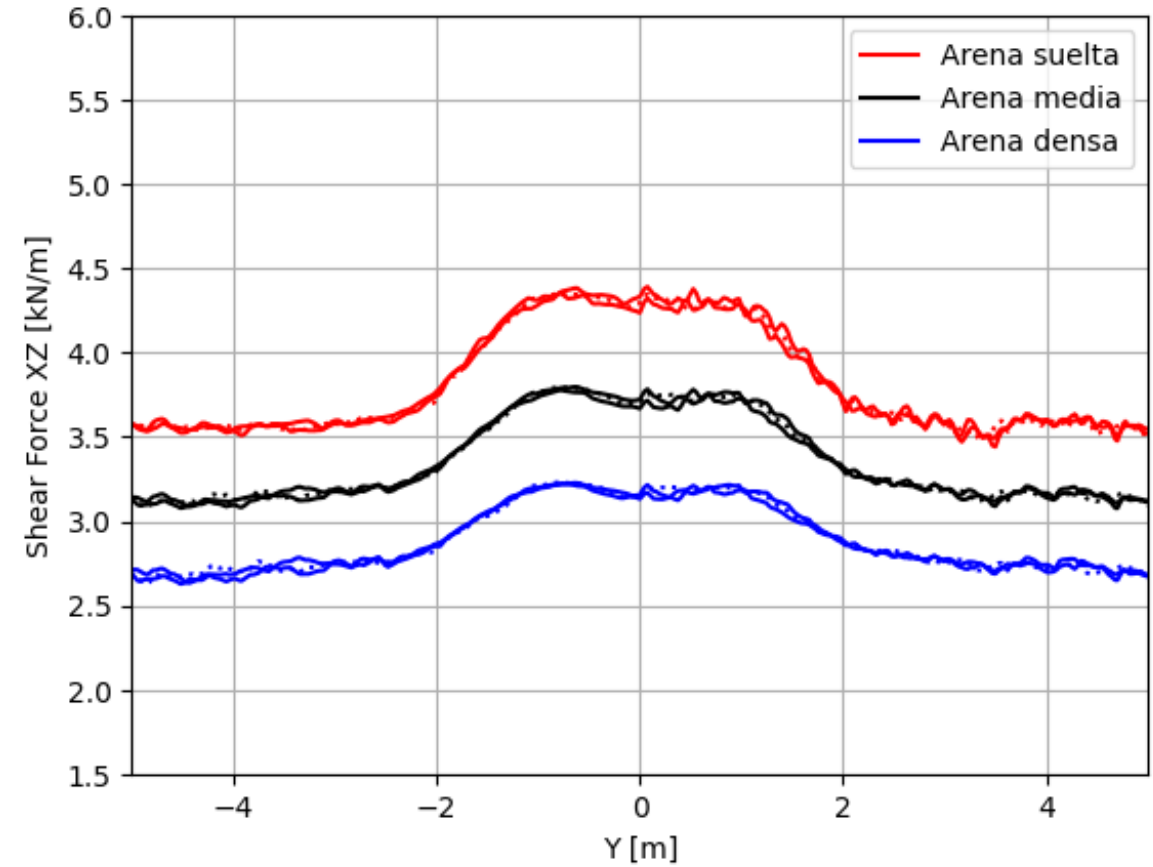
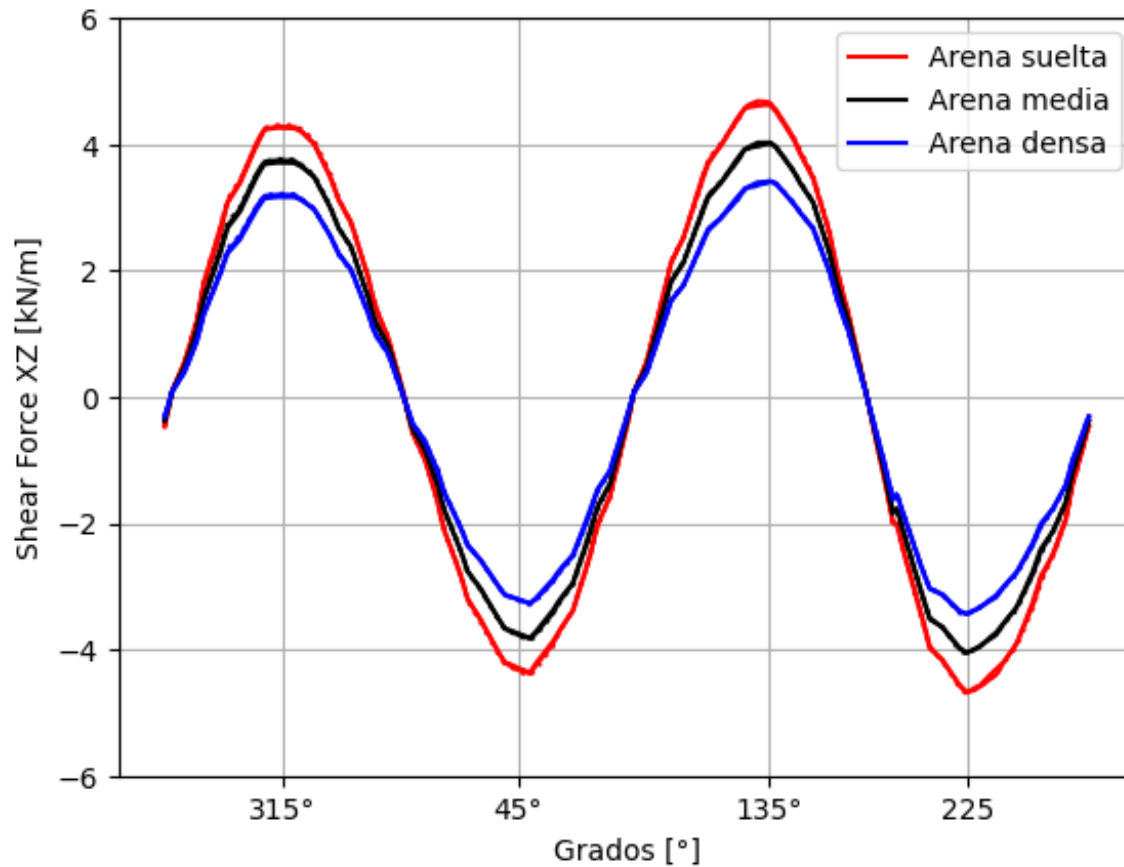




# 4. Análisis numérico

Con placa de protección Efecto del ancho de la placa

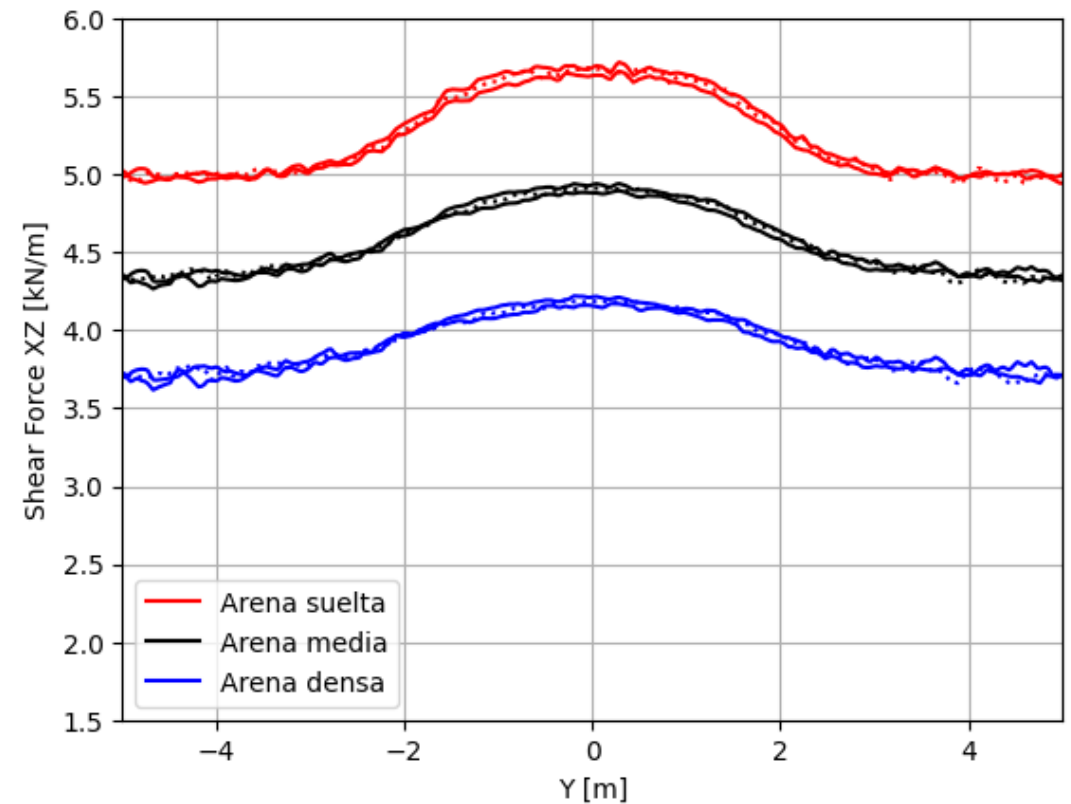
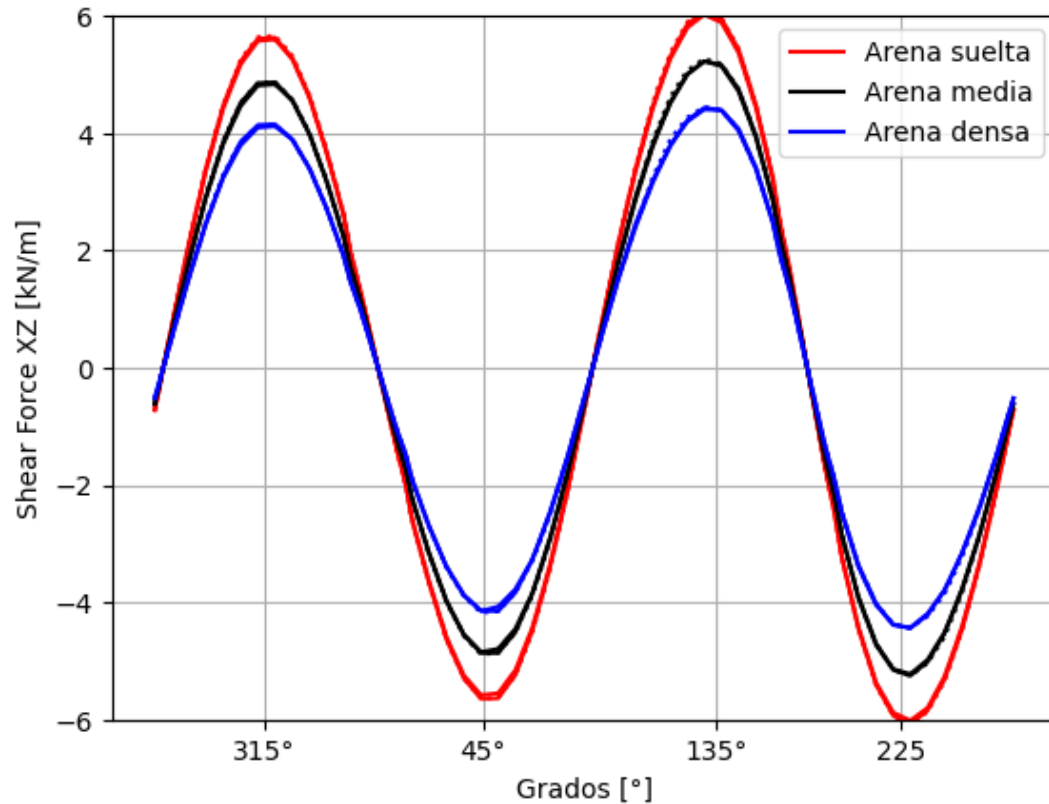
H=1D y lámina 1''



# 4. Análisis numérico

Con placa de protección Efecto del ancho de la placa

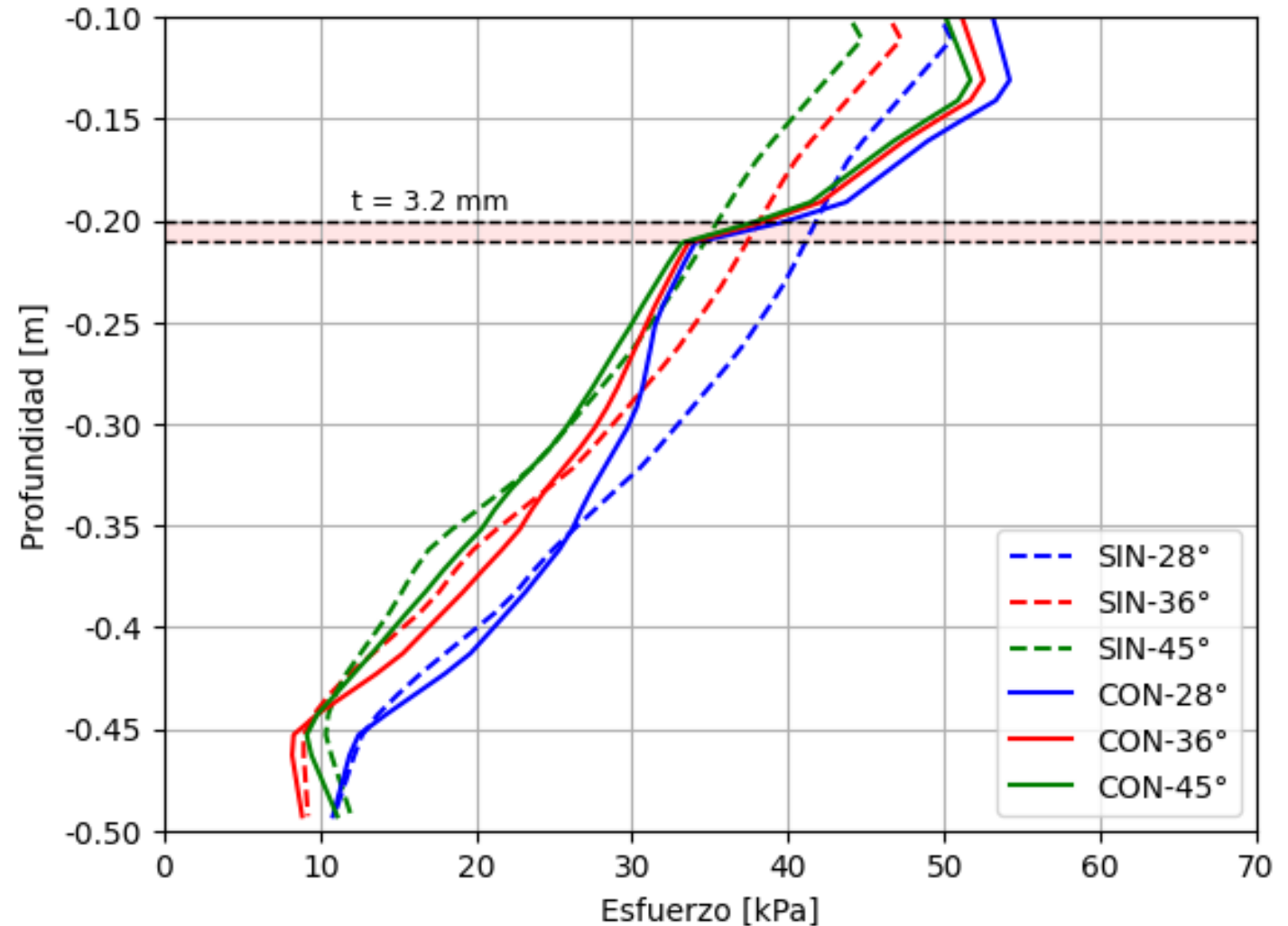
H=1.5D y lámina 3''



# 4. Análisis numérico

Con placa de protección Efecto del espesor de lámina de acero

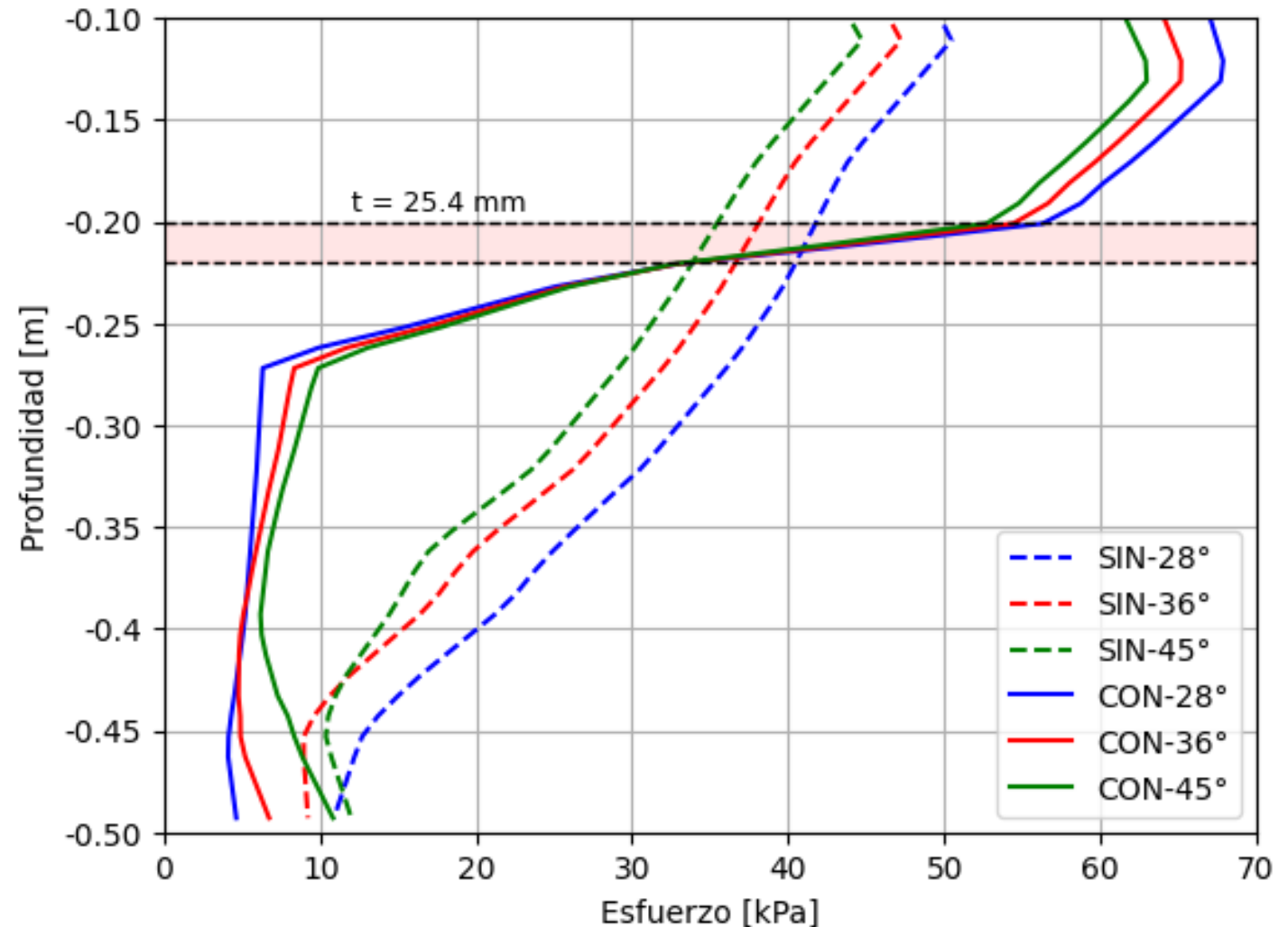
H=0.5D y lámina 1/8"



# 4. Análisis numérico

Con placa de protección Efecto del espesor de lámina de acero

H=0.5D y lámina 1''

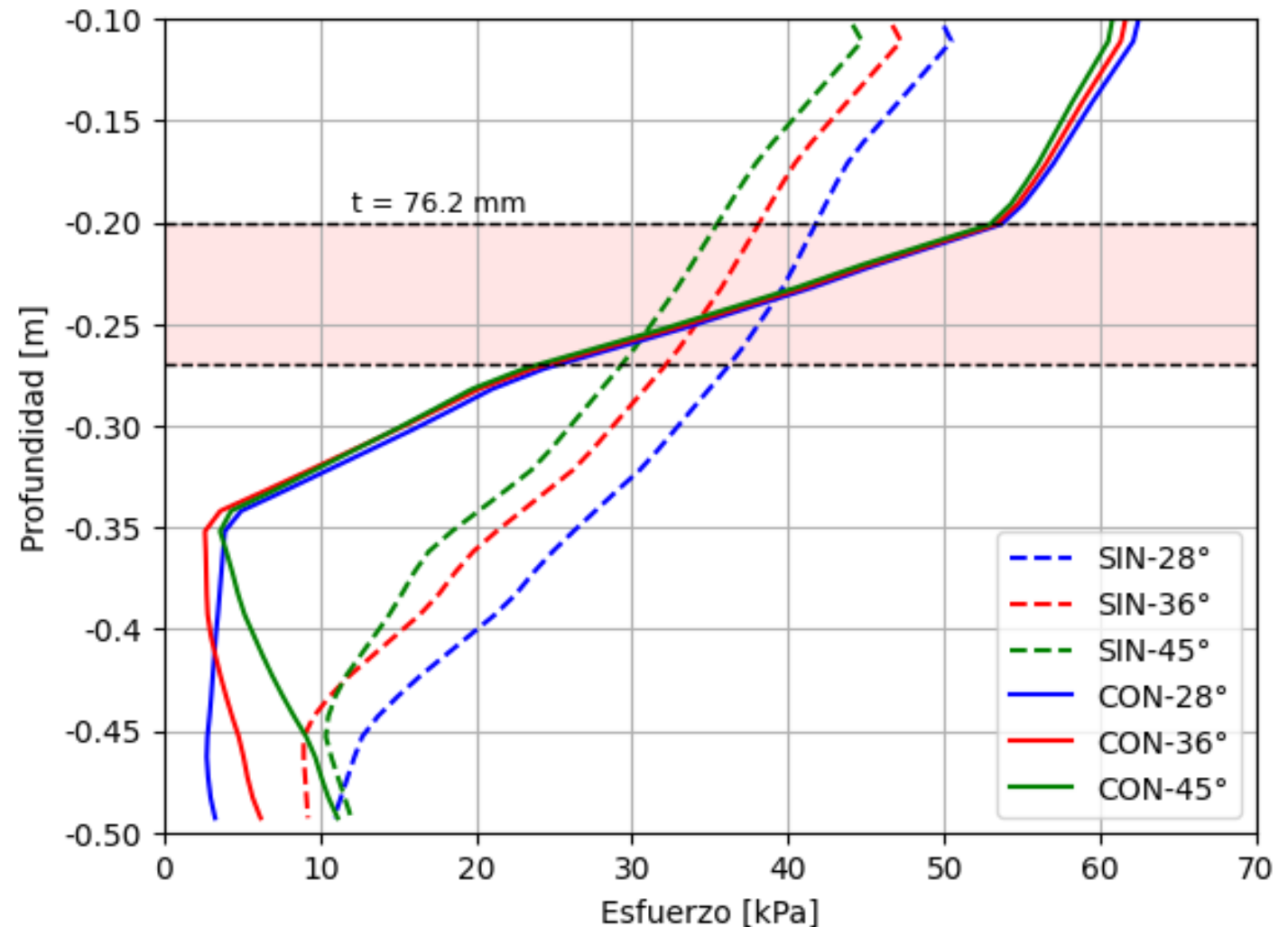




# 4. Análisis numérico

Con placa de protección Efecto del espesor de lámina de acero

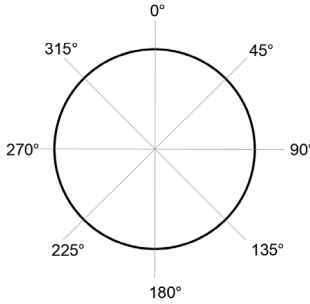
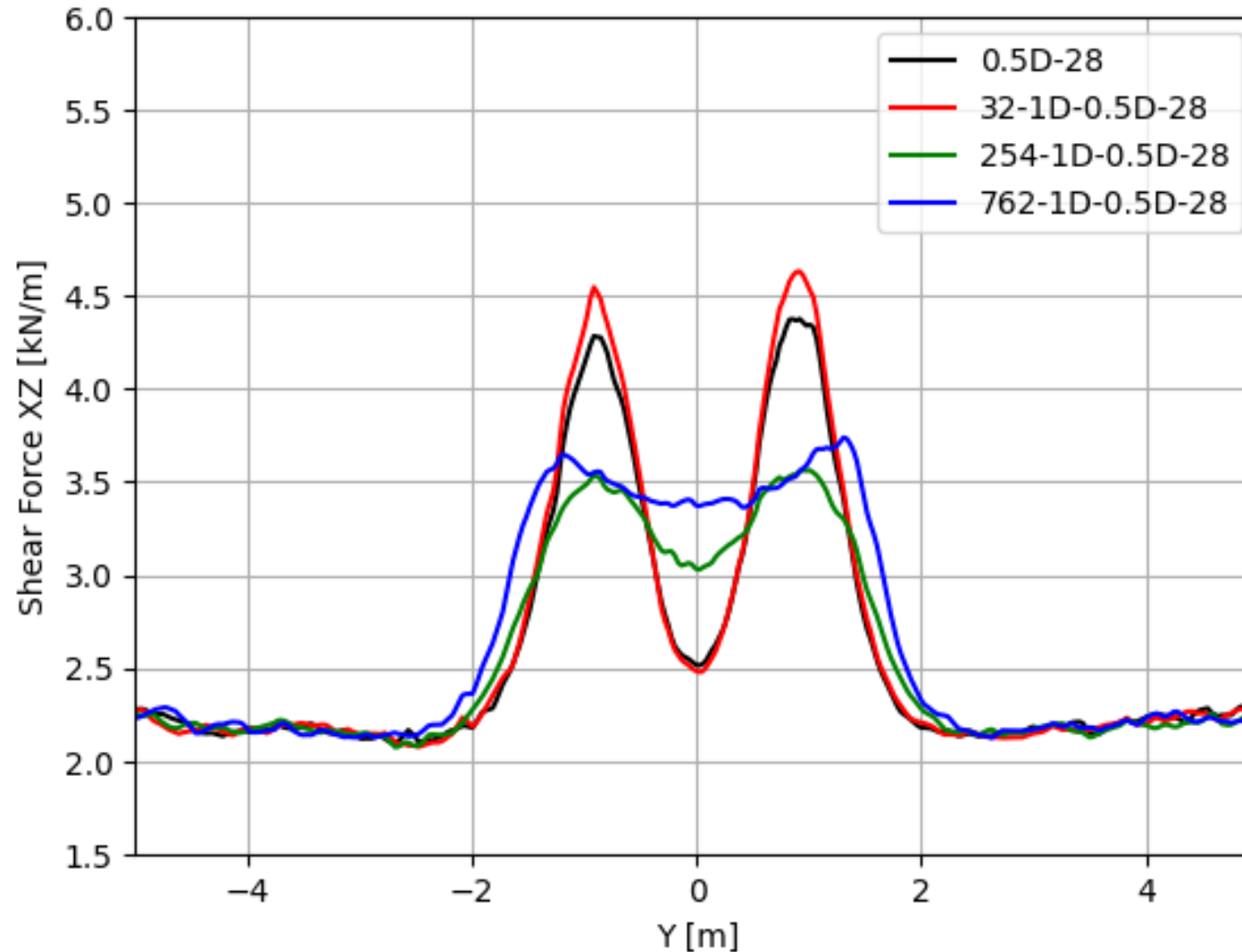
H=0.5D y lámina 3''



# 4. Análisis numérico

Con placa de protección Resumen

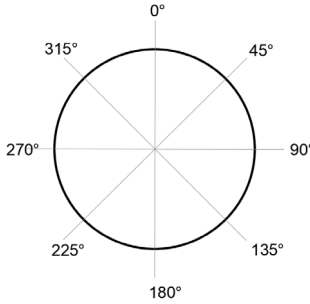
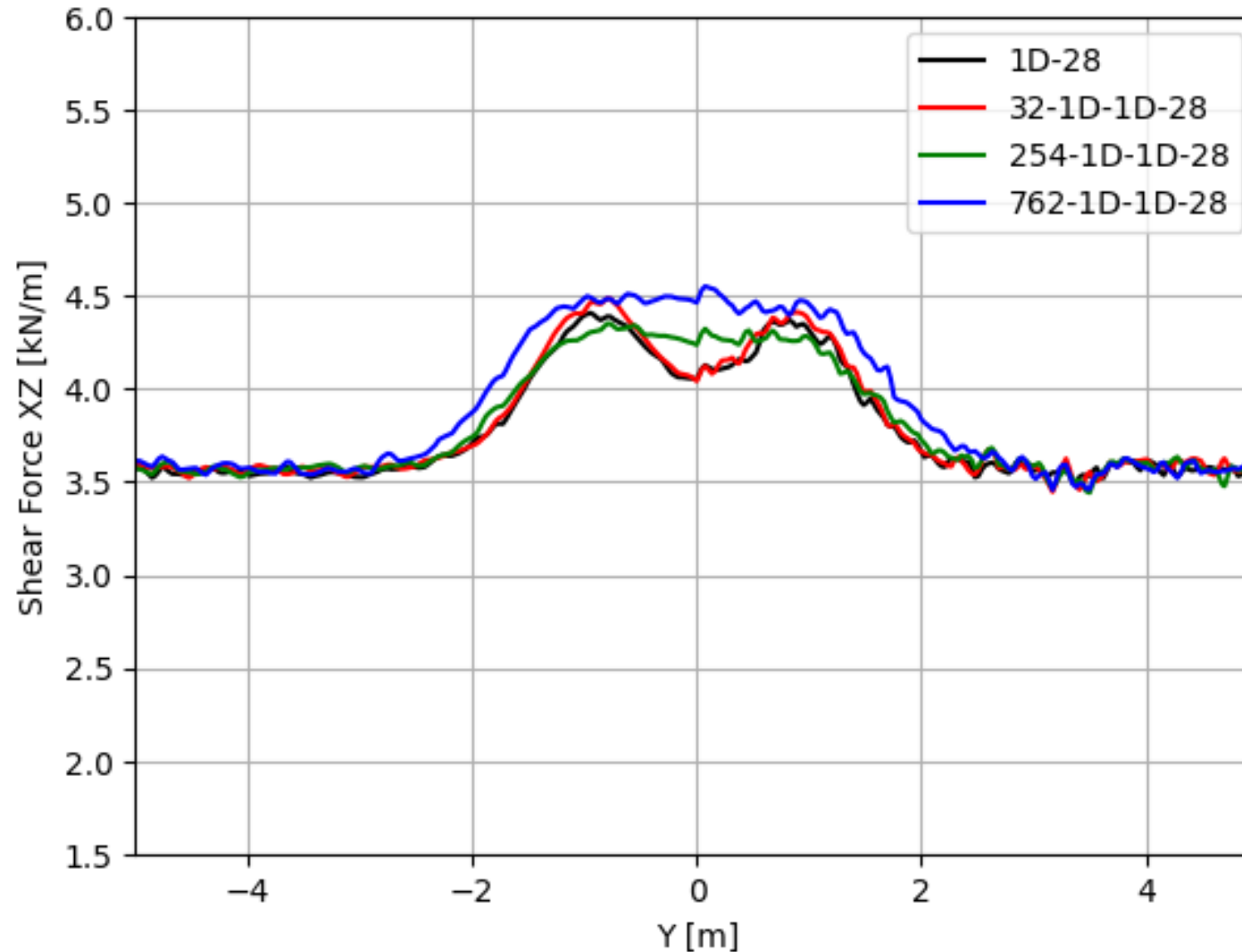
**H= 0.5D**  
**Suelta**



# 4. Análisis numérico

Con placa de protección Resumen

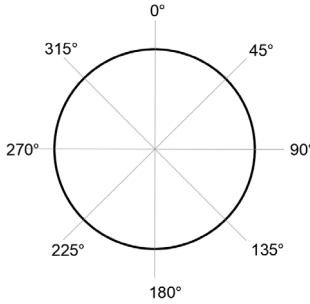
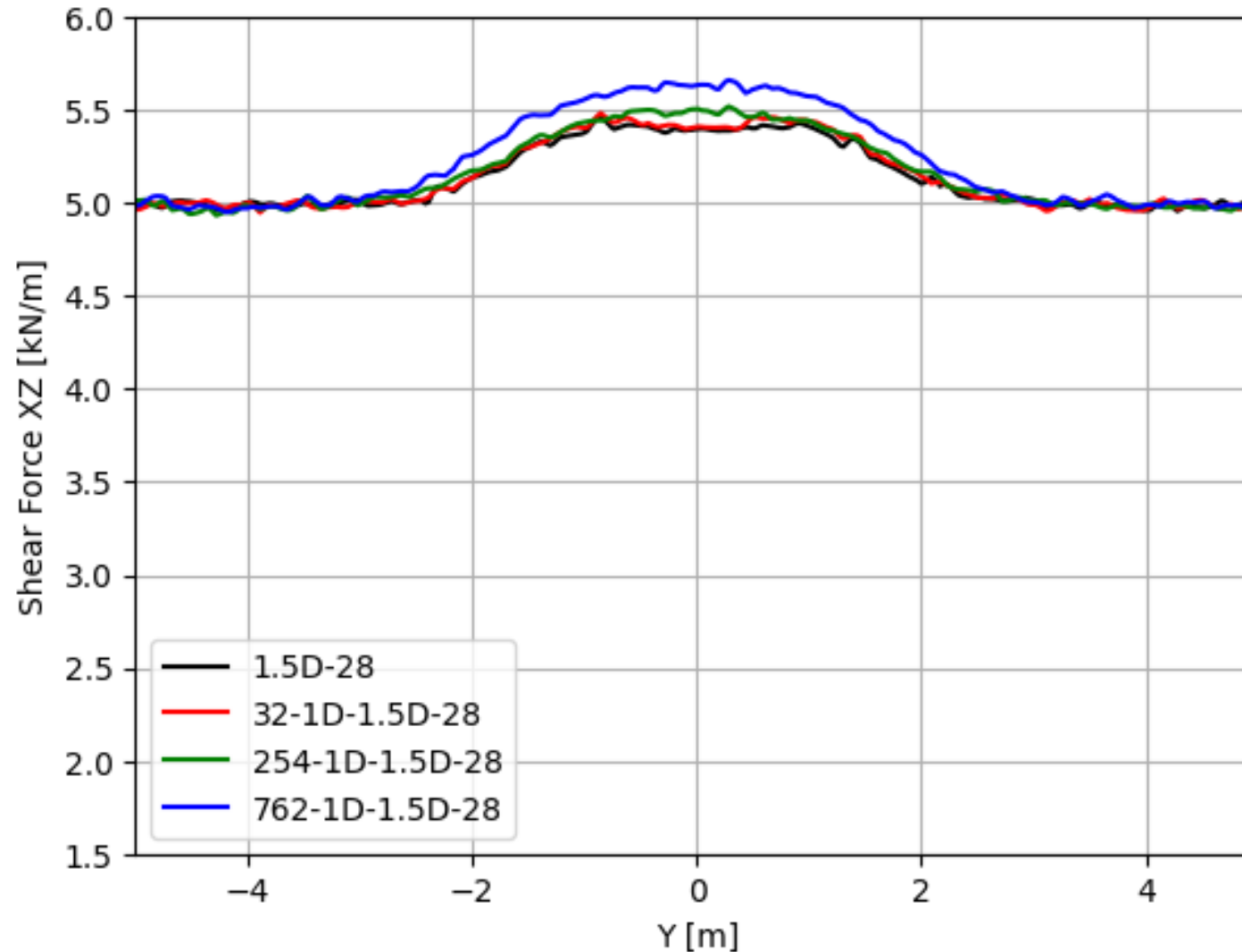
H= 1D  
Suelta



# 4. Análisis numérico

## Con placa de protección Resumen

**H= 1.5D**  
**Suelta**





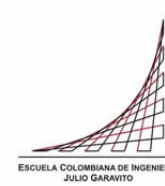
# 4. Análisis numérico



## Sin placa de protección Resumen

- Estos resultados son coherentes con el estudio realizado por Mahgoub y Naggar (2020), en donde ampliaron el ancho de la geoceldas desde 0.4D hasta 4D y obtuvieron que para ancho mayores a  $\geq 0.8D$  no tenía efecto en el sistema.
- Una protección mecánica robusta no tiene aporte significativo a profundidades mayores de 1.5 m, lo que va de la mano con la norma API, en donde establece que a profundidades mayores de 1.8 m para cruce de autopistas, no requiere de protección mecánica.

# 5. Resultados



## Variación de la información de entrada

### Datos de entrada de materiales

Cada autor = datos diferentes.

Posiblemente finiquitar el modelo para que coincida con los datos experimentales.

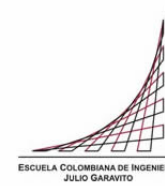
### Modelo constitutivo del suelo

Mohr Coulomb y Hardening Soil.

La elección del modelo debe basarse en el grado de deformación esperado en el análisis.



# 6. Conclusiones



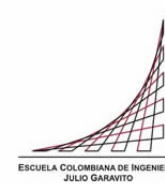
- Se puede observar que el efecto de la carga viva disminuye rápidamente a medida que aumenta la profundidad.
- De acuerdo con la literatura consultada, la deformación máxima depende del material de la tubería (PVC, HDPE, AC, concreto), la normativa que se relaciona con el país y el uso (alcantarillado, sanitario, agua potable, gas).



# 6. Conclusiones



- Los modelos de centrífuga consultados, no me permiten ver analizar el efecto de la ovalación y el efecto del borde. Es importante comprender este efecto para protecciones rígidas.
- Se logra una ligera mejora en los resultados al utilizar una lámina de acero de 3" con respecto a 1"; sin embargo, son láminas poco comerciales. La investigación se debe de centrar entre láminas de 1/8" y 1". Esto combinado con placas con ancho menores a 1D.



# Contacto

carlos.gjimenez@mail.escuelaing.edu.co

3106899396