

**INFORME FINAL DE PASANTIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERA CIVIL**

AUXILIAR DE PRODUCCION EN SISTEMAS POSTENSADOS

DIANA YAMILE SAMUDIO PALACIOS.



**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
POPAYÁN
2011**

**INFORME FINAL DE PASANTIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERA CIVIL**

AUXILIAR DE PRODUCCION EN SISTEMAS POSTENSADOS

DIANA YAMILE SAMUDIO PALACIOS

ING. DIEGO FERNANDO MARTINEZ CABANILLAS

Director de Pasantía



**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
POPAYÁN
2011**



Nota de Aceptación

Firma del jurado

Firma del jurado

Firma del director

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	10
1. OBJETIVOS.....	11
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	11
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
2. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO.....	12
2.1. ENTIDAD RECEPTORA.....	13
2.2.	
METODOLOGIA.....	15
3. GENERALIDADES DEL PRESFORZADO.....	16
3.1. HISTORIA DEL CONCRETO PRESFORZADO.....	16
3.2. HISTORIA DEL CONCRETO PRESFORZADO EN COLOMBIA.....	20
3.3. CONCRETO PRESFORZADO.....	24
3.4. NOCIONES SOBRE CONCRETO REFORZADO Y CONCRETO PRESFORZADO.....	26
3.5. TIPOS DE CONCRETO PRESFORZADO.....	30
3.5.1. Según el momento en que se efectúa la transferencia.....	30
3.5.2. Según el grado de fuerza en el presfuerzo.....	33
3.5.3. Según la adherencia.....	34
3.6. VENTAJAS DEL CONCRETO PRESFORZADO.....	36
4. FUERZA DE PRESFUERZO.....	40
4.1 PERDIDAS INSTANTÁNEAS.....	41
4.1.1. Perdidas por fricción (P1).....	41

4.1.2. Perdidas por penetración de cuñas (P2).....	45
4.1.3. Perdidas por acortamiento elástico del concreto (P3).....	46
4.2. PERDIDAS DIFERIDAS.....	48
4.2.1. Perdidas por retracción del concreto (P4).....	48
4.2.2. Perdidas por fluencia del concreto (P5).....	51
4.2.3. Perdidas por relajación del acero de presfuerzo (P6).....	52
5. MATERIALES.....	53
5.1 ACERO DE PRESFUERZO.....	53
5.1.1. PRESENTACIONES DEL ACERO DE ALTA RESISTENCIA.....	55
5.2. CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA A LA COMPRESION.....	57
6. ACCESORIOS.....	59
6.1. ANCLAJES.....	59
6.1.1. Anclajes Activos o Móviles.....	59
6.1.2. Anclajes Pasivos o Fijos.....	62
6.2. COUPLERS O ACOPLADORES.....	64
6.2.1. Coupler Monotorón.....	64
6.2.2. Coupler Multitorón.....	65
6.3 DUCTOS.....	66
7. EQUIPOS.....	68
7.1. GATOS HIDRAULICOS.....	69
7.2. BOMBAS ELECTRICAS.....	70
7.3. MANÓMETROS.....	70
7.4. ENFILADORA.....	71
7.5. INYECTORA DE LECHADA.....	72
7.6. ENGARGOLADORA DE DUCO.....	73

7.7.	HERRAMIENTA MENOR.....	73
8.	DETALLES CONSTRUCTIVOS.....	75
8.1.	INTERPRETACION DE PLANOS.....	75
8.1.1	Vista Lateral y elevación de cables de una viga.....	75
8.1.2.	Cortes.....	75
8.1.3	Cuadro de Tensionamiento.....	76
8.1.4	Especificaciones Generales.....	77
8.2.	RECEPCION MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE CABLES.....	78
8.2.1	Recepción.....	78
8.2.2	Almacenamiento.....	78
8.2.3	Manejo de cables.....	80
8.3.	RECEPCION MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE ACCESORIOS..	81
8.3.1	Anclajes.....	81
8.3.2	Ductos.....	81
9.	ACTIVIDADES.....	82
9.1.	COTIZACIONES.....	82
9.2.	CUANTIFICACION DE MATERIALES Y ORDENES DE COMPRA....	83
10.	PROCESOS CONSTRUCTIVOS.....	85
10.1.	INSTALACION DE CABLES.....	86
10.2.	INSTALACION DE TROMPETAS.....	87
10.3.	HORMIGONADO.....	88
10.4.	INSTALACION DE TORON.....	92
10.5.	TENSIONAMIENTO.....	94
10.5.1	Operación de Tensionamiento.....	97
10.5.2	Aplicación de esfuerzos.....	99

10.6. INYECCION.....	100
10.6.1 Composición de la lechada de inyección.....	101
10.6.2 Dosificación de Materiales.....	102
10.6.3 Preparación de la Lechada.....	102
10.6.4 Ejecución de la Inyección.....	103
10.6.5 Corte de Puntas.....	104
11. FALLAS DURANTE LA APLICACIÓN DE ESFUERZOS.....	105
12. PATOLOGIAS.....	106
12.1. FISURAS POR ESFUERZOS DE TENSIÓN.....	110
12.2. FISURAS POR ESFUERZOS DE COMPRESION.....	112
12.3. FISURAS POR ESFUERZOS DE CORTE.....	112
12.4. FISURAS POR ESFUERZOS DE FLEXION.....	113
12.5. FISURAS POR ESFUERZOS DE TORSION.....	115
12.6. PANDEO DE VIGAS.....	116
12.7. TAPONAMIENTO DE DUCTOS.....	117
12.8. MALA COLOCACION DE ANCLAJES.....	117
13. PATOLOGIAS DEL ACERO DE PRESFUERZO.....	119
14. APLICACIONES DEL CONCRETO PRESFORZADO.....	120
14.1. PUENTES.....	120
14.1.1 Puentes en voladizos Sucesivos.....	121
14.2. EDIFICACIONES.....	128
14.2.1 Postensado Monotorón.....	130
15. SEGURIDAD INDUSTRIAL.....	137

16. CUADRO COMPARATIVO OBJETIVOS.....	139
OBSERVACIONES.....	140
CONCLUSIONES.....	141
RECOMENDACIONES.....	142
BIBLIOGRAFÍA.....	143
ANEXOS.....	145

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

Amparito: mamá hermosa, no me equivoco si digo que eres la mejor mamá del mundo; gracias por tu esfuerzo, apoyo y confianza, aunque lejos siempre has estado conmigo. Te amo.

Arturo: Papí este logro lo quiero compartir contigo, gracias por creer en mí, ocupas un lugar especial en mi corazón. Te amo.

Juan, Miryam y Marce: que sea la oportunidad para manifestarles cuan orgullosa me siento de ustedes; Dios me bendijo al dármelos como hermanos. Los Amo.

Cristian, Carlos y Sebas: Ustedes son la alegría de mi corazón y mi motivación de seguir adelante. Su tía los ama.

A mis amigos y familiares por su apoyo y compañía en las diferentes etapas de mi vida; algunas están aquí conmigo y otras en mi recuerdo y en mi corazón; sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por sus bendiciones.

Al mas especial; a ti señor por ser el mi amigo, mi fortaleza, mi luz y el gestor de todos mis triunfos. Este logro es para Tí



INTRODUCCIÓN.

Debido al intenso crecimiento tecnológico que se ha generado en los últimos años en la industria de la construcción, se hace sumamente necesario proporcionar a las bibliotecas material didáctico que facilite la adquisición de dichos conocimientos.

El concreto preesforzado ha surgido como una respuesta a la intensa búsqueda de nuevos métodos constructivos que permitan superar los obstáculos que genera el concreto armado y que además cumplan con las más exigentes normas de calidad.

Se presentó al inicio de su concepción como una variante incomprendida del concreto armado, hoy en día se considera como uno de los mejores aliados y, algunas veces, sustituto de las antiguas tendencias constructivas del concreto armado y las estructuras metálicas de gran envergadura. Y no es para menos, los grandes puentes colgantes de acero han sido sustituidos por grandes estructuras de concreto preesforzado y los edificios con arquitecturas antes imposibles de realizarse con hormigón, hoy son una realidad gracias a este método constructivo.

En el presente trabajo de grado; modalidad pasantía; bajo resolución N° 304 del 5 de Mayo de 2011 de la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca; se encuentran los conocimientos básicos del concreto preesforzado que permiten guiar al estudiante de la carrera de ingeniería civil a una nueva manera de concebir al concreto estructural de igual manera facilitar la implementación en nuestro medio, para que llegue a ser tan común como en países de Europa y Estados Unidos.



1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL:

Participar como Auxiliar de Producción sobre los sistemas postensados, procesos constructivos y materiales empleados, en VSL, filial Colombia.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Participar en la ejecución de los trabajos para que las obras; desde el proceso de fabricación hasta la instalación de materiales; se realicen de acuerdo con los planos, especificaciones técnicas y normas correspondientes (ASTM A416), así como las instrucciones especiales que impartan el Director de Obra y la Interventoría.
- Establecer un control respecto a la correcta utilización de materiales, desde fábrica hasta su instalación.
- Llevar inventario del material a importar y a fabricar, realizar programación de materiales.



2. PRESENTACION DEL PROYECTO

Durante la permanencia de la pasante en la empresa SISTEMAS ESPECIALES DE CONSTRUCCION – VSL COLOMBIA; se vigilará que los materiales puestos en las obras, cumplan con los estándares de calidad que se exige, que sea el material adecuado para cada una de ellas y que se entregue a tiempo.

Posteriormente verificar que la instalación del mismo se haga como se especifica en planos y finalmente realizar el tensionamiento, bajo la autorización de Interventoría y la verificación de los respectivos alargamientos.

Realizar cotizaciones para diferentes puentes y edificaciones dentro de Colombia y el exterior, calculando cantidades de material y elementos.

Dentro de las obras se encuentra las siguientes:

- a. PUENTE LOS GRILLOS: proyecto Cusiana; vía cruceo agua Azul y cruceo Antioquia; entre Boyacá y Casanare.
- b. PUENTES 10 y 16 Derecho: 2,4 y 10 Izquierdo: Doble Calzada Buenaventura - Lobo Guerrero”; Valle del cauca.
- c. PUENTE CALLE 4 SUR; GILBERTO ECHEVERRY: Concreto; Medellín - Antioquia.
- d. EDIFICIO CANTAGIRONE 5: Promotora Cantagirone; Medellín - Antioquia.



2.1 ENTIDAD RECEPTORA.



SISTEMAS ESPECIALES DE CONTRUCCION S.A.S- VSL COLOMBIA.

VSL es una multinacional presente en más de 42 países, su sede principal se encuentra ubicada en Barcelona España. En Colombia sus oficinas se encuentran ubicadas en la ciudad de Bogotá; en la calle 120 N° 70D – 98 Antiguo Niza.

El Grupo de VSL tiene más de 50 años ha sido reconocido como un líder mundial en las industrias relacionadas con postensado y otros. Su estructura le permite responder y satisfacer las más estrictas condiciones que garantizan la calidad del proyecto, seguridad y durabilidad. El Grupo ha optado por orientar los esfuerzos hacia el desarrollo de propuestas "llave en mano técnica para generar soluciones óptimas"

VSL ha construido con éxito más de tres millones de metros cuadrados de losas de puentes en la región de Asia y el Pacífico durante la década pasada. La empresa ofrece personal calificado y entrenado con un núcleo de 100 especialistas de puente, un centro técnico con experiencia y la capacidad de desarrollar nuevos métodos, equipo y materiales. Hoy en día, VSL también ofrece un innovador enfoque contractual que permite a la empresa y el contratista para centrarse en lo que es "mejor para el proyecto".



VSL también está implicado en la construcción sostenible y muchas de sus innovaciones ayudan a alcanzar este objetivo. Equipo especializado está diseñado para ser tan modular como sea posible para permitir su reutilización en diferentes configuraciones. Estructuras postensadas consumen menos energía y el uso de post-tensado permite a las estructuras que se refuerce con una invasión mínima. Durabilidad estructural es un tema crítico para los propietarios de los proyectos y el uso de correo externo de tensión para la reparación estructural se extiende la vida útil de las estructuras. El ultra-highperformance material Ductal ® proporciona protección contra incendios y explosión. La apertura de la Academia de VSL, un único centro de formación posttensioning para garantizar el alto nivel del personal de VSL conocimientos en todos los países, proporcionarán el desarrollo permanente de conocimientos, tanto individuales como corporativos y habilidades. El conocimiento local es también importante: todos los directores de VSL son empresarios con un profundo conocimiento de sus propios mercados y están comprometidos a ofrecer soluciones creativas y seguras, junto con servicios de alta calidad. Todas las empresas se benefician de VSL el intercambio de experiencia a través de la red internacional.



2.2 METODOLOGÍA

La pasante debió capacitarse en el tema, y desarrollo la siguiente guía sobre el concreto pretensado. Dicho trabajo fue avalado por la empresa VSL.

Posteriormente se le asignaron actividades administrativas como: cotizaciones; cuentas de cobro, órdenes de compra, manejo de materiales: inventarios, envíos. Trabajo en el diseño de estructuras para el puente atirantado de la calle 4 sur.

Además la pasante laboró en el departamento de producción y se desplazó a diferentes proyectos en los momentos de instalación y posterior tensionamiento. Debió estar al pendiente de todas las actividades pertinentes al postensado que dentro de cada obra se realizaron; Verificando que la obra se ejecute de acuerdo a lo establecido.

Así mismo se vigiló la labor de los trabajadores, controlando el cumplimiento de las normas de seguridad industrial dentro de las diferentes obras para evitar accidentes en ellas.

Para el desarrollo de este proyecto de pasantía se estuvo bajo la dirección asignada por parte de la Universidad del Cauca, del Ingeniero Diego Fernando Martínez para funciones de revisión, calificación y corrección, mediante informes mensuales el avance y desarrollo de la pasantía y de los ingenieros Ciro Martínez quien fue el jefe inmediato encargado del departamento de producción y el Ing. Alberto Gonzales subgerente de la empresa quienes me brindaron la asesoría necesaria.



3. GENERALIDADES DEL CONCRETO PRESFORZADO

3.1 HISTORIA DEL CONCRETO PRESFORZADO.

El desarrollo de la tecnología del concreto data de muchos años atrás. La historia afirma que desde el 5.600 A. C. se comenzó hacer uso de formas similares a lo que hoy se conoce como concreto. Desde aquella época, siempre se construyó con concreto simple, pero el problema que este presentaba; era que no podía soportar esfuerzos de tracción, entonces para disminuir este problema la mejor solución que encontraron; fue construir grandes moles de concreto; estructuras con espesores de hasta 8 metros.

Para el 500 D.C., los romanos intentaron resolver este problema; reforzando con varillas de bronce, el resultado no fue muy bueno; puesto que la alta expansión térmica produjo descascaramientos y fisuras y no se logro incrementar el esfuerzo a la tracción.

A mediados del siglo XIX Comienza el avance del concreto reforzado y finalmente entre 1920 y 1945; después de la época de la posguerra, Se desarrolla uno de los más grandes avances en construcción. “Eugene Freyssinet” retoma una idea de “Germán Bader” y lanza la tecnología del CONCRETO PREESFORZADO. Permittiendo con todas estas nuevas herramientas; trabajar el concreto en su máxima expresión. A partir de este punto, inicia una escala abrumadora en el uso de esta nueva tecnología; permitiendo realizar estructuras más eficientes desde el punto de vista económico, estético y de durabilidad.



A continuación se muestra la cronología con los hechos más significativos en el desarrollo del concreto preesforzado.

1886: En este año es aplicado el principio anterior al hormigón cuando P. H. Jackson, un ingeniero de San Francisco, California, obtuvo las patentes para atar varillas de acero en piedras artificiales y en arcos de hormigón que servían como losas de pisos.

1888: Hacia este año, C. E. W. Dohering, de Alemania, aseguró una patente para hormigón reforzado con metal que tenía aplicado un esfuerzo de tensión antes de que fuera cargada la losa.

1908: C. R. Steiner, de los Estados Unidos, sugirió la posibilidad de reajustar las barras de refuerzo después de que hubiera tenido lugar cierta contracción y fluencia del hormigón, con el objeto de recuperar algunas de las pérdidas.

1925: R. E. Dill, de Nebraska, ensayó barras de acero de alta resistencia cubiertas para evitar la adherencia con el hormigón. Después de colocar el hormigón, se tensaban las varillas y se anclaban al hormigón por medio de tuercas en cada extremo.

1928: Se inicia el desarrollo moderno del hormigón pretensado en la persona de Eugène Freyssinet, de Francia, quien empezó usando alambres de acero de alta resistencia para el pretensado. Tales alambres contaban con una resistencia a la ruptura tan elevada como $18,000 \text{ kg/cm}^2$, y un límite elástico de más de $12,600 \text{ kg/cm}^2$.



1939: Freyssinet produjo cuñas cónicas para los anclajes de los extremos y diseñó gatos de doble acción, los cuales tensaban los alambres y después presionaban los conos machos dentro de los conos hembra para anclarlos a las placas de anclaje. Este método consiste en estirar los alambres entre dos pilares situados a varias decenas de metros, poniendo obturadores entre las unidades, colocando el hormigón y cortando los alambres después de que el hormigón adquiriera una resistencia de diseño específica.

1943: El ingeniero Suizo Losinger vio el potencial y las aplicaciones de esta nueva técnica y decide llevar a cabo un programa intensivo de investigación y logra así desarrollar su propio sistema de cable pretensado; Que además permitía ahorrar acero que escaseó durante la segunda guerra mundial; puesto que se necesitaba mucho menos acero para este tipo de construcción con respecto a las convencionales en hormigón armado.

Si bien Francia y Bélgica encabezaron el desarrollo del hormigón pretensado, Inglaterra, Alemania, Suiza, Holanda, Rusia e Italia; rápidamente lo continuaron. Cerca del 80% de todos los puentes que se construyen en Alemania son de hormigón pretensado.

1945: Pacadar prefabrica la primera viga pretensada en España.

1949: Se empieza a trabajar en Estados Unidos con el pretensado lineal al llevarse a cabo la construcción del afamado puente Filadelfia Walnut Lane Bridge. La Bureau of Public Roads (Oficina de caminos públicos), ha investigado y mostrado que durante los años 1957-1960 se autorizaron para la construcción 2052 puentes de hormigón pretensado, totalizando una longitud de 68 ml, con un costo total de 290 millones de dólares.



1951: Se construye el primer puente pretensado en México. Siendo la ciudad de Monterrey la madrina de tal acontecimiento, al llevarse a cabo la construcción del puente "Zaragoza" que cuenta con 5 tramos de 34 m cada uno y cuya finalidad es la de proporcionar circulación a través del río Santa Catarina.

1952: Hay una reunión en Cambridge, en la cual se crea una sociedad internacional bajo el nombre de Fédération Internationale de la Précontrainte (FIP). El objetivo principal de este grupo de ingenieros visionarios era diseminar el mensaje e iluminar al mundo acerca del concepto relativamente desconocido de la construcción con hormigón pretensado, lo cual se llevaría a cabo alentando la integración de grupos nacionales en todos los países que tuviesen particular interés en el asunto y facilitando un foro internacional para el intercambio de información.

1958: Se construye el puente Tuxpan (carretera México - Tuxpan) con una longitud total de 425 m. Estructura principal de tres luces de 92 m de hormigón pretensado, contruidos con el procedimiento de doble voladizo (primer puente de este tipo en América Latina).

1962: Se construye el puente Coatzacoalcos con una longitud total de 996 m. Tramos de vigas pretensadas de 32 m y un tramo de armadura metálica levadizo de 66 m de luz, apoyados en pilas de hormigón armado.



3.2 HISTORIA DEL PREENFORZADO EN COLOMBIA

“Noticreto; Revista Técnica de La Construcción, Edición Especial de Puentes En Concreto, N° 99 Marzo / Abril de 2010”

A nuestro país la técnica del concreto preesforzado llegó principalmente a través de plantas de prefabricación o por ingenieros que estudiaron en Europa. Prefabricaciones S.A. trajo el sistema suizo BBRV en 1952 para hacer viguetas, entrepisos y cubiertas, además de aplicar el postensado en puentes.

El profesor Enrique García Reyes, funda la empresa “Piezas Armadas con Acero de Altísima Resistencia”, En alianza con Pacadar; el 16 de Julio de 1956 saco las primeras viguetas pretensadas en su planta de Bogotá. Se fabricaron pontones con viguetas de hasta 18 m de longitud cuando lo normal era hasta 12 m; su montaje y construcción de placa se podía realizar en un día.

Para el año de 1956 el ingeniero Medardo Castro; construyó el primer puente postensado en Colombia en la vía Bogotá – Tunja; con dovelas y cables exteriores.

En este mismo año; se funda la empresa “Ingeniería de Puentes” encabezada por el Ingeniero Alfredo Aparicio del Castillo y se convierte en una de las firmas pioneras en la construcción de puentes postensados. Construyeron el puente “La Barra” en la Costa Atlántica y el puente sobre el vertedero de la Represa Del Sisga, en el año de 1958, con longitud de 47 m y ancho de 9.30 m.



En 1962 La empresa “Pretensados de Colombia S.A.” trajo desde Estados Unidos nuevos adelantos en la industria de la construcción; tales como, el pretensado no lineal, vigas T y TT y el tensado con torones (ya que hasta el momento se utilizaban alambres). Fabricaron las vigas del paso elevado de “La Caro”.

Para el año de 1968 el alcalde de Bogotá el Ingeniero Virgilio Barco Vargas con el Ingeniero Heberto Jiménez como secretario de obras, ejecutaron varias avenidas e intersecciones hasta la autopista sur, lo cual reclamo la construcción de varios puentes; a continuación se relacionan algunos de ellos: carrera 7 con calle 100, autopista norte con calle 100, avenida los comuneros con avenida 68, avenida 68 con calle segunda y fueron construidos por “Estructuras Pretensadas Ltda.” Igualmente en el resto del país se construyeron alrededor de 10 puentes utilizando sistemas de postensado.

En 1970 el Ministerio de Obras Publicas otorgó mediante Licitación Pública; la construcción del puente “Laureano Gómez” mal llamado “Pumarejo” en la Ciudad de Barranquilla al consorcio Lodigiani SPA Cuéllar serrano Gómez y Cía. Ltda. . El “Pumarejo” se considera como el puente decano de los atirantados en concreto postensado, dando un fuerte impulso a la Ingeniería Colombiana.



Foto 1. Puente Laureano Gómez "Pumarejo" - Barranquilla

En 1972 llega al país el sistema de voladizos sucesivos con la construcción del puente "Juanambú" en la Vía Popayán – Pasto, dando una nueva posibilidad a la ingeniería Colombiana, ya que este sistema vino a salvar cañones de grandes profundidades y dándole otra cara a la Ingeniería Colombiana, dando lugar al Premio Nacional De Ingeniería 1977.

En 2006 se terminó la construcción del puente Barranca – Yondó; sobre el canal navegable del río Magdalena. Con una longitud de 917 m y con la luz central más larga de Colombia; 200m. Construido mediante el método de voladizos sucesivos. Ostenta el record del puente más largo de Colombia.



Foto 2. Puente Barranca – Yondó; Longitud 917 m

Recientemente inaugurado el Viaducto “El Tigre” en la Vía Ibagué – Armenia y construido por la firma Puentes y Torones; este viaducto se convierte en uno de los puentes más altos; pues se encuentra a una altura de 122 m sobre la quebrada El Tigre; robándole el lugar al Viaducto Cesar Gaviria Trujillo de la ciudad de Pereira; más conocido como “Viaducto Pereira” con una altura de pilas de 96 y 105 m.



Foto 3. Viaducto El tigre en la vía Ibagué – Armenia; altura 122m



3.3 CONCRETO PREESFORZADO.

Se denomina Concreto preesforzado a elementos estructurales en concreto sometidos a esfuerzos de compresión previamente a las cargas de servicio. Estos esfuerzos se obtienen anclando y tensionando cables de acero de alta resistencia.

Las fuerzas preesforzadas son fuerzas activas, es decir, que actúan sobre la estructura independientemente de la aparición de otras cargas. Por este motivo, el diseño de estas estructuras requiere estudios cuidadosos, pues un mal cálculo de las fuerzas del preesfuerzo podría ocasionar daños y hasta el colapso de la estructura.

El ACI; propone la siguiente definición:

“El concreto preesforzado, es aquel en el cual se han introducido esfuerzos Internos de tal magnitud y distribución que los esfuerzos resultantes de las Cargas externas dadas se equilibran hasta un grado deseado”.

Por medio del siguiente gráfico se puede explicar de mejor forma el fenómeno del preesfuerzo.

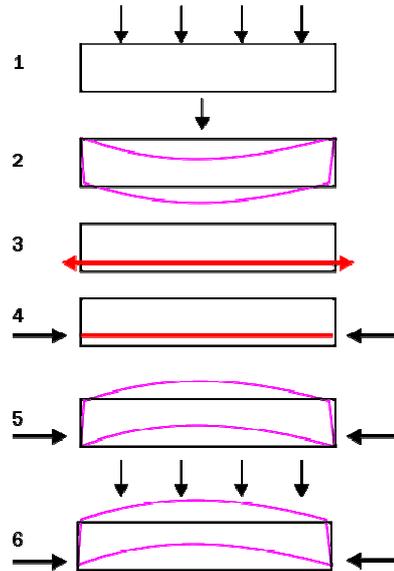


Figura 1. Deformaciones del hormigón preesforzado

En la primera y segunda etapa se observa la deformación del concreto reforzado sometido a cargas de servicio.

En la tercera se muestra el cable o Barra de acero de alta resistencia tensada hasta una fracción de su límite elástico (80%).

Posteriormente en la cuarta fase; el cable o barra de anclan al concreto; estos buscan llegar a su estado inicial; transmitiéndole al elemento un esfuerzo de compresión. Ahora el concreto esta preesforzado.

En la quinta etapa se observa la deformación (acortamiento) del concreto; debido al esfuerzo inducido; dejando un esfuerzo menor al inicial; al que se denominara como "Esfuerzo efectivo"; resultante de restar las pérdidas por fricción, retracción, curvatura, penetración de cuñas del esfuerzo con que fue tensionado dicho cable.

3.4 NOCIONES SOBRE CONCRETO REFORZADO Y CONCRETO PRESFORZADO.

Hay numerosos factores como la variación de la temperatura, la retracción del fraguado; impedida por las barras de refuerzo, las condiciones de apoyo y juntas; que se generan tracciones interiores que hacen que el elemento de concreto se fisure prematuramente; haciendo despreciable la resistencia a la tracción; para recuperarla se recurre al acero que impide que estas fisuras se vuelvan más grandes.

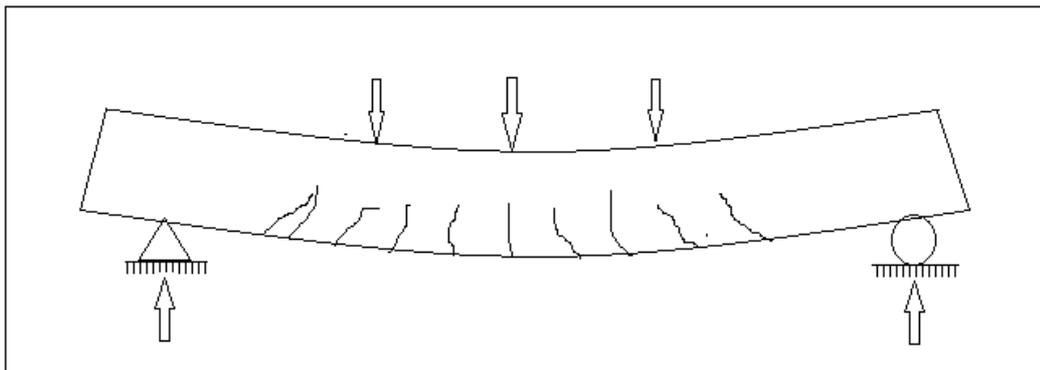


Figura 2. Falla de un elemento sometido a esfuerzos de tracción

Por esta razón el concreto reforzado se calcula, según la teoría, admitiendo que la zona de concreto en tracción está fisurada y que es el acero de refuerzo quien las asume las fuerzas de tracción. Además, como condición indispensable para que las barras desarrollen fuerzas de tracción que ellas mismas se deformen, Ley de proporcionalidad esfuerzo-deformación.

A pesar de las medidas tomadas se han seguido observando serios daños debido a las fisuras, especialmente cuando la atmósfera que rodea la estructura es agresiva (presencia de sales y cloruros) o cuando el recubrimiento es pobre.

La deformación de la estructura debido a la reducción de la inercia de las secciones fisuradas es otro efecto de la fisuración.

Por estas razones se han buscado mecanismos para disminuir o impedir que se desarrollen fisuras, buscando formas para que el concreto trabaje a compresión en zonas donde se presentan tracciones.

Uno de los diferentes mecanismos y el más usado es el de aceros tensionados; es decir cables o varillas que son pre o pos tensionados que se anclan a una estructura.

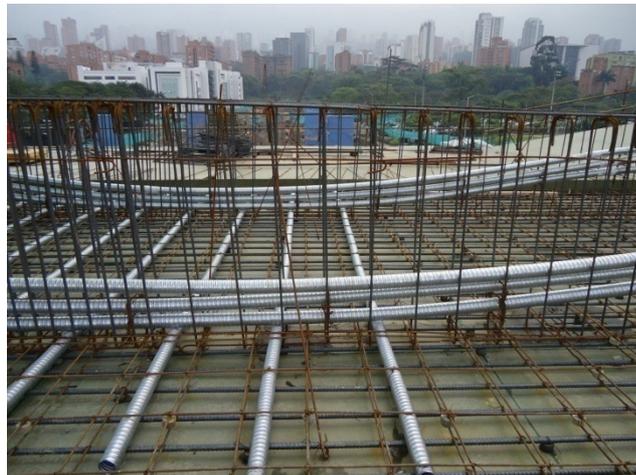


Foto 4. Ducto de estructura Postensada

Es importante aclarar que una viga de concreto reforzado se compone de dos materiales: El concreto y el acero; quienes trabajan a compresión y tracción respectivamente; el acero hace parte integral de la sección y refuerza la estructura tomando las tracciones que no puede asumir el concreto. En una viga de concreto preesforzado, los materiales trabajan de la misma manera y el acero antes de ser un refuerzo, es una fuerza; esta es independiente de la carga y si es suficiente la viga se comporta elásticamente y se elimina la fisuración sin limitar los esfuerzos del acero, pues estos se desarrollan antes de la aplicación de cargas.



Foto 5. Ensayo de compresión



Cuadro 1. Resistencia a la compresión y su uso más frecuente

RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE			USO MAS COMUN
PSI	MPa	kPa/cm2	
2500	17,24	172,4	Concreto Armado y Ciclópeo
3000	21	210	Concreto Armado
4000	28	280	Concreto Armado y Preesforzado
5000	34	344	Concreto Preesforzado
6000	41	410	Concreto Preesforzado
7000	48	480	Concreto Preesforzado
8000	55	550	Aplicaciones Especiales

3.5 TIPOS DE CONCRETO PRESFORZADO.

3.5.1 según el momento en que se efectúa la transferencia de la fuerza de preesfuerzo.

a. **Concreto pretensado:** En este caso se tensiona el acero de preesfuerzo en bancos de tensionamiento y después se coloca el concreto. Una vez el concreto ha alcanzado la resistencia.

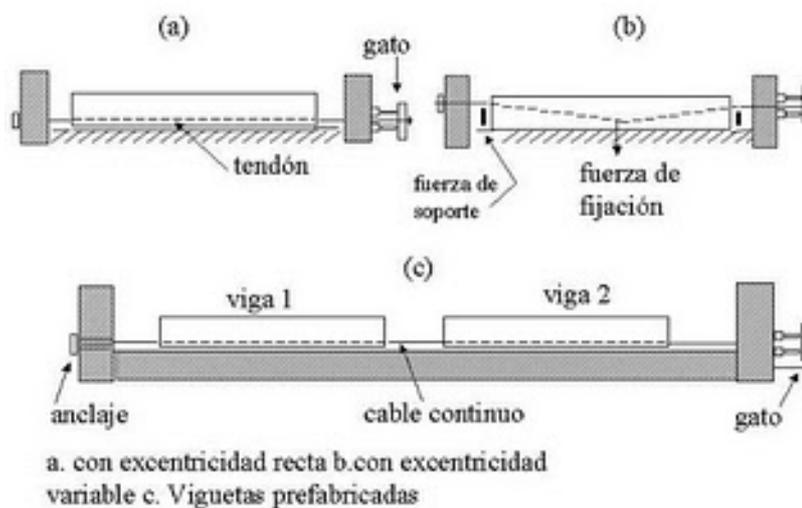


Figura 3. Concreto Pretensado

El concreto pretensado se basa en la hipótesis de la perfecta adherencia entre los materiales.



Foto 6. Viga t pretensada



Foto 7. Viga pretensada

b. Concreto postensado: El proceso constructivo para elementos postensados lleva un orden inverso al concreto pretensado, es decir; una vez construido el elemento se introducen los cables dentro y se procede a la aplicación de fuerza; una vez el elemento haya alcanzado la resistencia requerida.

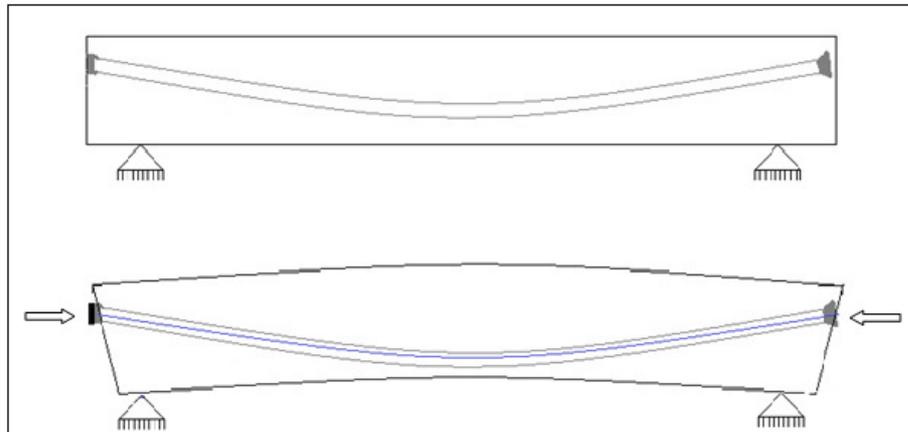


Figura 4. Viga antes y después del tensionamiento



Foto 8. Viga a Postensar



3.5.2 Según el grado de fuerza en el preesfuerzo.

a. Preesforzado total: En el preesforzado Total, se calcula la fuerza de manera que para cualquier carga de sollicitación, no se genere ninguna tracción en el elemento de concreto.

Para calcular esta fuerza se trabaja sobre la sección no fisurada por lo que se puede aplicar el principio de resistencia de materiales.

La desventaja de este método es que no es económico.

b. Preesforzado parcial. En este método se calcula una fuerza que permite esfuerzos de tracción en el concreto; generalmente esta fuerza se escoge de manera que para las cargas muertas no permita esfuerzo de tracción actuando como una fuerza total y que solo al momento de la aplicación de cargas vivas se presenten tracciones en el concreto.

A su vez se distinguen:

- **El Preesforzado Parcial Limitado:** La fuerza de tracción aplicada se limita a valores que no sobrepasen la resistencia a tracción del concreto NSR ($1.6\sqrt{f'c}$).
- **El Preesforzado Parcial Ilimitado:** La fuerza de tracción aplicada no tiene límite de aplicación y los esfuerzos de tracción son absorbidos por el acero pasivo. Este es un método económico que permite ser usado en nuestro medio NSR (C.18.4.3).

3.5.3 Según la adherencia:

a. **Preesforzado adherido.** Se busca la unión perfecta entre el acero de preesfuerzo y el concreto; para garantizar esta adherencia en el concreto postensado; una vez efectuado el tensado de los cables, se inyecta una lechada en el ducto.

El comportamiento de este sistema es similar al del concreto reforzado en estado fisurado, es decir, las fisuras se repartirán a lo largo de la estructura.



Foto 9. Viga Postensada adherida

b. Preesforzado no adherido: Este se usa en estructuras de poca altura o espesor; debido a que ésta tiene casi el mismo diámetro que el ducto y por tanto no se alcanza garantizar el recubrimiento mínimo; por tanto se utiliza torón recubierto por una funda plástica lubricada que permite tensionar el torón después que el concreto alcance la resistencia requerida



Foto 10. Rollos de torón no adherido

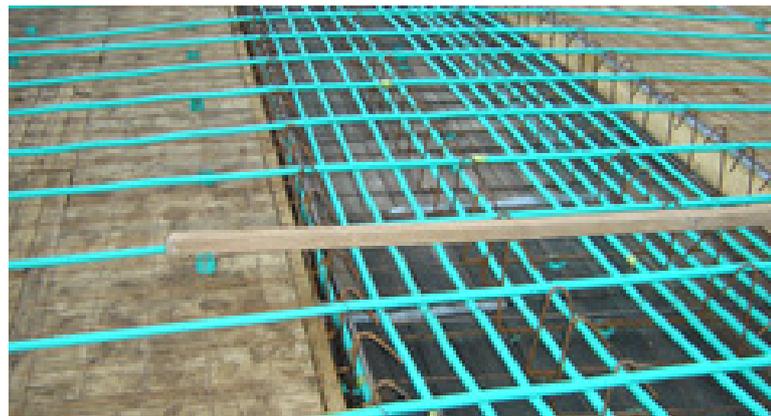


Foto 11. Losa Postensada no adherida



Si se utiliza ducto y no se inyecta posteriormente al tensionamiento el sistema funcionara como no adherido y las fisuras se concentran en un solo punto donde se acumulan las deformaciones de los torones; dando paso a la formación de grietas.

VENTAJAS DEL CONCRETO PRESFORZADO.

- El concreto preesforzado, posee mayor durabilidad, a consecuencia de la estricta limitación de la aparición y abertura de las fisuras del concreto, factor que redundo en una mejor protección del acero contra la corrosión.
- El concreto preesforzado está especialmente capacitado para recuperar su forma inicial cuando cesa la carga que lo deforma. Incluso las fisuras que se producen bajo la actuación de cargas excepcionales pueden llegar a cerrarse, cuando éstas desaparecen.
- La resistencia a fatiga del concreto pretensado es muy superior a la que presentan otros materiales constructivos, superando incluso la de las estructuras metálicas en construcción. Esto se debe a que los ciclos de tensión transmitidos a la armadura son muy pequeños, permitiendo a estas estructuras soportar cargas cíclicas y dinámicas.
- La deformación en elementos de concreto preesforzado es del orden de una cuarta parte de las producidas con concreto reforzado, para estructuras de igual sección bajo la acción de idéntica carga. Estas deformaciones tan pequeñas permiten diseñar estructuras de gran esbeltez.
- En diversas pruebas de laboratorio, se ha llegado a la conclusión de que el concreto preesforzado no produce derrumbamientos inmediatos en el

caso de incendio, produciéndose grandes deformaciones antes de desplomarse.

- De forma mecánica, las estructuras de concreto preesforzado eliminan los esfuerzos de tensión en el concreto, debidos a las cargas externas, reduciendo los esfuerzos máximos de compresión y los esfuerzos principales de tensión debidos al esfuerzo cortante. Esta reducción de esfuerzo permite el diseño de elementos con poca altura que los obtenidos con concreto reforzado, permitiendo una reducción en la carga muerta y una mejor vista arquitectónica de los elementos.

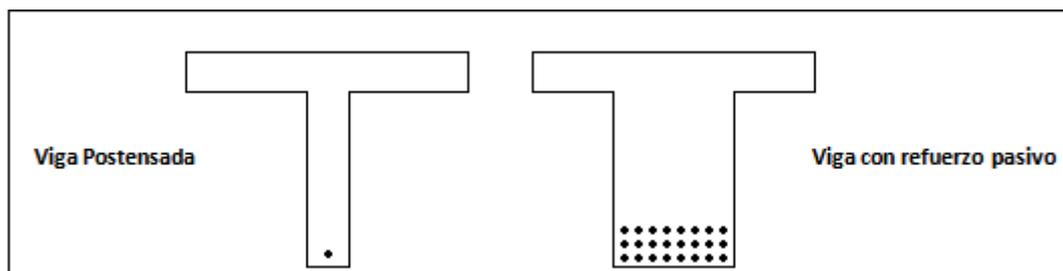


Figura 5. Disminución de área y refuerzo pasivo

- El correcto empleo del concreto preesforzado se ahorra del 15 al 30% de concreto, con relación al concreto reforzado, gracias a la cooperación total de la sección. El ahorro en el acero es aún mayor: del 60 al 80%, debido al elevado límite elástico de los aceros de preesfuerzo.
- En general los Torones pueden tener la longitud que el calculista considere; mientras que las varillas de acero ordinarias tienen una longitud máxima de 12 Mt, lo que presenta un inconveniente en estructuras de grandes longitudes pues hay que traslapar las varillas lo que genera mayor inversión de tiempo, obreros y costos. Mientras los cables de

preesfuerzo constituyen una armadura continua que puede pasar por zonas de momentos máximos y mínimos.



Foto 12. Cables continuos

Al utilizar cables en lugar de varillas de acero; hace que las formas de los elementos sean versátiles y variadas; Ejemplo: “the Grand Central Tower-Sudáfrica” VSL International Ltda. y el Teatro de Ópera de Sídney Australia.



Foto 13. Estructura cónica invertida preesforzada de 40m de altura



Foto 14. Teatro de Ópera de Sídney Australia



4. FUERZA DE PRESFUERZO

La fuerza de preesfuerzo P_e , es la fuerza efectiva aplicada a las armaduras activas de un elemento estructural de concreto preesforzado. El método de aplicación de esta fuerza varía dependiendo del tipo de estructura (pretensada o Postensada), y del sistema de aplicación usado (mecánico, eléctrico o químico). El sistema más utilizado es el sistema mecánico mediante gatos hidráulicos que transmiten una tensión a la armadura activa, a la vez que producen algún tipo de anclaje.

Todos estos sistemas producen pérdidas de preesfuerzo, como producto de fenómenos tan naturales como la fricción, la fluencia, la retracción, etcétera. A continuación se dará a conocer las pérdidas en los sistemas mecánicos accionados hidráulicamente, por ser estos los más comunes en nuestro medio.

A continuación se definirán algunos términos:

- a. **Tensión en Gatos:** Es la fuerza que se aplica a los cables y se lee directamente en los manómetros; no se tiene en cuenta ningún tipo de pérdidas.
- b. **Tensión inicial:** que corresponde a una de las primeras etapas del preesfuerzo y se mide en cualquier punto del cable, en función de la fuerza en el anclaje, aquí se descuentan las pérdidas instantáneas P_{ins} .
- c. **Tensión Efectiva:** Corresponde a la segunda etapa de preesfuerzo donde además de descontar las pérdidas instantáneas P_{ins} , se cuantifican



las pérdidas diferidas P_{dif} , en función del tiempo, las que consideran los fenómenos de fluencia y retracción en el concreto y de relajación en el acero de alta resistencia.

Se tiene entonces la ecuación general de fuerza de preesfuerzo:

$$P_e = P_{gato} - P_{ins} - P_{dif}$$

4.1 PERDIDAS INSTANTÁNEAS P_{INS}

Las pérdidas instantáneas es la sumatoria de las pérdidas que se presentan en la primera etapa del tensionamiento y como su nombre lo indica se presentan en el instante de la aplicación de la carga y que varían en función de la distancia x que hay desde la sección en estudio hasta el anclaje activo más próximo. Las pérdidas instantáneas están formadas por tres tipos de pérdidas:

- a. Pérdidas por fricción (P_1)
- b. Pérdidas por penetración de cuñas (P_2)
- c. Pérdidas por acortamiento elástico del concreto (P_3)

4.1.1 Pérdidas por fricción (P_1): Las pérdidas de fricción se presentan únicamente en estructuras presforzadas postensadas, pues es aquí donde interviene el rozamiento entre el cable y el conducto longitudinal. La fricción es el fenómeno físico, que provoca una reacción contraria al movimiento de un cuerpo deslizándose sobre otro. En este caso, una pérdida en la fuerza de

preesfuerzo efectivo, que es causada por: el deslizamiento entre el cable y el conducto longitudinal.

Las pérdidas de fricción han sido ampliamente estudiadas, por lo que cada proveedor posee tabulaciones estrictas de los coeficientes de fricción de sus productos. El fenómeno se presenta debido al trazado teóricamente curvilíneo, pues cada pequeña desviación del conducto (ya sea accidental o adrede), aprieta el cable contra el conducto provocando una fuerza contraria a la de preesfuerzo causándole pérdidas de tensión. Y puede presentarse también por desviaciones accidentales a lo largo del trazado, aún si éste es de forma lineal.

De aquí surgen los dos coeficientes de fricción que producen pérdidas: μ que es el coeficiente de rozamiento y K el coeficiente por efecto oscilante o de longitud o de curvatura involuntaria. Estos coeficientes varían en función del tipo de acero utilizado, de la naturaleza de los conductos y del estado superficial de ambos materiales, así como de la calidad del trazado de los conductos longitudinales.

La AASHTO como la ACI, Permiten estimar Dichas pérdidas usando la siguiente fórmula; Siempre y cuando el valor de $(\mu \cdot \theta + KL)$ no sea mayor a 0.3:

$$P = P_o * (1 + \mu \cdot \theta + KL)$$

Donde:

P = Tensión a lo largo del cable.



P_0 = Tensión en el origen.

μ = Coeficiente de rozamiento.

θ = Angulo de Curvatura.

K = Coeficiente de Curvatura involuntaria.

L = longitud desde el origen hasta el punto considerado.

Existen unos valores en los códigos que se deben utilizar Cuando no se disponen de datos experimentales; los valores que se deben utilizar son los que puedan garantizar las empresas proveedoras de tensionamiento

Cuadro 2. Coeficientes de Fricción para cables postensados (ACI).

		Coeficiente de curvatura accidental, K/m	Coeficiente de curvatura μ
	Cables de alambre	0.0033 - 0.0049	0.15 - 0.25
	Barras de alta resistencia	0.0003 - 0.0020	0.08 - 0.30
	Torones de 7 alambres	0.0016 - 0.0060	0.15 - 0.25
Cable no adherido cubierto con mastic	Cables de alambre	0.0033 - 0.0066	0.05 - 0.15
	Torones de 7 alambres	0.0033 - 0.0066	0.05 - 0.15
Cable no adherido pre-engrasado	Cables de alambre	0.0010 - 0.0066	0.05 - 0.15
	Torones de 7 alambres	0.0010 - 0.0066	0.05 - 0.15

ACI 318 – 99 Tabla C 18.6.2



Cuadro 3. Coeficientes de Fricción para cables postensados (AASTHO).

Tipo de acero	Tipo de conducto longitudinal	K/pie	μ
Alambre o torón no galvanizado	Hojas de metal pulido	0.0020	0.30
	Hojas de metal galvanizado	0.0015	0.25
	Engrasado y entorchado	0.0020	0.30
	Galvanizado rígido	0.0002	0.25
Barras de alta resistencia	Hojas de metal pulido	0.0003	0.20
	Hojas de metal galvanizado	0.0002	0.15

AASTHO Especificaciones estándar para puentes de autopista. Sección 9.16.1

“Al utilizar los valores de los códigos frente a los valores que nos da el proveedor se indica lo siguiente:

- Mayor cantidad de preesforzado.
- Se amplía el factor de seguridad; lo cual se presume de la mala calidad de los cables o mano de obra; lo cual es una situación insólita si se habla de certificados de calidad.
- Desde el aspecto económico; el contratista tendrá que colocar 10% más de tensionamiento si el diseño se hizo con los valores del código, para el mismo valor pagado.
- Existe otra posibilidad de disminuir las perdidas por fricción. Los códigos y normas permiten sobretensionar los cables en los anclajes por un corto periodo de tiempo.
- Tensionando a 0.75 de F_u en un corto periodo y soltando luego a 0.70 F_u .

Se Puede concluir al respecto:

- Los coeficientes de fricción que nos dan los códigos son demasiado desfavorables y solo se pueden utilizar cuando el proveedor no los entrega.
- El proveedor debe ser certificado de tal manera que se pueda confiar en los valores de μ y K que entregue.
- Mediante la práctica de sobretensionamiento temporal se disminuyen las pérdidas por fricción y por lo tanto el tensionamiento”

Fuente: *Concreto Preesforzado: Diseño y Construcción*, pág. 49.

4.1.2 Pérdidas por penetración de cuñas (P_2): En los sistemas presforzados anclados por cuñas, los cables sufren un pequeño deslizamiento antes de quedar acuñados. Esto ocurre tanto con armaduras pretensadas como con armaduras postensadas.

Se define la penetración de cuña como el movimiento solidario del cono macho y las armaduras activas hacia el interior del cono hembra, durante el anclaje, por efecto de la tensión de dichas armaduras.

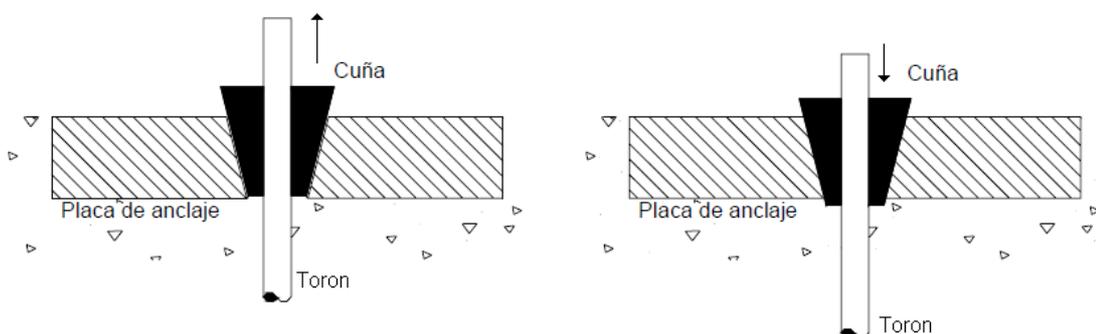


Figura 6. Pérdida por preesfuerzo por penetración de cuña



La pérdida por penetración de cuña, es característica de cada sistema de pretensado y es función de la distancia longitudinal que el cable se desliza dentro de las cuñas antes de quedar anclado. Varía además para sistemas pretensados o postensados y según la longitud del mismo. En general, para cables rectos pretensados o postensados de corta longitud, la pérdida de fuerza por penetración de cuñas P_2 puede considerarse hasta una máxima de 6mm jamás mayor a este valor.

Los elementos de cortas distancias, sufren una pérdida porcentual mayor que la sufrida por elementos largos.

4.1.3 Pérdidas por acortamiento elástico del concreto (P_3): Para determinar la pérdida de preesfuerzo por acortamiento elástico, es necesario aclarar que ocurren diferentes fenómenos si se trata de estructuras de concreto pretensado o postensado.

- **Pérdidas por acortamiento elástico en estructuras pretensadas (P_3):** Al recibir el concreto el preesfuerzo de compresión que le transfiere el pretensado en el instante de liberar los anclajes de la base, sufre un acortamiento instantáneo. Como consecuencia, la armadura se acorta, produciéndose una pérdida de tensión en la misma.

Se puede valorar la pérdida por acortamiento elástico del concreto, teniendo en cuenta la deformación instantánea que se produce en el mismo al nivel del centro de gravedad de las armaduras activas, mediante el siguiente análisis: se sabe que el acortamiento elástico sufrido por el concreto, es el mismo que el sufrido por el acero:

$$P_3/A_{ps} = E_p * P' / E_c * A_g$$



Donde:

E_p es el módulo de elasticidad del acero

E_c es el módulo de elasticidad del concreto

$P' = P_{gato} - p_1 - p_2$.

A_{ps} es el área de Acero preesforzado

A_g es el área de concreto.

- **Pérdidas por acortamiento elástico en estructuras postensadas (P_3):** En estructuras postensadas la pérdida por acortamiento elástico, no se toma en cuenta si se realiza solamente una operación de tensado, es decir si el gato preesfuerza al elemento una sola vez. Pero regularmente los elementos postensados poseen más de un cable, por lo que es necesaria la aplicación de preesfuerzo en varias etapas. Esto provoca un nuevo acortamiento elástico del concreto que destensa, en la parte proporcional correspondiente a este acortamiento, a los anteriormente anclados.

La pérdida por acortamiento elástico es igual a:

$$P_3 = (N-1/2N) * (E_p * A_{ps} * P') / (E_c * A_g)$$

Donde N; es el número de veces que se tensiona la viga.



Si todos los Cables se tensan simultáneamente entonces $N=1$; por lo tanto las perdidas por acortamiento elástico; $P_3 = 0$.

Si los cables se tensan en varias etapas entonces la relación $N-1/2N=0.5$ Aproximadamente: por lo tanto las perdidas por acortamiento elástico determinadas mediante:

$$P_3 = (E_p * A_{ps} * P') / 2(E_c * A_g)$$

4.2 PÉRDIDAS DIFERIDAS (P_{DIF})

Las perdidas diferidas están formadas por tres tipos de pérdidas que ocurren a lo largo de la vida de una estructura, y son función del tiempo t , que transcurre inmediatamente después de que ésta ha sido anclada e inyectada. Estas pérdidas son:

- a. Pérdidas por retracción del concreto (P_4)
- b. Pérdidas por fluencia del concreto (P_5)
- c. Pérdidas por relajación del acero de preesfuerzo (P_6)

El cálculo exacto de cada una de estas variables conlleva un proceso donde intervienen muchas variables. Sin embargo, la AASHTO propone una metodología simplificada para calcular de forma aproximada las condiciones de pérdida diferida en una estructura.

4.2.1 PÉRDIDAS POR RETRACCIÓN DEL CONCRETO (P_4): Las mezclas para concreto normal contienen mayor cantidad de agua que la que se requiere para la hidratación del cemento. Esta agua libre se evapora con el



tiempo, la velocidad y la terminación del secado dependen de la humedad, la temperatura ambiente y del tamaño y la forma del espécimen de concreto. El secado del concreto viene relacionado con una disminución en su volumen, este cambio ocurre con mayor velocidad al principio que al final.

La contracción por secado del concreto hace que la deformación provocada por el tensionamiento disminuya; ya que disminuye la longitud de la estructura y el acero aprovecha para retomar su estado inicial. La reducción de esfuerzo resultante en el acero constituye una componente importante de la pérdida del preesfuerzo para todos los tipos de vigas de concreto preesforzado.

La contracción del concreto se conoce como resultado de la pérdida de humedad. También se ha demostrado que el concreto se expandirá si, después de haberse secado o parcialmente secado, es sometido a humedad o si es sumergido en el agua. Se sabe que la contracción es afectada por las siguientes variables:

- **Agregados.** Los agregados actúan para restringir la contracción de la pasta de cemento; de aquí que el concreto con un alto contenido de agregados es menos vulnerable a la contracción. Además, el grado de restricción de un concreto está determinado por las propiedades de los agregados: aquellos con alto módulo de elasticidad o con superficies ásperas son más resistentes al proceso de contracción.
- **Relación agua-cemento.** Cuanto mayor es la relación agua-cemento, mayores son los efectos de la contracción.



- **Tamaño del elemento de concreto.** Tanto el valor como la magnitud de la contracción disminuyen con un incremento en el volumen del elemento de concreto. Sin embargo, la duración de la contracción de mayor para elementos más grandes debido a que se necesita más tiempo para secarse hasta las regiones internas. Es posible que se necesite un año para que el proceso de secado inicie a una profundidad de 25 cm, y 10 años para iniciar a 60 cm más allá de la superficie externa.
- **Condiciones del medio ambiente.** La humedad relativa del medio afecta notablemente la magnitud de la contracción; el valor de la contracción es más bajo en donde la humedad relativa es alta.
- **Cantidad de refuerzo.** El concreto reforzado se contrae menos que el concreto simple; la diferencia relativa es función del porcentaje de refuerzo.
- **Aditivos.** Este efecto varía dependiendo del tipo de aditivo. Un acelerador tal como cloruro de calcio, usado para acelerar el endurecimiento y la colocación del concreto, aumenta la contracción. También hay aditivos que impiden la contracción.
- **Tipo de cemento.** El cemento Portland tipo III de resistencia rápida normalmente se contrae 10% más que un cemento Portland normal (tipo I) o cemento Portland modificado (tipo II).

Para elementos postensados, la pérdida de preesfuerzo debido a la contracción es un poco menor que esta; ya se ha iniciado antes de realizar el postensado.



La pérdida de preesfuerzo debido a la contracción debe tomarse como:

- ❖ Para miembros pretensados

$$P_4 = (1193 - 10.5H) \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

- ❖ Para miembros postensados

$$P_4 = (948 - 9H) \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Donde:

H = el promedio anual de la humedad relativa del ambiente (%). En caso de no conocerse H se puede estimar según la siguiente tabla.

Cuadro 4: Humedad Relativa Colombia.

Tipo de clima	H
Muy húmedo	90%
Humedad intermedia	70%
Seco	40%

Porcentaje de Humedad según tipo de clima

4.2.2 Pérdidas por fluencia del concreto (P_5): De igual forma que la pérdida por retracción, la fluencia es un fenómeno que ocurre a lo largo del tiempo de vida de una estructura. Esto provoca un acortamiento en los cables de preesfuerzo, y por consiguiente una pérdida de preesfuerzo P_5 .



El método propuesto por AASHTO Es el siguiente:

$$P_5 = A_{ps} * (12 f_{cir} - 7 f_{cds})$$

Donde:

f_{cir} : Esfuerzo del concreto aplicado en el centro de la luz.

f_{cds} : Esfuerzo aplicado en el centro de gravedad del acero

4.2.3 Pérdidas por relajación del acero de preesfuerzo (P_6): La relajación del acero de preesfuerzo, es la pérdida de sus esfuerzos cuando es preesforzado y mantenido en esa deformación constante por un período considerable de tiempo. Esto provoca una pérdida de preesfuerzo P_6 , que depende directamente de las características químicas y mecánicas de cada tipo de acero. Los proveedores de acero deben proporcionar una medida de la relajación en el tiempo de sus productos. Sin embargo, la AASHTO propone en su método de cálculo de pérdidas, las siguientes ecuaciones para el cálculo de pérdidas de preesfuerzo en mega newtons (MN):

A. Estructuras pretensadas: Torón grado 250 a 270

$$P_6 = (35.4 * A_{ps}) - (0.10 * P_3) - 0.05 * (P_4 + P_5) \quad \text{Acero de baja Relajación}$$

B. Estructuras postensadas: Torón grado 250 a 270

$$P_6 = (35.4 * A_{ps}) - (0.07 * P_3) - (0.10 * P_3) - 0.05 * (P_4 + P_5) \quad \text{Acero de baja Relajación}$$

5. MATERIALES.

5.1 ACERO DE PRESFUERZO.

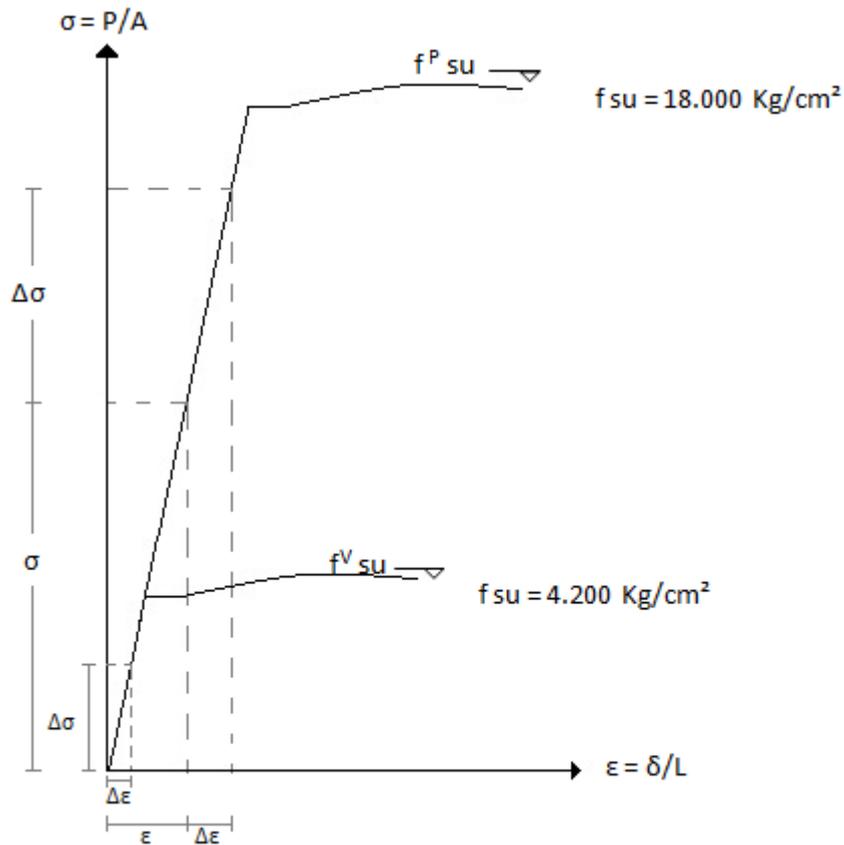
Es necesario utilizar aceros de alta resistencia para preesforzar un elemento de concreto; si se utiliza aceros normales el efecto del preesforzado desaparece cuando se desarrollan fenómenos de retracción del fraguado, de la influencia del concreto y de la relajación del acero pues esto se traduce en un acortamiento del elemento de concreto y el elemento trabajaría como si tuviese refuerzo pasivo únicamente.



Foto 15. Proceso de tensado de cables

Los aceros que se utilizan para preesforzar las estructuras presentan las siguientes características geométricas y mecánicas:

Diagrama de Esfuerzo – Deformación.



Donde:

f^P_{su} = Resistencia a la rotura acero de alta resistencia = 18.000 – 19.000 Kg/cm².

f^V_{su} = Resistencia a la rotura acero ordinario = 4.200 Kg/cm²

$\Delta\sigma$ = Esfuerzo resultante de la aplicación del tensionamiento.

ϵ = Deformación antes de la aplicación del tensionamiento.

$\Delta\epsilon$ = Acortamiento del concreto + Relación del acero.

5.1.1 Presentaciones del acero de alta resistencia:

a. Torón: Es el elemento que está compuesto por fibras de acero de alta resistencia; también conocidas como hilos o cordones cilíndricos. Cada torón está compuesto por 7 hilos; 6 de ellos de forma helicoidal alrededor de un hilo central; y cuyo diámetro nominal es de 0.5" y 0.6"; debe cumplir los requisitos Según norma ASTM A416 (grado 270). Como ya se explicó en el preesforzado no adherido; Para este sistema de preesforzado a los torones se les cubre de una capa plástica, totalmente hermética para evitar el contacto del acero con agua o lechada y una resistencia mínima para tal que asegure el libre movimiento del torón dentro del hormigón y reciben el nombre de torón plastificado o encauchetado y se utiliza generalmente para el tensionamiento de losas.



Foto 16. Estructura de un Torón encauchetado o Plastificado



Cuadro 5. Características de los torones de 0.5 y 0.6 pulgadas:

Diámetro-Tipo de torón		Área Efectiva (cm ²)	Peso (Kg/m)	Fuerza de Rotura (Ton)
0.5"	Desnudo	0.987	0.79	18.80
	Normal Plastificado	0.987	0.86	18.80
0.6"	Desnudo	1.40	1.102	26.60
	Normal Plastificado	1.40	1.122	26.60
0.6"	Desnudo	1.50	1.18	28
	Súper Plastificado	1.50	1.305	28

- Acero = Grado 270 K (K = Kips = 1000*Lb/ft² = 1000*Psi)
- Módulo de Elasticidad = 200.000 Mpa.
- Contenido de Carbono = 0.8 %
- Limite de Fluencia = 1.600 – 1700 Mpa.

b. Barras: Presentan las siguientes características:

- Diámetros corrientes: 26 mm, 32mm, 36mm y 40mm.
- Límite de Fluencia: Entre 830 Mpa y 950 Mpa.
- Resistencia a la rotura: Alrededor de 1050 Mpa.
- Módulo de elasticidad: Alrededor de 200.000 Mpa.

- Contenido de Carbono: Alrededor de 0.8%.



Foto 17. Detalle de Barras de Alta resistencia.

Debe cumplir con los requisitos de la norma ASTM A 722.

5.2 CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA A LA COMPRESION:

Para la construcción de Estructuras en Concreto preesforzado es necesario conocer las características del concreto que se debe usar para este tipo de estructuras. La característica principal del concreto es la resistencia a la compresión pero también se debe considerar seriamente la resistencia del fraguado, el flujo plástico y la dilatación térmica; en la concepción y el cálculo de una estructura preesforzada.



- Resistencia a la compresión ($f'c$): La resistencia a la compresión depende del contenido del cemento, del tipo de cemento, de la relación agua/cemento, de la resistencia y gradación de los agregados, del tipo y cantidad de aditivos empleados y de la edad del concreto.
- En el concreto preesforzado se utilizan generalmente concretos cuya resistencia oscila entre 28 y 42 Mpa; la resistencia a la compresión de un concreto ordinario esta alrededor de 21 Mpa.

Debido a que el concreto preesforzado estará sometido a mayores fuerzas de tracción; la sección a compresión tiende a aumentar y por ello es necesario aumentar la resistencia a la compresión del concreto.

6. ACCESORIOS EN UNA ESTRUCTURA DE CONCRETO PRESFORZADO.

A continuación se expondrán los accesorios necesarios para la puesta en tensión de los cables de pretensado.

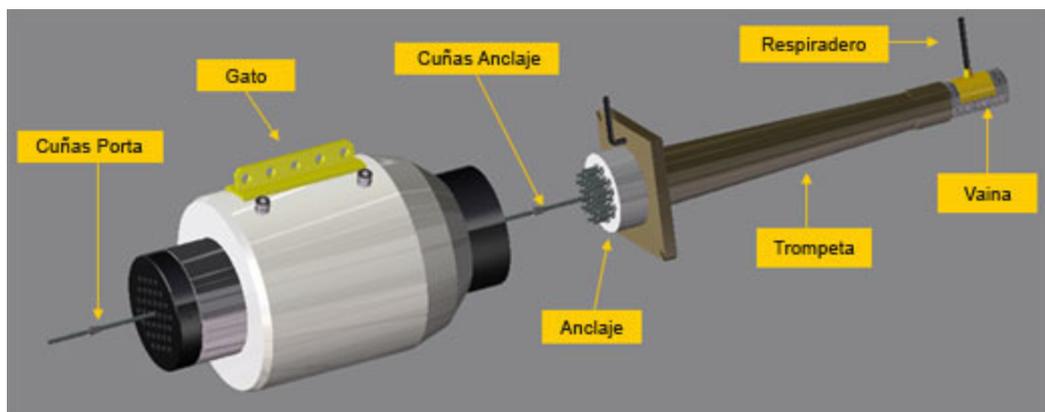


Imagen 1. Sistema de Tensionamiento

6.1 ANCLAJES.

Los anclajes son los elementos que transfieren al concreto la fuerza de preesfuerzo y conservan el estado de tensión en la armadura activa.

Existen muchas formas y tipos de anclajes; pero en nuestro medio los más usados son los anclajes Activos o móviles y los Pasivos o Fijos.

6.1.1 Anclajes activos o móviles: Son anclajes por donde se transfiere las fuerzas a los cables; es decir, por donde se realiza el tensionamiento. Es en estos dispositivos donde se bloquean los cables para mantener las fuerzas que comprimen el concreto. Está compuesto por 3 Elementos.



Foto 18. Anclaje Activo – VSL International Ltda.

a. Cuñas: Son pequeñas piezas en forma de cono truncado con un agujero central de superficie dentada que se encarga de morder los torones para bloquear el cable y sostener la tensión en el mismo.

Estos elementos en acero mecanizado son fabricados en tornos de control numérico para controlar sus dimensiones; pues estas no pueden variar debido a que tienen que encajar perfectamente en los orificios de los bloques de anclaje y cualquier variación puede representar fallas en el momento del bloqueo.

En el proceso de fabricación son sometidas a un proceso de temple para que adquieran dureza superficial que le permita morder el torón y no permitir que se desplace, manteniendo su interior dúctil para que se pueda acomodar a las aberturas de los bloques de anclaje sin cortar el torón.



Foto 19. Detalle de Cuñas.

b. Bloques de anclaje: En el medio de la construcción también son conocidos como: botones, queso, cabeza de anclaje; Son piezas de acero mecanizadas en tornos de control digital para garantizar sus dimensiones y posteriormente se rectifican en tornos de control numérico.

Estas piezas alojan las cuñas, razón por la cual son sometidas a grades esfuerzos que se transfieren al concreto.



Foto 20. Bloque de Anclaje

c. Culatas: También son conocidas como Trompetas, guías, bocines o placas de apoyo, son las encargadas de recibir las fuerzas que introducen

los anclajes al concreto y a las vez son la conexión entre la cabeza de anclaje y el ducto de los cables.

Estas culatas se instalan durante el vaciado del concreto; quedando embebidas en él y solo queda a la vista la superficie de contacto con el bloque de anclaje.

Estos accesorios traen un agujero ubicado a un costado de la parte superior por donde una vez tensados los cables; se procederá a inyectar la lechada.



Imagen 2. Detalle de una Trompeta- VSL Ltda.

6.1.2 Anclajes pasivos o fijos: Estos se ubican en el extremo del cable opuesto al anclaje activo; como la fuerza de tensionamiento se está aplicando desde el extremo opuesto; estos anclajes se encargan de hacer reacción; es decir son el extremo muerto del cable que se opone al tensionamiento.

Tienen diferentes tipos de presentaciones; una de ellas es haciendo un bucle con el torón y dejándolo embebido en el concreto, otra forma es destoronando las puntas con el propósito de generar un bulbo, otra manera es trabar los torones en un elemento de acero; y aplicar fuerzas de

6.2 COUPLER O ACOPLADOR.

Se utilizan para la unión o prolongación de cables postensados.

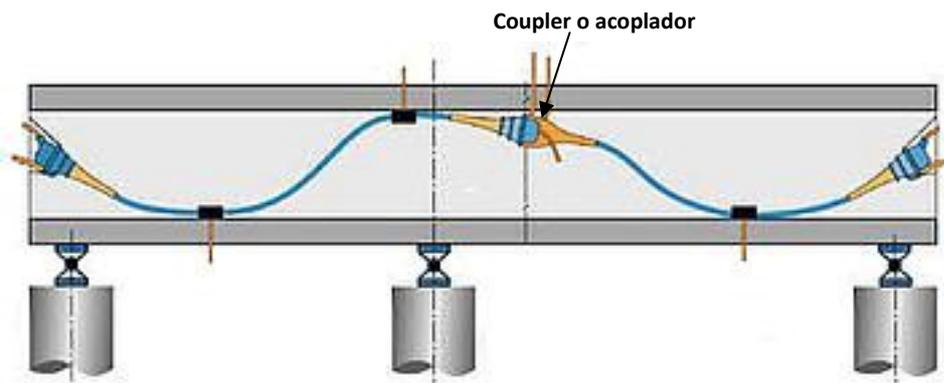


Imagen 4. Prolongacion de los cables por medio de couplers

6.2.1 Coupler Monotorón: Nos permite unir dos cables y evitar el desperdicio de material, también cuando el agarre del gato no es suficiente para sujetar el torón o se necesita unir torones de diferentes diámetros; caso poco común.



Imagen 5. Coupler Monotorón.

6.2.2 Coupler multitorón: Una vez terminado el tensionado de un cable; se puede instalar un Coupler en lugar del anclaje lo que nos va permitir poner nuevos torones y prolongar el cable. El Coupler actuará como un anclaje fijo puesto que en el extremo contrario se procederá a retensar el cable.

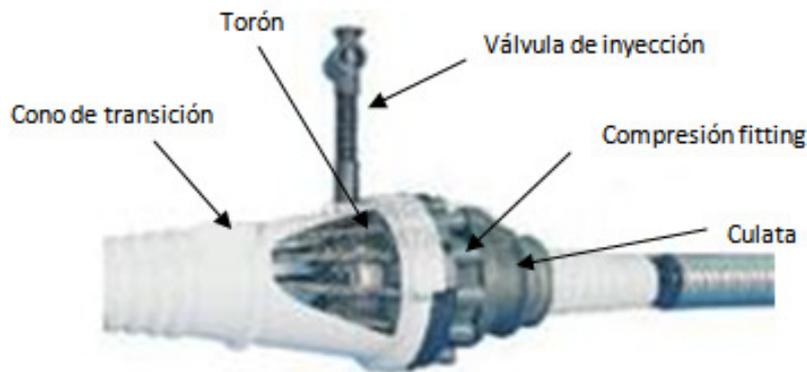


Imagen 6. Coupler multitorón

El Coupler multitorón está constituido por los siguientes elementos:

- a. **Cono de transición:** la función es proteger los torones hasta que estos se encuentren con el ducto, básicamente tienen la misma función de una culata; con la diferencia que no tiene platina de apoyo, porque no se realizará tensionamiento en este punto.
- b. **Compresión fitting:** van agarrados a presión a los extremos de los torones; lleva en su interior un resorte, lo que le va a permitir deformarse y quedar totalmente sujeto al torón de tal manera que al realizar el tensionamiento por el lado opuesto, estos no se salgan del Coupler.



Imagen 7. Compresión fitting

6.3 DUCTOS.

Los ductos longitudinales o vainas, son tuberías que envuelven a los cables y son utilizados solamente en las estructuras de concreto postensado.

Estos conductos permiten la libre circulación del cable, de manera que no se quede trabado durante la aplicación del preesfuerzo, o adherido durante la fundición.

Los ductos se colocan antes de la fundición del elemento y deben ser sujetos a la armadura pasiva para evitar que deformen la ubicación diseñada del cable. Debe tenerse especial cuidado en la selección de los mismos, puesto que varían en diámetro, flexibilidad, adaptabilidad y resistencia. Es aconsejable además verificar que los ductos posean corrugación pues ésta permite que la inyección envuelva por completo al cable, y da origen a la adherencia por cizallamiento entre la vaina y el concreto.

Los ductos se fabrican en PVC ó lámina COLL ROLL y se galvanizan si se van a utilizar en climas agresivos. Los espesores varían entre 0.28 y 0.32 mm; dependiendo de la capacidad de la máquina Engargoladora de Ducto, para poder grafarla y corrugarla; logrando con estas características mejor adherencia con el concreto.

El área interna de cada ducto debe ser 2.5 veces mayor a el área total de los torones que van en su interior.

Las características exigibles a los conductos son:

- a. Rigidez durante la colocación del concreto y la lechada.
- b. Flexibilidad que permita determinados radios de curvatura.
- c. Posibilidad de hacer empalmes para longitudes variables y tener corrugaciones helicoidales.
- d. Resistencia al aplastamiento e impermeabilidad.
- e. No poseer reactivos corrosivamente.



Foto 23. Ductos Plásticos



Foto 24. Ductos metálicos



7. EQUIPOS.

7.1 GATOS HIDRAULICOS.

Los gatos hidráulicos son equipos de vital importancia y están especialmente diseñados para poner en tensión los cables; por ello tensar cables con otros equipos; resulta dispendioso para los trabajadores y puede afectar la estabilidad de la estructura.

Dependiendo de los fabricantes existen gatos de agarre trasero y delantero; pero generalmente los gatos tienen pase interno de torón; ya que brinda mayor seguridad para los operarios.

Cuadro 6: Clasificación de Gatos Hidráulicos VSL.

TIPO	ÁREA (Cm ²)	TORONES A TENSAR DE 0.5"	TORONES A TENSAR DE 0.6"
ZPE-460	804	31	19
ZPE-19	500.3	19	12
ZPE-12	300.9	12	7
ZPE-7A	203.6	7	---



Foto 25. Gato hidráulico ZPE – 460



Foto 26. Gato Hidráulico montado para tensionamiento

7.2 BOMBAS HIDRAULICAS.

Las bombas o centrales hidráulicas son equipos que se encargan de suministrar la presión a los gatos de tensionamiento; estos equipos alcanzan presiones muy altas (10.000 psi a 700 bares). Están equipadas de un motor eléctrico y eventualmente se accionan con gasolina; para obras en donde no se tiene acceso a electricidad.



Foto 27. Operario accionando central hidráulica

7.3 MANOMETROS.

Los manómetros son equipos muy importantes; puesto que en el momento de realizar el tensionamiento, el operario debe verificar las cargas que se introducen a los cables; es necesario contar con un equipo de medición de

presiones como estos. Las lecturas indican unidades de presión (bares o psi).

Debido a la sensibilidad con que deben aplicarse las cargas; los gatos deben estar calibrados; estas deben realizarse por lo menos dos o tres veces al año cuando se trata de usos normales; pero si son usados con frecuencia estos se deben calibrar de 3 a 4 veces al mes.



Foto 28. Manómetro

7.4 ENFILADORA.

Se usa para colocar los torones dentro de los ductos o cuando la colocación manual se dificulta. Generalmente cuando la longitud de los cables sobrepasa los 50 m; El motor eléctrico que la constituye genera la fuerza suficiente para insertar los cables dentro de los ductos sin importar diámetros y curvaturas; es accionada mediante control remoto; lo que permite que el operador no tenga riesgo de accidente.



Foto 29. Enfiladora de cable

7.5 INYECTORA DE LECHADA.

Las inyectoras de lechada son equipos sencillos que se usan para introducir la mezcla agua – cemento – aditivo en el interior de los ductos; proporcionando la adherencia entre torón y ductos y este a su vez con el concreto. Existen dos tipos de inyectoras; manuales y eléctricas. En nuestro medio generalmente se usan las inyectoras manuales.



Foto 30. Inyectora de Lechada

7.6 ENGARGOLADORA DE DUCTO.

Trabaja con hojas de acero sin tratar o galvanizadas y es capaz de fabricar ductos hasta de 200 mm de diámetro interior; trae diferentes matrices para reemplazar dependiendo del diámetro deseado. El rendimiento de esta máquina es de alrededor de 150 ductos de 5 m de longitud por día.



Imagen 8. Engargoladora de Ducto

7.7 HERRAMIENTA MENOR.

En este grupo se puede encontrar la herramienta que se debe tener a mano para ayudar algunos eventos.

Es muy importante tener elementos de izaje como estrobos, cadenas, winches, etc.



Imagen 9. Equipo de izaje



8. DETALLES CONSTRUCTIVOS.

8.1 INTERPRETACION DE PLANOS.

Muchas veces los ingenieros reciben los planos de tensionamiento; ya sea para licitación, construcción o Interventoría y se encuentra con una información poco habitual. Por esta razón es indispensable conocer al menos la información mínima que se debe consignar en los planos de concreto preesforzado para poderlos interpretar.

8.1.1 Vista lateral y elevación de cables de una viga: Cuando se presentan el plano de una viga; generalmente el trazado de cables se muestra hasta el eje de simetría y debajo de este se muestra el cuadro de trazado de cables con las coordenadas correspondientes, y casi siempre se miden desde la base de la viga; a menos que el calculista lo proponga de otra forma y se debe indicar claramente en el plano.

Para cada cable; además de las coordenadas, se debe indicar: número de torones; de forma implícita nos está indicando el tipo de anclaje, los ángulos de salida y de llegada a cada extremo de la viga; ya que los anclajes deben quedar perpendiculares a la trayectoria del cable.

8.1.2 Cortes: Con los cortes se busca indicar como es la trayectoria de los cables en sentido transversal o longitudinal; por tal motivo se omiten detalles como el refuerzo no tensionado o pasivo (flejes, acero longitudinal y transversal). Generalmente se presentan de 4 a 6 cortes.



8.1.3 Cuadro de tensionamiento: En este cuadro se presenta un resumen que contiene:

- a. Nombre del cable
- b. Tipo de anclaje: Anclaje fijo “F” y Móvil “M”
- c. Numero de torones: torones que forman cada cable.
- d. Tensión Efectiva en el Centro de la Luz: Tensión final esperada en el centro de la luz; después de descontar las pérdidas; $t = \infty$
- e. Tensión en Gato: Muestra la fuerza que a la cual se debe llevar el cable antes de realizar el bloqueo. Fuerza de tensión $t=0$.
- f. Presión: Es La que indica el manómetro en el momento en que se alcanza la tensión especificada en gato.
- g. Alargamiento: Es el alargamiento total del cable cuando se aplica la carga indicada en gato; con esto se está asegurando que la fuerza aplicada en gato; producirá la presión efectiva que se espera en el centro de la luz; si este alargamiento no se alcanza podría ser producto de una obstrucción en la trayectoria del cable que aumenta las perdidas; por tal motivo se establecen valores máximos y mínimos de alargamiento producto de las variaciones de área y del modulo elástico del acero. para chequeos rápidos se estima 7mm por metro lineal.
- h. Longitud: Corresponde al desarrollo de la curvatura del cable.



8.1.4 Especificaciones generales:

- a. Código que rige el diseño.
- b. Carga viva de diseño
- c. Resistencia del concreto para cada etapa del tensionamiento.
- d. Características del acero de tensionamiento.
- e. Coeficientes de pérdidas: Por rozamiento (μ) y por Curvatura (K).
- f. Orden de Tensionamiento.
- g. Cantidad de torón: ml, ton-m, Kg.

Nota 1: Normalmente se requieren dejar unas cajas para efectuar el tensionamiento; estos detalles son suministrados por la firma tensionadora ya que dependen del equipo a utilizar.

Nota 2: ver Anexo 1: Detalles de cajetines de tensionamiento.

Ver Anexo 2: Planos de una viga preesforzada.



8.2 RECEPCION, ALMACENAMIENTO Y MANEJO DE CABLES.

Los torones son rollos de acero que se despachan desde fabrica en rollos; cada carrete pesa alrededor de 3 ton y tienen un diámetro de 2.5 m aproximadamente. Tienen una etiqueta lo cual nos facilitara saber su peso, diámetro, lote y ubicación dentro de la obra; par tener control sobre las cantidades de material.

8.2.1 Recepción: Al momento de recepción del cable; se debe tener en cuenta el peso de cada rollo; para tener disponible el equipo como grúas o cargadores, con los cuales se descargarán y empilarán en bodega. Se debe hacer un listado de los rollos que entran a la obra para tener un mejor control.

Es recomendable que el equipo que se utiliza para mover los rollos lo haga de uno en uno, para evitar accidentes.

8.2.2 Almacenamiento: Para el almacenamiento se debe disponer de un lugar seco y cubierto; puesto que los torones son altamente sensibles a la oxidación; y un cable con los índices de oxidación sobre los permitidos; afectarían directamente el esfuerzo efectivo ya que aumentarían las pérdidas por fricción lo que se reflejaría inmediatamente al obtener menores alargamientos.

Muchas veces se piensa al encontrarnos frente a un clima húmedo y con lluvias abundantes; que la mejor solución para proteger el acero de preesfuerzo de la humedad; es cubrirlo con un plástico, esto no es

recomendable; debido que los procesos de calentamiento y enfriamiento producen evaporación y posteriormente condensación de la humedad facilitando la oxidación del acero.

Si como última alternativa se tienen dejar los cables expuestos a la intemperie; se debe procurar que el tiempo máximo de exposición sea de ocho (8) días para climas húmedos y quince (15) días para climas secos.

Los rollos de torón se pueden almacenar en pilas evitando el contacto con el piso; se deben arrumar hasta una altura donde se garantice estabilidad y sean de fácil acceso, además se debe tener en cuenta que demasiado peso sobre los rollos; podrían dañar las corazas que los contienen ya que son de madera y deformar los torones.



Foto 31. Almacenamiento de rollos de torón

8.2.3 Manejo de cables: En caso de tener alguna duda sobre los torones; se recomienda tener los certificados de garantía, junto con los certificados de laboratorio que expide la empresa proveedora de cable.

Cada rollo de cable se debe montar dentro de un devanador o desenrollador de cable y cada uno de ellos debe tener un sistema de freno. El manejo de cables implica situaciones de riesgo para el personal, particularmente se debe tener mucho cuidado al desembobinar los rollos de torón; ya que debido al efecto de resorte se puede causar golpes inesperados.

El personal debe contar con el siguiente equipo de seguridad; como mínimo: Guantes de carnaza doble, botas con punta reforzada, casco, gafas protectoras.



Foto 32. Rollo de torón montado en un Devanador



8.3 RECEPCION, ALMACENAMIENTO Y MANEJO DE ACCESORIOS.

8.3.1 Anclajes. Los anclajes son piezas de acero solido; por tanto tienen suficiente resistencia ante daños mecánicos, pero sin embargo hay unas recomendaciones mínimas que se deben seguir para evitar posibles daños como deformaciones que impidan en acoplamiento de los cables, cuñas o que evite hacer contacto total con las trompetas.

El almacenamiento de los anclajes se debe hacer en un lugar donde se pueda evitar la corrosión; si están expuestos a climas agrestes muy húmedos o con altos contenidos de sol; una opción para protegerlos es guardarlos engrasados.

8.3.2. Ducto: Al estar elaborados en láminas de acero de bajo calibre son muy susceptibles a la corrosión y a los daños mecánicos; por tanto estos deben almacenarse en lugares secos, separados del suelo y alejado de elementos pesados como los anclajes, cables de torón, etc. que al caer sobre ellos puedan causarles abolladuras y deformaciones. Con estas precauciones se garantiza que la sección no disminuya por tanto los cables y lechada pasaran fácilmente en el momento de aplicación.



9. ACTIVIDADES DE LA PASANTE

Una vez la pasante identifico los materiales y accesorios que se utilizan en el preesforzado, se dispuso que fuese la encargada de realizar las cotizaciones que llegan a la empresa, tanto para sistemas de pre y postensado como también para juntas y apoyos de neopreno.

La pasante se encargó de cuantificar materiales para las diferentes obras y realizar cronogramas de entrega; llevando para esto un inventario general de materiales, que facilitara saber con que se contaba en la bodega, que cantidad se debía mandar a fabricar en Colombia y que elementos se debían importar desde CTT STRONHOLD Barcelona – España.

COTIZACIONES.

Para realizar una cotización; La Entidad contratante debe suministrar junto con la solicitud los planos del puente o Edificación; donde se encuentren totalmente detallados los aspectos que se enuncian en el **capítulo 8.1 INTERPRETACION DE PLANOS.**

Se debe explicar de forma clara y concisa cual es el alcance de la oferta en cuanto a:

- a. Suministro de Materiales: Anclajes, cuñas, ducto, etc.
- b. Servicio de tensionamiento: Equipos.
- c. Numero de Operarios:



- d. Instalación.
- e. Cargue y descargue de material.
- f. Asesorías técnicas.
- g. Transportes de Materiales
- h. Inyección de Lechadas
- i. Tiempo de entrega
- j. Duración del trabajo
- k. Precio: de acuerdo a la unidad de medida establecida: Kg, Ton-m, ml.
Vale aclarar que cuando se trata del suministro del sistema de tensionamiento la unidad de medida que rige la cotización es la que se relacione con la cantidad de cable o torón.
- l. Tiempo de validez de la oferta.

Toda la información arriba mencionada; es muy importante y se debe consignar dentro de la cotización; ya que de realizarse la contratación de los servicios que la empresa ofrece, estos se trasladaran de forma tal como se hayan consignado en la cotización, al contrato, a menos que las partes interesadas dispongan hacer una modificación de mutuo acuerdo.

Nota 3: Ver anexo 3: Cotización de Tensionamiento. (Modelo)



9.1 CUANTIFICACION DEL MATERIAL Y ÓRDENES DE COMPRA.

La cantidad de material es un dato conocido desde el momento en que se realiza la cotización. Si la empresa adquiere un contrato para realizar suministro de materiales se deben prever y cumplir fechas de entrega.

Para esto es importante coordinar con el taller de VSL la producción de ducto; especificando su calibre y diámetro, comparar inventarios para ver que materiales están en stock y mandar a su manufactura con tiempo si es necesario enviarlo a fabricar, ya que se debe tener en cuenta que al tiempo de entrega se debe disminuir el tiempo de fabricación, traslado y nacionalización cuando son productos importados

Nota 4: ver Anexo 4: Calculo de materiales Puente CALLE 4 SUR

Nota 5: ver Anexo 5: Orden de Compra CTT STRONHOLD.

Nota 6: ver Anexo 6: Orden de Compra Nacional

.



10. PROCESOS CONSTRUCTIVOS.

En accidentes ocurridos en diferentes obras; se ha observado que la mayoría de los accidentes que en estas transcurren; se deben a descuidos en aspectos elementales de construcción.

En el caso del concreto preesforzado se presentan otros requisitos aparte de los ya conocidos; pues se debe garantizar que la fuerza efectiva en el centro de la luz sea las mismas a las que el diseñador planteo; sin que las perdidas sean mayores a las esperadas; además se debe proteger los cables para alargar la vida útil de los mismos y por ende la estructura en concreto preesforzado.

Dentro de toda obra donde se maneje concreto preesforzado; el personal debe ser altamente calificado y supervisado por ingenieros y capataces con suficiente experiencia en este campo.

Antes de dar un paso adelante en cada uno de los procesos; es indispensable revisar el anterior; por ejemplo: no se puede proceder al tensionado de cables sin que se haya verificado que el número de torones o que el concreto haya alcanzado la resistencia requerida para efectuar dicha labor.

10.1 INSTALACION DE LOS CABLES.

Los planos de ejecución indican las coordenadas por donde se debe instalar los cables en obra. Describiendo una curvatura regular si ondulaciones o cambios bruscos de dirección; lo que provocara que el rozamiento aumente. Las cotas vendrán dadas cada 1/10 de la luz y en secciones como en los puntos de anclaje, donde haya puntos de levante (estos se presentan cuando las vigas tienen más de dos puntos de apoyo).

Los cables se deben ubicar de manera que permitan el paso del hormigón, que se garantice un buen recubrimiento y además permita hacer un correcto vibrado; esto depende de la forma y dimensiones del elemento.

El cable debe estar bien sujeto para evitar que se generen desplazamientos durante el vaciado del concreto; esto se logra utilizando soportes en forma de U; que se sujetan con alambre a los estribos del concreto armado, en la mayoría de puntos donde se pueda; máximo cada 1.5 m.



Foto 33. Instalación de Ducto



Una vez instalado el ducto; se procede a realizar los siguientes chequeos.

- a. Trazado de los Cables:** Los cables deben seguir una trayectoria regular, sin ondulaciones, ni quiebres bruscos.
- b. Estado del Ducto o Coraza:** Durante la Instalación el ducto; este puede sufrir algunas averías que se deben detectar y corregir antes de realizar el hormigonado.
- c. Solidez de los amarres:** Con el fin de evitar el desplazamiento horizontal y/o vertical de los cables con respecto a las coordenadas entregadas por el calculista.
- d. Traslapos sellados:** Inspeccionar que los traslapos estén correctamente hechos y bien sellados con cinta adhesiva, en los puntos donde se deben disponer ventosas; verificar que se instalen y además queden herméticamente selladas para evitar que el concreto penetre del ducto y obstruccion el cableado.

10.2 INSTALACION DE TROMPETAS.

Las placas de reparto de las trompetas se fijan al encofrado mediante cajetines, para asegurar la alineación correcta de las armaduras activas en el arranque, así como dejar las dimensiones mínimas necesarias para la introducción del gato una vez desencofrado.

Se debe verificar que se instale el refuerzo en esta zona de anclaje y asegurarse que la vaina empalme perfectamente con las trompetas; sellarlas con cinta adhesiva.

Si dentro del sistema se encuentran varias familias de cables; lo recomendable es marcar cada trompeta con el numero de cables que correspondan para evitar posibles confusiones entre el personal.



Foto 34. Trompetas y refuerzo listos para ser instalados



Foto 35. Trompeta instalada y Marcada

10.3 HORMIGONADO.



Foto 36. Hormigonado De vigas Postensadas

Se debe utilizar un hormigón con un asentamiento adecuado y utilizar un vibrador con una cabeza de acuerdo al elemento que vamos a fundir. Se Recuerda que si realiza un vibrado excesivo; se puede provocar segregación de los agregados; por otro lado se puede abollar y perforar los ductos; de presentarse este acontecimiento se tienen que sellar inmediatamente con cinta adhesiva y si el daño es muy grande lo recomendable es remover esta sección de ducto y reemplazarla, en este momento se suspenderá el hormigonado o se trasladará a otro punto, para evitar que ingrese concreto dentro del ducto.

Se debe procurar que el vaciado de concreto; se haga de tal forma que no desacomode los ductos.

Una vez terminado el hormigonado; se debe introducir un par de torones dentro de los ductos; con el fin de romper la adherencia que produciría el ingreso accidental de lechada.

Al ser estos concretos de alta resistencia; contienen una gran cantidad de cemento; por lo tanto se debe garantizar un buen curado, preferiblemente utilizando agua corriente; como una solución a esto se utiliza agua reciclada (motobombas) o en plantas se construyen en piscinas, o se curan mediante sistemas de vapor, para obtener la resistencia especificadas de acuerdo a su edad; además nos ayudara a controlar las grietas por retracción y fraguado.



Foto 37. Viga t curada al vapor Aeropuerto Hartsfiel Atlanta -Florida

Una vez la viga haya alcanzado la resistencia requerida; se trasladará hasta el lugar de la obra; se deberá prever el tiempo que tardará en hacer el recorrido para que coincida con el tiempo de llegada del equipo y personal de tensionamiento a la obra. En Colombia se ha restringido el tráfico de tránsito pesado de 6 Pm a 6 Am por lo que se debe en consideración e iniciar con antelación el traslado de las vigas, si éstas se encuentran demasiado alejadas de las obras.



Foto 38. Traslado De vigas Postensadas hasta la obra



10.4. INSTALACIÓN DE TORÓN:

Esta operación se realiza siempre que sea posible previamente al hormigonado para evitar los riesgos de un posible abollamiento o rotura del ducto durante el hormigonado, lo que impediría la operación del enfilado.

Pero es Decisión de la empresa tensionadora la que determina si se enfilan antes o después del hormigonado.

Independientemente de cuál de los dos métodos se escoja; el método para enfilado de los cables es el mismo.

Una vez montado la bobina de torón en el devanador; se procede a insertar el cable utilizando la enfiladora de ser necesaria. En el extremo de cada cable se coloca una pieza metálica en forma de bala que evita que se destorone y dañe el ducto.

Antes de instalar el torón se debe inspeccionar los siguientes aspectos:

- Verificar que es cable sea continuo y de sección uniforme; se debe descartar el torón que presente aplastamiento o este destoronado; ya sea en sus extremos a en secciones intermedias.
- Se debe cerciorar que el torón este limpio; que no presente mayor oxidación a la permitida y libre concreto; si esto se presenta se debe limpiar inmediatamente; debido a que si se introduce el torón sucio; no se lograra la adherencia que se espera, además al momento de realizar el tensionamiento las mordazas de los gatos no podrán sujetar los torones de forma efectiva.

- En lo posible se debe realizar los cortes de torón en frio; utilizando discos de corte, ya que si se utiliza métodos de oxicorte; Se tiene que dejar como mínimo 1.0 m adicional de cable, para garantizar que el resto del torón no se vea afectado; lo que nos lleva a realizar un análisis de costos.
- Si los torones son de una longitud entre 40 y 50 m; entonces se pueden instalar dentro del ducto en forma manual, si este presenta alguna obstrucción; entonces se procede a utilizar la enfiladora que es necesaria cuando los cables superan las longitudes anteriormente mencionadas.



Foto 39. Cables Antes y Después del tensionado.

10.5 TENSIONAMIENTO.

El tensionamiento se lleva a cabo utilizando gatos hidráulicos; este equipo depende de los requisitos del sistema; según el número de torones, tensión a aplicar, etc. Además de este se utilizan los manómetros que nos servirán para verificar la presión aplicada. Todos estos equipos deben tener certificado de calibración vigente; es necesario recalcar la importancia de las lecturas en el manómetro del equipo hidráulico, pues aunque el diseño esté bien realizado, si las lecturas no son correctas, pueden provocarse daños severos a la estructura, por esta razón debe llevarse un control estricto del preesfuerzo aplicado en campo, mediante tablas que registren las lecturas de fuerzas aplicadas a cada cable y las lecturas de las elongaciones de cada alambre, torón o barra. En base a estos datos, se puede hacer una evaluación del comportamiento real de la estructura y corregir cualquier desperfecto en proyectos futuros.

Nota: Ver Anexo 7: Cuadro de control de alargamiento



Foto 40. Gato y Bomba Eléctrica dispuestos para el tensionamiento



Cuando una viga posee varios cables que deben tensarse de forma sucesiva, es necesario hacer una observación al valor de fuerza de preesfuerzo inicial en el gato, pues las pérdidas sufridas por el primer cable son diferentes de las sufridas por el segundo, el tercero, etcétera. Esto se debe a que la deformación instantánea del concreto aumenta con cada cable que se tensa mientras el esfuerzo del primer cable se pierde, en función de la cantidad N de cables que tenga el elemento estructural.

En la práctica real, se someten todos los cables al mismo valor de preesfuerzo inicial del gato, por facilidad de interpretación en campo, y se toma como valor de diseño, también es común utilizar un preesfuerzo inicial superior al promedio, tomando en cuenta que al diseñar el elemento, la pérdida debida al acortamiento elástico del concreto, ya no se considerará nuevamente.

La fuerza de preesfuerzo inicial, tiene ciertas limitaciones por razones de seguridad. Así, según la ACI, los esfuerzos de tensión en los cables de preesfuerzo no deben exceder los valores de la siguiente tabla.

Cuadro 7. Esfuerzos admisibles en el acero de preesfuerzo según el código ACI

1.	Debido a la fuerza del gato de pretensado pero no mayor que el mínimo entre $0.80 f_{pu}$ y el máximo valor recomendado por el fabricante de cables de presfuerzo o dispositivos de anclaje.	$0.94 f_{py}$
2.	Inmediatamente después de la transmisión del pretensado pero no mayor que $0.74 f_{pu}$	$0.82 f_{py}$
3.	Cables de postensado, en anclajes y acoplamientos, inmediatamente después el anclaje de los cables	$0.70 f_{pu}$

ACI 318-99. Sección 18.5



Donde f_{py} es la resistencia especificada a la fluencia de los cables de preesfuerzo y f_{pu} es la resistencia última especificada de los cables de preesfuerzo.

La AASHTO, también tiene límites para esta fuerza:

Cuadro 8. Máximos esfuerzos en las armaduras activas (AASHTO)

Miembros pretensados	
Esfuerzo inmediatamente antes de la transferencia	
Acero de bajo relajamiento	$0.75f_{pu}$
Acero aliviado de esfuerzo	$0.70f_{pu}$
Miembros postensados	
Esfuerzo inmediatamente después de la transferencia	
En el anclaje	$0.70f_{py}$
Al final de la zona de pérdidas por asentamiento	$0.83f_y$
Esfuerzo para cargas de servicio después de ocurridas las pérdidas	$0.80f_y$

AASHTO Especificaciones estándar para puentes de autopistas. Sección 9.15.1

La relación de esfuerzos varía con respecto al tipo de sección del cable y al tratamiento dado al acero, de la siguiente manera: para alambre o torón de bajo relajamiento, $f_{py} = 0.90f_{pu}$, para alambre o torón aliviado de esfuerzos y barras de alta resistencia lisas, $f_{py} = 0.85 f_{pu}$ y para barras de alta resistencia corrugadas, $f_{py} = 0.80 f_{pu}$.

Antes de proceder a realizar el tensionamiento se recomienda verificar los siguientes aspectos:



- **Resistencia del Hormigón:** chequear que el concreto haya alcanzado la resistencia de acuerdo a los planos; leyendo el informe que expide el laboratorio detalladamente y constatando que los ensayos se hayan realizado con el número suficiente de probetas; para evitar futuras complicaciones o tener que recurrir a pruebas poco confiables como las del esclerómetro.
- **Calibración de Manómetros:** Esta debe realizarse en sitios reconocidos con seriedad y eficiencia. Se deben exigir las cartas de calibración ya que se deben tener disponibles en el caso que la Interventoría los requiera.
- **Facilidad de Acceso al sitio de trabajo:** todas las obras que requieran equipo de tensionamiento; deben disponer de lugares para la operación cómoda del tensionamiento; así como equipo para trasladar los gatos como: estrobos, eslingas, cadenas, winches etc.
- **Verificar que los accesorios correspondan al cable que se va a tensar;** en el caso que haya cables con diferente número de torones o diferente diámetro; siendo este último un caso muy particular y poco frecuente.

10.5.1 Operación de tensionamiento: Una vez cumplidos los anteriores requisitos; se procede con el tensionamiento siguiendo secuencialmente estos pasos:

a. Instalación de anclajes y cuñas: Una vez verificada la limpieza de los torones y las cuñas; especialmente y el área del contacto con el torón; se colocan en la base del anclaje aprisionando el torón.



Foto 41. Instalación de Anclajes.

b. Colocación del gato: Se posiciona la base inferior o escarparte inmediatamente en contacto con la platina exterior del anclaje del anclaje; se hacen pasar los torones por las ranuras correspondientes y se bloquea cada uno con un barrilete o dispositivos de cuña de fricción. SE hacen pasar los torones por las ranuras del gato y se fijan con los barriletes; asegurándonos que el gato muerda bien el torón. La parte inferior está dotada de pequeños gatos de bloqueo en número igual al número de cuñas que presenta el anclaje.



10.5.2 Aplicación de esfuerzos: Para el proveer de energía a los gatos hidráulicos; se utilizan bombas Eléctricas para obtener una operación rápida y más segura, para ejecutar el funcionamiento de las bombas se deben seguir los siguientes pasos respetando el orden indicado.

- Purgar el aire de todas las mangueras.
- Conectar la bomba al gato
- Subir la presión hasta los 50 bares y revisar que todos los torones estén bien sujetos.
- Bombear hasta que el cable obtenga la tensión de alargamiento especificado; haciendo carreras que la longitud del embolo del gato permita. La fuerza debe ir incrementándose gradualmente o por etapas si así está establecido en los planos. El trabajo inicial en la bomba no induce fuerza ni alargamiento en los cables; pues está produciendo un acomodamiento de los mismos dentro del ducto.
- Se procede a marcar el torón con tita o aerosol; para poder medir las longitudes que se van obteniendo a medida que se transfiere la carga.
- Se bloquean las cuñas.
- Se baja lentamente la presión en el gato para proceder a retirarlo.
- Se anotan todo los datos en la planilla de tensionamiento.



Foto 42. Chequeo de alargamientos mediante pintura de torones

10.6 INYECCION

La inyección o lechada de cemento/aditivo; en el ducto cumple con los siguientes objetivos:

- Proteger la armadura contra la corrosión.
- Establecer adherencia entre los cables y el hormigón.

Para que la inyección cumpla con los objetivos anteriormente mencionados; debe verificarse lo siguiente:



- Que la lechada llene totalmente el ducto, evitando las bolsas de aire. Para ello el ducto debe presentar forma regular sin aplastamientos; que obstaculicen el paso de la lechada
- El agua empleada, así como los aditivos; no deben contener agentes corrosivos que ataquen el acero.
- La resistencia a la compresión de los morteros de inyección deben estar entre 200 y 300 Kg/cm² a los 28 días. Esto nos garantizara que la lechada nos proporcione buena adherencia, resistencia a la cizalladora, durabilidad, trabajabilidad, etc.
- El equipo de inyección debe tener la potencia necesaria para garantizar el avance de la lechada de un extremo al otro.
- La zona de anclajes debe estar perfectamente sellada con una pasta de yeso de buena resistencia para evitar pérdidas de lechada.
- La lechada se prefiere tipo pastosa y no aguada; su consistencia debe ser homogénea y no debe tener tendencia a la segregación.

10.6.1 Composición de la lechada de inyección: La lechada está constituida por agua, cemento portland aunque algunas veces prefieran agregarle arena y aditivos.

La arena no es un material recomendable; se utiliza cuando los diámetros de los ductos son muy grandes; y el diámetro de la arena debe ser pequeño



alrededor de 150 o 200 mm; además debe estar en una proporción del 30% del peso del cemento.

Los aditivos se utilizan para aumentar la trabajabilidad de la mezcla o expandir su volumen entre 5 y 10%.

Los más usados en nuestro medio son: El "Intraplast Z" y el "sikament" de SIKA.

10.6.2 DOSIFICACION DE LOS MATERIALES.

La relación Agua/Cemento no debe exceder de 45% en masa, y los aditivos se dosifican de acuerdo a las recomendaciones del fabricante; para los aditivos anteriormente mencionados: El "Intraplast Z" y el "sikament" de SIKA se dosifican a una razón de 1 Kg por Bulto de Cemento. Si se utiliza arena que no sobrepase el 30% del peso del cemento.

10.6.3 preparación de la lechada: Para la preparación de la lechada se utilizan la inyectora; que está provista de un tanque de mezclado que a su vez alimenta la bomba.

Inicialmente se agrega agua y luego el cemento; si se va a utilizar arena y aditivo se procede a agregarlo en la mezcla; que toma su consistencia cuando las paletas revuelven todos los componentes en un tiempo de 3 minutos.



10.6.4 Ejecución de la inyección: Antes de proceder con la inyección; se lava el ducto con agua para expulsar cualquier residuo de hormigón y elementos ajenos al sistema y posteriormente se retira el agua usando aire comprimido.

Después se conecta una manguera de ½ pulgada de diámetro a la salida de la bomba y al tubo de inyección en el otro extremo.

Se Procede a inyectar la lechada aumentando gradualmente la presión hasta alcanzar una presión establecida entre 10 y 15 bares: sin sobrepasar este imite.

Al observar que al otro extremo de la inyección empieza a salir la lechada con la misma consistencia que la que contiene la bomba; se procede a sellar este orificio; donde previamente se ha coloca un pedazo de manguera y se dobla por un tiempo de 5 minutos; manteniendo una presión en la bomba de 5 bares.

Una vez transcurrido este periodo; se procede a sellar la entrada y la salida del ducto.

Si los cables son muy largos; en el momento de instalar el ducto se deben poner ventosas en los puntos más altos y bajos del sistema; para que permita la salida de aire y al mismo tiempo inspeccionar que la inyección se haga correctamente.

10.6.5 Corte de puntas: Una vez se haya verificado en el cuadro de tensionamiento que las perdidas están dentro de los límites; y por lo tanto las elongaciones del cables son las esperadas, y que todos los datos sean revisados y aprobados por Interventoría; se procede a el corte de puntas, finalizando así el proceso de tensionamiento.



Foto 43. Corte de Puntas.



11 FALLAS DURANTE LA APLICACION DE PRESFUERZOS.

En la etapa de la aplicación del preesfuerzo por medio de un gato, es cuando se observan las mayores concentraciones de preesfuerzo en una estructura. Esto se debe a que el concreto regularmente está aún en sus primeras horas de vida y su resistencia aún no ha sido alcanzada en su totalidad. Es por esto que la ocurrencia de fallas es más común en esta etapa que en cualquier otra.

La falla más común en esta etapa, es la rotura de uno de los cables. Esto regularmente ocurre cuando el acero de armadura activa utilizado no posee estrictos estándares de control durante la fabricación o durante su almacenaje.

La corrosión es un factor decisivo durante esta etapa pues es aquí cuando la concentración de esfuerzos en el acero se hace crítica.

Otra falla común en esta etapa, ocurre durante la transferencia del preesfuerzo. Debe existir una supervisión adecuada para garantizar la secuencia correcta en la aplicación del preesfuerzo a cada cable. Esto sucede en estructuras donde hay más de un cable.



12 PATOLOGIAS EN EL CONCRETO PRESFORZADO.

Muy a menudo la gente piensa que hasta que una estructura colapsa se dice que falla. Pero en realidad la falla es cualquier comportamiento no esperado para las condiciones de estabilidad de una estructura. Ocurren en todo tipo de estructuras cortas y largas, bajas y altas, mínimas y monumentales, ya sean construidas con marcos de madera, acero, concreto reforzado o concreto preesforzado.

En las edificaciones de concreto preesforzado se pueden observar fisuras que aparecen a lo largo de muchos años o en las primeras horas de vida de la estructura. Las causas de estas fisuras, pueden ser muchas y las fallas estructurales por fisuras, solo representan una parte de las muchas causas que provocan comportamientos no esperados en ellas.

Una de las principales causas y la más incidente es la negligencia. Desde aquí se originan problemas desde la etapa estructural hasta la etapa de puesta en servicio de la estructura, esto se ve reflejado cuando se observan pérdidas económicas y la pérdida de las vidas; tanto del personal que dentro de la obra laboran o cuando se presentan accidentes de la estructura ya puesta en servicio; por ello la preocupación más grande que todo ingeniero debe tener; es la seguridad.

Este problema se presenta cuando se anteponen intereses de tipo económico que es uno de los casos más comunes; no solo en Colombia si no a nivel mundial.



Las investigaciones sobre patologías de las estructuras han demostrado que el agrietamiento en el concreto no se puede evitar totalmente, sin embargo sí es posible reducirlo al mínimo. A continuación se presenta un resumen de las fallas más comunes en el concreto preesforzado según lo observado en obra y aportes de los ingenieros de VSL dedicados a esta área de la ingeniería civil.

a. Ignorancia :

- Incompetencia de los hombres encargados del diseño, construcción e inspección.
- Supervisión y mantenimiento por parte de personas sin la experiencia necesaria.
- Adquirir las responsabilidades vitales sin la experiencia y conocimiento necesario.
- Competencia sin supervisión.
- Falta de experiencia.
- Falta de suficiente información preliminar.

b. Economía:

- En el costo primario.
- En el mantenimiento.

c. Descuidos, errores o equivocaciones:



- Una persona cuidadosa y competente que demuestra negligencia en cierta parte del trabajo.
- Un contratista o un superintendente toma el riesgo, sabiendo que lo está tomando.
- Falta de propia coordinación en producción de planes.

d. Casos no frecuentes o casos accidentales:

- Sismos, tormentas, incendios, etcétera.

Los parámetros más importantes que influyen en el proyecto y tecnología del concreto son dos: Uno es la relación agregado/cemento y el otro es la relación agua/cemento. De ellos depende en gran parte no sólo las resistencias mecánicas, sino también, la durabilidad y la estabilidad del concreto a lo largo del tiempo. La patología de una estructura puede presentarse de diversas formas, las más importantes son:

- Aparición de rugosidades superficiales.
- Formación de una película superficial, adherente o no, constituida por reacción química entre agentes agresivos y el concreto endurecido.
- Cambios de coloración.
- Degradaciones superficiales.
- Aparición de fisuras.
- Deformaciones excesivas.

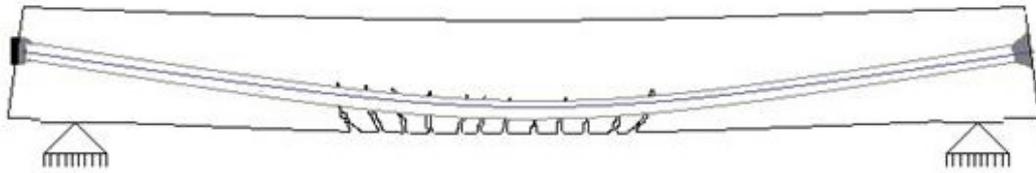


Figura 7. Fallas en una viga Preesforzada Grietas

Entre los daños más frecuentes en elementos estructurales se encuentran las fisuras y grietas, los resquebrajamientos, Los hormigueros, segregaciones, etc.

Cuando el concreto está en proceso de curado una de las causas más comunes de agrietamiento es la retracción y las grietas se producen pues el concreto no ha alcanzado su máxima resistencia.

El concreto preesforzado posee la cualidad de ser un concreto de alta resistencia, considerándose un mínimo de 28MPa según la ACI. Esto es una ventaja en relación al concreto de baja resistencia, pues los concretos de alta resistencia presentan cualidades mecánicas y químicas que evitan la aparición de fisuras.

La principal causa de las fallas por fisura en el concreto preesforzado, al eliminar todas aquellas causadas por el hombre, son las fallas estructurales. Éstas se pueden clasificar en relación al esfuerzo que produce la carga aplicada y son:

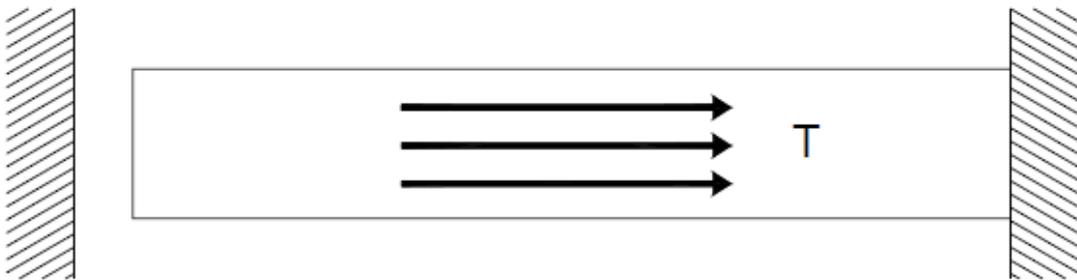
12.1 FISURAS POR ESFUERZOS DE TENSIÓN.

Las fisuras por tensión axial se consideran un tipo de falla poco frecuente en elementos de concreto preesforzado, debido a la compresión inducida previamente por medio del preesfuerzo. Regularmente ocurren en losas pretensadas. La forma en que se originan es a través de numerosas grietas de trazado perpendicular, ya sea a las barras principales del elemento, o a la dirección de dichos esfuerzos. Y por lo cual atraviesan la sección de una parte a otra, formándose casi simultáneamente, por lo general, en los lugares de los emplazamientos de los estribos.

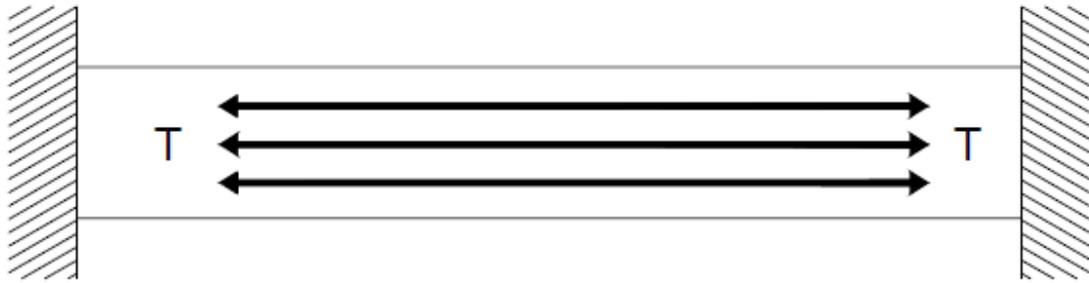
El agrietamiento por esfuerzos de tensión se debe principalmente a los fenómenos de retracción o contracción del concreto, que producen esfuerzos inducidos de tensión al reducir su tamaño por efectos de fraguado.

El proceso de agrietamiento por esfuerzos de tensión inducidos por estos fenómenos, se lleva a cabo como sigue:

- a. Elemento de Concreto de longitud "L": Si el elemento fragua sin tener restricción; se encoge libremente; sin que se produzcan fisuras.



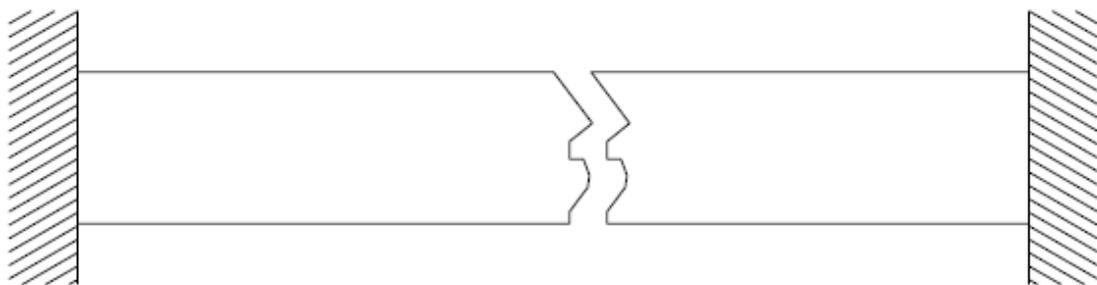
Si los extremos se encuentran restringidos, se desarrollan esfuerzos de tensión.



- b.** El esfuerzo de tensión se reduce al ser absorbido por la fluencia lenta del concreto y parte de estos esfuerzos se equilibran con la resistencia a la tensión del concreto.



- c.** Si el esfuerzo de tensión inducido es mayor que la resistencia a tensión del concreto ($f_t = 0.10f'_c$); este se fisura; desapareciendo el esfuerzo a tensión inducido.



12.2. FISURAS POR ESFUERZOS DE COMPRESIÓN.

En estructuras sobreesforzadas; o sea que fallan por concreto y no por acero, presentan un tipo de falla explosiva; ya que el acero no alcanza a fluir y las deformaciones que sufre el elemento son restringidas; mientras el concreto ya sobrepasa su límite de carga a compresión. Este tipo de falla es muy peligrosa y todos los ingenieros deben diseñar para que ésta jamás se presente.

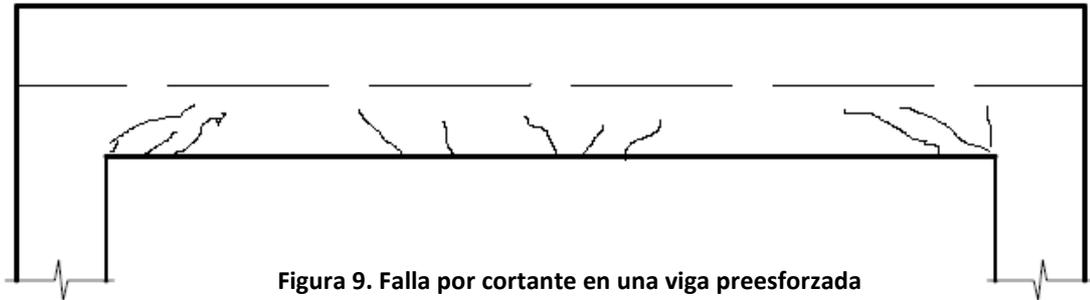


12.3 FISURAS POR ESFUERZOS DE CORTE

Las fisuras por esfuerzos de corte son un tipo de falla que avisan con tiempo de anticipación; iniciando casi siempre por las zonas de secciones angostas; como el alma y se expanden al resto del elemento. En el momento en que se aplica la carga límite; la estructura se parte en dos. Este proceso puede ser muy rápido e incluso instantáneo, por lo que se considera de suma peligrosidad. Los esfuerzos por corte se manifiestan por la aparición de grietas con una inclinación de 45° con respecto a la vertical.

Hay dos tipos de falla al corte: uno en la cual la falla inicia en el alma como resultado de la gran tensión principal y otro en el cual aparecen primero

grietas verticales de flexión y gradualmente se convierten en grietas inclinadas por corte.



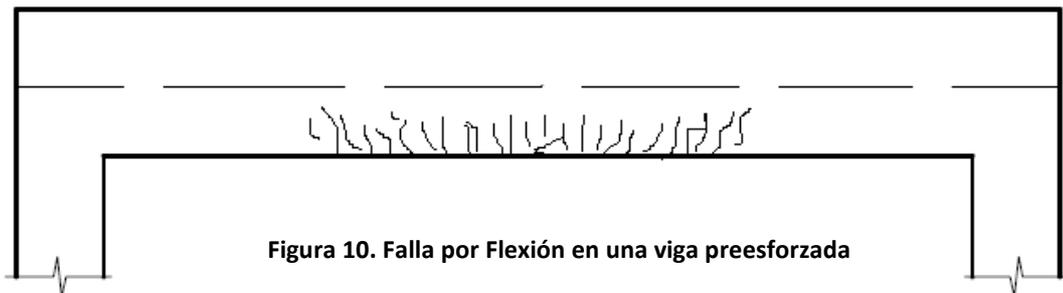
12.4 FISURAS POR ESFUERZOS DE FLEXIÓN

Este tipo de fisuras es la falla más común en vigas. Pueden aparecer durante la etapa de la transferencia o durante la etapa de la carga y sobrecarga de trabajo. Las fisuras de flexión típica inician en la fibra extrema de tensión y se extienden de forma más o menos lineal hasta el eje neutro, tomando una curvatura al final de la misma. Se detienen al alcanzar la fibra de compresión que nivela el esfuerzo.

El concreto preesforzado puede permitir determinada cantidad de fisuras de un ancho considerable en sus fibras bajo tensión. Este principio se debe a que el preesfuerzo permite deformaciones momentáneas durante la aplicación de una sobrecarga inesperada, retornando a su posición inicial al desaparecer dicha sobrecarga.

El problema surge cuando el límite de elasticidad de una estructura se supera (queda con deformación permanente) y el acero de preesfuerzo no es

capaz de restituir al elemento a la forma original, causando fisuras permanentes que afectan directamente la resistencia por flexión.



Las características principales de una falla de flexión son las siguientes:

- No afectan a toda la profundidad de la viga, ya que se detienen en las proximidades de la fibra neutra.
- Su aparición es de variado número y bastante juntas.
- Las fisuras aparecen bajo los efectos de las cargas de diseño y desaparecen al retirar estas cargas.
- Por lo general son perpendiculares al eje de la pieza, inclinándose luego más o menos, según el valor del esfuerzo cortante.

12.5. FISURAS POR ESFUERZOS DE TORSIÓN.

Es una falla de tipo frágil en la cual el concreto se aplasta. Ocurre por efectos de los esfuerzos de flexión. Su efecto produce fisuras a 45° que cruzan en dirección opuesta en ambas caras del elemento estructural.

Este tipo de fisuras se suele encontrar en las vigas, cuando existe una viga que arriostra los pórticos de luces descompensadas.

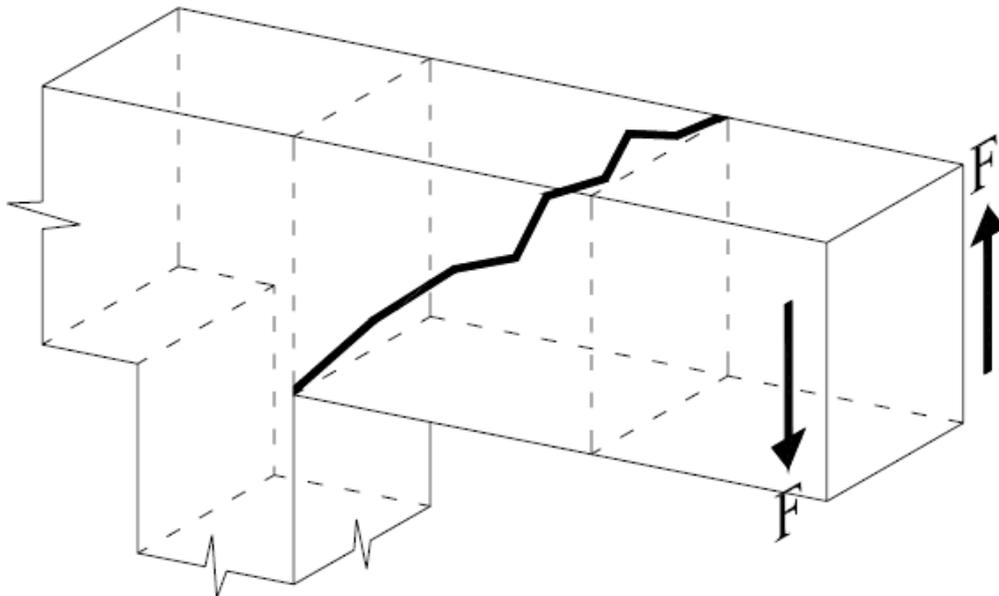


Figura 11. Falla por esfuerzo de torsión.

Otras patologías comunes es el concreto preesforzado; son las siguientes:

12.6 PANDEO DE VIGAS.

Algunas vigas presforzadas sufren pandeos que pueden ser productos de un diseño defectuoso, la mala instalación de los cables; donde los cables se instalan fuera del eje vertical de la viga, o se aplican cargas diferentes y producen una excentricidad, que se observan hasta después de aplicar los esfuerzos en la viga.

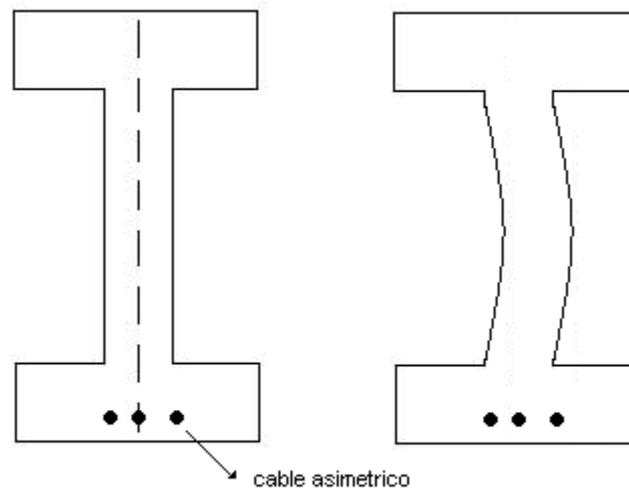


Figura 12. Pandeo originado por mala colocación de cables

En consecuencia la viga tendrá esfuerzos no considerados en sus caras laterales y pueden sobrepasar los límites admisibles, cambiando el diseño para el que fue planeada.

Si la viga no ha sobrepasado los límites entonces se puede corregir el pandeo; colocando barriles o puntales muy fuertes a sus costados; con el fin de cambiar la flecha del pandeo y tratar de equilibrarlo con el diseño original; una vez se haya disminuido la falla se procede a su instalación y se construyen las riostras y el tablero que frenarán la deformación



12.7 TAPONAMIENTO DE DUCTOS.

Las causas que producen esta falla ya se has explicado anteriormente:

- Hendiduras y perforaciones en el ducto por oxidación o vibración.
- Ingreso de lechada durante el hormigonado debido a traslapos mal hechos o mal sellados.

Si el taponamiento es muy grande; puede impedir el tensionamiento del cable; haciendo que la transferencia de esfuerzos llegue solo a este punto y no se propague al resto del cable.

Si el taponamiento es pequeño puede aumentar las perdidas por fricción además de presentar problemas en la inyección, ya que si esta es tiene una consistencia muy pastosa; probablemente no podría pasar.

Cuando este caso se presenta lo recomendable es romper la viga en el punto donde se ha estimado se encuentra el taponamiento y se procede a extraerlo; luego se coloca nuevo ducto y se procede a insertar y tensionar el cable.

12.8 MALA COLOCACION DE ANCLAJES.

En muchos casos debido a desconocimiento o negligencia; los cajetines de los anclajes; no se dejan y si se dejan se hacen muy pequeños de tal manera que el gato no cabe.

Otra falla es que no se dejan con la inclinación que estos deben tener; pues se recuerda que se deben colocar en forma perpendicular al cable (Este sigue una trayectoria parabólica) y no con la cara de la viga.

Si el cajetín es muy pequeño; se rompe la viga hasta lograr las medidas necesarias para que el gato entre.

Si la inclinación del anclaje no es la adecuada aumentara la fricción en proporciones muy elevadas, y se puede llegar a romper el torón debido al cambio brusco de dirección. La solución más acorde para este problema es colocar una platina; donde se incrustara un cilindro del mismo material y características del anclaje; y que lleva la inclinación necesaria para continuar con le tensionamiento.

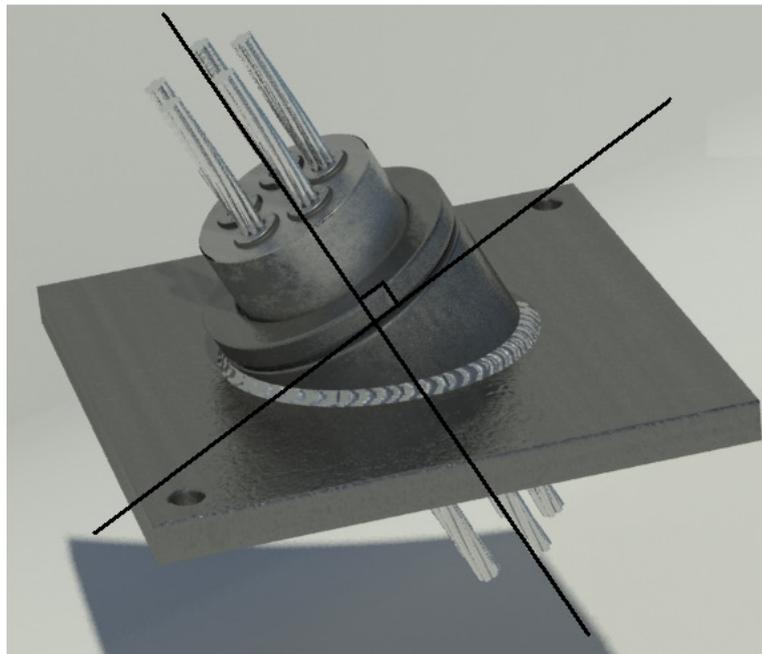


Imagen 10. Inclinación del anclaje; perpendicular a la trayectoria del cable.

13 PATOLOGIAS EN EL ACERO DE PRESFUERZO.

La falla más común en el acero de preesfuerzo, es la causada por la corrosión. El acero de preesfuerzo posee características mecánicas que lo hacen ser sumamente flexible. Sufre grandes deformaciones antes de llegar a la ruptura. Es por esto, que la falla en el acero siempre será causada por un esfuerzo de tensión, que exceda su límite de llevándolo a una falla súbita de ruptura.

La corrosión es una de las principales causas de falla; ya que esta disminuye el área efectiva del torón; ésta puede ser evitada mediante la correcta aplicación de las lechadas, cuando la estructura posee conductos o mediante un correcto vibrado del concreto cuando el anclaje se hace por adherencia. Esto garantiza la hermeticidad del acero ahogado en concreto. Además deben evitarse las fisuras, pues si éstas superan los mínimos recomendados, permiten el paso de agentes corrosivos dentro de los conductos y llegar así a afectar la armadura activa.



Imagen 11. Patologías del torón: aplastamiento, Destoronamiento y oxidación



14 APLICACIONES DEL CONCRETO PRESFORZADO.

14.1 PUENTES.

En el proyecto de un puente, la primera pregunta que el diseñador se realiza; es saber ¿cómo va a ser?, es decir qué tipo de estructura va a tener, qué material se va a utilizar, cuáles van a ser sus luces, etc. Para responderse esta pregunta es necesario saber otros factores: el primero de ellos es conocer su comportamiento resistente, es saber cómo va a ser su estructura. Una vez se encuentra respuesta a esta primera se prosigue con la segunda: ¿cómo se va a hacer?, es decir, el procedimiento a seguir para llevar a buen fin su construcción. La respuesta se basa básicamente en 2 aspectos: el primero es a qué altura van a estar las pilas del puente y cuáles son las luces del mismo. Si el puente es esbelto y de luces grandes; La solución es utilizar hormigón preesforzado. Debido a que los procesos constructivos para estos tipos de puente son más fáciles y proporcionan buen rendimiento a que si se realizaran por cualquier otro. El proceso de construcción adecuado será el que necesite los mínimos medios de fabricación y montaje, o los mínimos materiales adicionales para poder resolver la construcción, es decir, para conseguir que las estructuras parciales se soporten a sí mismas y soporten la fase siguiente.

Existen diferentes tipos de puentes en concreto preesforzado: atirantados, extradados, en vigas etc.

14.1.1 Puentes en voladizos sucesivos: Un puente por voladizos sucesivos se deberá construir como su nombre lo indica; por adición de partes sucesivas, de forma que en cada etapa de construcción se crea una estructura parcial que se debe resistir a sí misma y debe permitir la construcción de la fase siguiente, en otras palabras; el método consiste en construir la superestructura a partir de las pilas o pilones, agregando tramos parciales que se sostienen del tramo anterior. Esta maniobra se realiza de manera más o menos simétrica a partir de cada pilón, de manera que se mantenga equilibrado y no esté sometido a grandes momentos capaces de provocar su vuelco. Las secciones parciales se construyen In-situ; algunas utilizando la técnica de encofrado deslizante (carros de avance) o se construyen como dovelas prefabricadas que se llevan a su sitio utilizando grandes grúas.



Foto 44. Puente en voladizos sucesivos, Barranca – Yondó

Vale la pena recalcar que el siguiente procedimiento solo describe el correspondiente a preesforzado; por tanto se descarta el proceso constructivo de la subestructura, colocación del refuerzo pasivo y hormigón.

A. Equipo:

- **Carros de avance:** En Colombia el método más utilizado; usando voladizos sucesivos son los carros de avance.



Foto 45. Ensamble de Carros

Imagen 12. Elementos Anteriores del carro de avance

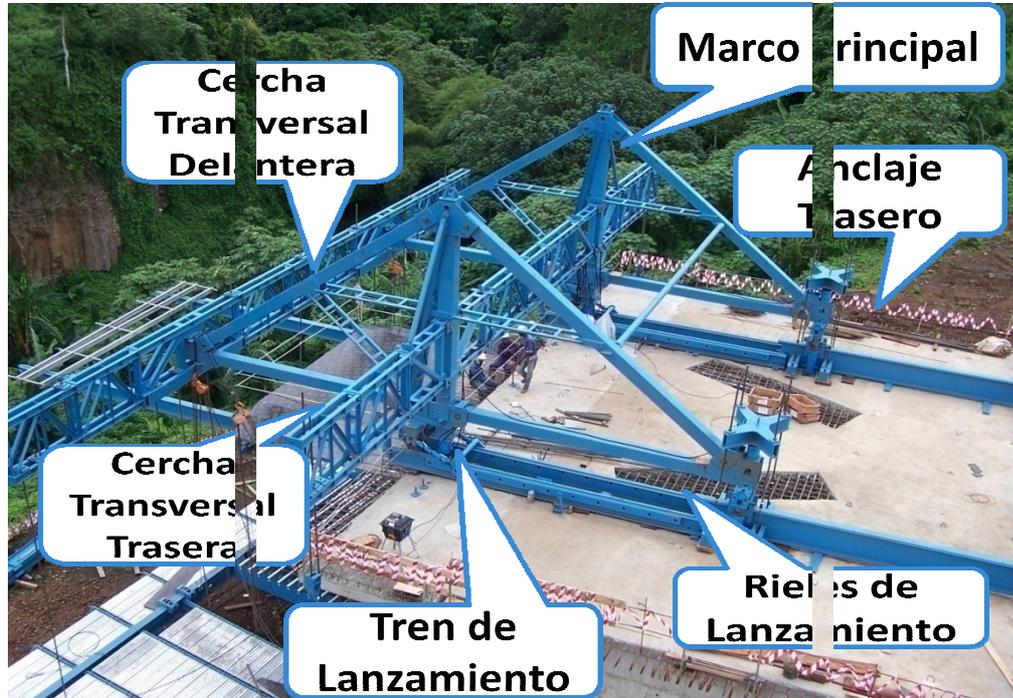
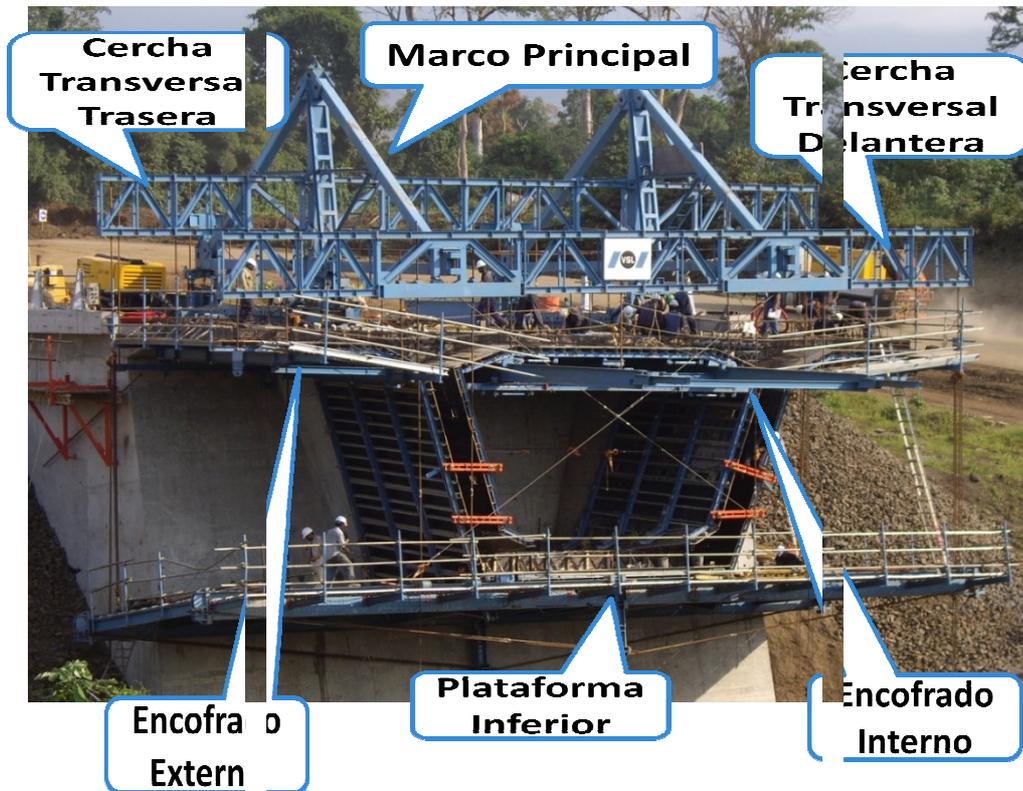


Imagen 13. Elementos posteriores del carro de avance

Esta estructura se monta sobre rieles y se apoya o ancla sobre la dovela anterior. El encofrado de la dovela se encuentra suspendido de la estructura metálica.

- **Equipos de postensado:**

- ✓ Centrales eléctricas.
- ✓ Gatos
- ✓ Enfiladora
- ✓ Inyectora

B. Procedimiento constructivo: La pasante realizó visitas de obra, donde se chequearon los siguientes procesos tanto constructivos como en equipos:

- Chequeo de alineamiento de los carros de avance, encargados de construir las dovelas, esto se realizó haciendo tomas de topografía de carro a carro



Foto 46. Chequeo Topográfico



- Se verificó el correcto funcionamiento de los carros
- Se calibraron y cambiaron los gatos que tanto por norma se deben ajustar tres veces al año; o proporcional a su uso .
- Se chequeó el correcto almacenamiento y manejo de materiales y equipos; de la forma como se describe en el Apartado 8.3
- Revisión de ductos: Instalación, traslajos, sellos

Una vez realizados los controles de obra, vía email se remitían por parte de los tensionadores los cuadros de tensionamiento, para revisar alargamientos y aprobar o rechazar el proceso.

Nota 6: ver Anexo 7: Cuadro de tensionamiento o control de alargamiento.

El procedimiento es muy sencillo y se desarrolla como sigue: En primer lugar se coloca la dovela cero; se debe garantizar estabilidad durante la construcción empotrando las dovela sobre las cabezas de la pila, ya que la dovela cero es maciza y es más pesada que las demás que se construyen en cajón. A partir de este y a los lados se colocan los carros de avance.



Foto 47. Construcción de dovela cero o sobre pila



Foto 48. Construcción de dovelas laterales - T; Puente Yondó



Foto 48. Carro sobre Dovela 18; Puente Yondó



Foto 49. Carro sobre Dovela de Cierre; Puente Yondó

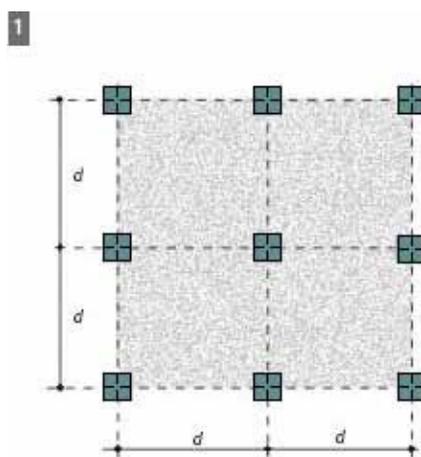
14.2 EDIFICACIONES.

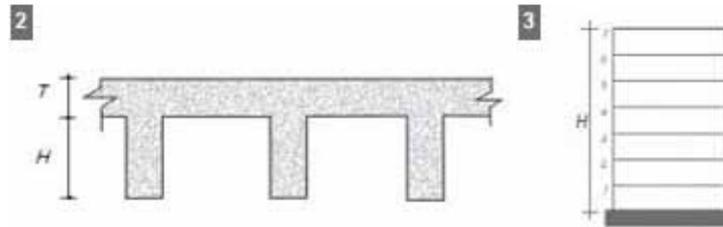
La técnica del concreto postensado es muy utilizada en la construcción de puentes; pero en cuanto a su utilización en edificaciones la utilización es muy poco; gran parte de este desconocimiento de la técnica se debe al desconocimiento del método, poca tecnificación, personal no calificado y al éxito de las técnicas tradicionales.

A continuación se muestra gráficamente las diferencias básicas de un sistema estructural tradicional y un sistema postensado para edificaciones.

Sistema tradicional:

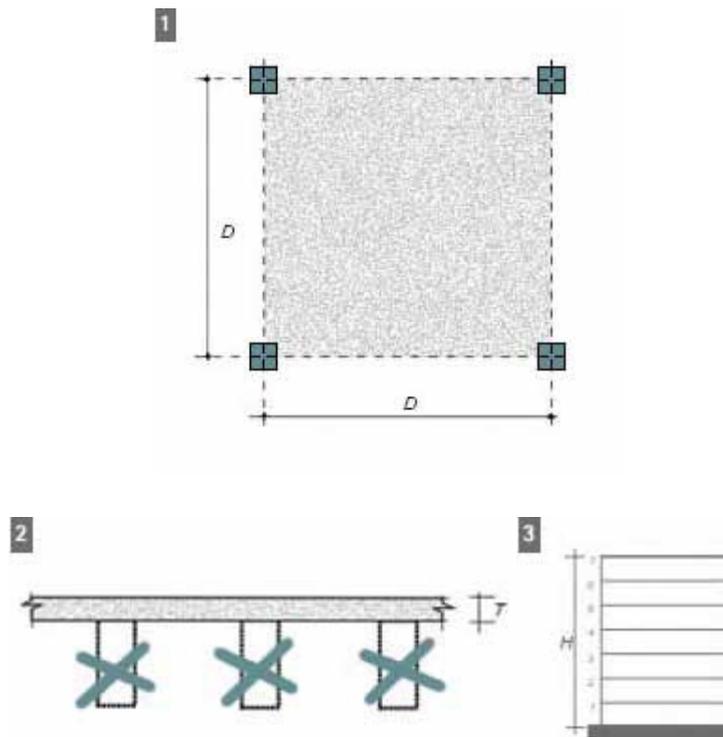
1. Menor espaciamiento de columnas.
2. Existen nervios y riostras.
3. Mayor altura.





Sistema Preesforzado.

1. Amplitud entre columnas: significa mayor comodidad.
2. No hay vigas, losa plana: lo que significa mayor velocidad de construcción.
3. Menor altura del edificio: significa ahorro estructural y en acabados.



14.2.1 Postensado Monotorón: Debido a que las losa tienen un espesor muy pequeño; no se puede utilizar cables multitorón ni tampoco el sistema adherido; por tanto se utiliza sistemas monotorón no adherido o sea encauchetado.

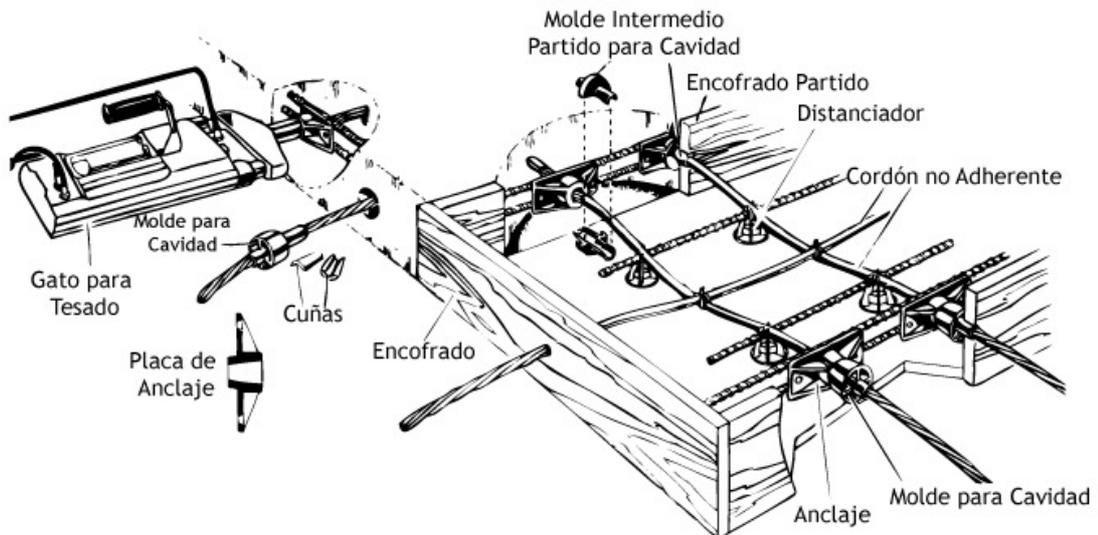


Imagen 14. Sistema preesforzado no adherido en losas de

A. Equipos: Para preesforzado en losas se utiliza un gato hidráulico monotorón que puede ser twin (doble acción) o alevín (acción simple); son su respectiva bomba eléctrica.



Foto 50. Gato twin y Bomba eléctrica

B. Accesorios: Los accesorios que se utilizan para postensado no adherido monotorón son los siguientes:

- Moldes o conos plásticos para cavidad: Se utilizan en el encofrado; como un tapón para que el concreto no ingrese al anclaje; una vez el concreto permita tensionar los cables, los conos se retiran dejando un hueco que nos permitirá tensionar el cable.



Imagen 15. Cono o molde para cavidad

- Sillas: cumplen la misma función que los separadores de mortero; garantizar un recubrimiento y que queden en los puntos altos de la losa; ya que debido a su peso tienden a acomodarse en la base de la misma.



Foto 51. Sillas de sostenimiento.

- Anclajes y cuñas: su función es transmitir la presión a la losa.



Foto 52. Anclaje Monotorón

C. Proceso constructivo: El proceso de tensionamiento es muy sencillo y debe seguir los siguientes pasos:

✓ Una vez se haya realizado el encofrado y se hayan instalado las mallas electrosoldadas; se realiza el replanteo de los cables en el borde de la losa; se procede a perforar el encofrado con la ayuda de un taladro y se instalan los anclajes y conos para el cajeadado.



Foto 53. Instalación de anclajes

✓ Se procede a colocar la armadura activa; enfilando los cables desde un extremo hasta el otro; en los extremos se procede a cortar la vaina y se deja el torón desnudo.



Foto 54. Ubicación del refuerzo activo.

- ✓ Se amarran al refuerzo pasivo inferior atándolos con bridas; si se atan con alambre se debe tener cuidado de no apretar mucho de manera tal que se pueda romper la vaina del torón.
- ✓ Se hace un nuevo replanteo; y se realiza el hormigonado de la losa.



Foto 55. Hormigonado.

- ✓ Una vez el concreto alcance la resistencia requerida; se retiran los conos de molde. Se limpian el torón y el anclaje y se procede a colocar las cuñas para realizar el tensionado del cable.



Foto 56. Retiro de Conos

- ✓ Una vez transmitidos los esfuerzos, se procede a medir alargamientos; si estos están dentro del los límites establecidos, se procede a anclar cuñas y desmontar el gato.



Foto 57. Aplicación de esfuerzos.

-
- ✓ Por último se corta el cable, se tapona el anclaje y el cajetín con mortero; dando por finalizado el postensado.



Foto 58. Taponamiento de anclaje



15. SEGURIDAD INDUSTRIAL.

- El personal de VSL; se somete a charlas técnicas de seguridad industrial, para evitar riesgos de accidente; así mismo se certifican para trabajar en alturas, lugares cerrados, con poca ventilación y profundidades. Todo operario nuevo debe tomar este curso como requisito de trabajo.
- Se les proporciona todo el equipo de seguridad que requieran: gafas, casco, tapabocas, arnés, botas de punta reforzada, overoles y camisas resistentes, chalecos, guantes, tapa oídos entre otros; Operario que no tenga su equipo de seguridad; no entra a la obra y recibe una sanción disciplinaria y multa.
- Ningún operario accede a la obra sin llevar el carnet de ARP.



Imagen 16. Carnet ARP

- Durante el tensionado de los cables; ninguna persona debe ubicarse tras del gato; debido a que si llegara a ocurrir alguna falla como el rompimiento de uno o más torones; esto provocaría que el gato salga disparado hacia atrás.
- Tampoco se permite que ninguna persona este en proximidades cercanas a la viga; debido a que en el momento del tensionamiento cambian las condiciones de apoyo de la misma y si esta no se encuentra sujeta por los costados; podría volcarse.



Foto 59. Equipo VSL – Seguridad Industrial



16. CUADRO COMPARATIVO DE OBJETIVOS

OBJETIVOS	TRABAJOS REALIZADOS
Participar en la ejecución de los trabajos para que las obras; desde el proceso de fabricación hasta la instalación de materiales; se realicen de acuerdo con los planos y especificaciones técnicas correspondientes	Se dispuso trabajar en los siguientes proyectos: <ul style="list-style-type: none">. Doble calzada: Buenaventura - Lobo Guerrero. Puente Calle 4 Sur. Cusiana: puente los Grillos. Edificio Cantagirone.
Control de Procesos Constructivos	<ul style="list-style-type: none">. Instalación de ductos y trompetas.. Tensionamiento. Chequeo de alargamientos.. Dosificación e inyección de lechada.. Seguridad industrial.
Control de Materiales y Equipos	<ul style="list-style-type: none">. Calibración gatos y manómetros. Inventario: Cuantificación, Inspección, compra y despacho de materiales y Equipos.. Almacenamiento y manejo.
Adicionales	<ul style="list-style-type: none">. Diseños de tubos tirantes puente 4 Sur: antivandalismo, Guía pylon - type. Cotizaciones, Asesorías Técnicas. Diseño de los Muros de Aproximación; puente Capital Musical – Ibagué. Tolima. Participar en procesos licitatorios: Proyecto Hidrosogamoso; Grupo III. Cronogramas de tensionamiento y distribución de operarios.

Nota: Ver Anexo 8; Planos tubos Antivandalismo Puente Calle 4 Sur
Ver Anexo 9; planos muros de aproximación puente Capital musical Ibagué.
Tolima.



OBSERVACIONES.

- El operario debe contar con suficiente experiencia en el manejo de la herramienta y herraje de preesfuerzo. Debe así mismo, conocer el sistema de preesfuerzo que está usando para evitar fallas por desperfectos en los anclajes.
- Se debe llevar un estricto control de las elongaciones de los cables y la fuerza aplicada a cada uno, medido en un manómetro. Si existe una diferencia entre estos datos, del 5% en elementos pretensados o de un 7% en elementos postensados, será necesaria una investigación técnica del elemento para determinar las causas de la falla.
- Cuando un elemento del cable tensado se rompe, la pérdida total de preesfuerzo no debe exceder del 2% del preesfuerzo total. Lo cual indica que en la mayoría de los casos, deberá reemplazarse el cable que ha sufrido una avería durante la aplicación de la carga.
- La forma correcta de transferir el preesfuerzo si se usa un soplete, es mediante cortes planificados para evitar preesfuerzos no deseados. Además, el corte debe realizarse lo más cerca posible del anclaje para reducir al mínimo los impactos en el concreto.



CONCLUSIONES

1. El presente trabajo de grado es una importante contribución a la Facultad de Ingeniería Civil de la universidad del Cauca – Colombia para mejorar el contenido del curso de Concreto Preesforzado dentro de la red de estudios de la carrera de ingeniería civil.
2. La experiencia que adquirida durante la pasantía en VSL – SISTEMAS ESPECIALES DE CONSTRUCCIÓN; ha significado una experiencia muy importante y valiosa; ya que además de ratificar los conocimientos durante los estudios de pregrado, se ha adquirido otros que sumados a la experiencia del trabajo de campo, planeación y control de procesos constructivos, afianzan el criterio ingenieril.
3. La metodología planteada para la construcción de estructuras presforzadas, cumple con los requisitos técnicos de los códigos de uso común en Colombia.
4. Es innegable el beneficio que presentan a los estudiantes de ingeniería civil realizar sus prácticas en empresas donde a diario de contemplan ejemplos de aplicación y las didácticas de investigación al proceso enseñanza-aprendizaje.
5. Con la presente guía de estudios se promueve el interés de los estudiantes y profesionales que deseen incrementar sus conocimientos en el área de estructuras de la carrera de ingeniería civil.



RECOMENDACIONES

1. La implementación del curso de Concreto Preesforzado como curso obligatorio en la carrera de ingeniería civil.
2. Debe implementarse un horario de trabajo dirigido en el cual sean expuestos temas relacionados al contenido de concreto preesforzado.
3. En la facultad de ingeniería no existe un departamento que se dedique exclusivamente a la investigación del concreto preesforzado, el cual debería ser implementado con la ayuda de entidades universitarias y privadas.
4. Seguir las recomendaciones de almacenamiento, transporte y manejo de materiales como las mínimas precauciones para evitar accidentes y sucesos infortunados dentro de los talleres y obra



BIBLIOGRAFÍA

- VALLECILLA, Carlos Ramiro. Ing. Concreto Preesforzado. Universidad Santo Tomás de Aquino. Bogotá, Colombia.
- LLERAS PEREZ, Arturo. Ing. Concreto Preesforzado. Universidad Santo Tomás de Aquino. Bogotá, Colombia.
- INSTITUTO DEL CONCRETO, Concreto Preesforzado: diseño y construcción.
- GONZALES CUENCA, Alberto. Ing. Información personal. Director VSL Colombia. Bogotá, Enero-Junio de 2011. VSL.
- MARTINEZ, Ciro. Ing. Información personal. Director de Producción VSL Colombia. Bogotá, Enero-Junio de 2011. VSL.
- AMILLATEGUI, Fernando S. Y Carlos G. Pericot. Curso de Hormigón Pretensado. España: 1986. 535pp.
- Código de diseño de hormigón armado basado en el ACI 318-99. Chile: Comisión de diseño estructural en hormigón armado y Albañilería perteneciente a la corporación de desarrollo tecnológico De la cámara chilena de la construcción (CDEHAA-CCC). 2000. 576pp.
- FELD, Jacob. Fallas técnicas en la construcción. 2ª edición. México: Editorial Limusa SA. 1983. 491pp.
- NILSON, Arthur H. Diseño de estructuras de concreto preesforzado. México: Editorial Limusa, 1990. 604 pp.
- Standard specifications for highway bridges. 16ª edición. Estados Unidos de Norte América: Adoptado y publicado por la american association of state highway and transportation officials (AASHTO).1996.173 pp.
- Documentación obtenida de internet, entre otros:
 - ✓ Asociación Colombiana de Ingenieros; www.aciem.org
 - ✓ Productos SIKA: www.sika.com.co



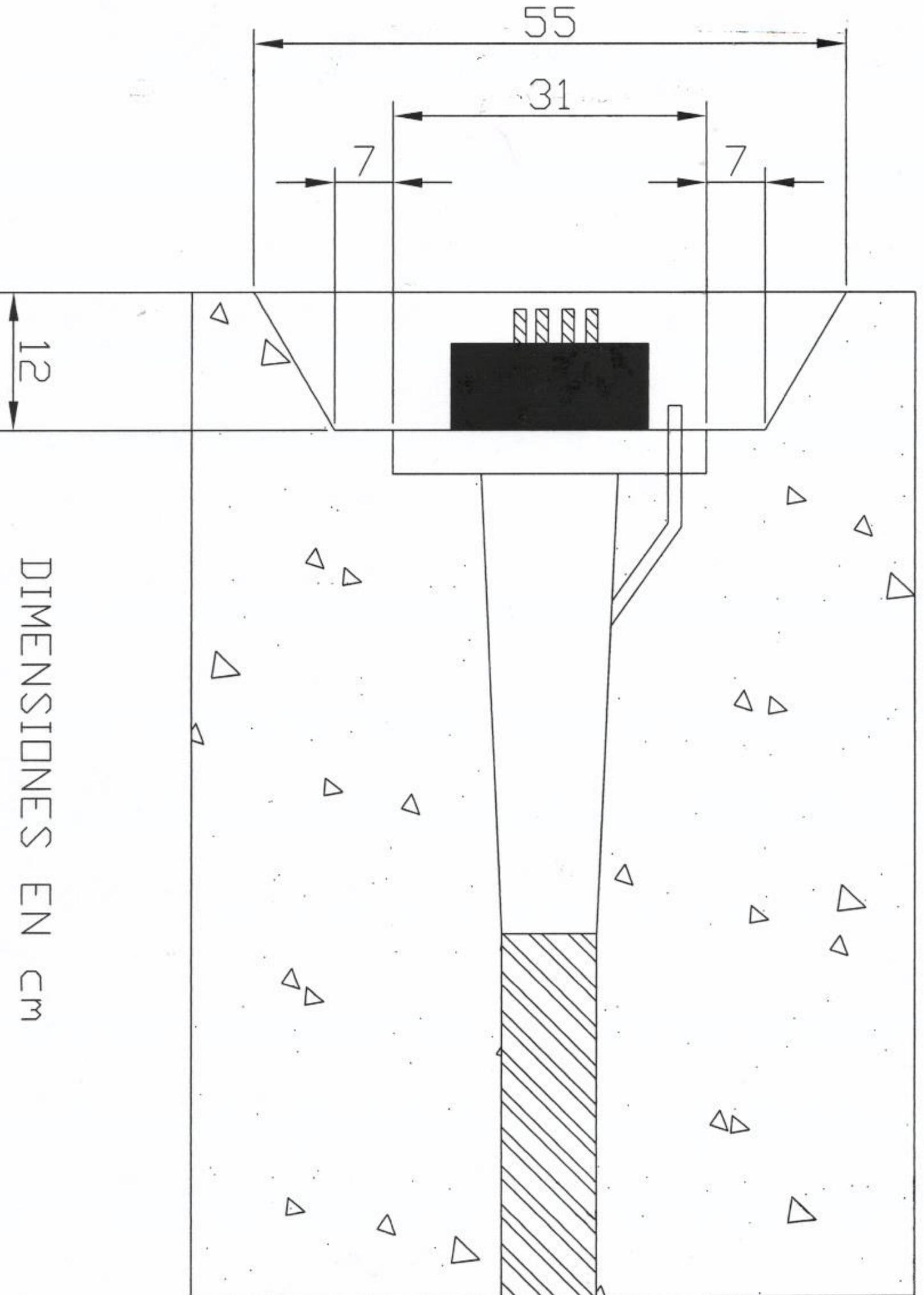
- ✓ NOTICRETO; revista de la técnica y la construcción; Especial de Puentes En concreto, Edición 99. 2010.
- ✓ VSL International: www.vsl.com.
- ✓ Constructora CONCONCRETO: www.conconcreto.com



ANEXOS

1. Detalle de Cajetín de tensionamiento para un gato ZPE 460
2. Planos de viga preesforzada.
3. Cotización de Postensado. (Modelo VSL)
4. Cuadro de cálculo de materiales: Puente calle 4 Sur. Medellín
5. Orden de compra CTT STRONHOLD.
6. Orden de Compra VSL Colombia.
7. Cuadro control de alargamiento; puente los Grillos – Cusiana
8. Planos de diseño tubos antivandalismo; Puente calle 4 Sur- Medellín.
9. Planos diseño Muros de Aproximación; Puente Capital Musical – Ibagué.
10. Resolución de Pasantía Universidad del Cauca.
11. Certificado de Cumplimiento de pasantía VSL- Colombia

CAJETINES DE TENSIONAMIENTO 19-0.6"



DIMENSIONES EN cm

Bogotá D.C. Febrero 16 de 2011.

COT 003-11A

Señores
CONALVIAS S.A.
Atn. Ing. Andrea Rincón.
Bogotá.

Referencia: PROYECTO HIDROSOGAMOSO VIA SUSTITUTIVA GRUPO III.
Asunto: COTIZACION SUMINISTRO JUNTAS.

Respetados señores,

De acuerdo con su solicitud, nos dirigimos a ustedes con el objeto de presentarles nuestra oferta para el suministro de juntas de dilatación.

Alcance de la oferta.

- La cotización incluye el suministro de la junta de dilatación con sus pernos, tuercas y arandelas, sin resinas.
- No se incluye la instalación, es decir, no incluye perforaciones, resinas ni mano de obra, éstos serán por cuenta de la obra.
- Las juntas se venden por módulos, el pedido deberá corresponder con la cantidad de módulos completos, incluyendo posibles desperdicios o sobrantes.
- Se incluyen todos los gastos de importación y transporte.
- El precio Tiene IVA INCLUIDO.
- Lugar de Entrega Bogotá.

Precios de Juntas de dilatación Elastoméricas:

Descripción	Cantidad (ml)	Vr Unit. (\$/ml)	Vr Parcial (\$)
JUNTA TIPO FREYSSINET WP550 o Equivalente	23	\$ 8.952.000	\$ 205.896.000

Plazo.

- Entregas parciales, 2 meses después de legalizar la orden de compra.

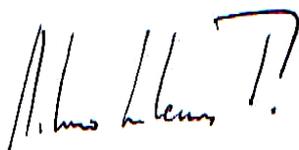
Forma de Pago.

- Anticipo del 50%
- 50% a contraentrega.

Validez de la oferta.

La presente propuesta tiene validez de 1 mes.

Sin otro particular, y quedando a su disposición para aclarar cualquier duda al respecto, les saluda atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Arturo Lleras Perez'.

Ing. Arturo Lleras Perez.

Gerente

PP Ing. Diana Y. Samudio

EJE	TIRANTE	N° DE TORONES	ANCLAJE TIPO	COORDENADAS EN P	
				X	Y
C	TIRANTE 1 DER	43	6-43	282,490	-0,310
	TIRANTE 1 IZQ	43	6-43	282,490	0,310
	TIRANTE 1 CENT	85	6-85	282,470	0,000
	TIRANTE 2 DER	27	6-31	283,397	-0,395
	TIRANTE 2 IZQ	27	6-31	283,397	0,395
	TIRANTE 2 CENT	77	6-85	282,510	0,000
	TIRANTE 3 DER	26	6-31	282,808	-0,405
	TIRANTE 3 IZQ	26	6-31	282,808	0,405
	TIRANTE 3 CENT	48	6-55	282,640	0,000
	TIRANTE 4 DER	20	6-22	282,755	-0,415
	TIRANTE 4 IZQ	20	6-22	282,755	0,415
	TIRANTE 4 CENT	102	6-109	282,630	0,000
	TIRANTE 5 DER	27	6-31	284,170	-0,386
	TIRANTE 5 IZQ	27	6-31	284,170	0,386
	TIRANTE 6 DER	22	6-22	285,581	-0,413
	TIRANTE 6 IZQ	22	6-22	285,581	0,400
	TIRANTE 6 CENT	103	6-109	285,710	0,000
	TIRANTE 7 DER	28	6-31	285,518	-0,394
	TIRANTE 7 IZQ	28	6-31	285,506	0,385
	TIRANTE 7 CENT	70	6-73	285,700	0,000
	TIRANTE 8 DER	29	6-31	284,860	-0,350
	TIRANTE 8 IZQ	29	6-31	284,860	0,350
	TIRANTE 8 CENT	104	6-109	285,830	0,000
	TIRANTE 9 DER	37	6-37	285,850	-0,310
TIRANTE 9 IZQ	37	6-37	285,850	0,310	
TIRANTE 9 CENT	100	6-109	285,850	0,000	
D	TIRANTE 10 DER	37	6-37	387,490	-0,310
	TIRANTE 10 IZQ	37	6-37	387,490	0,310
	TIRANTE 10 CENT	100	6-109	387,490	0,000
	TIRANTE 11 DER	29	6-31	388,480	-0,350
	TIRANTE 11 IZQ	29	6-31	388,480	0,350
	TIRANTE 11 CENT	104	6-109	387,510	0,000
	TIRANTE 12 DER	28	6-31	387,831	-0,387
	TIRANTE 12 IZQ	28	6-31	387,837	0,382
	TIRANTE 12 CENT	70	6-73	387,640	0,000
	TIRANTE 13 DER	22	6-22	387,766	-0,400
	TIRANTE 13 IZQ	22	6-22	387,769	0,400
	TIRANTE 13 CENT	103	6-109	387,630	0,000
	TIRANTE 14 DER	27	6-31	389,170	-0,391
	TIRANTE 14 IZQ	27	6-31	389,170	0,397
	TIRANTE 15 DER	20	6-22	390,585	-0,415
	TIRANTE 15 IZQ	20	6-22	390,584	0,415
TIRANTE 15 CENT	102	6-109	390,710	0,000	
TIRANTE 16 DER	26	6-31	390,532	-0,405	

TIRANTE 16 IZQ	26	6-31	390,532	0,405
TIRANTE 16 CENT	48	6-55	390,700	0,000
TIRANTE 17 DER	27	6-31	389,943	-0,395
TIRANTE 17 IZQ	27	6-31	389,943	0,395
TIRANTE 17 CENT	77	6-85	390,830	0,000
TIRANTE 18 DER				
TIRANTE 18 IZQ	43	6-43	390,870	0,000
TIRANTE 18 CENT	85	6-85	390,850	0,310

DIAMETRO DEL TORON	0,6
PESO ESPECIFICO	1,22

Vaina	L (m)	5%	W(Kg)
Ø 160	945,374	946,424	2877,12896
Ø 180	288,316	289,366	902,82192
Ø 200	279,87	280,920	1078,7328
Ø 225	24,5	25,550	123,662
Ø 250	237,57	238,620	1431,72
Ø 280	15	16,050	119,8935
Ø 315	279,59	280,640	2652,048
Ø 355	20	21,050	254,705
TOTAL	2090,220	2098,620	9440,71218

Tipo de Anclaje	cantidad	Vaina	expansión sleeve	Vaina en Tension Ring	Cantidad pylon conection
6-22	16	Ø 160	Ø 180	-	8
6-31	40	Ø 160	Ø 180	Ø 200	20
6-37	8	Ø 180	Ø 200	Ø 225	4
6-43	6	Ø 200	Ø 225	Ø 250	3
6-55	4	Ø 200	Ø 225	Ø 250	2
6-73	4	Ø 250	Ø 280	Ø 315	2
6-85	8	Ø 250	Ø 280	Ø 315	4
6-109	16	Ø 315	Ø 355	-	8
	102				51

Tipo de Anclaje	tubo antibandalismo				
	Ø A3 (mm)	Ø j int (mm)	e (mm)	l (m)	cantidad
6-43	200	447,4	3	3,43	2
				3,59	1

6-85	250	536,4	3	2,6	1
				1,96	2
				2,47	1
6-31	160	344,9	3	3,29	4
				2,71	4
				2,24	4
				2,74	4
				3,33	4
6-55	200	447,4	3	1,77	2
6-22	160	319,5	3	2,5	8
6-109	315	587,4	3	0,12	4
				1,6	2
				2,33	2
6-73	250	536,4	3	1,38	2
6-37	180	376,6	3	3,77	4
					51

ILONO	COORDENADAS EN EL TABLERO			ANGULO		
	Z	X	Y	Z	Angulo θ	Angulo θ
					GRADOS	RADIANES
1540,920	234,930	-19,525	1503,5818	36,1	0,63	
1540,920	234,930	19,525	1503,5818	36,1	0,63	
1539,640	235,281	0,000	1503,7755	37,2	0,65	
1538,800	247,381	-19,445	1504,0787	40,4	0,71	
1538,800	247,381	19,445	1504,0787	40,4	0,71	
1536,580	247,205	0,000	1504,1651	42,6	0,74	
1535,536	259,675	-19,435	1504,3265	46,2	0,81	
1535,536	259,675	19,435	1504,3265	46,2	0,81	
1533,650	259,327	0,000	1504,2533	51,6	0,90	
1532,315	271,909	-19,428	1504,5006	51,8	0,90	
1532,315	271,909	19,428	1504,5006	51,8	0,90	
1529,270	271,790	0,000	1504,5618	66,3	1,16	
1529,484	284,170	-19,436	1504,5993	52,6	0,92	
1529,484	284,170	19,436	1504,5993	52,6	0,92	
1532,320	296,498	-19,455	1504,5941	51,6	0,90	
1532,339	296,498	19,455	1504,5941	51,6	0,90	
1529,270	296,633	0,000	1504,6427	66,1	1,15	
1535,553	308,737	-19,428	1504,6051	45,9	0,80	
1535,568	308,737	19,428	1504,6051	45,9	0,80	
1533,650	309,053	0,000	1504,5559	51,2	0,89	
1538,880	320,876	-19,406	1504,6032	40,1	0,70	
1538,880	320,876	19,406	1504,6032	40,1	0,70	
1536,580	321,223	0,000	1504,6733	42,0	0,73	
1540,920	333,215	-19,458	1504,5295	35,5	0,62	
1540,920	333,215	19,458	1504,5295	35,5	0,62	
1539,640	333,514	0,000	1504,6898	36,3	0,63	
1541,440	339,548	-19,691	1504,6065	35,5	0,62	
1541,440	339,564	19,685	1504,6190	35,5	0,62	
1540,160	339,169	0,000	1504,7281	36,3	0,63	
1539,400	352,090	-19,605	1504,7667	40,1	0,70	
1539,400	352,093	19,603	1504,7701	40,1	0,70	
1537,100	351,707	0,000	1504,8231	42,0	0,73	
1536,084	364,407	-19,588	1504,8641	45,9	0,80	
1536,093	364,416	19,581	1504,8758	45,9	0,80	
1534,170	364,096	0,000	1504,8375	51,2	0,89	
1532,858	376,798	-19,532	1505,0020	51,6	0,90	
1532,858	376,799	19,530	1505,0052	51,6	0,90	
1529,790	376,653	0,000	1505,0400	66,1	1,15	
1529,997	389,170	-19,436	1505,1193	52,6	0,92	
1529,997	389,170	19,436	1505,1193	52,6	0,92	
1532,835	401,402	-19,376	1505,0973	51,8	0,90	
1532,835	401,403	19,379	1505,0927	51,8	0,90	
1529,790	401,513	0,000	1505,1675	66,3	1,16	
1536,056	413,514	-19,311	1505,0495	46,2	0,81	

1536,056	413,504	19,303	1505,0637	46,2	0,81
1534,170	413,806	0,000	1505,0353	51,6	0,90
1539,320	425,504	-19,205	1505,0374	40,4	0,71
1539,320	425,497	19,201	1505,0445	40,4	0,71
1537,100	425,636	0,000	1505,1436	42,6	0,74
1540,160	437,363	19,102	1504,9239	35,0	0,61
1541,400	436,899	0,000	1505,1771	38,2	0,67

ALTURA DE ANTIBANDALISMO ; CON UN ESPESOR DE TABLERO DE 1,0 M	3,7
---	-----

Ø pylon conexion	longitud pylon conexion (m)
Ø 180	1,08
Ø 200	
Ø 225	
Ø 250	
Ø 250	0,82
Ø 315	
Ø 315	
Ø 355	1,45

LONGITUD (m)	LONGITUD NETA	LONGITUD BRUTA	PESO NETO	PESO BRUTO	ANCLAJE	
					TIPO	h (n)
						TABLERO
63,90	2747,9	2812,4	3352,4	3431,1	6-43	145
63,90	2747,9	2812,4	3352,4	3431,1	6-43	145
59,93	5094,5	5222,0	6215,2	6370,8	6-85	210
53,92	1455,9	1496,4	1776,1	1825,5	6-31	130
53,92	1455,9	1496,4	1776,1	1825,5	6-31	130
48,59	3741,6	3857,1	4564,8	4705,7	6-85	210
43,65	1134,8	1173,8	1384,5	1432,1	6-31	130
43,65	1134,8	1173,8	1384,5	1432,1	6-31	130
38,02	1824,9	1896,9	2226,4	2314,2	6-55	165
35,81	716,3	746,3	873,9	910,5	6-22	110
35,81	716,3	746,3	873,9	910,5	6-22	110
27,68	2823,6	2976,6	3444,8	3631,5	6-109	215
31,73	856,6	897,1	1045,1	1094,5	6-31	130
31,73	856,6	897,1	1045,1	1094,5	6-31	130
35,78	787,2	820,2	960,4	1000,7	6-22	110
35,80	787,7	820,7	961,0	1001,3	6-22	110
27,64	2847,1	3001,6	3473,5	3662,0	6-109	215
43,51	1218,2	1260,2	1486,2	1537,4	6-31	130
43,53	1218,8	1260,8	1486,9	1538,2	6-31	130
37,88	2651,6	2756,6	3234,9	3363,0	6-73	180
53,63	1555,4	1598,9	1897,6	1950,7	6-31	130
53,63	1555,4	1598,9	1897,6	1950,7	6-31	130
48,35	5028,7	5184,7	6135,0	6325,3	6-109	215
63,16	2337,0	2392,5	2851,1	2918,8	6-37	140
63,16	2337,0	2392,5	2851,1	2918,8	6-37	140
59,81	5980,6	6130,6	7296,3	7479,3	6-109	215
63,92	2365,2	2420,7	2885,6	2953,3	6-37	140
63,90	2364,4	2419,9	2884,6	2952,3	6-37	140
60,62	6062,1	6212,1	7395,7	7578,7	6-109	215
54,19	1571,5	1615,0	1917,2	1970,3	6-31	130
54,18	1571,3	1614,8	1917,0	1970,1	6-31	130
48,91	5086,2	5242,2	6205,1	6395,5	6-109	215
43,89	1228,8	1270,8	1499,1	1550,4	6-31	130
43,88	1228,7	1270,7	1499,0	1550,2	6-31	130
38,19	2673,0	2778,0	3261,0	3389,1	6-73	180
35,95	790,9	823,9	964,9	1005,1	6-22	110
35,95	790,8	823,8	964,8	1005,1	6-22	110
27,78	2860,9	3015,4	3490,4	3678,8	6-109	215
31,72	856,4	896,9	1044,8	1094,2	6-31	130
31,72	856,3	896,8	1044,7	1094,1	6-31	130
35,72	714,3	744,3	871,5	908,1	6-22	110
35,72	714,5	744,5	871,6	908,2	6-22	110
27,59	2814,1	2967,1	3433,2	3619,8	6-109	215
43,37	1127,5	1166,5	1375,6	1423,1	6-31	130

43,35	1127,0	1166,0	1374,9	1422,5	6-31	130
37,68	1808,8	1880,8	2206,8	2294,6	6-55	165
53,24	1437,6	1478,1	1753,9	1803,3	6-31	130
53,23	1437,3	1477,8	1753,5	1802,9	6-31	130
47,91	3689,4	3804,9	4501,1	4642,0	6-85	210
0,00	0,0	0,0	0,0	0,0		
61,84	2659,3	2723,8	3244,3	3323,0	6-43	145
59,25	5036,5	5164,0	6144,5	6300,1	6-85	210
	108485,1	112041,6	132351,8	136690,7		

		TABLERO				
mm)	PLACA DE REPARTO			LONG TUBO GUIA (m)		DIAMETRO TUBO (mm)
	PILONO	h (mm)	a (mm)	b (mm)	VSL	
175	63,5	540	540	2,855	3	406,4
175	63,5	540	540	2,855	3	406,4
245	88,9	710	710	3,51	3,5	508
145	50	440	440	2,415	2,5	323,9
145	50	440	440	2,415	2,5	323,9
245	88,9	710	710	3,51	3,5	508
145	50	440	440	2,415	2,4	323,9
145	50	440	440	2,415	2,4	323,9
195	63,5	585	585	2,95	3	419
210	50	385	385	2,22	2,2	298,5
210	50	385	385	2,22	2,2	298,5
265	101,1	795	795	3,93	4	559
145	50	440	440	2,415	2,4	323,9
145	50	440	440	2,415	2,4	323,9
210	50	385	385	2,22	2,2	298,5
210	50	385	385	2,22	2,2	298,5
265	101,1	795	795	3,93	4	559
145	50	440	440	2,415	2,4	323,9
145	50	440	440	2,415	2,4	323,9
215	76,2	680	680	3,365	3,4	508
145	50	440	440	2,415	2,4	323,9
145	50	440	440	2,415	2,4	323,9
265	101,1	795	795	3,93	4	559
170	50	485	485	2,61	2,6	355,6
170	50	485	485	2,61	2,6	355,6
265	101,1	795	795	3,93	4	559
170	50	485	485	2,61	2,6	355,6
170	50	485	485	2,61	2,6	355,6
265	101,1	795	795	3,93	4	559
145	50	440	440	2,415	2,4	323,9
145	50	440	440	2,415	2,4	323,9
265	101,1	795	795	3,93	3,9	559
145	50	440	440	2,415	2,4	323,9
145	50	440	440	2,415	2,4	323,9
215	76,2	680	680	3,365	3,4	508
210	50	385	385	2,22	2,2	298,5
210	50	385	385	2,22	2,2	298,5
265	101,1	795	795	3,93	4	559
145	50	440	440	2,415	2,4	323,9
145	50	440	440	2,415	2,4	323,9
210	50	385	385	2,22	2,2	298,5
210	50	385	385	2,22	2,2	298,5
265	101,1	795	795	3,93	4	559
145	50	440	440	2,415	2,4	323,9

145	50	440	440	2,415	2,4	323,9
195	63,5	585	585	2,95	3	419
145	50	440	440	2,415	2,4	323,9
145	50	440	440	2,415	2,4	323,9
245	88,9	710	710	3,51	2,5	508
175	63,5	540	540	2,855	3	406,4
245	88,9	710	710	3,51	3,5	508

ESPESSOR DE PARED (mm)	LONG TUBO ANTIBANDALI SMO	PLACA DE REPARTO			LONG TUBO (m)	
		h (mm)	a (mm)	b (mm)	VSL	PLANO
9	3,43	76,2	505	505	0,25	
9	3,43	76,2	505	505	0,25	
12,7	2,60	120	685	685	0,25	
9	3,29	63,5	415	415	0,25	
9	3,29	63,5	415	415	0,25	
12,7	1,96	120	685	685	0,25	
9	2,71	63,5	415	415	0,25	
9	2,71	63,5	415	415	0,25	
12,7	1,77	76,2	550	550	0,25	
9	2,49	50	355	355	0,25	
9	2,49	50	355	355	0,25	
12,7	0,11	120	775	775	0,25	
9	2,24	63,5	415	415	0,25	
9	2,24	63,5	415	415	0,25	
9	2,50	50	355	355	0,25	
9	2,50	50	355	355	0,25	
12,7	0,12	120	775	775	0,25	
9	2,74	63,5	415	415	0,25	
9	2,74	63,5	415	415	0,25	
12,7	1,38	101,5	650	650	0,25	
9	3,33	63,5	415	415	0,25	
9	3,33	63,5	415	415	0,25	
12,7	1,60	120	775	775	0,25	
9	3,77	76,2	455	455	0,25	
9	3,77	76,2	455	455	0,25	
12,7	2,33	120	775	775	0,25	
9	3,77	76,2	455	455	0,25	
9	3,77	76,2	455	455	0,25	
12,7	2,33	120	775	775	0,25	
9	3,33	63,5	415	415	0,25	
9	3,33	63,5	415	415	0,25	
12,7	1,60	120	775	775	0,25	
9	2,74	63,5	415	415	0,25	
9	2,74	63,5	415	415	0,25	
12,7	1,38	101,5	650	650	0,25	
9	2,50	50	355	355	0,25	
9	2,50	50	355	355	0,25	
12,7	0,12	120	775	775	0,25	
9	2,24	63,5	415	415	0,25	
9	2,24	63,5	415	415	0,25	
9	2,49	50	355	355	0,25	
9	2,49	50	355	355	0,25	
12,7	0,11	120	775	775	0,25	
9	2,71	63,5	415	415	0,25	

9	2,71	63,5	415	415	0,25	
12,7	1,77	76,2	550	550	0,25	
9	3,29	63,5	415	415	0,25	
9	3,29	63,5	415	415	0,25	
12,7	1,96	120	685	685	0,25	
9	3,59	76,2	505	505	0,25	
12,7	2,47	120	685	685	0,25	

PILONO						Vaina Tramo T
DIAMETRO TUBO (mm)	ESPESOR DE PARED	Tension ring	Expansión sleeve			
		Ø	Øext/e	Øint	L (m)	
323,9	9	219,1	225/7,0	211	2,5	250/7,8
323,9	9	219,1	225/7,0	211	2,5	250/7,8
406,4	9,53	267	280/8,7	262,6	2,5	315/9,8
244,5	6,35	177,8	180/5,6	168,8	2,5	200/6,2
244,5	6,35	177,8	180/5,6	168,8	2,5	200/6,2
406,4	9,53	267	280/8,7	262,6	2,5	315/9,8
244,5	6,35	177,8	180/5,6	168,8	2,5	200/6,2
244,5	6,35	177,8	180/5,6	168,8	2,5	200/6,2
323,9	9	219,1	225/7,0	211	2,5	250/7,9
219,1	6,35	159	180/5,6	168,8	2,5	-
219,1	6,35	159	180/5,6	168,8	2,5	-
457	12,7	292	355/11,1	332,8	2,5	-
244,5	6,35	177,8	180/5,6	168,8	2,5	200/6,2
244,5	6,35	177,8	180/5,6	168,8	2,5	200/6,2
219,1	6,35	159	180/5,6	168,8	2,5	-
219,1	6,35	159	180/5,6	168,8	2,5	-
457	12,7	292	355/11,1	332,8	2,5	-
244,5	6,35	177,8	180/5,6	168,8	2,5	200/6,2
244,5	6,35	177,8	180/5,6	168,8	2,5	200/6,2
406,4	9,53	267	280/8,7	262,6	2,5	315/9,8
244,5	6,35	177,8	180/5,6	168,8	2,5	200/6,2
244,5	6,35	177,8	180/5,6	168,8	2,5	200/6,2
457	12,7	292	355/11,1	332,8	2,5	-
273	6,35	193,7	200/6,2	187,6	2,5	225/7,0
273	6,35	193,7	200/6,2	187,6	2,5	225/7,0
457	12,7	292	355/11,1	332,8	2,5	-
273	6,35	193,7	200/6,2	187,6	2,5	225/7,0
273	6,35	193,7	200/6,2	187,6	2,5	225/7,0
457	12,7	292	355/11,1	332,8	2,5	-
244,5	6,35	177,8	180/5,6	168,8	2,5	200/6,2
244,5	6,35	177,8	180/5,6	168,8	2,5	200/6,2
457	12,7	292	355/11,1	332,8	2,5	-
244,5	6,35	177,8	180/5,6	168,8	2,5	200/6,2
244,5	6,35	177,8	180/5,6	168,8	2,5	200/6,2
406,4	9,53	267	280/8,7	262,6	2,5	315/9,8
219,1	6,35	159	180/5,6	168,8	2,5	-
219,1	6,35	159	180/5,6	168,8	2,5	-
457	12,7	292	355/11,1	332,8	2,5	-
244,5	6,35	177,8	180/5,6	168,8	2,5	200/6,2
244,5	6,35	177,8	180/5,6	168,8	2,5	200/6,2
219,1	6,35	159	180/5,6	168,8	2,5	-
219,1	6,35	159	180/5,6	168,8	2,5	-
457	12,7	292	355/11,1	332,8	2,5	-
244,5	6,35	177,8	180/5,6	168,8	2,5	200/6,2

244,5	6,35	177,8	180/5,6	168,8	2,5	200/6,2
323,9	9	219,1	225/7,0	211	2,5	250/7,9
244,5	6,35	177,8	180/5,6	168,8	2,5	200/6,2
244,5	6,35	177,8	180/5,6	168,8	2,5	200/6,2
406,4	9,53	267	280/8,7	262,6	2,5	315/9,8
323,9	9	219,1	225/7,0	211	2,5	250/7,8
406,4	9,53	267	280/8,7	262,6	2,5	315/9,8

ension Ring	longitud de cable a cubrir	long de cable + traslapos (3 m)	Vaina principal		
			L (m)	Øext/e (kg/m)	L (m)
3	54,37	57,37	200/6,2	3,85	51,87
3	54,37	57,37	200/6,2	3,85	51,87
3	50,06	53,06	250/7,8	6,00	47,56
3	45,878	48,878	160/5,0	3,00	43,378
3	45,878	48,878	160/5,0	3,00	43,378
3	39,59	42,59	250/7,8	6,00	37,09
3	36,374	39,374	160/5,0	3,00	33,874
3	36,374	39,374	160/5,0	3,00	33,874
3	30,417	33,417	200/6,2	3,85	27,917
0	29,277	32,277	160/5,0	3,00	29,777
0	29,277	32,277	160/5,0	3,00	29,777
0	19,25	22,25	315/9,8	9,40	19,75
3	25,126	28,126	160/5,0	3,00	22,626
3	25,126	28,126	160/5,0	3,00	22,626
0	29,239	32,239	160/5,0	3,00	29,739
0	29,239	32,239	160/5,0	3,00	29,739
0	19,872	22,872	315/9,8	9,40	20,372
3	36,311	39,311	160/5,0	3,00	33,811
3	36,311	39,311	160/5,0	3,00	33,811
3	29,889	32,889	250/7,8	6,00	27,389
3	45,695	48,695	160/5,0	3,00	43,195
3	45,695	48,695	160/5,0	3,00	43,195
0	39,027	42,027	315/9,8	9,40	39,527
3	59,202	62,202	180/5,6	3,12	56,702
3	59,202	62,202	180/5,6	3,12	56,702
0	49,687	52,687	315/9,8	9,40	50,187
3	54,956	57,956	180/5,6	3,12	52,456
3	54,956	57,956	180/5,6	3,12	52,456
0	50,432	53,432	315/9,8	9,40	50,932
3	46,242	49,242	160/5,0	3,00	43,742
3	46,242	49,242	160/5,0	3,00	43,742
0	39,514	42,514	315/9,8	9,40	40,014
3	36,613	39,613	160/5,0	3,00	34,113
3	36,613	39,613	160/5,0	3,00	34,113
3	30,163	33,163	250/7,8	6,00	27,663
0	29,38	32,38	160/5,0	3,00	29,88
0	29,38	32,38	160/5,0	3,00	29,88
0	19,984	22,984	315/9,8	9,40	20,484
3	25,107	28,107	160/5,0	3,00	22,607
3	25,107	28,107	160/5,0	3,00	22,607
0	29,13	32,13	160/5,0	3,00	29,63
0	29,13	32,13	160/5,0	3,00	29,63
0	19,824	22,824	315/9,8	9,40	20,324
3	36,063	39,063	160/5,0	3,00	33,563

3	36,063	39,063	160/5,0	3,00	33,563
3	30,13	33,13	200/6,2	3,85	27,63
3	45,252	48,252	160/5,0	3,00	42,752
3	45,252	48,252	160/5,0	3,00	42,752
3	38,992	41,992	250/7,8	6,00	36,492
3	53,083	56,083	200/6,2	3,85	50,583
3	48,876	51,876	250/7,8	6,00	46,376

SISTEMAS ESPECIALES DE CONSTRUCCION S.A.S

NIT: 900.281.501-8
 Calle: 120 N° 70D - 98
 PBX. 2266230
 Bogotá - Colombia.

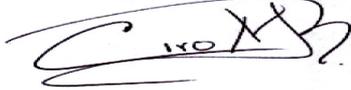
**ORDEN DE COMPRA**

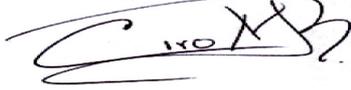
Proveedor: CTT STRONHOLD Nit: 900.281.501-9 TEL: 31668283080 Contacto: Juan Carlos Benavides juan.benavides@colsteel.com Barcelona - España	Fecha/Date: ABRIL 7 DE 2011
	Nº de Orden: 11-016

Favor confirmar que ha sido recibido a conformidad, en caso de algun reparo notificar a la mayor brevedad.

DESCRIPCION	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VALOR PARCIAL
1) Cuñas w6n	1000 un	8.000 €	8.000.000 €
SUBTOTAL:			\$ 8.000.000
IVA (16%)			1280000
VALOR TOTAL			\$ 9.280.000
Forma de Pago:	antico 50% - a contra esntrega 50%		
Tiempo de Entrega:	1 mes		
Sitio de Entrega:	SIP Cartagena		
Transporte:	SEC		
Observaciones:	€ = \$2569 TRM - 7 ABRIL 2011		
PREPARADO POR:	AUTORIZADO POR:		
ING. DIANA Y. SAMUDIO	ING. ARTURO LLERAS P.		

PROYECTO TRANSVERSAL CUSIANA
 PUENTE LOS GRILLOS
 CONSORCIO CC-MP-HV CUSIANA

			CONTROL DE TENSIONAMIENTO			
			CABLE No. 116 LOSA INFERIOR CONTRAPESO	Long. Cable: 47,18 m GATO ZPE460 804,0 cm ²	TIPO CABLE: 12-0,6 MM PRESION: 7.100 PSI	
Tensionamiento			Re Tensionamiento			TRAMO NORTE
Presión Manométrica	Medida	DI1 Elongación	Presión Manométrica	Medida	DI2 Elongación	Observaciones
PSI	cm	cm	PSI	cm	cm	
1000	20,00	4,48	1000	20,00		CABLES DE CONTINUIDAD
2000	24,50	4,50	2000	20,10	0,10	% DE ALARGAMIENTO 116%
3000	28,90	4,40	3000	20,20	0,10	
4000	33,30	4,40	4000	20,30	0,10	
5000	38,20	4,90	5000	20,40	0,10	
6000	42,40	4,20	6000	20,60	0,20	
7000	47,10	4,70	7000	21,30	0,70	
7100	48,50	1,40	7100	21,60	0,30	
BLOQUEO	47,80	-0,70	BLOQUEO	20,80	-0,80	
Elongación Total		DI1 + DI2 (cm)		34,58		Fecha: 28/11/2010
Elongación neta (cm) (menos elong. en gato y penetración de cuña)				31,88		Supervisor ARGEMIRO MORENO
Elongación Teórica (cm)	27,47	Maxima (+7%)	29,39		ING. DIANA SAMUDIO OK	
		Minima (-7%)	25,55			

			CONTROL DE TENSIONAMIENTO			
			CABLE No. 115 LOSA INFERIOR CONTRAPESO	Long. Cable: 47,40 m GATO ZPE19 804,0 cm ²	TIPO CABLE: 12-0,6 MM PRESION: 7.100 PSI	
Tensionamiento			Re Tensionamiento			CABLES DE CONTINUIDAD
Presión Manométrica	Medida	DI1 Elongación	Presión Manométrica	Medida	DI2 Elongación	Observaciones
PSI	cm	cm	PSI	cm	cm	
1000	20,00	4,43	1000			CABLES DE CONTINUIDAD
2000	24,60	4,60	2000			% DE ALARGAMIENTO 112%
3000	29,50	4,90	3000			
4000	33,60	4,10	4000			
5000	38,10	4,50	5000			
6000	42,30	4,20	6000			
7000	47,10	4,80	7000			
7100	48,30	1,20	7100			
BLOQUEO	47,40	-0,90	BLOQUEO			
Elongación Total		DI1 + DI2 (cm)		32,73		Fecha: 28/11/2010
Elongación neta (cm) (menos elong. en gato y penetración de cuña)				30,83		Supervisor ARGEMIRO MORENO
Elongación Teórica (cm)	27,51	Maxima (+7%)	29,44		ING. DIANA SAMUDIO OK	
		Minima (-7%)	25,58			