



**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Civil**

**“DISEÑO DE ANCLAJES DE HORMIGÓN PARA DEFLEXIONES  
HORIZONTALES Y VERTICALES EN TUBERÍAS A PRESIÓN”**

*Realizado por:*

Pedro José Castro Serrano

*Director:*

*Ing. Fabián Cordero Gulá*

*TESIS DE GRADO*

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO CIVIL**

CUENCA- ECUADOR

2014



## **Resumen.**

El presente trabajo muestra el diseño de diferentes sistemas de anclaje para tuberías a presión a través de programas de cálculo realizados en Microsoft Excel. Se analizan seis diferentes tipos de anclaje: anclaje horizontal cóncavo, anclaje horizontal convexo, anclaje vertical cóncavo, anclaje vertical convexo, anclaje vertical en pie de talud y anclaje vertical en cabeza de talud.

Los programas de cálculo constan de una parte automática en donde se asumen anclajes de forma cuadrada, y de una parte manual donde el usuario puede ingresar las dimensiones según su criterio y comprobar si es que cumple o no con las tensiones admisibles del suelo y con el equilibrio del macizo de anclaje principalmente

Dichos programas fueron desarrollados en base a los fundamentos teóricos de la hidráulica, principalmente en lo relacionado a la obtención de la magnitud de las fuerzas hidrostáticas e hidrodinámicas que se generan al interior de una tubería a presión; estructuras, en el tema del dimensionamiento del macizo de anclaje y la cuantía de acero de refuerzo que es necesario para que las fuerzas puedan permanecer equilibradas; y mecánica de suelos en donde se consideran la resistencia del terreno, las presiones activa y pasiva, y el rozamiento que se genera entre los materiales; estas bases teóricas se encuentran recopiladas dentro de este documento.

Toda la información proporcionada en esta tesis servirá como apoyo y para agilizar el proceso de diseño de los sistemas de anclaje mencionados anteriormente.

**Palabras clave:** abastecimiento de agua, sistemas de anclajes, fuerzas hidrostáticas, fuerzas hidrodinámicas.



## **Abstract.**

This paper presents the designs of different anchoring systems for pressure pipes through calculation programs made on Microsoft Excel. Six different kinds of anchoring systems are analyzed: Vertical anchoring concave, vertical anchoring convex, horizontal anchoring concave, vertical anchoring convex, vertical anchoring on foot slope and vertical anchoring on head slope.

The calculation programs have an automatic part where the anchoring shape is assume to be square, and a manual part where the user can input the dimensions and check if they satisfy or not with the soil allowable stresses and with the balance of the anchor block.

These programs were developed based on theoretical fundamentals of hydraulics, mainly on the obtaining of hydrodynamic and hydrostatic forces that are generated inside a pressure pipe; structures, on the sizing of the anchor block and the amount of steel which is necessary for the balance of the forces; and soil mechanics where the ground resistance, active and passive pressure, and the friction between materials are considerate; these theoretical basis are collected within this document.

All the information provided in this thesis will serve as support and to make faster the design of anchoring systems process mentioned above.

**Key words:** water supply, anchoring systems, hydrostatic forces, hydrodynamic forces.



**Contenido**

Dedicatoria..... 2

Resumen..... 3

Abstract..... 4

INTRODUCCION..... 9

OBJETIVOS..... 11

    1.1. General..... 11

    1.2. Específicos..... 11

MARCO TEORICO..... 12

    1.3. FUERZAS PRODUCIDAS EN EL INTERIOR DE LA TUBERIA..... 12

        1.3.1. Determinación de fuerzas hidrostáticas..... 12

        1.3.2. Determinación de cargas hidrodinámicas..... 17

    1.4. FUERZAS GENERADAS EN EL TERRENO..... 19

        1.4.1. Presiones activa y pasiva del terreno..... 19

        1.4.2. Tensión admisible del suelo..... 21

        1.4.3. Fuerza de rozamiento..... 22

    1.5. SISTEMAS DE ANCLAJE..... 24

        1.5.1. CLASIFICACIÓN..... 24

        1.5.2. DIMENSIONAMIENTO..... 25

        1.5.3. ARMADO..... 26

DISEÑO Y PROGRAMACION DE SISTEMA DE ANCLAJE..... 29

    1.6. Anclaje horizontal cóncavo..... 30

    1.7. Anclaje horizontal convexo..... 31

        1.7.1. Diseño de tensor..... 33

    1.8. Anclaje vertical cóncavo..... 33

    1.9. Anclaje vertical convexo..... 34

    1.10. Anclaje vertical en cabeza de talud..... 35

    1.11. Anclaje vertical en pie de talud..... 36

RESULTADOS Y DISCUSION..... 38

BIBLIOGRAFIA..... 39

ANEXOS..... 40



## Índice de Tablas

Tabla 1: Presiones admisibles de los suelos (Peck, Hanson, & Thornburn) ....	22
Tabla 2: Valores aproximados de los coeficientes de fricción estática para superficies secas. (Beer, Jhonston, & Cornwell) .....	23
Tabla 3: Coeficiente de fricción concreto-suelo (CEMEX, 2005).....	24

## Índice de Figuras

Figura 1: Componentes radiales fuerza hidrostática .....	12
Figura 2: Componentes axiales fuerza hidrostática.....	12
Figura 3: Angulo de deflexión de un codo. ....	13
Figura 4: Equilibrio de fuerzas en una deflexión.....	14
Figura 5: Fuerza estática en codo .....	15
Figura 6: Fuerza estática en derivación .....	15
Figura 7: Fuerza estática en reducción. ....	16
Figura 8: Fuerza estática en válvula.....	16
Figura 9: Cantidad de Movimiento.....	18
Figura 10: Carga hidrodinámica en codo. ....	19
Figura 11: División de anclaje en áreas (A1).....	27
Figura 12: División de anclaje en áreas (A2).....	28
Figura 13: Esquema general de armadura en anclajes.....	29
Figura 14: Fuerzas actuantes en un anclaje horizontal cóncavo.....	31
Figura 15: Fuerzas actuantes en un anclaje horizontal convexo.....	32
Figura 16: Detalle de tensor para deflexión horizontal convexa. ....	33
Figura 17: Fuerzas actuantes en un anclaje vertical cóncavo.....	34
Figura 18: Fuerzas actuantes en un anclaje vertical convexo.....	35
Figura 19: Fuerzas actuantes en anclaje vertical en cabeza de talud.....	36
Figura 20: Fuerzas actuantes en anclaje vertical en pie de talud.....	37



Universidad de Cuenca  
Clausula de derechos de autor

---

Yo, Pedro José Castro Serrano, autor de la tesis "Diseño de anclajes de hormigón para deflexiones horizontales y verticales en tuberías a presión", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Civil. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 9 de Junio del 2014

---

Pedro José Castro Serrano

C.I: 0104258512



Universidad de Cuenca  
Clausula de propiedad intelectual

---

Yo, Pedro José Castro Serrano autor de la tesis "Diseño de anclajes de hormigón para deflexiones horizontales y verticales en tuberías a presión" certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 9 de Junio del 2014

---

Pedro José Castro Serrano

C.I: 0104258512



### **Dedicatoria.**

*Con un inmenso cariño, a mis padres Constantino y Rocío, quienes me enseñaron a no dejarse vencer de las dificultades que se presentan a lo largo de la vida, que la única opción que uno tiene es superarlas. A mi hermano Xavier, por enseñarme el esfuerzo y dedicación que hay que ponerle a esta maravillosa carrera.*

*A mis amigos, por compartir días y noches de estudio, reuniones y viajes y haber hecho de estos seis años un trayecto lleno de risas y grandes anécdotas.*

*Pedro José*



## **INTRODUCCION.**

En las redes de abastecimiento de agua a presión se producen fuerzas de origen hidrostáticas e hidrodinámicas, siendo generalmente las magnitudes de origen hidrostáticas varias veces superior a las hidrodinámicas, por lo que estas últimas, muchas veces se suelen despreciar en el cálculo.

En gran parte de la red de tuberías estas fuerzas se encuentran equilibradas debido a la presión que ejerce el agua sobre un mismo eje, sin embargo, existen lugares específicos en donde estas fuerzas no se equilibran, en los cuales se hace necesaria la construcción de sistemas de anclajes que requieren aparte del diseño hidráulico, un diseño estructural adecuado, de tal forma que impidan los desplazamientos y el posible colapso de la red al separarse las juntas.

Las fuerzas que no se llegan a equilibrar se presentan generalmente donde se han implementado accesorios en las tuberías como codos, derivaciones, reducciones, válvulas y extremos finales de la tubería.

Este estudio se enfoca principalmente al diseño de anclajes de hormigón donde existan deflexiones horizontales y verticales en la tubería, es decir, donde existan codos.

En las deflexiones se producen grandes esfuerzos, y en el caso de que no exista una unión estructural entre los tubos y codos, como es el caso de la tubería de PRFV (poliéster reforzado con fibra de vidrio), y tuberías metálicas con uniones elastoméricas, entre otros, estos podrían desprenderse con el consiguiente fracaso de la línea de conducción; por lo tanto se necesita proveer un anclaje que transmita éstas fuerzas al suelo asegurando la permanencia de los codos en su lugar.

Debido a que existen varios casos posibles para la implementación de sistemas de anclaje dependiendo de la facilidad del terreno, ubicación, necesidades de la población, etc. En esta investigación se han considerado 6 casos específicos de anclajes para las siguientes tipos de deflexiones: Deflexiones horizontales cóncavas, deflexiones horizontales convexas, deflexiones verticales cóncavas,



deflexiones verticales convexas, deflexiones verticales en pie de talud y deflexiones verticales en cabeza de talud.

Los resultados que se deriven de esta tesis pretenden ser un aporte para la ingeniería estructural y sanitaria; y proporcionar a los distintos profesionales programas de cálculo, prácticos y sencillos para facilitar el diseño de sistemas de anclaje para deflexiones de diferentes tipos.



## **OBJETIVOS.**

### **1.1. General.**

Establecer un método para el diseño de anclajes de hormigón en tuberías a presión considerando las fuerzas hidráulicas y las producidas en el terreno.

### **1.2. Específicos.**

Realizar el diseño y su correspondiente programación para anclajes de hormigón correspondientes a deflexiones en los siguientes casos específicos:

- Deflexiones horizontales cóncavas
- Deflexiones horizontales convexas.
- Deflexiones verticales cóncavas.
- Deflexiones verticales convexas.
- Deflexiones verticales en pie de talud.
- Deflexiones verticales en cabeza de talud.

## MARCO TEORICO.

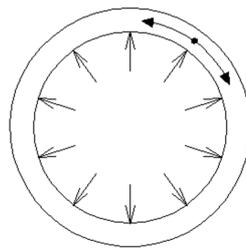
### 1.3. FUERZAS PRODUCIDAS EN EL INTERIOR DE LA TUBERIA.

Las fuerzas que intervienen en el interior de una tubería son principalmente las fuerzas hidrostáticas e hidrodinámicas, las mismas que se deben considerar necesariamente para el análisis y diseño de un sistema de anclaje para cualquier accesorio que forme parte del sistema de tuberías.

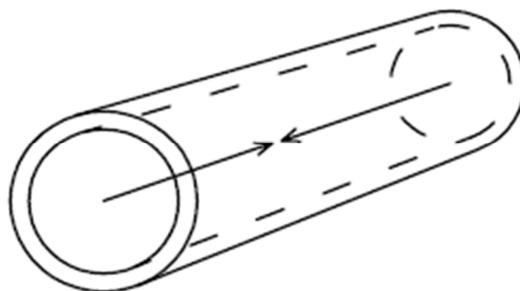
El principio de la determinación de las fuerzas hidrostáticas e hidrodinámicas que se describe a continuación es aplicable a todo tipo de accesorios, como en derivaciones, reducciones, válvulas y extremos finales de la tubería; sin embargo en este trabajo de tesis se dará un énfasis especial para las fuerzas producidas en los codos.

#### 1.3.1. Determinación de fuerzas hidrostáticas

La presión hidrostática se genera debido al peso del fluido en reposo que se encuentra dentro de la tubería. “Las componentes radiales de dicha presión se equilibran a través de la tensión circunferencial de la pared de la tubería (Figura 1), mientras que las componentes axiales actuando en un plano perpendicular a la conducción, se equilibran por la misma fuerza actuando en el lado contrario del plano (Figura 2).” (NAACY, 2004)



**Figura 1: Componentes radiales fuerza hidrostática**



**Figura 2: Componentes axiales fuerza hidrostática**

La fuerza hidrostática o empuje ( $F_E$ ) se encuentra dibujando un punto donde se desea analizar el equilibrio de fuerzas y direccionando una flecha por los ejes de la tubería hacia dicho punto. La magnitud de cada vector viene dada por la *máxima presión de diseño* multiplicada por el área de la sección transversal de la tubería.

A continuación se demuestra el origen de la fórmula:

La presión  $P$ , depende básicamente de la diferencia de cotas entre la cota de la superficie libre de agua y la cota de la tubería donde se analiza la posibilidad de que vaya un anclaje. En el caso de que exista una bomba de agua, se deberá aumentar los metros de columna de agua que aumenta dicha bomba.

El área  $A$ , es el área transversal interna de la tubería por donde se conduce el agua.

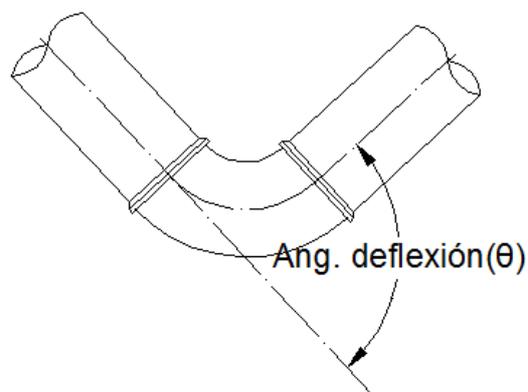
Si la tubería mantiene su área transversal antes y después del punto de análisis, las fuerzas que se dirigen hacia dicho punto serán iguales.

$$F = P \cdot A \quad (\text{Ec } 1)$$

Por lo tanto,

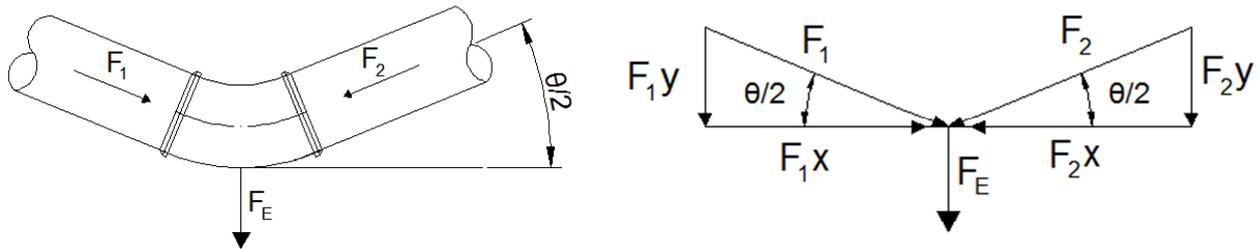
$$F_1 = F_2 = F$$

Para el caso específico de codos, el ángulo  $\theta$ , es el ángulo de deflexión del mismo. Por lo general, los ángulos comerciales de los codos son  $90^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $22.5^\circ$ ,  $11.25^\circ$ .



**Figura 3: Ángulo de deflexión de un codo.**

Las fuerzas que se direccionan hacia el punto de análisis, se descomponen en componentes X e Y para proceder a la sumatoria de las mismas y obtener una fuerza resultante  $F_E$ . Un esquema del diagrama de fuerzas en el punto de estudio se muestra a continuación en la Figura 4.



**Figura 4: Equilibrio de fuerzas en una deflexión.**

Si se realiza una sumatoria de fuerzas en X, tenemos que las componentes horizontales son iguales.

$$F_1x = F_2x \quad (\text{Ec 2})$$

Efectuando una sumatoria de fuerzas en Y se consigue el valor de la resultante  $F_E$  requerida:

$$F_1y + F_2y = F_E$$

Reemplazando los valores de las respectivas componentes resulta:

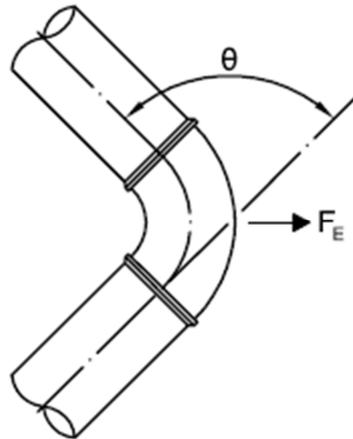
$$F_1 \text{Sen} \frac{\theta}{2} + F_2 \text{Sen} \frac{\theta}{2} = F_E \quad (\text{Ec 3})$$

Resolviendo finalmente la ecuación 3, reemplazando los valores de la ecuación 1, tenemos que el valor de la fuerza estática para un codo con un ángulo de deflexión  $\theta$  es:

$$F_E = 2PA \text{Sen} \frac{\theta}{2} \quad (\text{Ec 4})$$

A continuación, como conocimiento general, se da a conocer las fórmulas para obtener el empuje en los diferentes accesorios de tuberías, realizando el mismo tipo de análisis de sumatoria de fuerzas.

a) Codo



**Figura 5: Fuerza estática en codo**

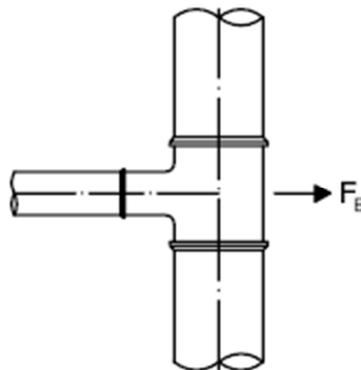
$$F_E = 2 P A \text{ sen } (\theta/2)$$

$P$  = Máxima presión de diseño

$A$  = Area de la sección transversal de la tubería

$\theta$  = Angulo de deflexión del codo

b) Derivación



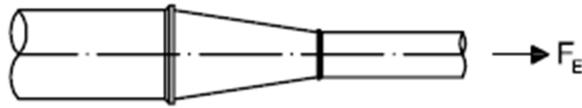
**Figura 6: Fuerza estática en derivación**

$$F_E = P A \quad (\text{Ec 5})$$

$P$  = Máxima presión de diseño

$A$  = Area de la sección transversal de la tubería

c) Reducción



**Figura 7: Fuerza estática en reducción.**

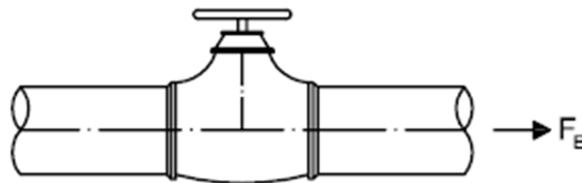
$$F_E = P (A_1 - A_2) \quad (\text{Ec 6})$$

$P$  = Máxima presión de diseño

$A_1$  = Area mayor de la sección transversal de la reducción

$A_2$  = Area menor de la sección transversal de la reducción

d) Válvulas y extremos finales



**Figura 8: Fuerza estática en válvula**

$$F_E = P A \quad (\text{Ec 7})$$

$P$  = Máxima presión de diseño

$A$  = Area de la sección transversal de la tubería

En el anexo 1 se presenta un plano de cómo deben estar ubicados los anclajes en cada caso según el accesorio según la resultante de la sumatoria de fuerzas.



### 1.3.2. Determinación de cargas hidrodinámicas

La magnitud de las fuerzas de origen hidrodinámico es, generalmente, muy inferior a los valores de las fuerzas de origen hidrostáticas, por lo que suelen ser despreciadas en el cálculo de los anclajes.

Sin embargo, a continuación se describe la obtención de la fórmula general para determinar la fuerza que produce el movimiento del agua a través de la tubería.

Se requiere analizar ya sea el cambio de magnitud o de dirección del vector velocidad; esto depende del tipo de accesorio con el que se esté trabajando, en el caso de deflexiones se presenta un cambio de dirección pero, por ejemplo, en una reducción se tiene un cambio de magnitud. Para cualquiera de los casos la deducción presentada a continuación es válida.

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad \text{(Ec 8)}$$

Si se reemplaza la aceleración  $\vec{a}$  por la derivada  $d\vec{v}/dt$  en la ecuación 8, se escribe

$$\vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt}$$

Al multiplicar ambos lados de la ecuación por  $dt$  e integrar

$$\vec{F} \int_{t_1}^{t_2} dt = m \int_{v_1}^{v_2} d\vec{v}$$

Se escribe

$$\vec{F} \int_{t_1}^{t_2} dt = m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1$$

Si  $\vec{F}$  es constante, y al trasponer el último término

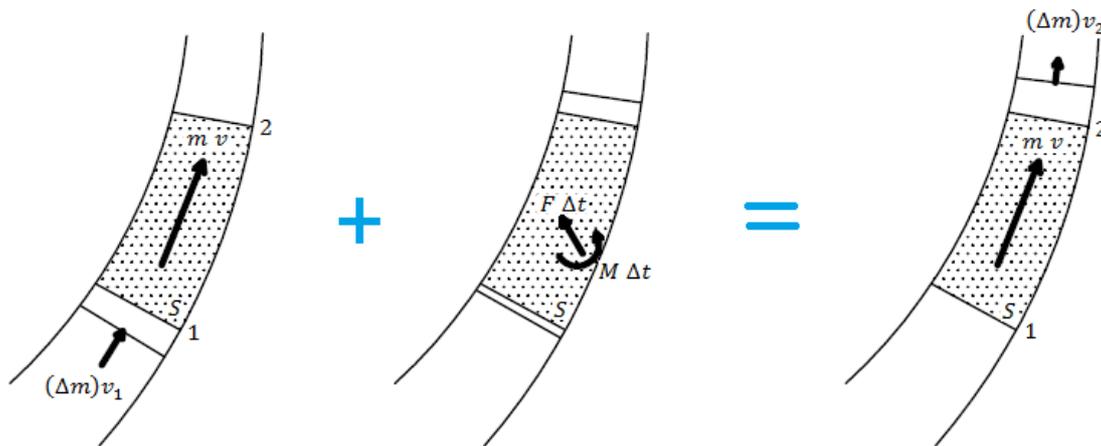
$$m\vec{v}_1 + \vec{F} \Delta t = m\vec{v}_2$$

Puesto que la masa total  $m$  del sistema, permanece constante, las partículas que entran al sistema y aquellas que salen de él en el tiempo  $\Delta t$  deben tener la

misma masa  $\Delta m$  (Beer, Jhonston, & Cornwell). Se representa la cantidad de movimiento de las partículas que entran al sistema por  $\Delta m v_1$  y la cantidad de movimiento de las partículas que salen del sistema por  $\Delta m v_2$ . Se representan también las cantidades de movimiento que forman parte del sistema por  $m v$ .

$$\Delta m \vec{v}_1 + m \vec{v} + F \Delta t = \Delta m \vec{v}_2 + m \vec{v}$$

Las cantidades de movimiento que se encuentran a ambos lados de la ecuación se pueden omitir.



**Figura 9: Cantidad de Movimiento**

“El sistema formado por la cantidad de movimiento  $\Delta m v_1$  de las partículas que entran en un tiempo  $\Delta t$  y los impulsos de las fuerzas ejercidas sobre el mismo durante ese tiempo es equipolente a la cantidad de movimiento  $\Delta m v_2$  de las partículas que salen del sistema en el mismo tiempo  $\Delta t$  (Beer, Jhonston, & Cornwell). Por lo tanto, es posible escribir

$$\Delta m \vec{v}_1 + \vec{F} \Delta t = \Delta m \vec{v}_2$$

$$\vec{F} \Delta t = \Delta m (\vec{v}_2 - \vec{v}_1)$$

Al dividir todos los términos de la ecuación entre  $\Delta t$  se obtiene

$$\vec{F} = \frac{\Delta m}{\Delta t} (\vec{v}_2 - \vec{v}_1) \quad \text{(Ec 9)}$$

En donde a  $\Delta m/\Delta t$  se le denomina *caudal másico* y se expresa en *Kg/s*.

La fuerza obtenida corresponde a la generada por el accesorio en cuestión hacia la corriente de agua, por lo tanto, la fuerza ejercida por la corriente sobre el accesorio será igual y opuesta a  $F$ .

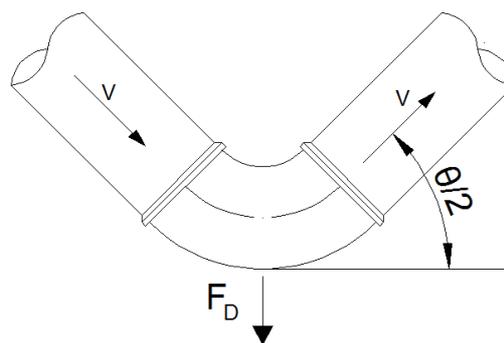
Muchas veces es conveniente expresar el caudal másico  $\Delta m/\Delta t$  como el producto  $\rho Q$ , donde  $\rho$  es la densidad de la corriente (masa por unidad de volumen) y  $Q$  su gasto de volumen (volumen por unidad de tiempo).

### Codo

En un cambio de dirección, la ecuación 9 puede expresarse de la siguiente manera

$$F_D = \frac{\Delta m}{\Delta t} \left( 2V \sin \frac{\theta}{2} \right) \quad (\text{Ec } 10)$$

Donde  $\theta$  es el ángulo de deflexión del codo.



**Figura 10: Carga hidrodinámica en codo.**

## 1.4. FUERZAS GENERADAS EN EL TERRENO.

### 1.4.1. Presiones activa y pasiva del terreno.

Las presiones activa y pasiva del terreno se pueden explicar mediante la teoría de Rankine, que se basa en las condiciones de esfuerzo en el suelo en un estado de equilibrio plástico, el mismo que se refiere a la condición en que cada punto en una masa de suelo está a punto de fallar. (Das, 2001).

Supóngase una masa de suelo sin cohesión de longitud infinita limitada a sus lados por dos paredes que puedan desplazarse lateralmente. Al principio el suelo se encuentra en estado de reposo, supóngase ahora que las dos paredes



experimentan un movimiento, manteniéndose verticales pero alejándose horizontalmente y gradualmente, esto provoca que el esfuerzo horizontal del terreno decrezca; si se siguen moviendo más las paredes se llegará a un estado de equilibrio plástico produciéndose la falla del suelo. Este estado del suelo se denomina activo, y la presión producida se conoce como presión activa de tierra de Rankine.

Por otro lado si las paredes empujan gradualmente y horizontalmente hacia el suelo, el esfuerzo horizontal del terreno se incrementará de tal manera que ocurra la falla del suelo; este fenómeno se le llama estado pasivo de Rankine. La presión lateral de tierra se llama presión de tierra pasiva de Rankine.

La presión en un punto está dada por la profundidad del mismo y la densidad del terreno, por lo tanto, las fórmulas determinadas para la presión activa y la presión pasiva del terreno son las siguientes:

$$P_a = K_a \delta H$$

Donde:

$$P_a = \textit{Presión activa del terreno}$$

$$K_a = \textit{Coeficiente de presión de tierra activa}$$

$$H = \textit{Profundidad}$$

$$\delta = \textit{Densidad del terreno}$$

$$P_p = K_p \delta H$$

Donde:

$$P_p = \textit{Presión pasiva del terreno}$$

$$K_p = \textit{Coeficiente de presión de tierra activa}$$

$$H = \textit{Profundidad}$$

$$\delta = \textit{Densidad del terreno}$$



Las ecuaciones para determinar los coeficientes  $K_a$  y  $K_p$ , descritas a continuación, fueron determinadas por Rankine a partir de los círculos de Mohr según los esfuerzos que se producen en cada caso.

$$K_a = \frac{1 - \text{sen}(\phi)}{1 + \text{sen}(\phi)} - \frac{2c * \text{Cos}(\phi)}{\delta H * (1 + \text{Sen}(\phi))}$$

$$K_p = \frac{1 + \text{sen}(\phi)}{1 - \text{sen}(\phi)} - \frac{2c * \text{Cos}(\phi)}{\delta H * (1 - \text{Sen}(\phi))}$$

En donde:

$\phi = \text{Angulo de fricción interna del suelo}$

$c = \text{Cohesión del terreno}$

$H = \text{Profundidad}$

$\delta = \text{Densidad del terreno}$

Si consideramos que se trata de un suelo no cohesivo ( $c=0$ ), como en el caso de un terreno arenoso, tenemos:

$$K_a = \frac{1 - \text{sen}(\phi)}{1 + \text{sen}(\phi)}$$

$$K_p = \frac{1 + \text{sen}(\phi)}{1 - \text{sen}(\phi)}$$

En la presente tesis se considera que el terreno no tiene cohesión con el objeto de dar mayor seguridad en el cálculo de los anclajes.

#### **1.4.2. Tensión admisible del suelo.**

La carga admisible en una cimentación es aquella que puede ser aplicada sin producir desperfectos en la estructura soportada, teniendo además, un margen de seguridad dado por el llamado coeficiente de seguridad. La carga admisible no dependerá únicamente del terreno, sino también de la forma de la cimentación, característica de la estructura y del coeficiente de seguridad que se adopte en cada caso (Crespo Villalaz, 2004).



A pesar de que el valor de la tensión admisible del suelo depende de diversos factores, existen también valores aproximados según el tipo de suelo para facilidad de cálculo, como se muestra en la tabla 1 a continuación:

<b>Tipo de suelo</b>	<b>Presión admisible(kg/cm<sup>2</sup>)</b>
Arena muy suelta	0.0-0.50
Arena suelta	0.5-1.50
Arena firme	1.5-3.0
Arena compactada	3.0-6.0
Arcilla blanda	0.0-0.75
Arcilla firme	0.75-1.25
Arcilla resistente	1.25-2.5
Arcilla dura	2.5-5.0
Roca en capas, laminadas o fracturadas	5.0-15.0
Roca masiva con alguna fisura	15.0-40.0
Roca masiva sana	40.0-100.0

**Tabla 1: Presiones admisibles de los suelos (Peck, Hanson, & Thornburn)**

**1.4.3. Fuerza de rozamiento.**

Se define a la fricción como una fuerza resistente que actúa sobre un cuerpo, que impide o retarda el deslizamiento de este respecto a otro o en la superficie que este en contacto. Esta fuerza es siempre tangencial a la superficie en los puntos de contacto con el cuerpo, y tiene un sentido tal que se opone al movimiento posible o existente del cuerpo respecto a esos puntos. Por otra parte estas fuerzas de fricción están limitadas en magnitud y no impedirán el movimiento si se aplican fuerzas lo suficientemente grandes.

La fuerza de fricción viene determinada por el coeficiente de fricción ( $\mu$ ) que depende de la naturaleza de los cuerpos que están en contacto. Se puede obtener el valor del coeficiente de fricción a partir del ángulo de fricción interno del material mediante la siguiente expresión:

$$\mu = \tan\phi$$



Donde:

$$\mu = \text{coeficiente de rozamiento}$$

$$\phi = \text{ángulo de rozamiento interno del terreno}$$

Según las diferentes superficies de contacto existen valores típicos del coeficiente de rozamiento expresados en la siguiente tabla:

<b>Superficies en contacto</b>	<b>Coef. Fricción (<math>\mu</math>)</b>
Metal sobre metal	0.15-0.60
metal sobre madera	0.20-0.60
Metal sobre piedra	0.30-0.70
Madera sobre madera	0.25-0.50
Piedra sobre piedra	0.40-0.70
Tierra sobre tierra	0.20-1.00

**Tabla 2: Valores aproximados de los coeficientes de fricción estática para superficies secas. (Beer, Jhonston, & Cornwell)**

Los diferentes coeficientes de fricción entre el concreto y un tipo de terreno determinado se encuentran en la tabla 3.

<b>Tipo de Suelo</b>	<b>Coefficiente de fricción</b>
Grava limpia, mezclas de grava y arena, arena gruesa	0.55 a 0.60
Arena limpia, fina a media, arena limosa media a gruesa, grava limosa o arcillosa	0.45 a 0.55
Arena limpia fina, arena, fina a media limosa o arcillosa	0.35 a 0.45
Limo fino arenoso, limo no plástico	0.30 a 0.35



Arcilla muy firme y dura residual o preconsolidada	0.40 a 0.50
Arcilla firme a medianamente firme y arcilla limosa	0.30 a 0.35

**Tabla 3: Coeficiente de fricción concreto-suelo (CEMEX, 2005).**

### 1.5. SISTEMAS DE ANCLAJE

Los sistemas de anclaje se diseñan a partir de las fuerzas hidrostáticas e hidrodinámicas que se producen en la tubería así como de las reacciones que se producen en el terreno en el cual va enterrado.

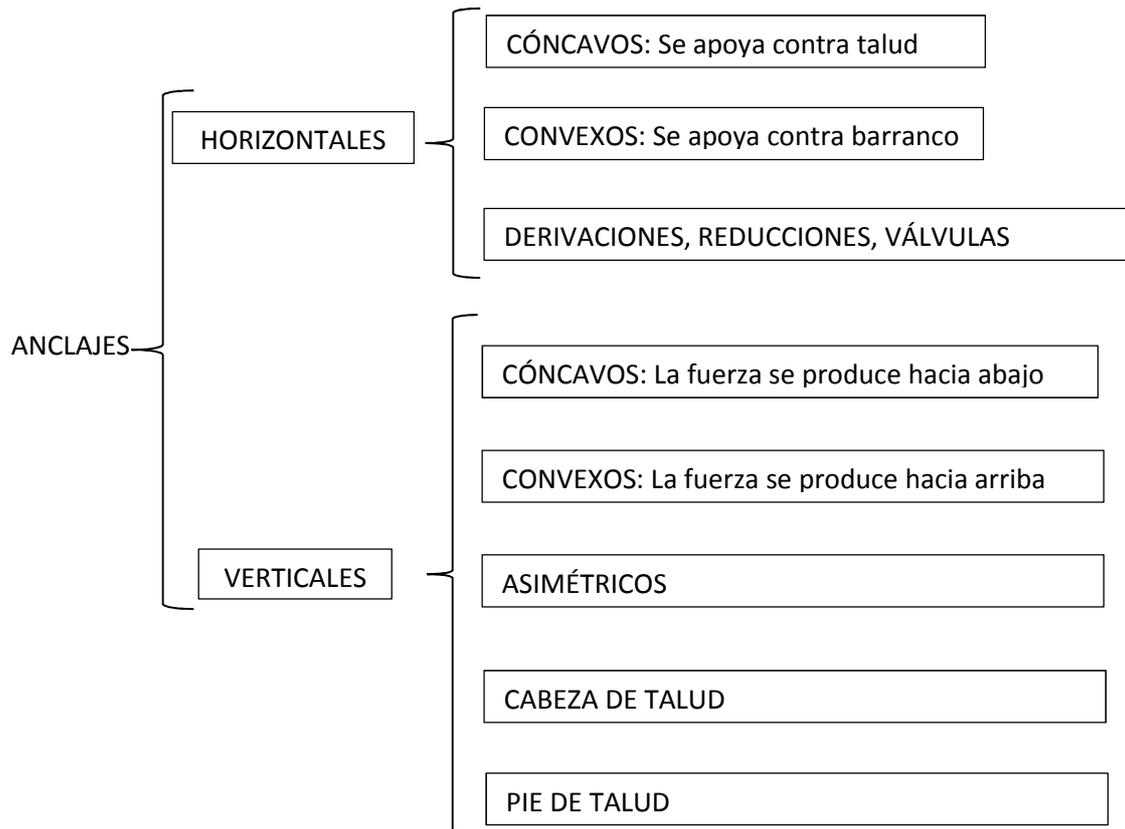
El macizo de anclaje es un dado de hormigón que gracias a su gran peso, a la fricción con el terreno y a la geometría del mismo hace que se transmitan las cargas de manera adecuada al terreno, impidiendo los desplazamientos horizontales y verticales del sistema de tuberías. Dependiendo del tipo de macizo con el que se trabaje, se analizarán diferentes parámetros para su diseño.

El macizo de anclaje se ubicará por debajo del componente a anclar cuando se calcule que se vayan a producir movimientos verticales, cuando se produzcan movimientos horizontales el macizo irá ubicado en la parte lateral del componente.

En algunos casos bastarán apoyos o anclajes sencillos, dado que las fuerzas son de pequeña magnitud. En general puede decirse que para tuberías de pequeño diámetro (hasta 10”), soportando presiones estáticas hasta del orden de 100m de agua, no se requiere dimensionar un anclaje especial, toda vez que el peso de la tubería equilibra las fuerzas de desplazamiento. (Arocha, 1977)

#### 1.5.1. CLASIFICACIÓN

Los sistemas de anclajes se pueden clasificar por cómo van a soportar la fuerza producida por el líquido dentro de la tubería. Los anclajes pueden recibir la fuerza horizontalmente o verticalmente.



**Tabla 4: Clasificación de anclajes.**

En el caso de anclajes horizontales cóncavos la fuerza resultante de la tubería se dirige hacia el talud mientras que en los anclajes horizontales convexos la fuerza se dirige hacia el barranco.

Por lo general en anclajes cóncavos ya sean horizontales o verticales, el parámetro que suele ser el más influyente en el diseño es el área de apoyo contra el terreno, en tanto que en los anclajes convexos se trabaja generalmente con la fricción generada entre el macizo y el terreno, y con el peso del anclaje y del relleno que se encuentra por encima del macizo.

### 1.5.2. DIMENSIONAMIENTO

Se dimensionará el macizo de anclaje proporcionando un área que distribuya las cargas al terreno sin superar la capacidad portante del suelo; por medio de la altura queda definido el volumen del macizo para que su peso impida el desplazamiento por medio de la fricción o impida el movimiento vertical ascendente de la tubería.



Es decir, el propósito del macizo de anclaje es impedir todos los movimientos que se pueden producir, ya sea el asentamiento o elevación, y los desplazamientos laterales.

### 1.5.3. ARMADO

Los hierros de refuerzo de los macizos de anclaje se diseñarán como zapata-columna, en donde la zapata corresponde al anclaje y la fuerza de la tubería cumple la función de carga de una columna.

Se llevará a cabo únicamente el diseño a momento flector para obtener los hierros principales pero también se colocarán hierros secundarios de acuerdo a los requerimientos de cuantía mínima.

Adicionalmente para los casos en donde las deflexiones sean convexas se diseñará también un tensor debido a que la fuerza producida por la tubería no es receptada directamente por el anclaje, por lo tanto, el tensor se encarga de transmitir la carga hacia el macizo.

El cálculo del acero de refuerzo seguirá el siguiente procedimiento:

1. Determinar el esfuerzo transmitido al terreno a través del anclaje.

$$\sigma = Fe * A$$

Dónde:

$\sigma$  = Esfuerzo generado en el terreno.

$Fe$  = Fuerza de diseño (Estática)

$A$  = Área diseñada para el anclaje.

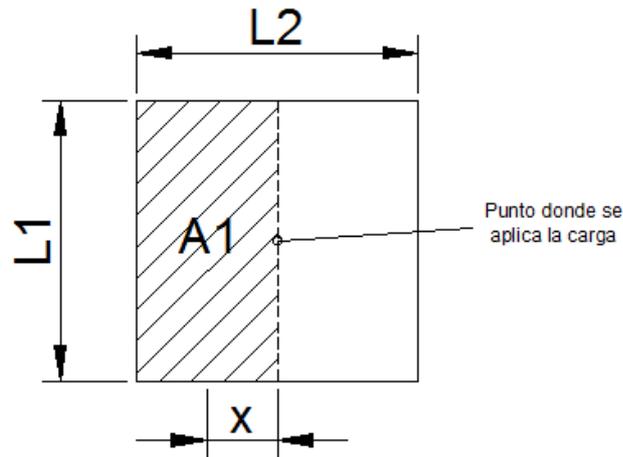
2. Obtención de fuerzas resistidas por el anclaje según el área analizada.

$$F = \sigma * A_1$$

Dónde:

$F$  = Fuerza generada en el área 1

$A_1$  = Área correspondiente a la Fig. 11



**Figura 11: División de anclaje en áreas (A1).**

3. Cálculo de los respectivos momentos generados en el anclaje.

$$x = \frac{L_2}{4}$$

$$M = F * x$$

4. Determinación de la armadura principal.

$$Ru = \frac{M}{\phi bwd}$$

$$As = 0.85 * \frac{f'c}{fy} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2,36Ru}{f'c}} \right) * bwd$$

Donde:

*As = Area de refuerzo requerida.*

*bw = ancho del anclaje(L1 o L2).*

*d = peralte del anclaje.*

*f'c = capacidad a compresión del hormigón.*

*fy = esfuerzo de fluencia del acero.*

*ϕ = coeficiente a flexión(0.9).*

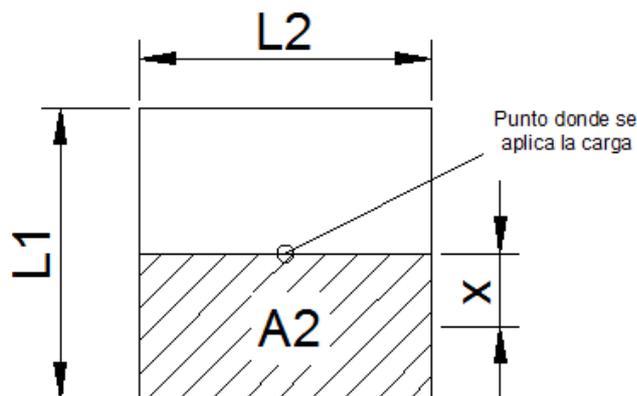
El valor del peralte ( $d$ ) depende del recubrimiento de concreto que se vaya a dar a las varillas de refuerzo, para estructuras que están bajo tierra se recomienda un recubrimiento mínimo de 75mm. (Comité ACI 318, 2008) (Sección 7.7.1).

5. Establecer las armaduras secundarias.

Se colocará la armadura mínima por retracción y temperatura especificada por el ACI 318. (Sección 7.12.2.1) (Comité ACI 318, 2008))

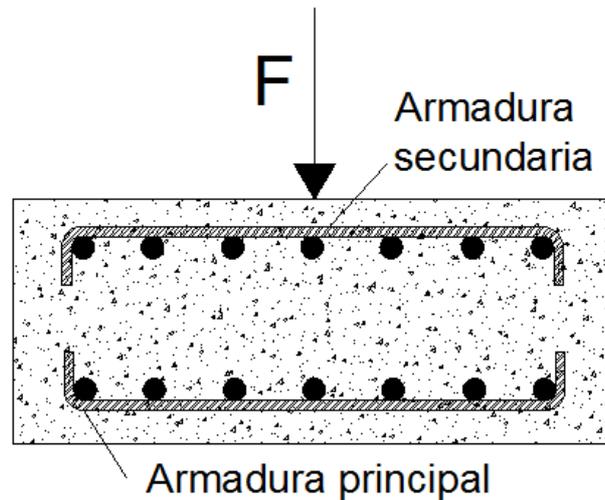
$$\rho_{min} = 0.0014$$

6. Si se dispone de un anclaje cuadrangular la armadura requerida para el otro sentido es decir para el área 2 (Fig. 12), es la misma que la obtenida para el área 1; pero si no es el caso, se debería realizar el cálculo correspondiente.



**Figura 12: División de anclaje en áreas (A2).**

Un esquema general de la distribución del refuerzo dentro del macizo de anclaje se encuentra idealizado en la figura 13.



**Figura 13: Esquema general de armadura en anclajes.**

### **DISEÑO Y PROGRAMACION DE SISTEMA DE ANCLAJE.**

Como ya se mencionó anteriormente, este estudio se ha enfocado únicamente en anclajes para deflexiones o codos ya sean horizontales o verticales. Los programas de cálculo se realizaron en el software Microsoft Excel.

Se ha efectuado el análisis, diseño y programación para los siguientes tipos de anclajes:

1. Anclaje horizontal cóncavo.
2. Anclaje horizontal convexo.
3. Anclaje vertical cóncavo.
4. Anclaje vertical convexo.
5. Anclaje vertical en pie de talud.
6. Anclaje vertical en cabeza de talud.

Para los programas de cálculo se requieren ingresar los siguiente datos, aunque dependiendo del caso se necesitan otras características del terreno que se detallarán más adelante.

#### Datos de la tubería:

- Diámetro.
- Angulo de deflexión del codo.



- Densidad del fluido.
- Caudal.
- Altura por bomba (en caso de que exista).
- Cota de la superficie libre de agua.
- Cota del codo.

Datos del suelo:

- Tensión admisible del suelo.
- Densidad del suelo.
- Angulo de fricción interna.
- Altura del relleno sobre la clave de la tubería.
- Altura del relleno sobre el anclaje.

Los programas obtienen las dimensiones del macizo de anclaje de manera automática, se ha considerado que todos los macizos tienen una base cuadrada; de igual manera los programas también tienen una parte manual para ingresar las dimensiones a criterio del usuario. En el caso del programa correspondiente al anclaje horizontal convexo se ha implementado únicamente un sistema manual.

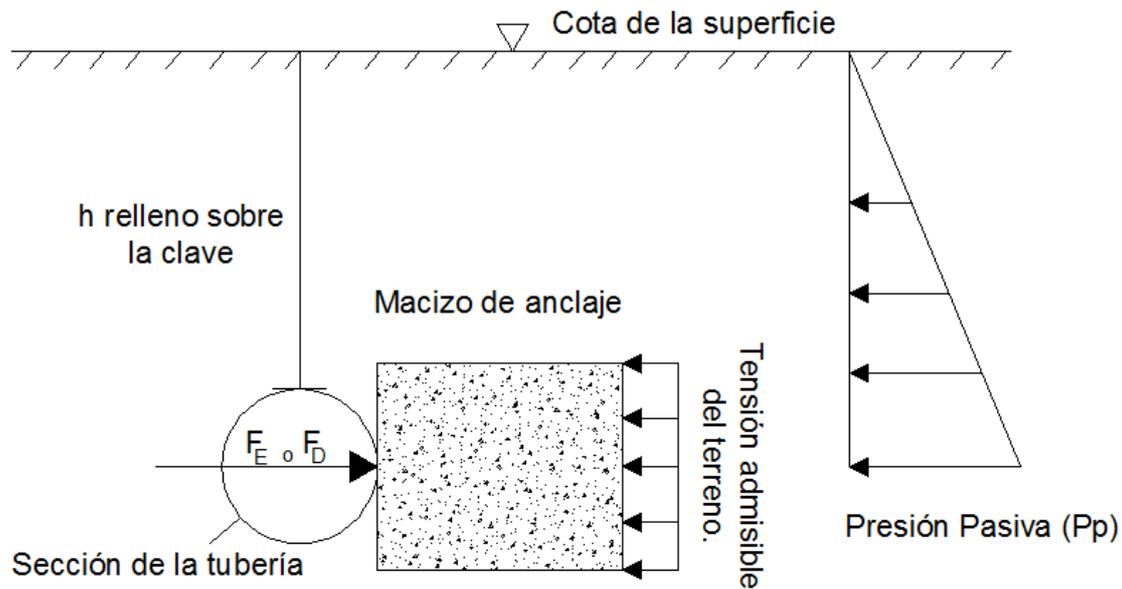
Para todos los casos la fuerza utilizada para el diseño del anclaje será mayorada utilizando un coeficiente de seguridad igual a 1.5. El factor de seguridad considerado para comprobar el diseño de cualquier tipo de anclaje es igual o mayor a 1.2.

**1.6. Anclaje horizontal cóncavo.**

Para este caso se han considerado las siguientes fuerzas y reacciones:

- Fuerza estática producida por el fluido en la tubería
- Fuerza dinámica generada por el fluido
- Empuje pasivo en el terreno

- Tensión admisible del suelo.



**Figura 14: Fuerzas actuantes en un anclaje horizontal cóncavo**

En este tipo de anclajes el diseño se enfoca principalmente en obtener el **área** del macizo de anclaje perpendicular a las fuerzas estática y dinámica generadas por el fluido en la tubería.

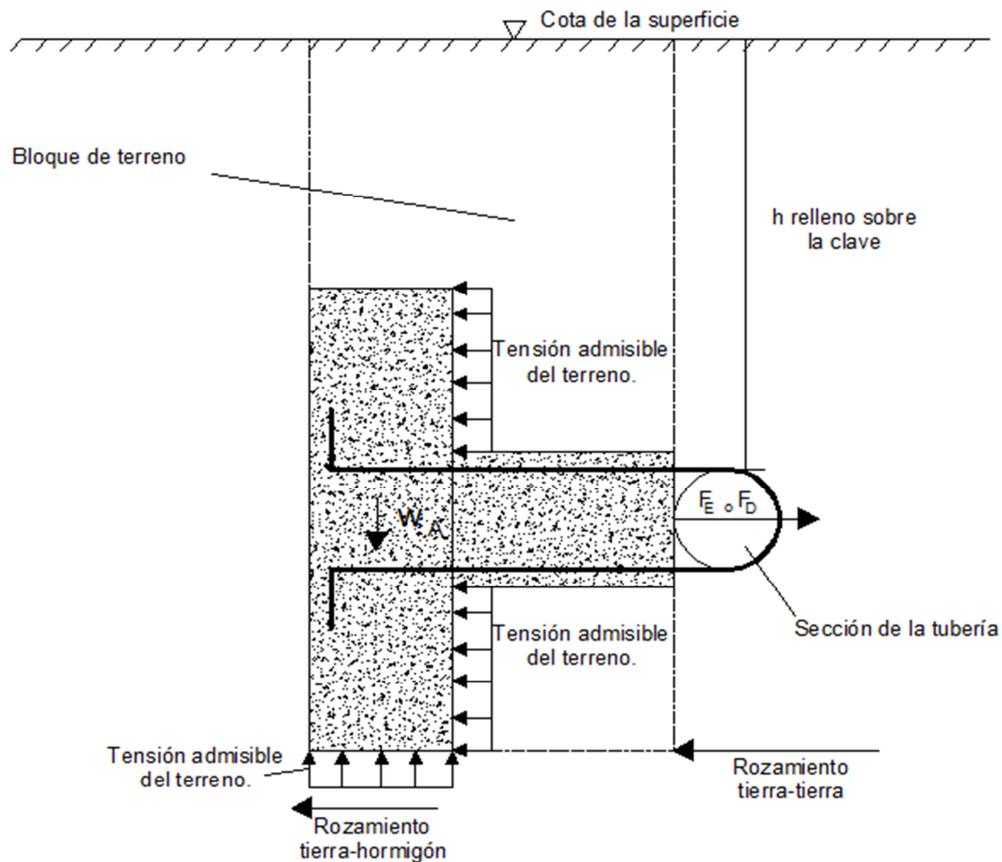
El procedimiento que se siguió fue obtener las fuerzas estáticas y dinámicas generadas en la tubería, así como el empuje pasivo en el terreno; después se obtuvo un área de contacto de tal forma que resista las fuerzas en cuestión y que no se exceda con la tensión admisible del suelo. El espesor del macizo se diseña de acuerdo a las condiciones de armadura que se requieren en el mismo, se recomienda que sea mayor a la mitad del lado del anclaje en el cual se apoya la tubería.

### **1.7. Anclaje horizontal convexo.**

Para este tipo de anclajes se han tomado en cuenta las siguientes fuerzas:

- Fuerza estática producida por el fluido en la tubería
- Fuerza dinámica generada por el fluido
- Tensión admisible del suelo.
- Fuerza de rozamiento tierra-tierra y hormigón-tierra.
- Peso del anclaje.

- Peso del bloque tierra actuante.



**Figura 15: Fuerzas actuantes en un anclaje horizontal convexo.**

En el diseño correspondiente se da mayor importancia al peso del anclaje, ya que intervienen fuerzas de rozamiento que pueden causar el desplazamiento del macizo.

Para el dimensionamiento se consideran también otros valores que no fueron descritos anteriormente, como el coeficiente de fricción concreto-terreno, coeficiente de fricción terreno-terreno, y también se requiere la cohesión del suelo. Se procede al cálculo de las fuerzas estáticas y dinámicas encontradas

al interior de la tubería. Para este tipo de anclaje se analiza tanto el macizo como el bloque de tierra involucrado; se comprueba que la mayor fuerza entre la estática y la dinámica no superen la resistencia a deslizamiento tanto del macizo como del bloque de tierra, de igual manera se analiza si la tensión admisible del suelo no se ve excedida ya sea en la parte inferior del macizo o

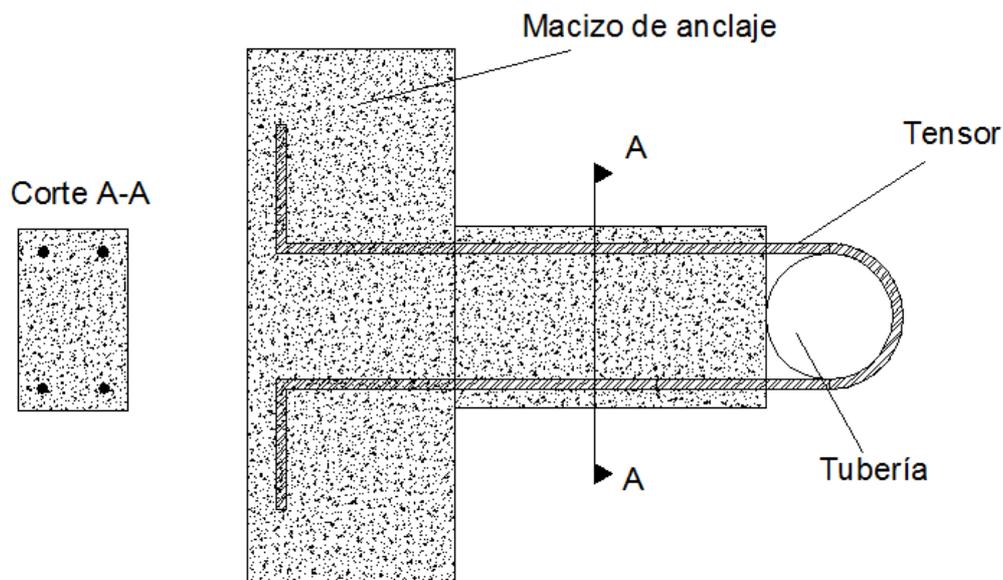
en sus paredes laterales. Por último se verifica que la cohesión del terreno no sea desestabilizada por la fuerza de diseño.

### 1.7.1. Diseño de tensor.

Para este tipo de anclajes, en donde las fuerzas producidas por el líquido en la tubería están en dirección contraria a la ubicación del anclaje, así como nos muestra la figura 15, por este motivo se requiere diseñar un tensor que transmita la carga hacia el macizo.

El tensor se diseña como un conjunto de varillas de acero que transmiten la carga axialmente, por lo que, el cálculo corresponde a encontrar un área de acero que sea capaz de resistir la carga de diseño.

Por lo general se consideran 4 varillas de acero que se disponen de la siguiente forma:



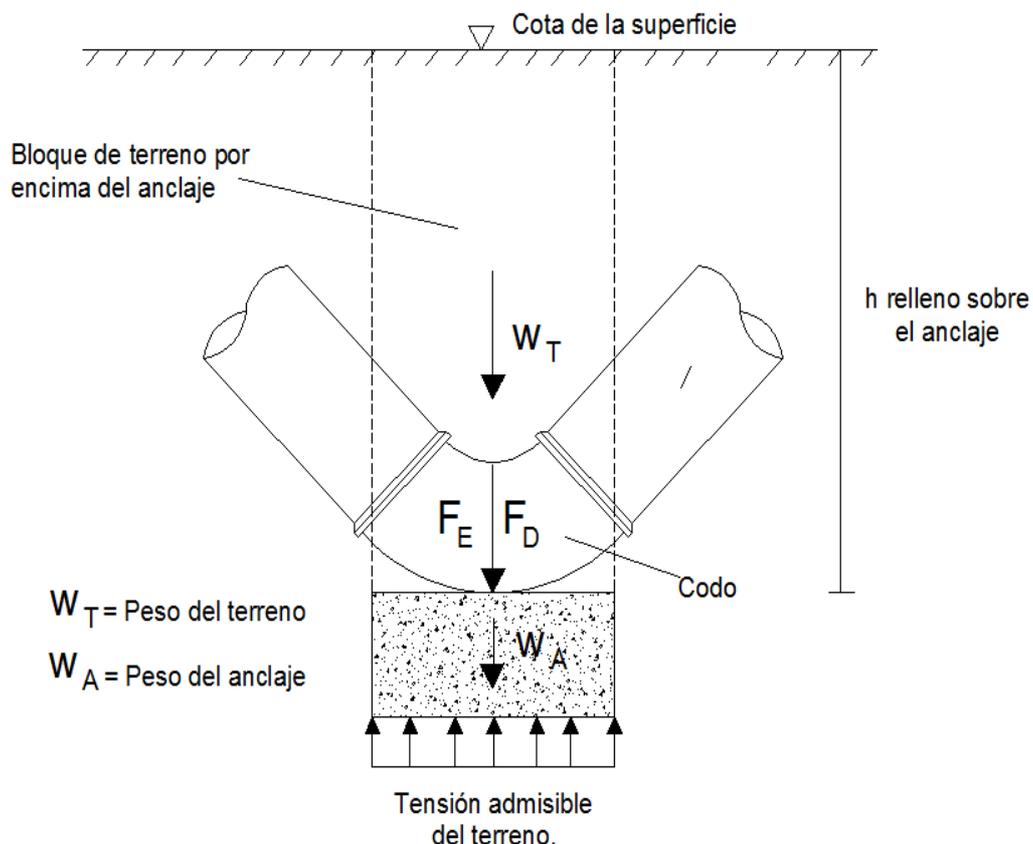
**Figura 16: Detalle de tensor para deflexión horizontal convexa.**

### 1.8. Anclaje vertical cóncavo.

Para este tipo de anclajes se han tomado en cuenta las siguientes fuerzas:

- Fuerza estática producida por el fluido en la tubería
- Fuerza dinámica generada por el fluido
- Tensión admisible del suelo.
- Peso del anclaje.

- Peso del terreno por encima del anclaje.



**Figura 17: Fuerzas actuantes en un anclaje vertical cóncavo.}**

Se debe tener en cuenta, para este tipo de deflexión, que tanto el área que es perpendicular a la fuerza de diseño, así como el peso del anclaje son los parámetros a obtener.

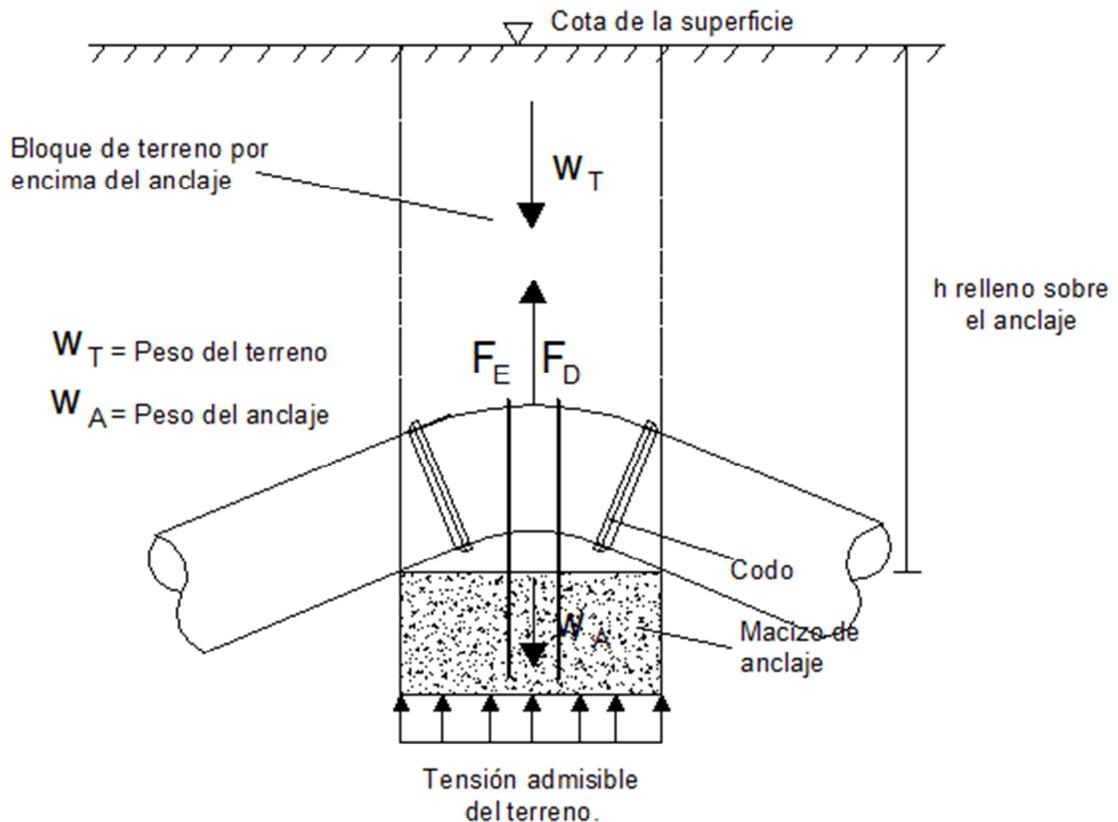
Para el dimensionamiento se debe imponer el espesor del macizo de anclaje y se procede a la determinación de las fuerzas estáticas y dinámicas generadas en la tubería; se realiza una sumatoria de fuerzas incluyendo al peso del anclaje, del terreno por encima del mismo y la mayor fuerza entre la estática y la dinámica; y finalmente se comprueba que el resultado de esta sumatoria no esté superando la tensión admisible del terreno.

### 1.9. Anclaje vertical convexo.

En este tipo de anclaje vertical se analizan las siguientes reacciones:

- Fuerza estática producida por el fluido en la tubería
- Fuerza dinámica generada por el fluido

- Peso del anclaje
- Peso del terreno encima del anclaje



**Figura 18: Fuerzas actuantes en un anclaje vertical convexo.**

El peso del anclaje resulta ser el factor principal en el momento de establecer las dimensiones de un anclaje de este tipo.

En este caso la mayor fuerza entre la dinámica y la estática, es contrarrestada únicamente por la suma entre el peso del anclaje y el peso del terreno que se encuentra por encima del mismo.

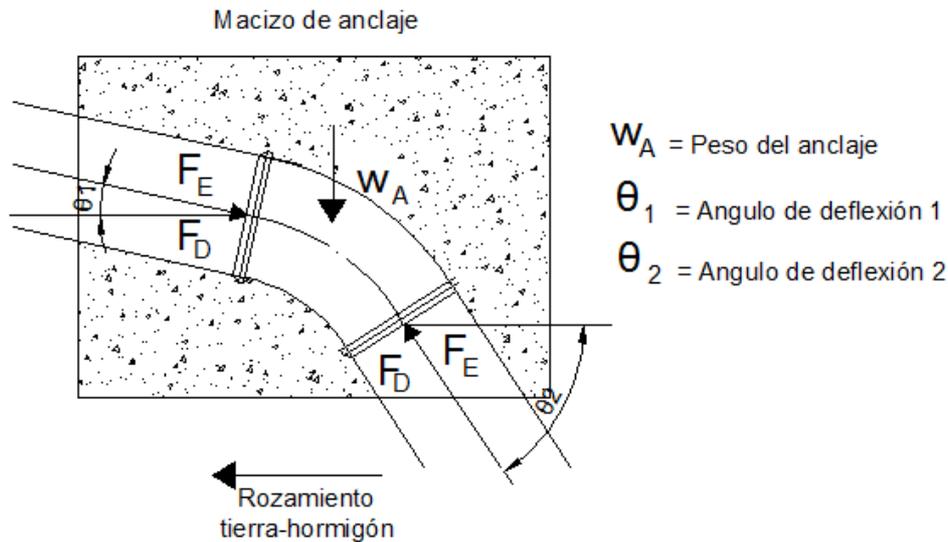
Se considera también un tensor cuyo diseño se lleva a cabo de manera similar al descrito para el anclaje horizontal convexo.

### 1.10. Anclaje vertical en cabeza de talud.

Para este caso de anclaje vertical se consideran las siguientes reacciones:

- Fuerza estática producida por el fluido en la tubería
- Fuerza dinámica generada por el fluido

- Peso del anclaje
- Rozamiento generado entre el anclaje y el terreno.



**Figura 19: Fuerzas actuantes en anclaje vertical en cabeza de talud.**

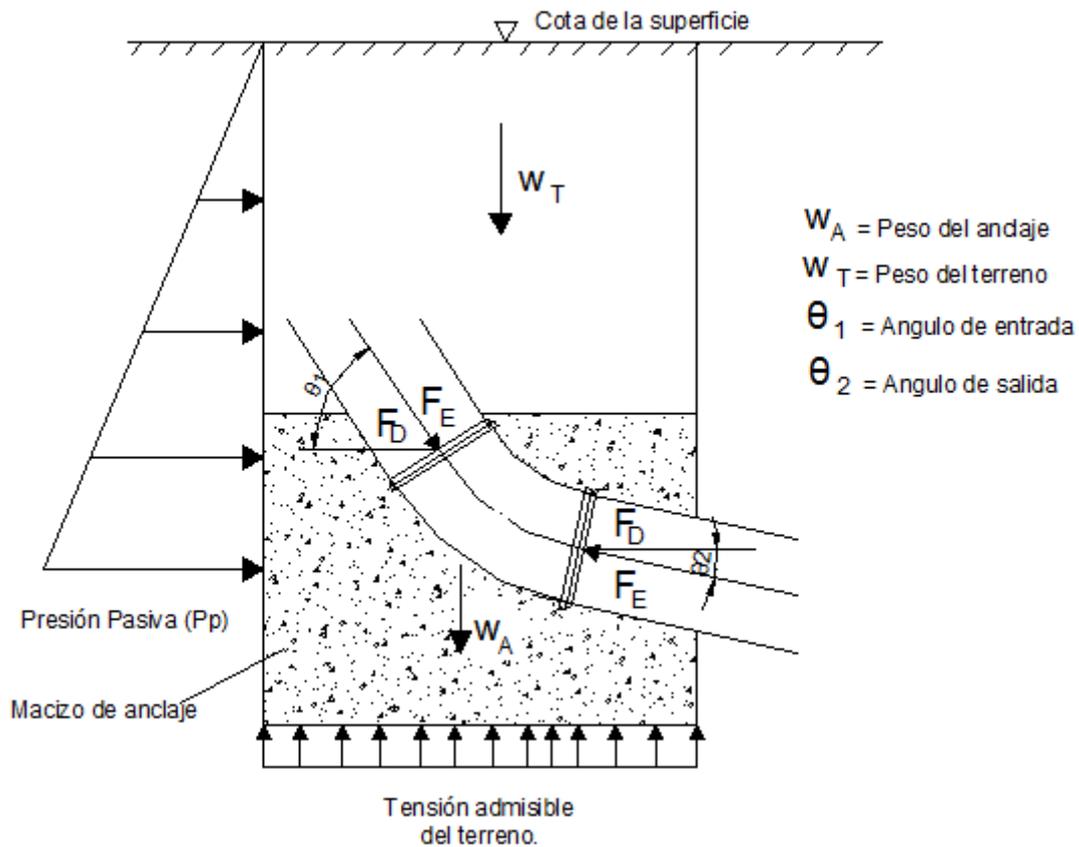
Para anclajes en cabeza de talud es necesario determinar un **peso** del macizo adecuado para evitar que las fuerzas producidas al interior de la tubería desplacen al anclaje superando la fricción producida entre el terreno y el macizo.

El procedimiento consiste en descomponer la fuerza estática o dinámica, en fuerzas horizontales y verticales según las inclinaciones presentes, se realizan las sumatorias correspondientes y se obtiene un peso requerido para el anclaje; las dimensiones dependerán de las condiciones del terreno y del refuerzo necesario.

### 1.11. Anclaje vertical en pie de talud.

Para este caso de anclaje vertical se consideran las siguientes reacciones:

- Fuerza estática producida por el fluido en la tubería.
- Fuerza dinámica generada por el fluido,
- Peso del anclaje.
- Peso del bloque de tierra.
- Presión pasiva.
- Tensión admisible del terreno.



**Figura 20: Fuerzas actuantes en anclaje vertical en pie de talud.**

El diseño de este tipo de anclajes se basa en encontrar un área tanto lateral como inferior del macizo de anclaje de tal manera que no se exceda la presión pasiva ni la tensión admisible del terreno.

El proceso del dimensionamiento consiste en descomponer la fuerza estática o dinámica (según cual sea la mayor) en componentes horizontales y verticales; las componentes horizontales se analizan según la presión pasiva del terreno para obtener el área lateral del macizo de anclaje. Por otro lado las componentes verticales, junto con el peso del anclaje y del bloque de terreno involucrado se comparan con la tensión admisible del terreno para así determinar las dimensiones de la cara inferior del macizo.



## **RESULTADOS Y DISCUSION.**

Los diferentes programas de cálculo realizados para cada uno de los tipos de anclaje analizados se encuentran en los anexos ubicados al final de la tesis. Se presenta únicamente la parte automática de la hoja de Excel acompañada de un enunciado describiendo los requerimientos del diseño y de dibujos explicativos que muestran las dimensiones del macizo.

La interfaz de todos los programas es similar aunque presenta ligeros cambios dependiendo del anclaje analizado. Las celdas de color verde representan los datos que se asumen conocidos y deben ser ingresados por el usuario, mientras que las celdas de color gris son los valores calculados por el programa y las celdas en amarillo son las dimensiones finales del anclaje que cumplen con los parámetros de diseño.

Los ejemplos de cálculo realizados se encuentran en el siguiente orden:

Anexo 2: Anclaje horizontal cóncavo.

Anexo 3: Anclaje horizontal convexo.

Anexo 4: Anclaje vertical cóncavo.

Anexo 5: Anclaje vertical convexo.

Anexo 6: Anclaje vertical en pie de talud.

Anexo 7: Anclaje vertical en cabeza de talud.



## BIBLIOGRAFIA

Arocha, S. (1977). *Abastecimiento de Agua (Teoría y Diseño)*. Ediciones Vega.

Beer, Jhonston, & Cornwell. (s.f.). *Mecánica Vectorial para Ingenieros*. McGraw Hill.

CEMEX. (2005). *Manual del Constructor*. Proceso Gráfico.

Comité ACI 318. (2008). *Requisitos de reglamento para concreto estructural(ACI 318S-08) y comentarios*. ACI.

Crespo Villalaz, C. (2004). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. LIMUSA.

Das, B. . (2001). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. Thomson Learning.

NAACY. (2004). *Normas para el abastecimiento de agua*. NAACY.

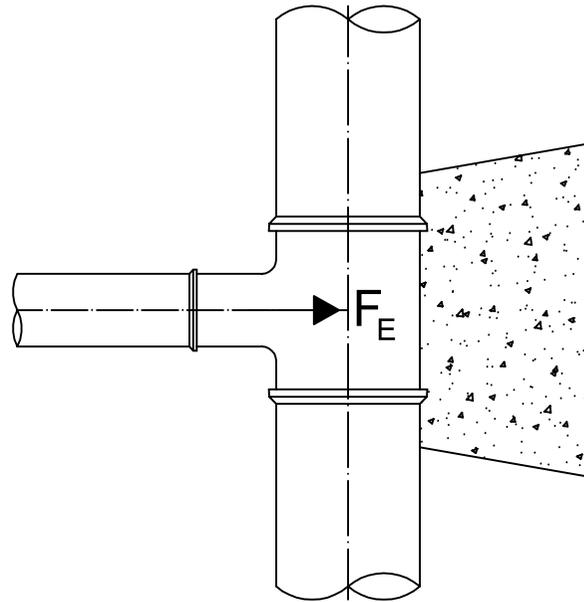
Peck, R. B., Hanson, W. E., & Thornburn, T. H. (s.f.). *Ingeniería de Cimentaciones*. LIMUSA.



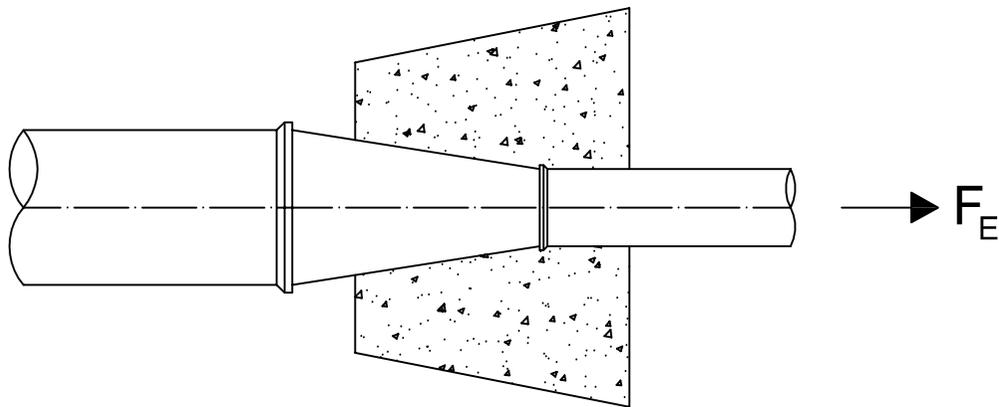
# ANEXOS

# ANEXO 1

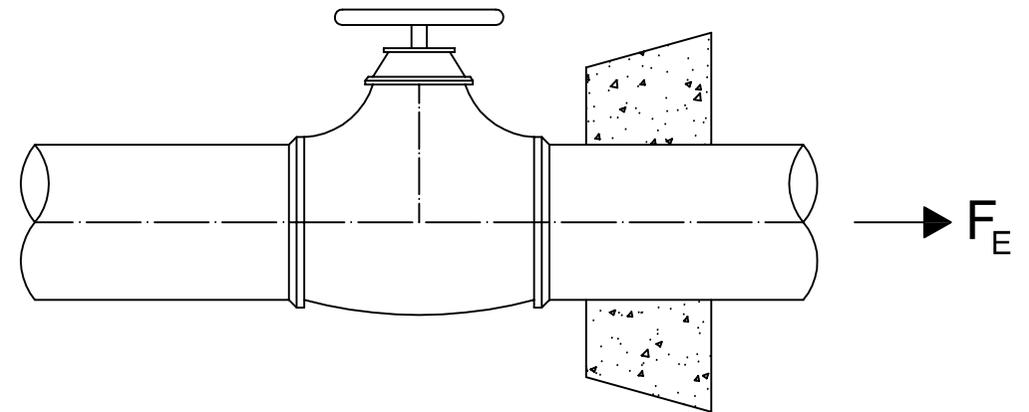
# ANCLAJES TÍPICOS EN DERIVACIONES, REDUCCIONES, Y VÁLVULAS



DERIVACIÓN



REDUCCIÓN



VÁLVULA

# ANEXO 2

# ANCLAJE HORIZONTAL CÓNCAVO

Se requiere diseñar un macizo de anclaje horizontal cóncavo para una tubería de agua a presión de 500 mm de diámetro, cuya cota de superficie libre de agua es 2705.4 m, y la cota donde se requiere el anclaje es 2658 m, en este punto se ha establecido la necesidad de un codo con un ángulo de deflexión de 45 grados. El caudal transportado por la tubería es de 0.7 m<sup>3</sup>/s. La altura de relleno sobre la clave de la tubería en el punto de análisis es de 2.8 m.

Según resultados de laboratorio, el terreno corresponde a una arena firme cuya tensión admisible es 1.5 kg/cm<sup>2</sup>, su densidad es de 1800 kg/m<sup>3</sup>, el ángulo de fricción interno es de 30 grados.

## ANCLAJE HORIZONTAL CÓNCAVO

### DATOS DE LA TUBERÍA

Diámetro	500 mm
Ángulo de deflexión	45°
Altura por bomba	0 m
Cota superficie libre de agua	2705.4 m
Cota del codo	2658 m
Caudal	0.7 m <sup>3</sup> /s
Densidad del líquido, ρ	1000 kg/m <sup>3</sup>

### DATOS DEL SUELO

Tensión admisible del suelo	1.5 kg/cm <sup>2</sup>
Densidad del suelo, δ	1800 kg/m <sup>3</sup>
Ángulo de fricción interna	30°
Coefficiente de Presión de tierra Pasiva	3
Altura de relleno sobre la clave	2.8 m

<b>NOTAS:</b>	Velocidad	3.57 m/s
	1 Mpa = 10 Kg/cm <sup>2</sup> = 100 mca	

### RESULTADOS

Fuerza Estática, Fe	7123 kg	$F_E = 2 P A \text{sen}(\alpha/2)$	} Fuerza de prueba, Fp	10685 kg
Fuerza Dinámica, Fd	1910 kg	$F_D = 2 (Q \rho) v \text{sen}(\alpha/2)$		
Empuje pasivo	16470 kg/m <sup>2</sup>	$P_p = k \delta \bar{h}$		

### DIMENSIONAMIENTO DEL MACIZO

Área de anclaje por Tensión Admisible	7123 cm <sup>2</sup>	} Área necesaria	7123 cm <sup>2</sup>
Área de anclaje por Empuje Pasivo	6487 cm <sup>2</sup>		

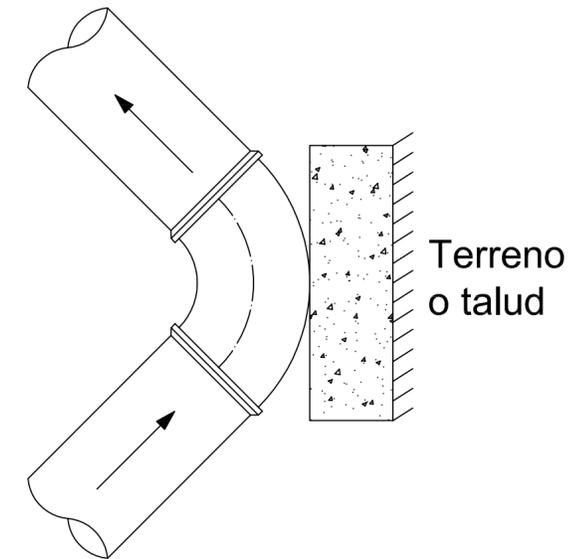
**NOTA:** Se recomienda la dimensión del lado L de por lo menos **92.5** cm

Lado 1	95 cm	Espesor	50 cm
Lado 2	95 cm		

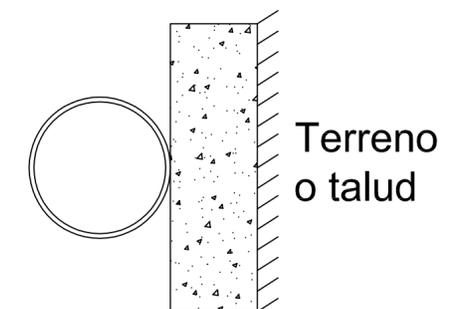
### FACTORES DE SEGURIDAD

Fatiga del suelo	1.18 kg/cm <sup>2</sup>
Seguridad al hundimiento	1.27

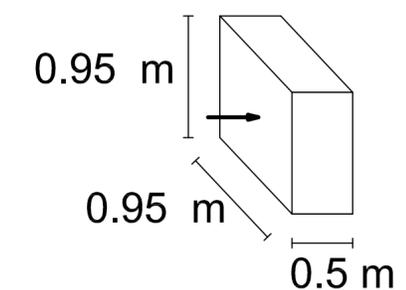
### VISTA EN PLANTA



### VISTA LATERAL



### DIMENSIONES



# ANEXO 3

## ANCLAJE HORIZONTAL CONVEXO

DATOS DE LA TUBERÍA		DATOS DEL SUELO	
Diámetro	500 mm	Tensión admisible del suelo	1.5 kg/cm <sup>2</sup>
Ángulo de deflexión	45 °	Densidad del suelo, $\delta$	1800 kg/m <sup>3</sup>
Altura por bomba	0 m	Ángulo de fricción interna	30 °
Cota superficie libre de agua	2705.4 m	Coefficiente de Presión de tierra Pasiva	3
Cota del codo	2658 m	Altura de relleno sobre la clave	2.8 m
Caudal	0.7 m <sup>3</sup> /s		
Densidad del líquido, $\rho$	1000 kg/m <sup>3</sup>		

NOTAS:	Velocidad	3.57 m/s
	1 Mpa = 10 Kg/cm <sup>2</sup> = 100 mca	

COEFICIENTES DE ROZAMIENTO Y COHESION	
Coefficiente de rozamiento Tierra-Hormigon	0.364
Coefficiente de rozamiento Tierra-Tierra	0.510
Cohesión	0.04 Kg/cm <sup>2</sup>

RESULTADOS			
Fuerza Estática, $F_e$	7123 kg	$F_e = 2 P A \text{sen}(\alpha/2)$	} Fuerza de prueba, $F_p$ $F_p = 1,5 \times \text{MAX}(F_e; F_d)$ 10685 kg
Fuerza Dinámica, $F_d$	1910 kg	$F_d = 2 (Q \rho) v \text{sen}(\alpha/2)$	
Empuje pasivo	16470 kg/m <sup>2</sup>	$P_p = k \delta \bar{h}$	

DIMENSIONAMIENTO DEL MACIZO			
L	1.25 m	NOTA:	Se recomienda que la dimensión L se encuentre dentro del siguiente rango:
e	0.5 m		
		1.111 m	- 4.67 m
a	0.65 m		
h	0.65 m		
D	1.8 m		

EQUILIBRIO DEL ANCLAJE		FUERZAS	
Fatiga del suelo bajo el anclaje	0.74 kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia al deslizamiento	682.5 kg
Fatiga de suelo lateral	0.88 kg/cm <sup>2</sup>		

EQUILIBRIO BLOQUE DE SUELO			
k seguridad tangencial	2.52	Fuerza de rozamiento	9115.9 kg
		Cohesion	5292 kg

EQUILIBRIO TOTAL	
K TOTAL	1.23

FACTORES DE SEGURIDAD	
Seguridad al hundimiento	2.04
Seguridad al deslizamiento	1.71

Diseño satisfactorio

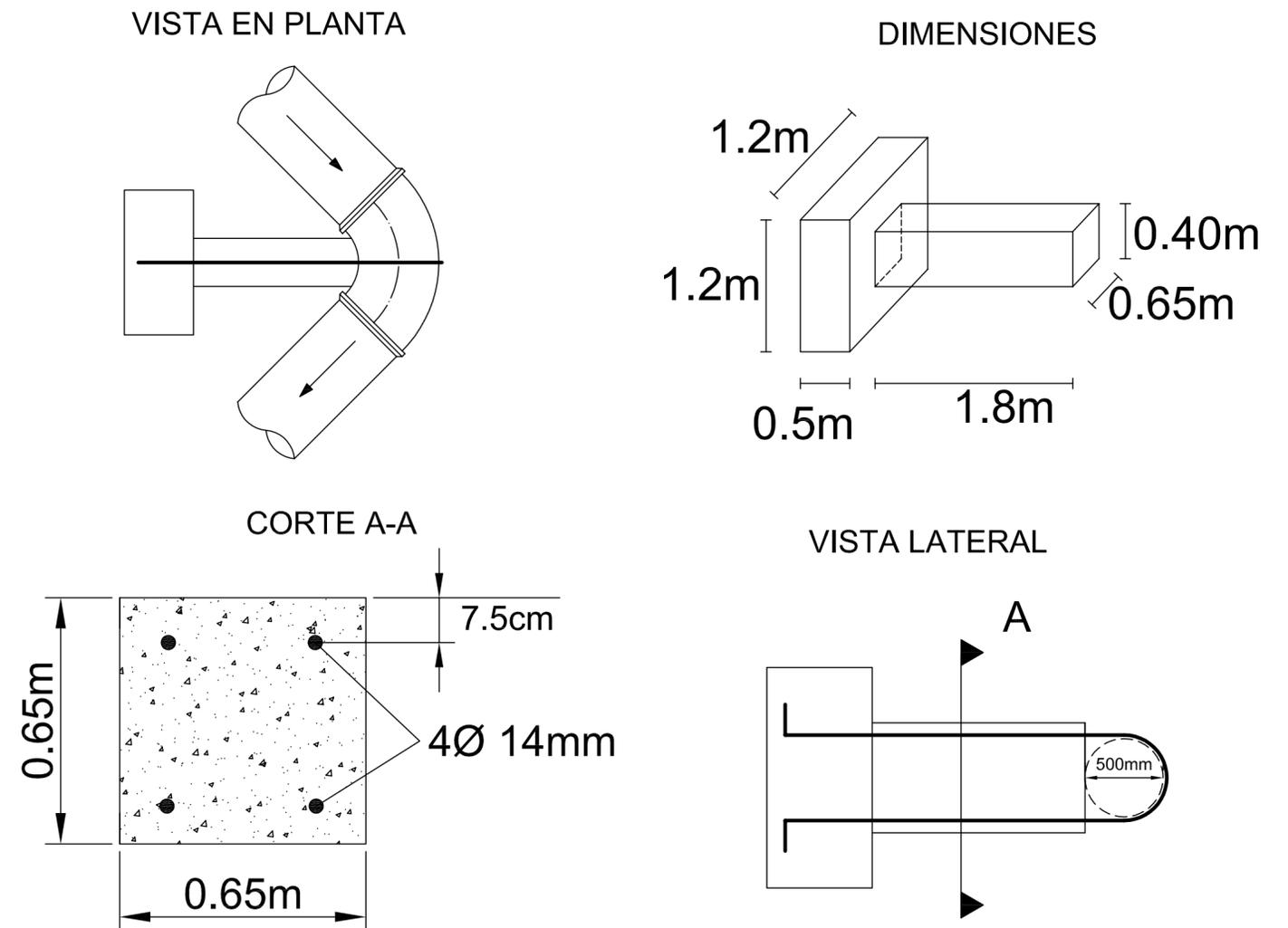
TENSOR	
Acero Tensor	3.816 cm <sup>2</sup>
Ramas	4Ø 14mm

## ANCLAJE HORIZONTAL CONVEXO

Se requiere diseñar un macizo de anclaje horizontal convexo para una tubería de agua a presión de 500 mm de diámetro, cuya cota de superficie libre de agua es 2705.4 m, y la cota donde se requiere el anclaje es 2658 m, en este punto se ha establecido la necesidad de un codo con un ángulo de deflexión de 45 grados. El caudal transportado por la tubería es de 0.7 m<sup>3</sup>/s. La altura de relleno sobre la clave de la tubería en el punto de análisis es de 2.8 m.

Según resultados de laboratorio, el terreno corresponde a una arena firme cuya tensión admisible es 1.5 kg/cm<sup>2</sup>, su densidad es de 1800 kg/m<sup>3</sup>, el ángulo de fricción interno es de 30 grados y la cohesión es de 0.04 kg/cm<sup>2</sup>.

Para este tipo de anclaje se requieren también los coeficientes de fricción hormigón-terreno y terreno-terreno. Los valores usados en este ejemplo han sido tomados de las tablas de valores recomendados recopilados dentro de esta tesis.



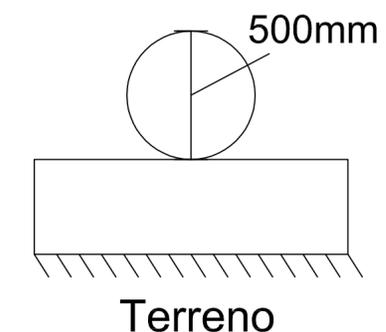
# ANEXO 4

# ANCLAJE VERTICAL CONCAVO

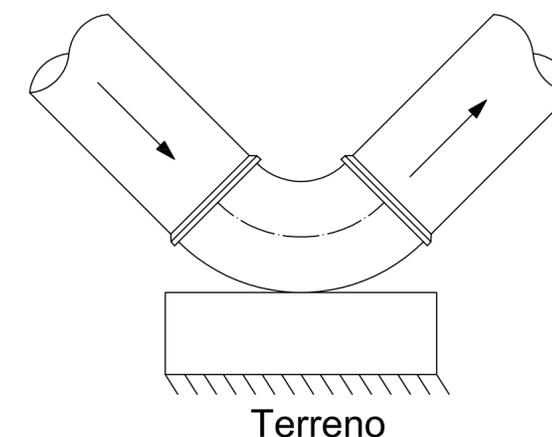
Se requiere diseñar un macizo de anclaje vertical cóncavo para una tubería de agua a presión de 500 mm de diámetro, cuya cota de superficie libre de agua es 2705.4 m, y la cota donde se requiere el anclaje es 2638 m, en este punto se ha establecido la necesidad de un codo con un ángulo de deflexión de 22.5 grados. El caudal transportado por la tubería es de 0.7 m<sup>3</sup>/s. La altura de relleno sobre la clave de la tubería en el punto de análisis es de 2.35 m.

Según resultados de laboratorio, el terreno corresponde a una arena firme cuya tensión admisible es 1.5 kg/cm<sup>2</sup>, su densidad es de 1900 kg/m<sup>3</sup>, el ángulo de fricción interno es de 30 grados.

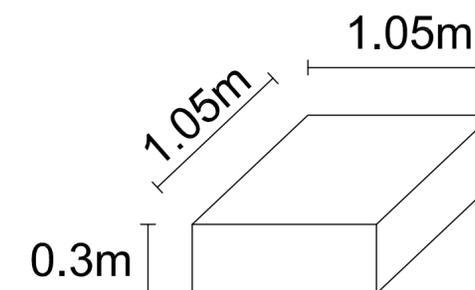
VISTA LATERAL



VISTA FRONTAL



DIMENSIONES



## ANCLAJE VERTICAL CÓNCAVO

### DATOS DE LA TUBERÍA

Diámetro	500 mm
Ángulo de deflexión	22.5 °
Altura por bomba	0 m
Cota superficie libre de agua	2705.4 m
Cota del codo	2638 m
Caudal	0.7 m <sup>3</sup> /s
Densidad del líquido, ρ	1000 kg/m <sup>3</sup>

### DATOS DEL SUELO

Tensión admisible del suelo	1.5 kg/cm <sup>2</sup>
Densidad del suelo, δ	1900 kg/m <sup>3</sup>
Ángulo de fricción interna	30 °
Coefficiente de Presión de tierra Pasiva	3
Altura de relleno sobre el anclaje	2.35 m

### NOTAS:

Velocidad 3.57 m/s  
1 Mpa = 10 Kg/cm<sup>2</sup> = 100 mca

### RESULTADOS

Fuerza Estática, F <sub>E</sub>	5164 kg	$F_E = 2 P A \text{sen}(\alpha/2)$	} Fuerza de prueba, F <sub>p</sub> $F_p = 1,5 \times \text{MAX}(F_E; F_D)$	7745 kg
Fuerza Dinámica, F <sub>D</sub>	974 kg	$F_D = 2 (Q \rho) v \text{sen}(\alpha/2)$		

### DIMENSIONAMIENTO DEL MACIZO

Espesor del macizo 30 cm

NOTA: Se recomienda la dimensión del lado L de por lo menos 102.9 cm

Lado L	105 cm
Lado L	105 cm

### CARGA TOTAL

Fuerza de prueba, F <sub>p</sub>	7745 kg
Peso de tierra	4923 kg
Peso de anclaje	794 kg
<b>CARGA TOTAL</b>	<b>13462 kg</b>

### FACTORES DE SEGURIDAD

Fatiga del suelo	1.22 kg/cm <sup>2</sup>
Seguridad al hundimiento	1.23

# ANEXO 5

# ANCLAJE VERTICAL CONVEXO

Se requiere diseñar un macizo de anclaje horizontal convexo para una tubería de agua a presión de 500 mm de diámetro, cuya cota de superficie libre de agua es 2705.4 m, y la cota donde se requiere el anclaje es 2644 m, en este punto se ha establecido la necesidad de un codo con un ángulo de deflexión de 45 grados. El caudal transportado por la tubería es de 0.7 m<sup>3</sup>/s. La altura de relleno sobre la clave de la tubería en el punto de análisis es de 2.3m.

Según resultados de laboratorio, el terreno corresponde a una arena firme cuya tensión admisible es 1.5 kg/cm<sup>2</sup>, su densidad es de 1800 kg/m<sup>3</sup>, el ángulo de fricción interno es de 30 grados.

## ANCLAJE VERTICAL CONVEXO

DATOS DE LA TUBERÍA		DATOS DEL SUELO	
Diámetro	500 mm	Tensión admisible del suelo	1.5 kg/cm <sup>2</sup>
Ángulo de deflexión	45°	Densidad del suelo, δ	1800 kg/m <sup>3</sup>
Altura por bomba	0 m	Ángulo de fricción interna	30°
Cota superficie libre de agua	2705.4 m	Coefficiente de Presión de tierra Pasiva	3
Cota del codo	2644 m	Altura de relleno sobre la clave	2.3 m
Caudal	0.7 m <sup>3</sup> /s		
Densidad del líquido, ρ	1000 kg/m <sup>3</sup>		

<b>NOTAS:</b>	Velocidad	3.57 m/s
	1 Mpa = 10 Kg/cm <sup>2</sup> = 100 mca	

## RESULTADOS

Fuerza Estática, Fe	9227 kg	$F_E = 2 P A \text{sen}(\alpha/2)$	} Fuerza de prueba, Fp	13841 kg
Fuerza Dinámica, Fd	1910 kg	$F_D = 2 (Q \rho) v \text{sen}(\alpha/2)$		

## DIMENSIONAMIENTO DEL MACIZO

Esesor del macizo	130 cm	<b>DIMENSIONAR</b>
Lado L	190 cm	
Lado L	190 cm	

## CARGA TOTAL

Peso de tierra	6498 kg
Peso de anclaje	10325 kg
<b>CARGA TOTAL</b>	<b>16823 kg</b>

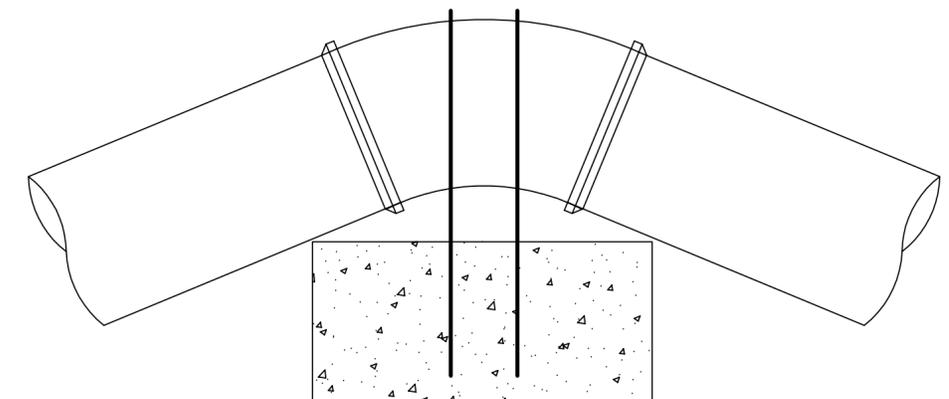
## FACTORES DE SEGURIDAD

Factor de Seguridad	1.22
---------------------	------

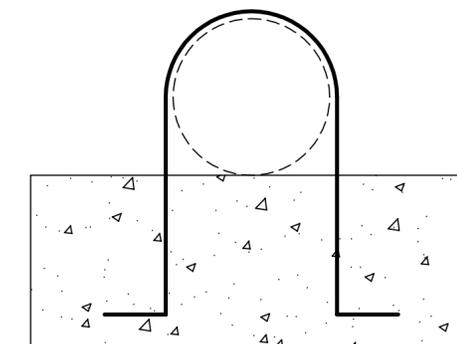
## TENSOR

Acero Tensor	4.943 cm <sup>2</sup>
Ramas	4Ø 14mm

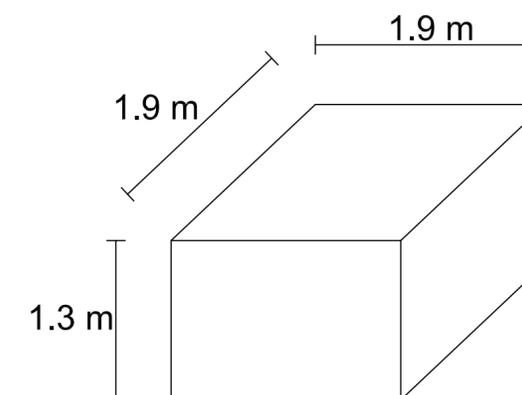
VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



DIMENSIONES



# ANEXO 6

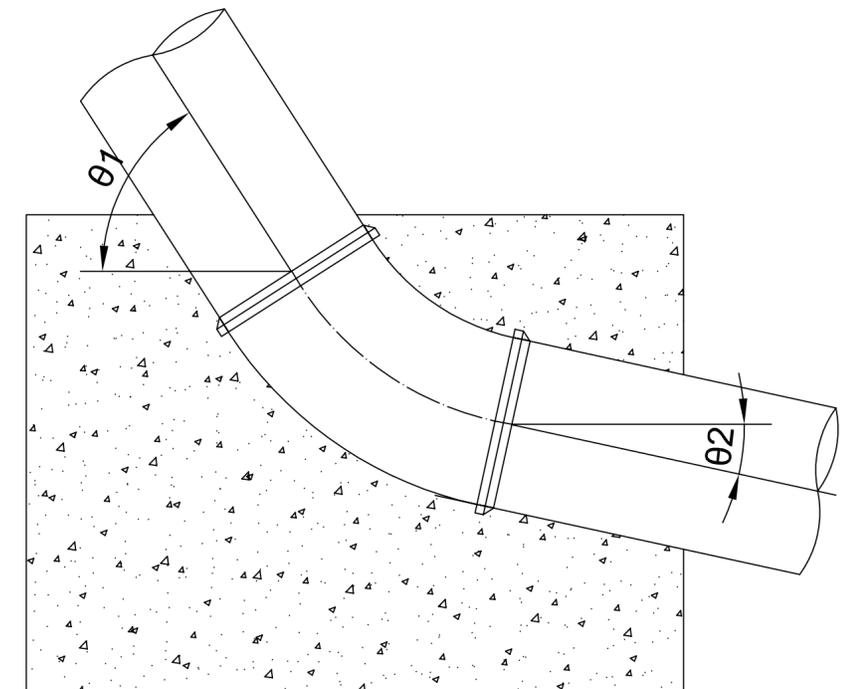
# ANCLAJE VERTICAL PIE DE TALUD

Se requiere diseñar un macizo de anclaje vertical situado en la cabeza de un talud para una tubería de agua a presión de 500 mm de diámetro, cuya cota de superficie libre de agua es 2705.4 m, y la cota donde se requiere el anclaje es 2638m, en este punto se ha establecido la necesidad de un codo con un ángulo de deflexión de 22.5 grados. El ángulo de entrada es de 40 grados y el ángulo de salida es de 17.5 grados. El caudal transportado por la tubería es de 0.7m<sup>3</sup>/s. La altura de relleno sobre la clave de la tubería en el punto de análisis es de 1.5 m.

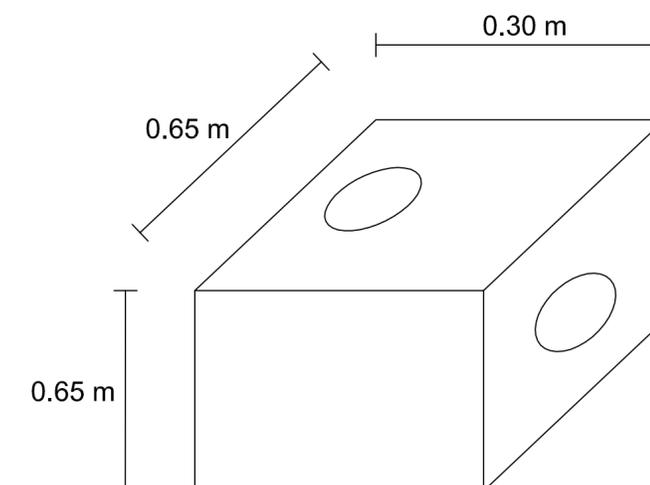
Según resultados de laboratorio, el terreno corresponde a una arena firme cuya tensión admisible es 1.5 kg/cm<sup>2</sup>, su densidad es de 1800 kg/m<sup>3</sup> y el ángulo de fricción interno es de 30 grados.

ANCLAJE VERTICAL PIE DE TALUD			
DATOS DE LA TUBERÍA		DATOS DEL SUELO	
Diámetro	500 mm	Tensión admisible del suelo $\sigma_s$	1.5 kg/cm <sup>2</sup>
Ángulo de deflexión	22.5 °	Densidad del suelo, $\delta$	1800 kg/m <sup>3</sup>
Altura por bomba	0 m	Ángulo de fricción interna	30 °
Cota superficie libre de agua	2705.4 m	Coefficiente de Presión de tierra Pasiva	3
Cota del codo	2638 m	Altura de relleno sobre el anclaje	1.5 m
Caudal	0.7 m <sup>3</sup> /s		
Densidad del líquido, $\rho$	1000 kg/m <sup>3</sup>		
Angulo de entrada	40 °		
Angulo de salida	17.5 °		
<b>NOTAS:</b>		Velocidad	3.57 m/s
		1 Mpa = 10 Kg/cm <sup>2</sup> = 100 mca	
RESULTADOS			
Fuerza Estática, $F_E$	5164 kg	$F_E = 2 P A \text{sen}(\alpha/2)$	} <b>Fuerza de prueba, <math>F_p</math></b> $F_p = 1,5 \times \text{MAX}(F_E; F_D)$ <b>7745 kg</b>
Fuerza Dinámica, $F_D$	974 kg	$F_D = 2 (Q \rho) v \text{sen}(\alpha/2)$	
Empuje Pasivo, $P_p$	8100 kg/m <sup>2</sup>	$P_p = k \delta \bar{h}$	
DIMENSIONAMIENTO DEL MACIZO			
Espesor del macizo	35 cm		
<b>NOTA:</b>	Se recomienda la dimensión del lado L de por lo menos	61.5 cm	
Lado L	65 cm		
Lado L	65 cm		
CARGA TOTAL			
Fuerza de prueba(componente y), $F_{py}$	2650 kg	Fuerza de prueba(componente x), $F_{px}$	1454 kg
Peso de anclaje	355 kg	Tensión horizontal	0.81 kg/cm <sup>2</sup>
Peso de tierra	1141 kg		$\sigma_h = \text{Min}(P_p; \sigma_s)$
Carga Total	4145 kg		
FACTORES DE SEGURIDAD			
Tensión vertical	0.98 kg/cm <sup>2</sup>	Seguridad por peso	1.53
Tensión Horizontal	0.64 kg/cm <sup>2</sup>	Seguridad horizontal	1.27

VISTA LATERAL



DIMENSIONES



# ANEXO 7

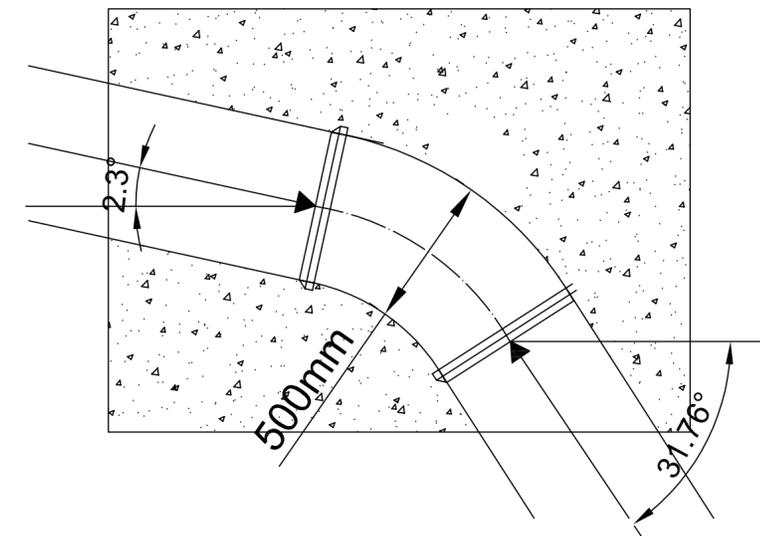
# ANCLAJE VERTICAL CABEZA DE TALUD

Se requiere diseñar un macizo de anclaje vertical situado en la cabeza de un talud para una tubería de agua a presión de 500 mm de diámetro, cuya cota de superficie libre de agua es 2705.4 m, y la cota donde se requiere el anclaje es 2638m, en este punto se ha establecido la necesidad de un codo con un ángulo de deflexión de 29.46 grados. El ángulo de entrada es de 31.76 grados y el ángulo de salida es de 2.3 grados. El caudal transportado por la tubería es de 0.7 m3/s. La altura de relleno sobre la clave de la tubería en el punto de análisis es de 2.35 m.

Según resultados de laboratorio, el terreno corresponde a una arena firme cuya tensión admisible es 1.5 kg/cm<sup>2</sup>, su densidad es de 1900 kg/m<sup>3</sup> y el ángulo de fricción interno es de 30 grados. Se requiere también el coeficiente de rozamiento terreno-hormigón cuyo valor de 0.4 se ha tomado de las tablas de valores típicos.

ANCLAJE VERTICAL CABEZA DE TALUD			
DATOS DE LA TUBERÍA		DATOS DEL SUELO	
Diámetro	500 mm	Tensión admisible del suelo	1.5 kg/cm <sup>2</sup>
Ángulo de deflexión	29.46°	Densidad del suelo, $\delta$	1800 kg/m <sup>3</sup>
Altura por bomba	0 m	Ángulo de fricción interna	30°
Cota superficie libre de agua	2705.4 m	Coefficiente de Presión de tierra Pasiva	3
Cota del codo	2638 m	Altura de relleno sobre el anclaje	2.35 m
Caudal	0.7 m <sup>3</sup> /s		
Densidad del líquido, $\rho$	1000 kg/m <sup>3</sup>		
Angulo de entrada	31.76°		
Angulo de salida	2.3°		
<b>NOTAS:</b>		Velocidad	3.57 m/s
		1 Mpa = 10 Kg/cm <sup>2</sup> = 100 mca	
COEFICIENTES DE ROZAMIENTO Y COHESION			
Coefficiente de rozamiento Tierra-Hormigon	0.4		
Coefficiente de seguridad de rozamiento	1.5		
RESULTADOS			
Fuerza Estática, $F_E$	6730 kg	$F_E = 2 P A \text{sen}(\alpha/2)$	} <b>Fuerza de prueba, <math>F_p</math></b> $F_p = 1,5 \times \text{MAX}(F_E; F_D)$ 10095 kg
Fuerza Dinámica, $F_D$	1269 kg	$F_D = 2 (Q \rho) v \text{sen}(\alpha/2)$	
DIMENSIONAMIENTO DEL MACIZO			
Espesor del macizo	120 cm		
<b>NOTA:</b>	Se recomienda la dimensión del lado L de por lo menos		209.6 cm
Lado L	210 cm		
Lado L	210 cm		
CARGA TOTAL			
Fuerza de prueba, $F_p$	10095 kg		
Peso de anclaje	12701 kg		
FACTORES DE SEGURIDAD			
Seguridad al deslizamient	1.20		

VISTA LATERAL



DIMENSIONES

