

**IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA PRETENSADO EN UNA PLANTA DE  
PRODUCCIÓN DE POSTES PARA LÍNEAS AÉREAS DE ENERGÍA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**ALBEIRO JAVIER ESCOBAR MONTENEGRO**

**LUIS MIGUEL GÓMEZ GÓMEZ**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL  
SAN JUAN DE PASTO  
2010**

**IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA PRETENSADO EN UNA PLANTA DE  
PRODUCCIÓN DE POSTES PARA LÍNEAS AÉREAS DE ENERGÍA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**ALBEIRO JAVIER ESCOBAR MONTENEGRO**

**LUIS MIGUEL GÓMEZ GÓMEZ**

Informe final Proyecto de grado en la modalidad de Extensión a la Comunidad,  
presentado como requisito parcial  
para optar al título de Ingenieros Civiles

**Asesor:**

Ing. Esp. Luis Aníbal Arias

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL  
SAN JUAN DE PASTO  
2010**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

---

---

**COMENTARIOS**

---

**FIRMA JURADO 1**

---

**FIRMA JURADO 2**

San Juan de Pasto, Marzo 3 de 2010

Las ideas y conclusiones aportadas en el trabajo de grado son responsabilidad exclusiva del autor.

Artículo 1º del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño

## **AGRADECIMIENTOS**

FACULTAD DE INGENIERÍA UDENAR  
UNIDAD DE EMPRENDIMIENTO UDENAR  
SENA – FONDO EMPRENDER  
IVAN LOZANO ORDOÑEZ  
ING. LUIS ANIBAL ARIAS  
ING. MICHEL BOLAÑOS  
ING. CARLOS BUCHELI  
ING. VICENTE PARRA  
A TODOS NUESTROS AMIGOS Y COMPAÑEROS

## **DEDICATORIA**

A toda mi familia por todo su apoyo y su abnegado esfuerzo durante todos estos años; gracias por creer en mí y esperar de mí siempre lo mejor

**ALBEIRO ESCOBAR**

## **DEDICATORIA**

Dedico este triunfo a mis padres y hermanos quienes me apoyaron en cada momento; gracias por sus buenos deseos y acciones que tuvieron conmigo.

**LUIS MIGUEL GÓMEZ GOMEZ.**

## TABLA DE CONTENIDO

	pag
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1. OBJETIVOS</b>	19
<b>2. METODOLOGÍA</b>	20
<b>3. MARCO TEÓRICO</b>	21
3.1 DEFINICIÓN	21
3.2 PRETENSADO Y POSTENSADO	23
3.2.1 Pretensado	23
3.2.2 Postensado	24
3.3 MATERIALES	26
3.3.1 Acero	26
3.3.1.1 Importancia del Acero de Alta Resistencia	26
3.3.1.2 Acero de Presfuerzo	26
3.3.1.3 Acero de Refuerzo	29
3.3.1.4 Acero Estructural	30
3.3.1.5. Malla Electrosoldada	30
3.3.1.6 Etapas de un Elemento Presforzado	30
3.3.2 Concreto	33
3.4 RESEÑA HISTÓRICA	34
3.5 TEORÍA DEL PRETENSADO	36
3.5.1 Ventajas y desventajas del uso de elementos presforzados	37
<b>4. ANÁLISIS DE AGREGADOS Y DISEÑO DE MEZCLA DE ALTA RESISTENCIA.</b>	40
4.1 MATERIALES UTILIZADOS	40
4.1.1 Cemento	40
4.1.2 Agregados	40
4.2 ANÁLISIS DE AGREGADOS	41
4.4 DISEÑO DE MEZCLA	41
4.4 ENSAYO DE CILINDROS A COMPRESIÓN	46
<b>5. DISEÑO ESTRUCTURAL DE POSTES MEDIANTE EL SISTEMA PRETENSADO</b>	47
5.1 GENERALIDADES.	47
5.1.1 Estructuras Cantiliver .	47
5.2 MÉTODO DE DISEÑO.	48
5.3 PÉRDIDAS DE PRESFUERZO.	50
5.3.1 Perdidas inmediatas.	52
5.3.1.1 Relajación instantánea del acero de presfuerzo.	52
5.3.1.2 Acortamiento elástico del concreto.	<b>52</b>
5.3.1.3 Deslizamiento del anclaje.	52
5.3.1.4 Desvío de torones.	52
5.3.2 Perdidas diferidas por contracción	53

5.3.2.1	Flujo plástico.	53
5.3.2.2	Relajación diferida del acero de presfuerzo.	53
5.4	RESISTENCIA ÚLTIMA.	54
5.5	RESISTENCIA DE CRAQUEO.	54
5.6 LA	FUERZA DE TENSION CERO.	54
5.7	HIPÓTESIS Y PRINCIPIOS DEL MOMENTO ÚLTIMO DE CAPACIDAD.	55
5.8	DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL MOMENTO ÚLTIMO.	
5.9	ECUACIÓN DE MOMENTO ÚLTIMO DE CAPACIDAD.	56
5.10	MOMENTO FISURACIÓN Y MOMENTO TRACCIÓN CERO.	56
5.11	Ejemplo: diseño para una sección del poste.	60
5.11.1	Propiedades Geométricas.	60
5.11.2	Constantes de cálculo NTC C.18.5.	60
5.11.3	Calculo de perdidas	61
5.11.3.1	Perdidas inmediatas.	61
5.11.3.1.1	Relajación instantánea del acero de presfuerzo.	61
5.11.3.1.2	Acortamiento elástico del concreto.	61
5.11.3.1.3	Deslizamiento del anclaje.	61
5.11.3.1.4	Desvió de torones.	61
5.11.3.2	Pérdidas diferidas.	61
5.11.3.2.1	Contracción.	62
5.11.3.2.2	Flujo plástico.	62
5.11.3.3	Relajación diferida del acero de presfuerzo.	62
5.11.4	Determinación del último momento de capacidad	63
5.11.5	Determinación del refuerzo por cortante.	68
6.	<b>PROCESO PRODUCTIVO</b>	<b>71</b>
6.1	FABRICACIÓN DE LOS POSTES	71
6.1.1	Armado de canasta	71
6.1.1.1	Refuerzo principal	71
6.1.1.2	Aros de acero	71
6.1.1.3	Espiral de varilla lisa	72
6.1.1.4	Espirales en alambre	72
6.1.1.5	Empalme por traslape	72
6.1.1.6	Empalme con bastón	73
6.1.1.7	El refuerzo de pretensionamiento	73
6.1.2	Preparación para la formaleta para la operación de vaciado	73
6.1.3	Perforaciones	73
6.1.4	Vaciado del concreto	74
6.1.4.1	Generalidades	74
6.1.4.2	Vaciado para postes vibrados	74
6.1.4.3	Vaciado para poste pretensado	75
6.1.5	Curado	75
6.1.5.1	Curado con sellantes	75
6.1.5.2	Curado en piscina	75
6.1.5.3	Curado por vapor	75

6.1.5.4	Curado por presión	75
6.1.6	Fraguado con acelerantes	75
6.1.7	Desmolde de los postes	75
6.1.8	Requisitos	75
6.1.8.1	Materiales	75
6.2	<b>PARÁMETROS GEOMÉTRICOS</b>	77
6.2.1	Tolerancias	78
6.2.2	Conicidad	79
6.2.3	Cargas mínimas de rotura	79
6.2.4	Cargas de trabajo	79
6.2.5	Deformaciones o flechas bajo cargas	79
6.2.6	Resistencia a la compresión del concreto	80
6.2.7	Acero de refuerzo principal	81
6.2.8	Recubrimiento	81
6.2.9	Longitud de empotramiento	81
6.3	Criterios de aceptación o rechazo	81
6.3.1	Recepción de postearía	82
6.3.1.1	Inspección del sitio del ensayo y sus Instalaciones	82
6.3.1.2	Revisión de los equipos de aplicación y de medida de cargas	82
6.3.1.3	Plan de muestreo	82
6.3.1.4	Motivos de rechazo	82
6.3.1.4.1	Defectos críticos	82
6.3.1.4.2	Defectos mayores	83
6.3.1.4.3	Defectos menores	83
6.3.1.5	Plan de muestreo para los ensayos de carga de flexión y rotura	83
6.3.1.6	limites para la aceptación	83
6.4	<b>ENSAYOS</b>	84
6.4.1	Ensayos de laboratorio	84
6.4.1.1	Ensayos de materiales de concreto	84
6.4.1.3	Varillas de refuerzo	84
6.2	<b>ENSAYO DE CARGA</b>	85
6.4.2.1	Patio de ensayos	85
6.4.2.2	Ensayo de carga para flexión	85
6.4.2.3	Ensayo de carga para rotura	97
6.5.	<b>ROTULADO</b>	88
6.5.2	Señalización	88
<b>7.</b>	<b>FABRICACIÓN Y ENSAYO DE POSTES A ESCALA REAL</b>	<b>89</b>
7.1	POSTE No 1	91
7.1	POSTE No 2	93
7.1	POSTE No 3	95
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>98</b>
<b>9.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>99</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>101</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>102</b>

## LISTA DE ANEXOS

	PAG
<b>ANEXO A:</b> ANÁLISIS FÍSICO DE CEMENTO PORTLAND	113
<b>ANEXO B:</b> ANÁLISIS DE AGREGADOS (GRAVILLA ¾")	116
<b>ANEXO C:</b> ANÁLISIS DE AGREGADOS (RIPIO)	126
<b>ANEXO D:</b> ENSAYO DE CILINDROS A COMPRESIÓN	131
<b>ANEXO E:</b> ANÁLISIS MEZCLA DE AGREGADOS CON DOSIFICACIÓN VOLUMÉTRICA 1.4: 1.8	138
<b>ANEXO F:</b> REGISTRO FOTOGRÁFICO	141

## GLOSARIO

**ADITIVO (PARA CONCRETO):** material diferente del cemento, agregados o agua que se mezcla con el concreto, para modificar una o varias de sus propiedades sin perjudicar su durabilidad, ni su capacidad para resistir esfuerzos.

**AGREGADOS:** conjunto de partículas inertes, naturales o artificiales, que al mezclarse con el cemento hidráulico y el agua, producen el concreto.

**AROS DE ARMADO:** elementos circulares, en varilla lisa de diámetro variable, espaciados adecuadamente a lo largo de eje del poste, que permite el amarre de las varillas longitudinales y que además contrarresta el esfuerzo cortante

**BASE (DE POSTE):** plano o sección transversal extrema en la parte inferior del poste

**CANASTA:** conjunto de varillas longitudinales, cables o alambres unidos a aros transversales o espirales, destinadas a contrarrestar los esfuerzos de flexión, tracción, cortante y tensión diagonal, producidos por la carga aplicada al poste.

**CARGA DE DISEÑO:** la carga aplicada a 20 cm de la cima, para la cual se calcula y diseña el poste.

**CARGA DE ROTURA:** es aquella que aplicada a 20 cm de la cima produce el colapso estructural del poste por fluencia de acero, por aplastamiento del concreto o por ambas causas en forma simultánea.

**CARGA DEL TRABAJO:** carga mínima real que se puede aplicar al poste, en sentido normal a su eje y a 20 cm de la cima, sin que se presente deformación permanente mayor que el 5% de la deflexión máxima permitida debe ser igual al 40% de la carga de rotura.

**CENTRIFUGADO:** acción de someter a la fuerza centrífuga el poste recién vaciado, con el fin de producir una compactación alta en el concreto y gran resistencia a la humedad y a los agentes atmosféricos.

**CIMA:** plano o sección transversal, en la parte superior del poste.

**COEFICIENTE DE SEGURIDAD A LA ROTURA:** relación entre la carga de rotura mínima y la carga de trabajo especificadas, que para este propósito se establece en 2,5.

**COLAPSO:** condición que se presenta cuando el poste, bajo la acción de la carga aplicada, experimenta grandes deformaciones, causadas por la fluencia del acero

y que ocasionan el aplastamiento del concreto, en la zona del poste sometida a compresión.

**CONCRETO:** mezcla de cemento hidráulico, agregado fino (arena), agregado grueso (gravilla) y agua.

**CONCRETO PRETENSADO:** concreto de alta resistencia, sometido mediante cables tensionados a grandes cargas de compresión que eliminan los esfuerzos de tracción y disminuyen las fisuras producidas por las cargas aplicadas

**CONCRETO REFORZADO:** concreto que tiene un refuerzo constituido por varilla acero, que trabajan principalmente a la tracción que actúan en forma conjunta, con el fin de contrarrestar los momentos flectores producidos por las cargas actuantes

**CONICIDAD:** relación entre la diferencia de los diámetros de cima y base y longitud del poste.

**CURADO DEL CONCRETO:** Tratamiento que se le da al concreto, una vez vaciado para impedir la rápida evaporación del agua de amasado, suavizando la retracción y evitando el agrietamiento de la superficie del poste.

**DEFORMACIÓN PERMANENTE:** registrada una vez a dejado de actuar la carga de trabajo sobre el poste

**ESPIRALES:** varilla lisa o alambres enrollados alrededor de las barras longitudinales, con un paso especificado, que sirven de apoyo a éstas y que además proporcionan refuerzo contra los esfuerzos de cortante y tracción diagonal a la vez que le dan cierta resistencia al poste a la torsión.

**FISURA:** Hendidura y (quiebre o fractura) que se forma en el concreto reforzado y que tiene un ancho de hasta un mm de la superficie del concreto.

**FLECHA:** Desplazamiento que sufre la cima del poste, en dirección normal a su eje, bajo la acción de una carga aplicada.

**GRIETA:** hendidura (quiebre o fractura) que se forma en el concreto reforzado y que tiene un ancho mayor de 1mm en la superficie del mismo.

**LONGITUD DE EMPOTRAMIENTO (H1):** Distancia entre la sección de empotramiento y la base del poste.

**LONGITUD TOTAL (H):** distancia entre la cima y la base del poste.

**LONGITUD ÚTIL (H2):** distancia entre la cima y la sección del empotramiento del poste.

**PERFORACIONES:** agujeros cilíndricos a través del eje central de la sección del poste utilizado para la fijación de elementos de la red.

**PLANO DE APLICACIÓN DE ESFUERZOS:** plano o sección transversal del poste donde se aplican las cargas horizontales.

**PLANO DE TRASVERSAL:** plano o sección perpendicular al eje longitudinal del poste.

**RECUBRIMIENTO DE LA ARMADURA:** distancia mínima especificada que debe existir entre el borde o superficie de cualquier elemento metálico de la armadura y la superficie interior y exterior del poste.

**REFUERZO:** acero en varillas alambre o cable, colocado para absorber esfuerzos de tracción, comprensión, corte o torsión, en conjunto con el concreto.

**SECCIÓN DE EMPOTRAMIENTO:** Plano o sección transversal del poste, a nivel de piso, donde se produce el máximo momento flector, por efectos de las cargas de trabajo.

**SEPARADORES:** elementos no metálicos, ni biodegradables de resistencia tal que garanticen la separación entre la canasta y la cara interior de la formaleta durante el proceso de vaciado del concreto y que permite asegurar el recubrimiento especificado de la armadura.

**TRASLAPO:** tipo de empalme en que las barras se unen al montar un extremo de una sobre el extremo de otra. En una longitud especificada y unidas entre si mediante puntos de soldadura o amarre con alambre

**VARILLA CORRUGADA:** varilla de acero con el núcleo de sección circular, en cuya superficie lleva unos resaltes que tienen por objeto aumentar la adherencia entre el concreto y el acero.

**VARILLA LISA:** varilla de acero de sección transversal circular, sin resaltes o nervaduras.

**VARILLA TORSIONADA:** varilla lisa o corrugada que se somete a un proceso de torsión y alargamiento.

**VIBRADO:** sistema de compactación del concreto mediante aparatos vibratorios de alta frecuencia que tiene por objeto disminuir la porosidad del concreto, disminuir uniformemente los áridos y obligar a que la mezcla cubra toda la superficie interior de la formaleta.

## **RESUMEN DEL PROYECTO DE GRADO**

A lo largo de tres años el proyecto "PREFORMAS INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN LTDA" se ha ido configurando como una realidad muy gratificante para sus autores, en la medida en que se ha transitado desde las etapas iniciales de formulación del plan de negocio en el marco de la cuarta convocatoria del fondo emprender, pasando por un complejo y prolongado proceso de investigación del sistema constructivo de los postes de concreto pretensado y finalizando con la aprobación y cofinanciación, hecho que permitió la implementación técnica del sistema en la planta preformas. paralelamente se consideró que éste camino recorrido podría ser plasmado en un trabajo de grado enfocado al análisis y diseño del producto poste de concreto pretensado, complementado con el montaje de la infraestructura, maquinaria y equipos necesarios para la fabricación de dicho producto.

Es así como se logró convertir una idea en empresa.

Durante la exposición del trabajo de grado se detallaron los aspectos más relevantes del proyecto, tales como los antecedentes de la idea y su contextualización, el acopio de información técnica y especializada, la formulación del plan de negocio y la implementación del sistema en la planta, como una información previa a las etapas de análisis, diseño, fabricación y ensayo del producto.

En adelante se procedió a exponer las consideraciones teóricas para el análisis de las estructuras, los parámetros geométricos, la caracterización de los materiales, el diseño de mezclas de alta resistencia, la correspondencia con la norma ntc1329, las analogías con el sistema convencional armado y los resultados de los cálculos efectuados sobre el modelo.

Seguidamente se presentó información gráfica de los procesos productivos con caracterización de maquinarias, equipos y elementos fundamentales del sistema.

Después de explicadas las etapas de análisis, diseño y construcción, se continuó con la ilustración de las pruebas y ensayos técnicos requeridos por norma para verificar la calidad en el producto poste; es así como se expusieron las pruebas realizadas sobre los agregados y la mezcla de concreto, las normas que rigen para los torones de acero, las características de las cuñas y barriles de anclaje y las pruebas de carga, flexión y rotura previstas por la ntc1329.

Finalmente se presentaron las conclusiones en concordancia con los objetivos iniciales, las recomendaciones y demás aspectos finales del trabajo.

.

## **ABSTRACT**

Even though the project "PREFORMAS INGENIERIA EN CONSTRUCCION LTDA" was at first designed and developed by its authors in order to participate on the fourth "fondo emprendedor" summons, the successful results obtained during a long research process regarding to the design and building of prestressed poles represented the need of being presented to the society as an university degree monograph.

during the oral defense of this project were presented important features such as the idea records and its contextualization, the specialized and technical data collection, the business plan formulation and the factory system implementation as a preliminary step to the ones having to do with analysis, design, building and product testing.

after this, it was presented technical considerations such as the geometric boundaries, the material features, the high resistance concrete mixture, the standard N.T.C 1329 correlation and the analogies between the conventional system and the results of the calculus done on the model presented which were taken into account to develop the structures analysis. this last process was complemented by a graphic presentation about the productive processes which showed the different machines and elements implemented on it.

after having been explained the analysis, design and building stages, the project authors showed the tests and techniques required by the standard in order to verify the post quality which made really important to present the results of the tests done on stuff such as the concrete mixture, the wedges and the load, flexibility and breaking tests required by the N.T.C 1329 standard.

eventually, the authors of the project presented the conclusions correlated to the objectives of this project, the recommendations and all the else aspects having to do with it.

## INTRODUCCIÓN

El interés constante por desarrollar nuevas tecnologías para ser empleadas en la construcción de grandes obras civiles, sumado a la necesidad de proponer alternativas paralelas al empleo del hormigón armado, el cual podría considerarse como uno de los paradigmas de la Ingeniería, motivó el surgimiento de las teorías para el diseño de piezas fabricadas en Hormigón *Preesforzado* (Pretensado y Postensado) en la segunda década del siglo XX. Sin embargo, la falta de aceros y concretos de alta resistencia de la época, limitaron el desarrollo de esta tecnología que, no obstante, para cuando fue postulada se denominó como toda una **“revolución en el arte de construir”**. La guerra y su consecuente demanda de acero para la industria bélica en Europa, y la ulterior necesidad de reconstruir las ciudades devastadas por los bombardeos, propiciaron las condiciones que impulsarían el desarrollo del sistema con alcances impresionantes.

En la actualidad el Sistema Preesforzado se encuentra plenamente consolidado en Estados Unidos, Asia, Europa y algunos países latinoamericanos como México y Chile; la demanda creciente de obras en las que se requiere de una gran velocidad de ejecución, alta calidad y márgenes de seguridad de elevados estándares, hacen de este sistema una opción indispensable a la hora de construir.

El hormigón pretensado se ha utilizado en obras de diversa naturaleza, siendo destacado su empleo en cámaras de Reactores Nucleares, estructuras petroleras, protecciones contra explosivos, estanques, pilotes para cimentación, losas ligeras de altos edificios, forjados, vigas para grandes luces, puentes peatonales y vehiculares, postes de concreto, columnas, escaleras, muros de contención y prefabricados estructurales. Todas estas piezas se caracterizan por su excepcional resistencia y esbeltez.

En Colombia se tienen algunos ejemplos de la puesta en obra del Sistema, sobre todo en puentes y vigas de amplias luces, en donde este tipo de hormigón sobresale por su alta resistencia a la tracción en piezas que necesitan de secciones dramáticamente menores a las requeridas en el hormigón armado. En el campo de los prefabricados el sistema se emplea con éxito por algunas empresas nacionales dedicadas a la producción de Postes de Concreto para líneas aéreas de electricidad y telecomunicaciones, quienes basan su utilización en los bajos costos de producción, el excelente comportamiento estructural frente a las cargas de servicio y la eficiencia y simplicidad en la construcción. Sin embargo se puede asegurar que el desarrollo del sistema preesforzado en el país es aún incipiente, la tecnología es poco conocida y los equipos sólo se consiguen en el exterior, no obstante el interés de algunos empresarios que comienzan a ver

en este campo las magníficas ventajas económicas y técnicas que los países desarrollados hoy usufructúan.

Al respecto, es un hecho que los métodos constructivos del futuro van a estar basados en la prefabricación, siendo esta la motivación para avanzar en el presente trabajo de grado que pretende la implementación del Sistema Pretensado en la fábrica de postes PREFORMAS LTDA, que es un proyecto aprobado y financiado por FONADE – SENA - FONDOEMPRENDER, en el marco de la IV Convocatoria Nacional, y en el cual los estudiantes son socios emprendedores.

Finalmente, es esta una inmejorable oportunidad para conseguir el objetivo profesional que persiguen las universidades y sus estudiantes en el país, ya que se trata de la aplicación del conocimiento desarrollado durante la investigación académica en un proyecto productivo sostenible, que pretende la generación de empleo y el aporte al desarrollo industrial y profesional de nuestra región.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Implementar el sistema pretensado en una planta de producción de postes para líneas aéreas eléctricas y de telecomunicaciones.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Acopiar toda la información posible relacionada al concepto teórico del sistema pretensado, tecnología, maquinaria y procesos productivos.
- Obtener una mezcla de concreto capaz de resistir los requerimientos del sistema pretensado.
- Alcanzar un producto estructuralmente óptimo basados en la Normatividad correspondiente
- Realizar el montaje industrial de la planta de producción de postes pretensados PREFORMAS LTDA.
- Obtener muestras a escala real del producto (poste) que garanticen el cumplimiento de todos los requisitos de norma a través de ensayos de Flexión, Rotura y Resistencia a la compresión de cilindros.
- Comprobar y validar los resultados obtenidos.

## 2. METODOLOGÍA

Para llevar a buen término esta investigación, la cual está enfocada en el estudio del concreto pretensado usado en postes prefabricados para líneas aéreas de electricidad y telecomunicaciones, se hizo necesario seguir algunos pasos que conduzcan a obtener un producto de calidad, técnica y económicamente óptimo; en el presente documento se describen cronológicamente las actividades ejecutadas para cada etapa y los diferentes pasos realizados para el desarrollo de las mismas.

El primero de ellos consistió en acopiar toda la información técnica y teórica de los procesos constructivos, del desarrollo del sistema pretensado, de la normatividad aplicada, de los requerimientos de infraestructura, de materiales y de logística que conlleva la fabricación de un elemento (poste) a través de este sistema.

Una vez conocidos los requerimientos para la utilización del sistema pretensado, y partiendo de la normatividad pertinente para este caso, se hizo una selección de agregados que cumplieren ciertas características especiales para la obtención de un concreto de alta resistencia, a la vez que se adquirió un cemento especial para el uso de elementos prefabricados; una vez hechos los análisis previos de estos materiales, se procedió a diseñar una mezcla que cumpla con los requerimientos estructurales preestablecidos por norma, se validó dicho diseño a través de pruebas a cilindros fabricados con este tipo de mezcla y en las condiciones prescritas en las que se van a fabricar los elementos pretensados, hasta obtener los resultados esperados.

Con el diseño de mezcla y el cálculo estructural correspondiente listos, se procedió a realizar las pruebas de los elementos a escala real en una planta de producción destinada especialmente para dicho fin; por este motivo se hizo el montaje industrial de dicha planta de producción (PREFORMAS LTDA), la cual debía contener el espacio físico mínimo requerido para el almacenamiento de materiales y agregados, la disposición de formaletas, espacio para la mezcla y vaciado del concreto, para la caldera e inyección de vapor para fraguado rápido; debe contener un área para apilamiento y cargue de postes, conjuntamente con un espacio de movilidad del pórtico grúa que es el encargado de levantar y acarrear los elementos de gran peso y dimensión; además la planta debe contar con patio de pruebas de postes.

Ya con el espacio físico necesario en la planta de producción, se fabrican los postes con un control de calidad minucioso regido por la NTC 1329 y las normas que correspondan a cada proceso y verificando que cumplan con las especificaciones tales como: refuerzo mínimo, mezcla correcta, señalización en los postes, construcción de agujeros y demás detalles que se describen más adelante.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 DEFINICIÓN

El hormigón pretensado es aquel que combina el concreto con refuerzos elaborados mediante cables compactos o alambres de acero (torones) en su estructura; este sistema elimina parcial o totalmente el uso de armadura de varillas de acero de refuerzo.

Existen diversas definiciones del término PRETENSADO, pero en términos generales se refiera a “el precargado de una estructura, antes de la aplicación de cargas de diseño requeridas, hecho en forma tal que mejore su comportamiento general” es decir que tendrá condiciones de servicio mejoradas como el control del agrietamiento y la deflexión bajo cargas de servicio.

Según Freyssinet, pretensar un elemento estructural consiste en crear en él, mediante algún procedimiento específico, antes o al mismo tiempo que la aplicación de las cargas externas, esfuerzos de tal magnitud que al combinarse con los resultantes de dichas fuerzas externas, anulen los esfuerzos de tensión y/o tracción o los disminuyan, manteniéndolos bajo las tensiones admisibles que puede resistir el material.

En esencia, el presforzado es el procedimiento a través del cual se tensan los tendones de refuerzo (presfuerzo) por medio de gatos hidráulicos que permiten calcular con exactitud la elongación del cable y la presión utilizada, estos tendones se tensan entre anclajes externos llamados generalmente “cuñas” que son dispositivos troncocónicos que permiten que el torón no regrese a su posición original; este procedimiento se realiza *antes* de vaciar el concreto; luego de que el concreto haya adquirido la resistencia necesaria, se liberan los anclajes permitiendo que el esfuerzo sea transmitido en su totalidad al concreto por efectos de adherencia entre los dos materiales.

El pretensado hace posible emplear el económico y eficaz refuerzo de acero de alta resistencia a la tensión y/o tracción, y concreto de alta resistencia.

Los anchos de las grietas, en las vigas convencionales de concreto armado, son altamente proporcionales al esfuerzo que obra en el refuerzo de tensión, y por esta razón tiene que limitarse los esfuerzos en el acero a valores mucho menores que los que podrían usarse si eso no ocurriera. En las vigas presforzadas, el alto esfuerzo en el acero no va acompañado por grietas anchas en el concreto. Porque se aplica al acero gran parte del esfuerzo antes de ser anclado al concreto. Y antes de que se aplique la carga al miembro.

En definitiva el concreto pretensado es conveniente porque adicional a las ventajas en cuanto a sus condiciones estructurales de servicio, tiene otras ventajas como la utilización de materiales eficientes de alta resistencia, pueden usarse miembros de menores dimensiones y mas ligeros, se reduce la relación de carga muerta vs carga viva, se aumentan las luces y se amplía considerablemente la gama de aplicaciones posibles del concreto estructural.

La resistencia a la tracción del hormigón convencional es muy inferior a su resistencia a la compresión, del orden de 10 veces menor. Teniendo esto presente, es fácil notar que si deseamos emplear el hormigón en elementos, que bajo cargas de servicio, deban resistir tracciones, es necesario encontrar una forma de suplir esta falta de resistencia a la tracción.

Normalmente la escasa resistencia a la tracción se suple colocando acero de refuerzo en las zonas de los elementos estructurales donde pueden aparecer tracciones. Esto es lo que se conoce como hormigón armado convencional. Esta forma de proporcionar resistencia a la tracción puede garantizar una resistencia adecuada al elemento, pero presenta el inconveniente de no impedir el agrietamiento del hormigón para ciertos niveles de carga.

El Preesforzado es una solución alterna a este problema y permite que los miembros se mantengan sin fisuración en un rango de cargas más amplio, con ventajas adicionales de deflexiones pequeñas y una durabilidad mucho mayor, por su menor fisuración y la posibilidad de cubrir mayores luces para la misma altura.

El término pretensado se usa para describir el método de presfuerzo en el cual los tendones se tensan antes de verter el concreto, de esta manera deberán emplearse moldes de metal y el método de fabricación exige que las piezas sean elaboradas en serie contando con instalaciones adecuadas para este fin, las mismas que deben ser capaces de soportar el total de la fuerza de presfuerzo durante el vaciado y curado del concreto antes de cortar los tendones y que la fuerza pueda ser transmitida al elemento. Ahora este método se emplea comúnmente en la elaboración de viguetas, vigas en cajón para puentes, losas y gradas, aplicados a edificios, naves, puentes, fábricas, estadios, etc.

### ¿POR QUÉ EL CONCRETO PRESFORZADO?

Gracias a la combinación del concreto y el acero de presfuerzo es posible producir, en un elemento estructural, esfuerzos y deformaciones que contrarresten total o parcialmente a los producidos por cargas externas que actúan en el elemento, lográndose así diseños más eficientes.

## 3.2 PRETENSADO Y POSTENSADO<sup>1</sup>

Es importante diferenciar las características de estos dos sistemas.

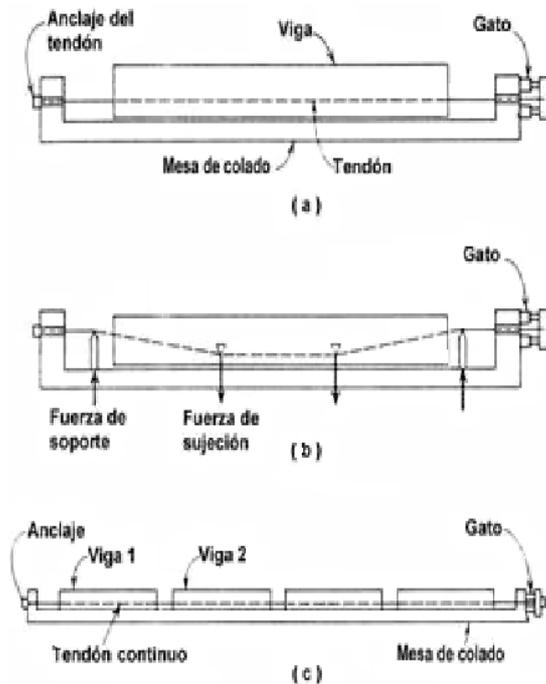
En general, existen aplicaciones y elementos que solo son posibles ya sea para pretensado o postensado. Se prefiere utilizar elementos pretensados cuando se aprovecha la producción en serie y se desea mayor rapidez de construcción, cuidando que no se sobrepase la capacidad de las mesas o moldes de tensado y que los elementos se puedan transportar por las carreteras y avenidas existentes.

3.2.1 Pretensado. El término pretensado se usa para describir el método de presfuerzo en el cual los tendones se tensan antes de verter el concreto. Se requiere de moldes o muertos (bloques de concreto enterrados en el suelo) que sean capaces de soportar el total de la fuerza de presfuerzo durante el vaciado y curado del concreto antes de cortar los tendones y que la fuerza pueda ser transmitida al elemento. La mayoría de los elementos presforzados se fabrican en serie dentro de plantas con instalaciones adecuadas, donde se logra la reutilización de moldes metálicos o de concreto y se pueden presforzar en una sola operación varios elementos. Los elementos pretensados más comunes son viguetas, vigas en cajón para puentes, losas y escaleras, aplicados edificios, naves, puentes, gimnasios y estadios principalmente. El curado de los elementos se realiza con vapor de agua cubriéndolos con lonas.

La acción del presfuerzo en el concreto es interna ya que el anclaje se da por adherencia. Las trayectorias del presfuerzo son siempre rectas y en moldes adaptados es posible hacer desvíos para no provocar esfuerzos excesivos en los extremos (Figura 3.1). En aquellas secciones donde el presfuerzo resulte excesivo, como en los extremos de vigas simplemente apoyadas sin desvío de torones, se debe disminuir la fuerza presforzante encamisando algunos de ellos. En la Figura 3.1 se muestran las posibles trayectorias de estos tendones así como un ejemplo de la producción en serie en mesas de gran tamaño, en muchos casos mayores de 80 m de longitud.

---

<sup>1</sup> Tipos de Pretensado (En línea) Por José Alejandro Rodríguez, en 7 de Julio de 2008  
< <http://www.elmercadodelavivienda.com/elementos-de-una-fabrica-de-pretensado.html>>

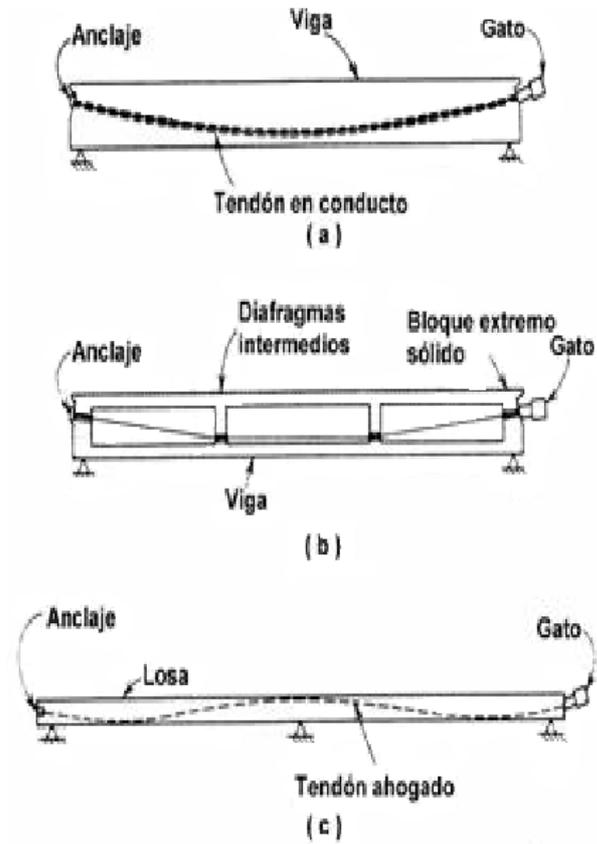


**FIGURA 3.1:** Fabricación de un elemento pretensado

- (a) Trayectoria horizontal
- (b) Desvío de torones
- (c) Producción en serie

3.2.2 Postensado. El postensado es el método de presfuerzo que consiste en tensar los tendones y anclarlos en los extremos de los elementos después de que el concreto ha fraguado y alcanzado su resistencia necesaria. Previamente al vaciado del concreto, se dejan ductos perfectamente fijos con la trayectoria deseada, lo que permite variar la excentricidad dentro del elemento a lo largo del mismo para lograr las flechas y esfuerzos deseados. Los ductos serán rellenos con mortero o lechada una vez que el acero de presfuerzo haya sido tensado y anclado. Las funciones primordiales del mortero son las de proteger al presfuerzo de la corrosión y evitar movimientos relativos entre los torones durante cargas dinámicas. En el postensado la acción del presfuerzo se ejerce externamente y los tendones se anclan al concreto con dispositivos mecánicos especiales (anclajes), generalmente colocados en los extremos del tendón. Este postensado puede emplearse tanto para elementos fabricados en planta, a pie de obra o vaciados en sitio. Las aplicaciones más usuales son para vigas de grandes dimensiones, dovelas para puentes, losas con presfuerzo bidireccional, diafragmas de puentes, vigas hiperestáticas, cascarones y tanques de agua, entre otros. Las trayectorias

del presfuerzo pueden ser curvas, lo que permite diseñar con mayor eficiencia elementos hiperestáticos y evitar esfuerzos en los extremos del elemento (Figura 3.2).



**FIGURA 3.2:** Trayectorias típicas de tendones en vigas Postensadas

### 3.3 MATERIALES

3.3.1 Acero<sup>2</sup>. Las estructuras a que se hace referencia son de concreto presforzado con torones de acero. También se considera el empleo de elementos con refuerzo convencional. No presforzados para diversos propósitos.

El uso de acero de muy alta resistencia para el presfuerzo es necesario por razones físicas básicas. Las propiedades mecánicas de este acero tal como lo revelan las curvas de esfuerzo-deformación, son algo diferentes de aquellas del acero convencional usado para el refuerzo del concreto. Adicionalmente a su alta resistencia, se debe tener en cuenta las diferencias de ductilidad, carencia de punto de fluencia bien definido, y otras características de gran importancia técnica.

Las varillas de refuerzo comunes usadas en estructuras no presforzadas, también desempeñan un papel importante dentro de la construcción presforzada; se usan como refuerzo en el alma, refuerzo longitudinal suplementario, para otros fines.

El concreto empleado en miembros presforzados es normalmente de resistencia técnica más alta que el de las estructuras no presforzadas.

3.3.1.1 Importancia del Acero de Alta Resistencia. La razón para el fracaso de la mayoría de los primeros intentos en concreto presforzado fue la falla al emplear aceros con inadecuado nivel de esfuerzo-deformación. Los cambios de longitud, función del tiempo, ocasionados por la contracción y el escurrimiento plástico del concreto, fueron de tal magnitud que eliminaron el presfuerzo en el acero.

El acero usado para postes de concreto pretensado debe cumplir con la norma NTC 2010.

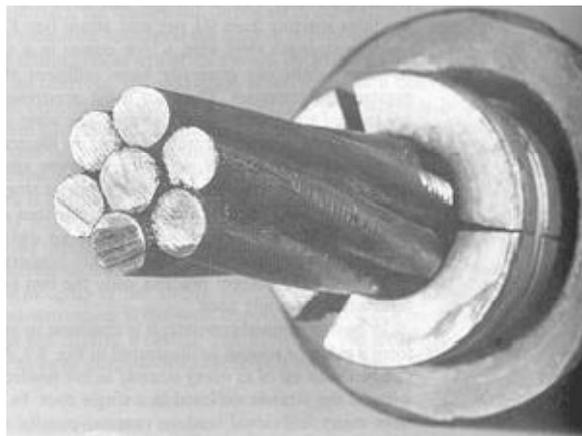
---

<sup>2</sup> Manual de Diseño de Estructuras Prefabricadas y Presforzadas Por Álvaro Obregón, Anippac, Mexico D.F. 175 pag.

3.3.1.2 Acero de Presfuerzo. El acero de presfuerzo es el material que va a provocar de manera activa momentos y esfuerzos que contrarresten a los causados por las cargas. Existen tres formas comunes de emplear el acero de presfuerzo: alambres, torón y varillas de acero de aleación.

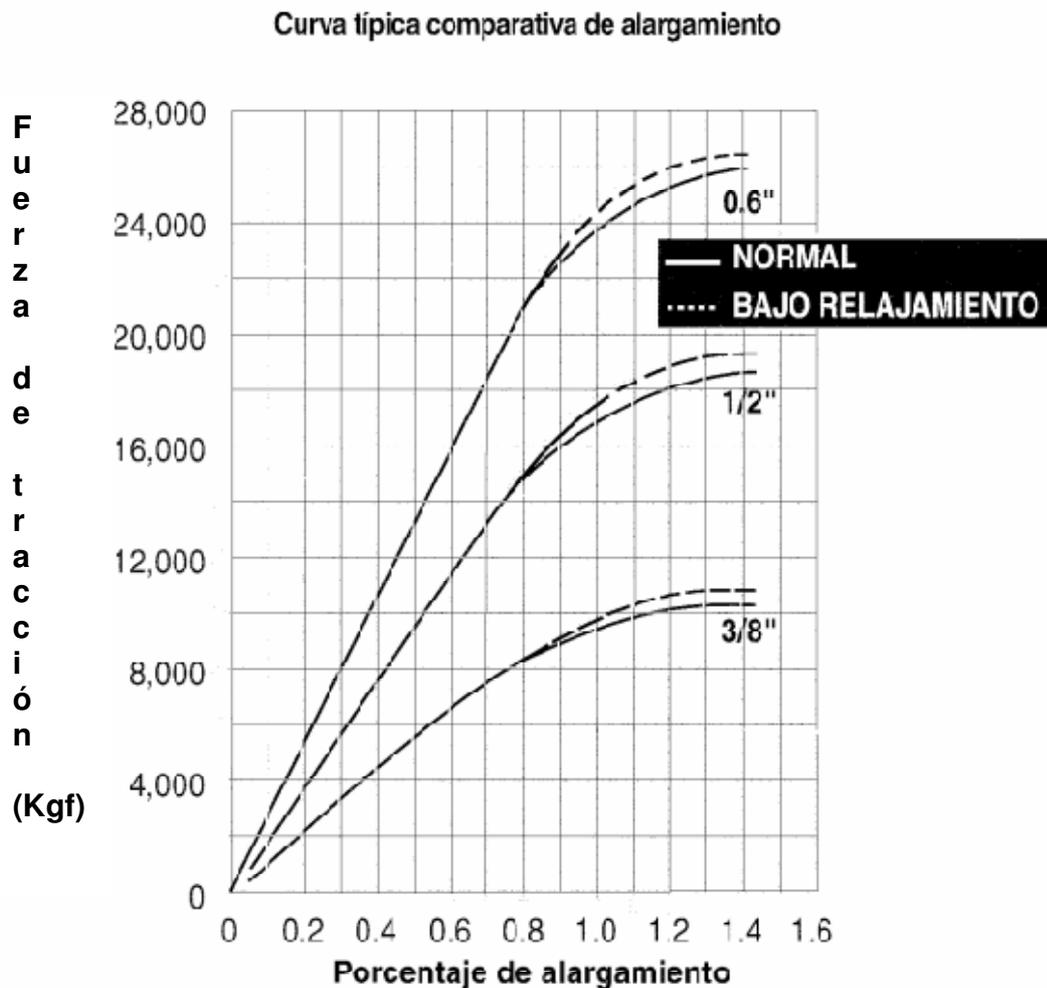
Alambres. Los alambres individuales se fabrican laminando en caliente lingotes de acero hasta obtener alambres redondos que, después del enfriamiento, pasan a través de troqueles para reducir su diámetro hasta su tamaño requerido. El proceso de estirado, se ejecuta en frío lo que modifica notablemente sus propiedades mecánicas e incrementa su resistencia. Posteriormente se les libera de esfuerzos residuales mediante un tratamiento continuo de calentamiento hasta obtener las propiedades mecánicas prescritas. Los alambres se fabrican en diámetros de 3, 4, 5, 6, 7, 9.4 y 10 mm y las resistencias varían desde 16,000 hasta 19,000 kg/cm<sup>2</sup>. Los alambres de 5, 6 y 7 mm pueden tener acabado liso o dentado.

Torón. El torón se fabrica con siete alambres firmemente torcidos (Figura 3.3) cuyas características se mencionaron en el párrafo anterior; sin embargo, las propiedades mecánicas comparadas con las de los alambres mejoran notablemente, sobre todo la adherencia. El paso de la espiral o hélice de torcido es de 12 a 16 veces el diámetro nominal del cable. La resistencia a la ruptura,  $f_{sr}$ , es de 19,000 kg/cm<sup>2</sup> para el grado 270K (270,000 lb/pulg<sup>2</sup>), que es el más utilizado actualmente. Los torones pueden obtenerse entre un rango de tamaños que va desde 3/8" hasta 0.6 pulgadas de diámetro, siendo los más comunes los de 5/16", 3/8" y de 1/2" con áreas nominales de 49.48, 54.8 y 98.7 mm<sup>2</sup>, respectivamente.



**FIGURA 3.3:** Torón utilizado en concreto presforzado

Varillas de acero de aleación. La alta resistencia en varillas de acero se obtiene mediante la introducción de algunos minerales de ligazón durante su fabricación. Adicionalmente se efectúa trabajo en frío en las varillas para incrementar aún más su resistencia. Después de estirarlas en frío se les libera de esfuerzos para obtener las propiedades requeridas. Las varillas de acero de aleación se producen en diámetros que varían de 1/2" hasta 13/8".



**FIGURA 3.4:** Curva fuerza – deformación para tres torones de distinto diámetro

Características esfuerzo-deformación del presfuerzo. En la Figura 3.4 se muestra una gráfica resistencia-deformación para torones con distinto diámetro; para el torón de 1/2" esta gráfica también es de esfuerzo-deformación porque el área del torón es 0.987, casi uno. Se observa que el acero de presfuerzo no presenta un esfuerzo de fluencia definido. Usualmente este esfuerzo se calcula como el correspondiente a una deformación unitaria de 1.0 por ciento; en la gráfica se

observa que el esfuerzo correspondiente a esa deformación es 17,000 y 17,500 kg/cm<sup>2</sup> para los aceros normal y de bajo relajamiento, respectivamente.

Para alambres redondos lisos el módulo de elasticidad es semejante al del refuerzo ordinario, esto es, alrededor de 2'000,000 kg/cm<sup>2</sup>. Para torón y para varillas de aleación el módulo de elasticidad está entre 1'900,000 y 1'960,000 kg/cm<sup>2</sup>.

Después del inicio de la fluencia del acero, los alambres muestran una fluencia gradual y la curva continúa creciendo hasta la falla. Las varillas de aleación tienen características similares a aquellas de los alambres redondos o de los torones, pero sus límites proporcionales y resistencias son de 30 a 40 por ciento menores. Como se verá más adelante, el esfuerzo máximo al que se tensan los torones es 0.8 fsr que, como se aprecia en la Figura 3.4, es un esfuerzo de 15,200 kg/cm<sup>2</sup>, para un torón de 1/2" y está debajo del esfuerzo de fluencia. El esfuerzo de servicio final, una vez que se han presentado todas las pérdidas, será entre 15 y 30 por ciento menor que el esfuerzo de tensado.

Relajación del acero. Cuando al acero de presfuerzo se le mantiene en tracción experimenta un reajuste y rompimiento interno de partículas conocido como relajación. Esta relajación debe tomarse en cuenta en el diseño ya que produce una pérdida significativa de la fuerza presforzante. Actualmente, la mayoría de los aceros son de baja relajación y son conocidos como Acero de Baja Relajación o LO-LAX, y deben de preferirse sobre los otros para evitar pérdidas excesivas.

3.3.1.3 Acero de Refuerzo. El uso del acero de refuerzo ordinario es común en elementos de concreto presforzado. La resistencia nominal de este acero es  $f_y = 4,200$  kg/cm<sup>2</sup>. Este acero es muy útil para:

- aumentar ductilidad
- aumentar resistencia
- resistir esfuerzos de tensión y compresión
- resistir cortante y torsión
- restringir agrietamiento por maniobras y cambios de temperatura
- reducir deformaciones a largo plazo
- confinar al concreto

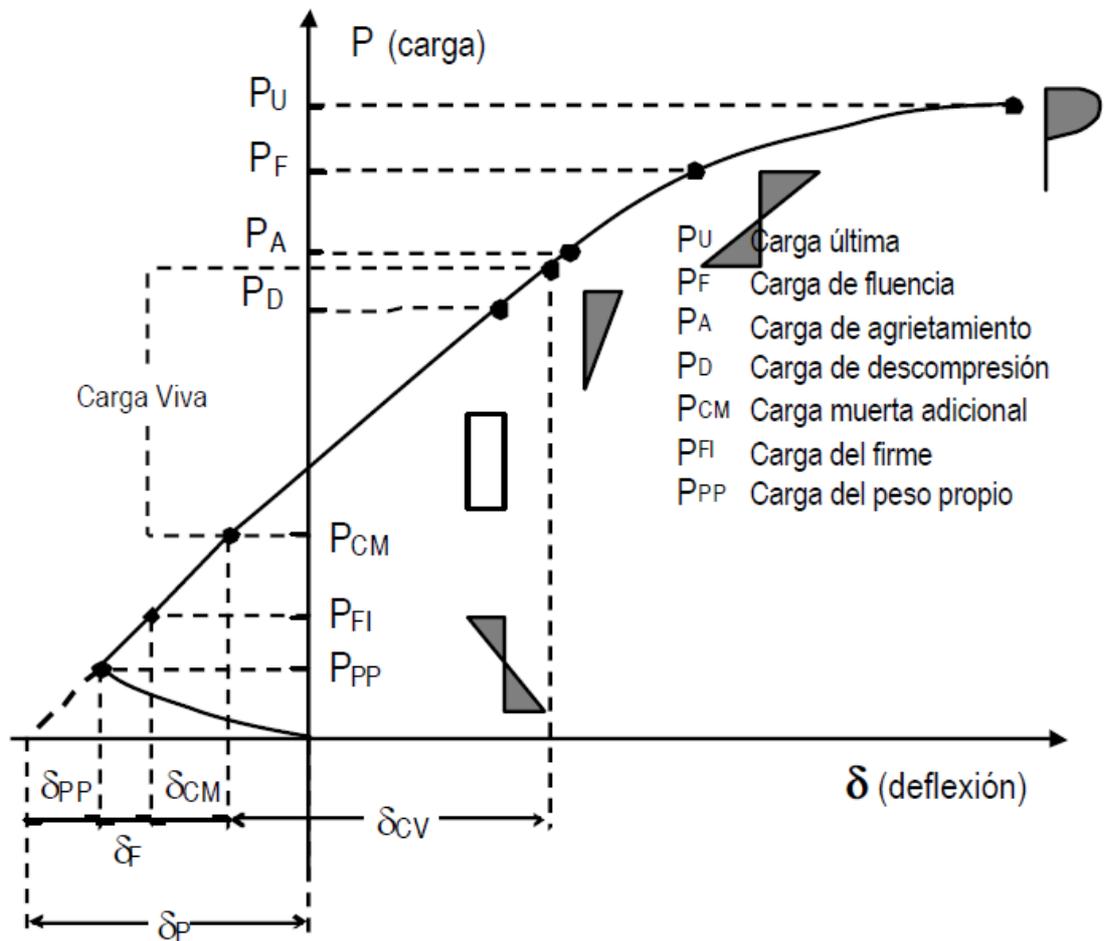
3.3.1.4 Acero Estructural. En muchos elementos prefabricados es común el uso de placas, ángulos y perfiles estructurales de acero. Éstos son empleados en conexiones, apoyos y como protección. El esfuerzo nominal de fluencia de este acero es de 2,530 kg/cm<sup>2</sup>.

3.3.1.5. Malla Electrosoldada. Por su fácil colocación, las retículas de alambre o mallas Electrosoldadas se emplean comúnmente en aletas de vigas para puentes en cajón, doble te y similares. El esfuerzo nominal de fluencia es de 5,000 kg/cm<sup>2</sup>. La nominación más común de los distintos tipos de malla es como se muestra a continuación:

S.L x S.T – CM.L / CM.T

En donde S es la separación en pulgadas, CM es el calibre y L y T son las direcciones longitudinal y transversal, respectivamente. La malla más comúnmente utilizada es la 6''x6'' – 6/6.

3.3.1.6 Etapas de un Elemento Presforzado. El diseño de elementos de concreto presforzado consiste en proponer el elemento que sea funcional y económicamente óptimo para determinadas acciones y características geométricas de la obra. Una vez escogido el elemento, el diseño consiste en proporcionar los aceros de presfuerzo y de refuerzo para que tenga un comportamiento adecuado durante todas sus etapas dentro del marco de un reglamento vigente. Es claro que ante esta perspectiva, el elemento o sección a utilizar no es una incógnita sino un dato que el diseñador de acuerdo a sus conocimientos y experiencia debe proporcionar.



**FIGURA 3.5:** Gráfica carga-deflexión de una viga presforzada típica

Un elemento presforzado, y en general cualquier elemento prefabricado, está sometido a distintos estados de carga. Estos estados pueden representar condiciones críticas para el elemento en su conjunto o para alguna de sus secciones. Existen dos etapas en las que se deben revisar las condiciones de servicio y seguridad del elemento: la etapa de transferencia y la etapa final; sin embargo, para muchos elementos existen etapas intermedias que resultan críticas. En la Figura 3.5 se muestran esquemáticamente en una gráfica carga-deflexión el proceso de cargas de un elemento presforzado típico y el estado de esfuerzos correspondiente a cada etapa en la sección de momento máximo. A medida que el elemento es cargado con el firme y la sobrecarga muerta, la contraflecha disminuye hasta que, generalmente con la presencia de la carga viva, se presenta una flecha hasta el punto de descompresión (cuando se presentan tensiones en la fibra inferior del elemento), para finalmente sobrepasar la fluencia y llegar a la carga última.

### Etapa de Transferencia.

Esta tiene lugar cuando se cortan los tendones en elementos pretensados o cuando se libera en los anclajes la presión del gato en concreto postensado. Es decir, cuando se transfieren las fuerzas al concreto que comúnmente ha alcanzado el 60 por ciento de su resistencia. Aquí ocurren las pérdidas instantáneas y las acciones a considerar son el presfuerzo que actúa en ese instante y el peso propio del elemento. Esta etapa puede ser crítica en los extremos de elementos pretensados sin desvío de torones donde el presfuerzo es excesivo. Dado que la acción del presfuerzo solo es contrarrestada por la del peso propio del elemento, en esta etapa se presentará la contraflecha máxima (Figura 3.5).

### Estado intermedio.

Dentro de esta etapa se presenta el transporte y montaje del elemento. Se debe tener especial cuidado en la colocación de apoyos temporales y ganchos y dispositivos de montaje para no alterar la condición estática para la que fue diseñado el elemento. Algunas vigas para puente son tan largas que es necesario dejar volado uno de los extremos para que se puedan transportar.

Muchos elementos presforzados tienen un comportamiento en etapas intermedias distinto al que tienen en transferencia o en el estado final. Tal es el caso de algunas viguetas, trabes y losa que, antes de que la sección compuesta esté lista para soportar cargas, requieren de vibrado temporal que es removido cuando los vaciados en sitio y la losa o el firme han fraguado.

Otro tipo de elementos que requieren un diseño muy refinado son aquellos que fueron fabricados, transportados y montados como simplemente apoyados pero que en la etapa final formarán parte de un sistema hiperestático.

Etapa final. El diseñador debe considerar las distintas combinaciones de cargas en la estructura en general, y en cada elemento en particular, para garantizar el comportamiento adecuado de los elementos. En la etapa final se considerarán las condiciones de servicio tomando en cuenta esfuerzos permisibles, deformaciones y agrietamientos, y las condiciones de resistencia última de tal manera que además de alcanzar la resistencia adecuada se obtenga una falla dúctil. En esta etapa ya han ocurrido todas las pérdidas de presfuerzo y en la mayoría de los casos el elemento presforzado se encuentra trabajando en conjunto con el firme vaciado en sitio, lo que incrementa notablemente su inercia y resistencia. En la Figura 3.5 se indican, a partir de la carga de descompresión, los distintos estados finales que se deben considerar en el diseño de cualquier elemento presforzado.

3.3.2 Concreto<sup>2</sup>. El tipo de concreto que se usa en la construcción presforzada se caracteriza por una mayor resistencia que aquel que se emplea en concreto reforzado ordinario. Se le somete a mayores esfuerzos, y por lo tanto un aumento en su calidad generalmente conduce a resultados más económicos. El uso de concreto de alta resistencia permita la reducción de las dimensiones de la sección de los miembros a un mínimo. Se logran ahorros significativos en carga muerta y grandes luces resultan técnica y económicamente posibles.

El concreto de alta resistencia tiene un módulo de elasticidad más alto que el concreto de baja resistencia, de tal manera que se reduce cualquier pérdida de la fuerza pretensora debida al acortamiento elástico del concreto. Las pérdidas por escurrimiento plástico que son aproximadamente proporcionales a las pérdidas elásticas, son también menores. Un concreto de alta resistencia a la compresión tiene también una mayor resistencia a la tensión, de tal manera que disminuye la formación de grietas debidas a la flexión y a la tensión diagonal.

A menudo se usa el curado a vapor para lograr una mayor hidratación en el cemento.

En la práctica actual, se especifican comúnmente resistencias a la compresión entre los 4000 y 6000 Psi para los miembros de concreto presforzado, aunque se pueden obtener resistencias aún más altas.

A menudo en la fabricación de concreto para uso de presforzado se utiliza cemento Portland de alta resistencia y fraguado rápido Tipo III, en lugar del cemento Portland ordinario Tipo I, y el uso de curado a vapor como ya se mencionó anteriormente.

---

<sup>2</sup> Manual de Diseño de Estructuras Prefabricadas y Presforzadas Por Álvaro Obregón, Anippac, Mexico D.F. 175 pag.

### 3.4 RESEÑA HISTÓRICA<sup>3</sup>

El principio básico del pretensado fue aplicado a la construcción quizás hace siglos, cuando se ataban cintas o bandas metálicas alrededor de duelas de madera para formar los barriles. Cuando se apretaban los cinchos, estaban bajo una fuerza que creaba un esfuerzo de compresión entre las duelas y las habilitaban para resistir la tensión en arco, producida por la presión interna del líquido contenido.

Sin embargo las notables mejoras que podían obtenerse en el comportamiento de las estructuras de concreto mediante el presforzado, fueron reconocidas por vez primera por el renombrado ingeniero francés Eugenio Freyssinet, quien convirtió en realidad práctica la idea de pretensar los elementos de hormigón; sus estudios acerca de los efectos dependientes del tiempo, de la contracción y el flujo plástico del concreto, que inició desde 1911, que llegó a comprender con la importancia de usar acero sometido a un alto esfuerzo inicial para presforzar miembros de concreto. En 1940 introdujo un sistema de presforzado usado en cables de alta resistencia anclados con cuñas, arreglo de gran calidad práctica que se usa mucho en la actualidad y que es indispensable usarlo en la implementación de la planta de producción.

**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 y/o tracción 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 kg/cm<sup>2</sup>, y un límite elástico de más de 12,600 kg/cm<sup>2</sup>.

**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.

**1945:** La escasez de acero en Europa durante la Segunda Guerra Mundial le dio ímpetu al desarrollo del hormigón pretensado, 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.

En 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 millas, 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, construidos 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.

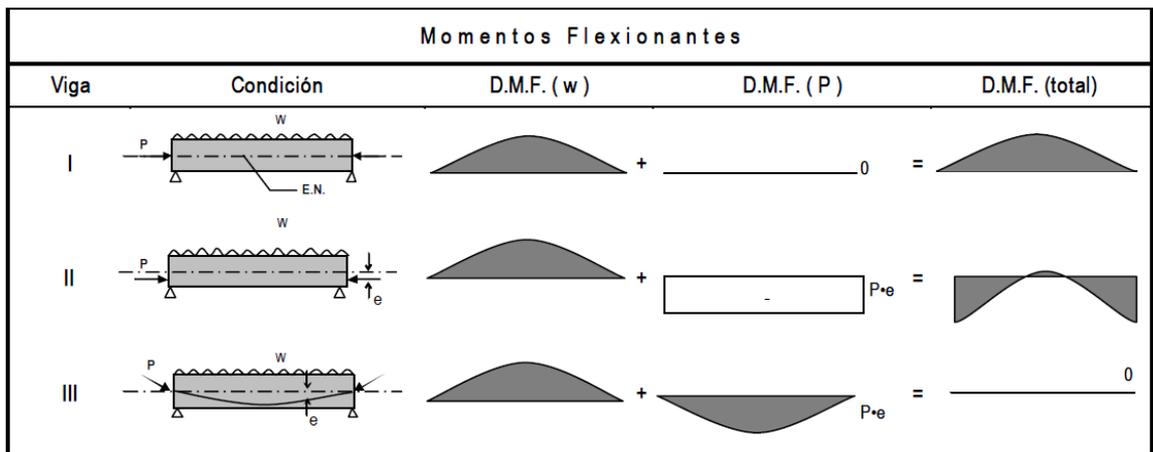
Una vez desarrollada la técnica del Pretensado, rápidamente se difundió alrededor de todo el globo terrestre y fue adoptado como una mejor alternativa estructural y económica debido a sus notables ventajas con respecto al hormigón armado tradicional; en Colombia esta técnica, fue implementada alrededor del año 1960 aproximadamente. Así, rápidamente, algunas empresas que hasta el momento se encuentran en vigencia y adaptaron este sistema a sus requerimientos constructivos.

### 3.5 TEORÍA DEL PRETENSADO<sup>4</sup>

En la Figura 3.6 se muestran los diagramas de momentos debidos a carga vertical,  $W$ , y a la fuerza de presfuerzo,  $P$ , para una viga simplemente apoyada. La carga vertical y la fuerza de presfuerzo son las mismas para las tres vigas; sin embargo, los diagramas de momento debidos a las distintas condiciones de la fuerza de presfuerzo difieren entre sí. La viga I tiene presfuerzo axial, es decir, el centro de gravedad de los torones se encuentra en el eje neutro de la sección. El presfuerzo así colocado no provoca ningún momento en la sección por lo que desde este punto de vista no hay ventajas al colocar presfuerzo axial. En la viga II el presfuerzo produce un diagrama de momento constante a lo largo del elemento debido a que la trayectoria de la fuerza  $P$  es recta y horizontal, pero está aplicada con una excentricidad,  $e$ . Con esto se logra contrarrestar el momento máximo al centro de la luz provocado por la carga vertical. Sin embargo, en los extremos de la viga II el momento provocado por el presfuerzo resulta excesivo ya que no existe momento por cargas verticales que disminuya su acción. En este caso, un diseño adecuado deberá corregir este exceso de momento. Por último, en la viga III se tiene una distribución de momentos debida al presfuerzo similar a la curva provocada por la carga vertical; el presfuerzo así colocado, con excentricidad pequeña en los extremos y máxima al centro de la luz, contrarresta eficientemente el efecto de las cargas en cada sección de la viga. La Figura 3.7 muestra los diagramas de esfuerzos para las secciones al centro de la luz y en los extremos correspondientes a las mismas vigas de la Figura 3.6. Se aprecia que, contrario a lo observado en la Figura 3.6, el comportamiento de la viga I al centro de la luz sí mejora con el presfuerzo, aunque este sea sólo axial. Esto es debido a que el presfuerzo provoca compresiones que disminuyen las tensiones provocadas por  $W$  en la fibra inferior de la sección. Para las vigas II y III estos esfuerzos de tensión son todavía menores por el momento provocado por el presfuerzo excéntrico. En los extremos, las vigas I y III tienen esfuerzos sólo de compresión, mientras que la viga II presenta esfuerzos de tensión y compresión debidos a la existencia de presfuerzo excéntrico; estos esfuerzos son mayores que los de las vigas I y III y en general mayores también que los esfuerzos permisibles.

La comparación de las vigas I, II y III mostrada en las Figuras 3.6 y 3.7 nos permite concluir que el acero de presfuerzo disminuye tanto los esfuerzos de tensión como los momentos en la sección al centro de la luz. Los efectos secundarios del presfuerzo como los momentos y esfuerzos excesivos en los extremos de la viga II pueden suprimirse o inhibirse con procedimientos sencillos encamisando los torones o con técnicas similares.

3.5.1 Ventajas y desventajas del uso de elementos presforzados. De acuerdo con lo anterior, la deformación y el agrietamiento de elementos presforzados disminuyen por la compresión y el momento producidos por los tendones, lo que se traduce en elementos más eficientes. Esto se aprecia esquemáticamente en la Figura 3.8 que muestra la comparación del estado de deformación y agrietamiento de dos vigas, una de concreto reforzado y otra de concreto presforzado, sometidas ante la misma carga vertical.



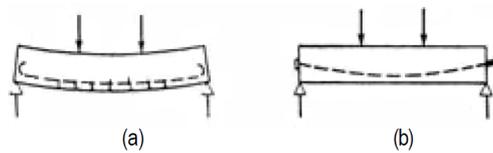
Momentos flexionantes a lo largo de vigas presforzadas simplemente apoyadas

**FIGURA 3.6:** Momentos Flexionantes a lo largo de vigas presforzadas simplemente apoyadas

Esfuerzos										
Viga	Condición	AL CENTRO DEL CLARO				EN EL EXTREMO				
		Carga (W)	Presfuerzo Axial	Presfuerzo Excéntrico	Total	Carga (W)	Presfuerzo Axial	Presfuerzo Excéntrico	Total	
I			-		+ 0 =		0 -		+ 0 =	
II			-		+ =		0 -		+ =	
III			-		+ =		0 -		+ 0 =	

Esfuerzos al centro del claro y en los extremos de vigas simplemente apoyadas con y sin excentricidad

**FIGURA 3.7:** Esfuerzos al centro de la luz en los extremos de vigas simplemente apoyadas con y sin excentricidad



Deformación y agrietamiento en vigas de:  
 (a) Concreto reforzado y  
 (b) Concreto presforzado

**FIGURA 3.8:** Deformación y agrietamiento en vigas de concreto reforzado y presforzado

Algunas ventajas del concreto presforzado son las siguientes:

- Mejor comportamiento ante cargas de servicio por el control del agrietamiento y la deflexión
- Permite el uso óptimo de materiales de alta resistencia
- Se obtienen elementos más eficientes y esbeltos, con menos empleo de material; en vigas, por ejemplo, se utilizan peraltes del orden de  $L/20$  a  $L/23$ , donde  $L$  es la luz de la viga, a diferencia de  $L/10$  en concreto reforzado

- La producción en serie en plantas permite mayor control de calidad y abatimiento de costos
- Mayor rapidez de construcción al atacarse al mismo tiempo varios frentes o construirse simultáneamente distintas partes de la estructura; esto en general conlleva importantes ventajas económicas en un análisis financiero completo

Conviene también mencionar algunas desventajas que en ocasiones pueden surgir en ciertas obras. Estas son:

- La falta de coordinación en el transporte de los elementos presforzados puede encarecer el montaje.
- En general, la inversión inicial es mayor por la disminución en los tiempos de construcción.
- Se requiere también de un diseño relativamente especializado de conexiones, uniones y apoyos.
- Se debe planear y ejecutar cuidadosamente el proceso constructivo, sobre todo en las etapas de montaje y vaciado en sitio.

Existen aplicaciones que solo son posibles gracias al empleo del presfuerzo. Este es el caso de puentes sobre avenidas con tránsito intenso o de luces muy grandes, el de algunas naves industriales o donde se requiere de una gran rapidez de construcción, entre otras.

---

<sup>4</sup> Manual de Diseño de Estructuras Prefabricadas y Presforzadas Por Álvaro Obregón, Anippac, Mexico D.F. 175 pag.

## 4. ANÁLISIS DE AGREGADOS Y DISEÑO DE MEZCLA DE ALTA RESISTENCIA.

### 4.1 MATERIALES UTILIZADOS

4.1.1 Cemento. Como ya se mencionó con anterioridad, lo más recomendable en la construcción de elementos prefabricados, es el uso de un cemento con características de fraguado rápido y resistencias tempranas, por lo tanto para ello se puede optar por el uso de un cemento Portland tipo III o una alternativa comercial de cemento Portland Tipo I Estructural que cumple con iguales requisitos para el uso en prefabricados y para Concreto Preesforzado.

En la tabla 1 se mencionan los resultados de algunos ensayos realizados a este tipo de cemento (ver Anexo A)

**Tabla 1:** Ensayos cemento Portland

RESUMEN DE ENSAYOS CEMENTO PORTLAND TIPO 1 ESTRUCTURAL				
DISTRIBUIDOR: ARGOS				
Finura			92	%
Peso Específico			3,184	gr/ml
Fraguado Inicial			90	min
Fraguado Final			330	min
Peso Unitario Suelto			981,411	kg/dm <sup>3</sup>
Peso Unitario Compacto			1042,06	kg/dm <sup>3</sup>

4.1.2 Agregados. Con el fin de conseguir una resistencia igual o superior a lo especificado, en lo posible prescindiendo del uso de aditivos, se ha procurado obtener muestras de los mejores materiales áridos de la región, basados en ensayos previos de laboratorio y otros estudios realizados sobre los agregados locales. También se han atendido sugerencias del Departamento Técnico de la Fabrica de Postes ubicada en Soacha – Cundinamarca: COBEC SA, conducentes a conseguir una mezcla de alta resistencia y calidad.

En virtud de estas consideraciones, se ha decidido iniciar los ensayos con agregados de origen sedimentario provenientes de río, los cuales tienen propiedades mecánicas muy buenas que favorecen la obtención de un concreto de alta resistencia; en este caso de la cantera del sector Pilcuán (Imués) AGRESUR LTDA, y se procedió con el análisis de la siguiente forma:

**Agregado grueso o grava:** según la NTC 1329 el tamaño máximo de agregados es de 19 mm y mínimo de 10 mm. En este caso se usa agregado con tamaño máximo 3/4" (19 mm).

**Agregado fino:** El agregado fino a utilizarse proviene del ripio (residuo de la trituración de grava), y de arena de río.

En las tablas 2 y 3 se mencionan los resultados de ensayos realizados a los agregados grueso y fino correspondientemente (ver Anexos B y C)

#### 4.2 ANÁLISIS DE AGREGADOS

**Tabla 2:** Resumen ensayos gravilla 3/4"

AGREGADO GRUESO		VALOR	UNIDADES
DENSIDAD APARENTE SECA	Gg	2,76402551	kg/dm <sup>3</sup>
TAMAÑO MAXIMO	TM	0,75	in
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	TMN	0,5	in
PORCENTAJE DE ABSORCION	% ABSg	5,225	%
MASA UNITARIA SUELTA	MUSg	1,5540695	kg/dm <sup>3</sup>
MASA UNITARIA COMPACTADA	MUCg	1,6872428	kg/dm <sup>3</sup>

**Tabla 3:** Resumen ensayos Ripio 3/4

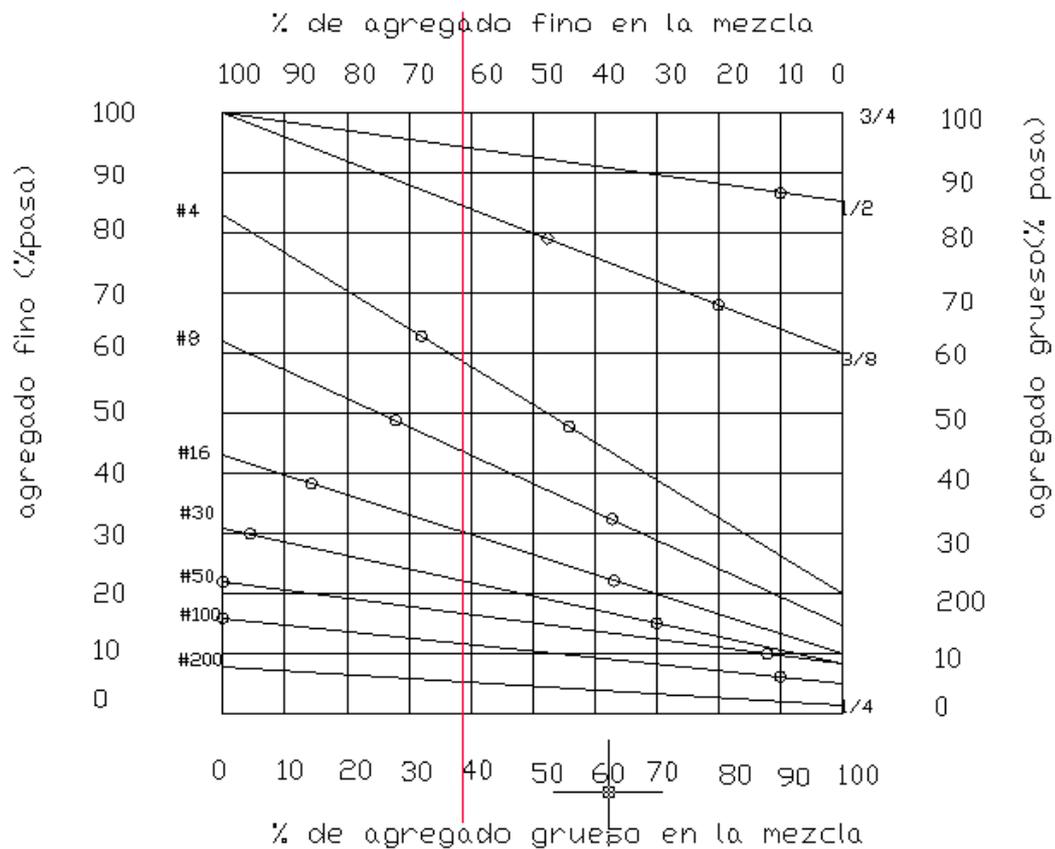
AGREGADO FINO		VALOR	UNIDADES
DENSIDAD APARENTE SECA	Gf	2,69872735	kg/dm <sup>3</sup>
MODULO DE FINURA	Mf	3,41	
PORCENTAJE DE ABSORCION	%ABSf	2,13	%
MASA UNITARIA SUELTA	MUSf	1,33899849	kg/dm <sup>3</sup>
MASA UNITARIA COMPACTADA	MUCf	1,7879568	kg/dm <sup>3</sup>

#### 4.3 DISEÑO DE MEZCLA

La dosificación de las mezclas se realizó en base a la norma NSR-98 C.5.2 "Dosificación de las Mezclas de Concreto" al igual que el análisis y ensayos de los materiales de acuerdo a la norma NSR-98 C.3 "Ensayos de Materiales"

Según la NTC 1329 la resistencia mínima requerida en un concreto para la fabricación de postes con el sistema pretensado es de 35 Mpa (5000 Psi), pero para efectos de diseño se procederá a tomar como referencia un concreto de 6000 Psi.

Para el proceso de diseño se utilizará el Método Gráfico, con el fin de obtener las proporciones deseadas.



**FIGURA 4.1:** Gráfica de Granulometría Combinada

Los datos de granulometría de los agregados grueso y fino para la ubicación gráfica de los puntos en la fig 4.1, se encuentran en los anexos B y C respectivamente. y la tabla utilizada para ello es: tabla 11.17 del libro "Tecnología del Concreto y del Mortero" de Diego Sánchez de Guzmán, cuarta edición 2000

De acuerdo a la gráfica anterior los porcentajes obtenidos son los siguientes:

Agregado fino: 37%

Agregado grueso: 63%

El asentamiento que se le da a la mezcla es tomado del libro "Tecnología del Concreto y del Mortero" de Diego Sánchez de Guzmán, cuarta edición 2000. Tabla 11.3

Asentamiento en elementos prefabricados de alta resistencia: **20 mm**

Para la selección del tamaño Máximo de Agregado, partimos de la especificación de la NTC 1329,

Tamaño max=  $\frac{3}{4}$ " (**19 mm**)

En cuanto a la estimación del agua de mezcla, se parte de la tabla 11.7 del libro "Tecnología del Concreto y del Mortero" de Diego Sánchez de Guzmán, cuarta edición 2000. Contenido de agua: **180 Kg/m<sup>3</sup>** de concreto.

La resistencia requerida  $f'_{cr}$ , corresponde a un valor de  $f'c = 5000$  Psi =es el siguiente:

Según la NSR-98 C.5.3.2.1

$f'_{cr} = f'c + 85$  kg/cm<sup>2</sup> por no tener datos representativos que permitan calcular desviación estándar y por ser un concreto de  $f'c = 5000$  Psi

$f'_{cr} = 435$  kg/cm<sup>2</sup>

$f'_{cr} = 6214$  Psi

La relación agua cemento correspondiente según tabla 11.13 del libro "Tecnología del Concreto y del Mortero" de Diego Sánchez de Guzmán, cuarta edición 2000, para este tipo de mezcla será de **A/C=0.4**

El cálculo del contenido de cemento se hizo con base en el siguiente procedimiento.

Calculo de contenido de cemento

$$C = \frac{A}{A/C} = \frac{180 \text{ kg/m}^3}{0,4} = 450 \text{ kg/m}^3 \text{ de cemento}$$

Estimación del las proporciones de agregados.

**AGREGADOS**

Vol. Absoluto agregados + Vol. absoluto agua + vol. absoluto cemento = 1000 dm<sup>3</sup>

Vol. Absoluto agregados = 1000 - (180/1) - (450/3.18) dm<sup>3</sup>

Vol. Absoluto agregados = 678,67 dm<sup>3</sup>

$$\text{Gravedad promedio} = 100 / \left( \frac{37}{2,6987 \text{ kg/dm}^3} + \frac{63}{2,764 \text{ kg/dm}^3} \right) = 2,74 \text{ kg/dm}^3$$

Peso del los agregados = vol,ab agregados x Gravedad promedio

Peso del los agregados=678,67 dm<sup>3</sup> x 2,74 kg/dm<sup>3</sup>=1859,22 kg

Peso A fino= peso de los agregados x % Afino=1859,22 kg x 0.37

Peso A fino= 687,91 kg

Peso A Grueso= peso de los agregados x % A Grueso=1859,22 kg x 0.63

Peso A Grueso= 1171,31 kg

Proporciones.

	AGUA	CEMENTO	AG. FINO	AG. GRUESO	Total
<b>PESO MATERIAL (KG/m<sup>3</sup> ccto)</b>	180	450	687,91	1171,31	2489,22
<b>vol. Abs mat. (dm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> de ccto)</b>	180	141,33	254,90	423,77	1000
<b>proporción en peso seco</b>	0,40	1,00	1,53	2,60	
<b>proporciones iniciales en peso seco</b>	0,40	1,00	1,53	2,60	

Humedad de los materiales

A fino= 9,5

A grueso=4,5

Análisis de aporte de agua por m<sup>3</sup> de concreto

Material	Proporción inicial	Peso seco (kg) del agregado	Peso húmedo (kg)	Agua en agregados (kg)	Absorción (kg)	Agua libre (kg)	Aporte (kg)
agua	0,40	180,0	180,00	0,00	0,00	0	42,207 18
cemento	1,00	450,00	450,00	0,00	0,00	0	
ag. Fino	1,53	687,91	753,26	65,35	14,65	50,70	
ag. Grueso	2,60	1171,31	1224,02	52,71	61,20	-8,49	

En donde:

- Peso húmedo= (peso seco del material) x (%humedad del material).
- Agua en agregados= (peso húmedo) –(peso seco).
- Absorción=( peso seco del agregado) x(% absorción del agregado)
- Agua libre= (agua en agregados)-(absorción).
- Aporte= (agua Ag fino)+(Agua Ag grueso).

Agua de mezcla (teórica) = agua calculada - aporte

PESOS DE CADA MATERIAL PARA MEZCLA		
AGUA DE MEZCLA	137,792	kg
PESO CEMENTO	450,00	kg
PESO AG. FINO	753,26	kg
PESO AG. GRUESO	1224,02	kg

Dosificación volumétrica de agregados para la mezcla.

$$\text{Cemento} = \left( \frac{\text{PESO CEMENTO}}{\text{Masa unitaria cemento}} \right) 1000 = \left( \frac{450 \text{ kg}}{1042,06 \text{ kg/dm}^3} \right) 1000 = 431.9 \text{ dm}^3$$

$$\text{Agua} = (\text{Peso cemento}) 0,4 = (450 \text{ kg}) 0,4 = 180 \text{ kg}$$

$$\text{Ag fino} = \left( \frac{\text{Peso Ag fino}}{\text{masa unitaria Ag fino}} \right)$$

$$\text{Ag fino} = \left( \frac{753,26 \text{ kg}}{1,34 \text{ kg/dm}^3} \right) = 562.1343 \text{ dm}^3$$

$$\text{Ag grueso} = \left( \frac{\text{Peso Ag grueso}}{\text{masa unitaria Ag grueso}} \right)$$

$$\text{Ag grueso} = \left( \frac{1224,02 \text{ kg}}{1,55 \text{ kg/dm}^3} \right) = 789.69 \text{ dm}^3$$

$$\text{Vol. agua} = \frac{\text{Agua}}{\text{cemento}} = \frac{180}{431.7} = 0.4$$

$$\text{Vol. Cemento} = \frac{\text{cemento}}{\text{cemento}} = 1$$

$$\text{Vol. Ag fino} = \frac{\text{Ag fino}}{\text{cemento}} = \frac{562.1343 \text{ dm}^3}{431.9 \text{ dm}^3} = 1.36$$

$$\text{Vol. Ag grueso} = \frac{\text{Ag grueso}}{\text{cemento}} = \frac{789.69 \text{ dm}^3}{431.9 \text{ dm}^3} = 1.81$$

Proporción: 1: 1,4 : 1,8

Relación A/c = 0,4

#### 4.4 ENSAYO DE CILINDROS A COMPRESIÓN

La toma de muestras de cilindros para ensayos fue realizada con el propósito de verificar que la resistencia teórica señalada es la que se obtiene en la práctica; se dispuso de una metodología basada en la norma NSR-98 C.5.3 “Resistencia Promedio Requerida”, con base en la cual se obtuvo los resultados mencionados en la tabla 4 (ver Anexo D).

**Tabla 4:** Resumen de ensayos a cilindros

<b>CUADRO DE RESUMEN</b>							
Ensayo de cilindros curados a vapor							
<b>PROPORCIONES</b>	<b>CEMENTO</b>	<b>TIPO DE CURADO</b>	<b>EDAD DEL CILINDRO</b>	<b>RESISTENCIA PROMEDIO PARCIAL (Psi)</b>	<b>RESISTENCIA PROMEDIO FINAL(Psi)</b>		
1 : 1.4 : 1.8	Portland I tipo Estructural	vapor de baja presión	28 días	6892			
1 : 1.4 : 1.8			28 días	7029			
1 : 1.4 : 1.8			28 días	7680			
1 : 1.4 : 1.8			28 días	6989			
1 : 1.4 : 1.8			28 días	7106			
1 : 1.4 : 1.8			28 días	6831			
1 : 1.4 : 1.8			28 días	6839			
							<b>7052</b>
1 : 1.4 : 1.8					8 Horas	3848	
1 : 1.4 : 1.8					8 horas	3646	
1 : 1.4 : 1.8					8 Horas	3816	
1 : 1.4 : 1.8					8 Horas	3808	
1 : 1.4 : 1.8					8 Horas	3614	
1 : 1.4 : 1.8					8 Horas	3646	
1 : 1.4 : 1.8					8 Horas	3692	
							<b>3724</b>

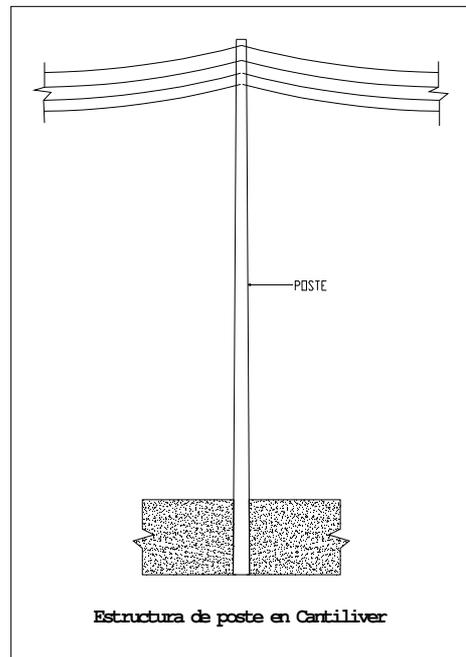
## **5. DISEÑO ESTRUCTURAL DE POSTES MEDIANTE EL SISTEMA PRETENSADO**

### **5.1 GENERALIDADES**

Los postes de hormigón pretensado pueden ser analizados utilizando la teoría clásica de hormigón armado. Estos postes muestran comportamiento lineal y no lineal. Antes de que supere la resistencia a la tracción del hormigón (por debajo del momento de agrietamiento), el poste tiene, relativamente, constante el módulo de elasticidad y desvía de manera lineal. Por encima del momento de fisuración, el poste se comporta de manera no lineal, principalmente debido a la alteración de las propiedades de la sección agrietada.

Es importante señalar que los efectos de la no linealidad se considerarán en el análisis estructural, no sólo debido a los momentos secundarios inducidos, sino también porque la desviación puede ser importante cuando una carga extrema de viento causa un esfuerzo adicional en la estructura, en combinación con la oscilación de los cables conductores.

5.1.1 Estructuras Cantiliver. La mayoría de estructuras de postes de hormigón se da en Cantiliver, es decir, postes embebidos directamente en la tierra o soportadas por una fundación.



**Fig. 5.1** poste en cantiliver

Las estructuras en Cantiliver a menudo se denominan auto-estructuras de apoyo; están diseñadas para soportar varias combinaciones de cargas verticales y horizontales. A pesar de las cargas de cizallamiento y torsión que causan tensiones en la estructura, el diseño de una estructura Cantiliver se realiza predominantemente por la flexión, asociada a las cargas horizontales. Las Cargas horizontales suelen ser el resultado de fuerzas del viento sobre la estructura, el equipamiento y/o los cables conductores.

## 5.2 MÉTODO DE DISEÑO<sup>1</sup>

El diseño de los postes de hormigón es un proceso relativamente complejo que involucra la consideración de varias condiciones de carga, en función del tiempo y el comportamiento no lineal del material, y en última instancia la fuerza y capacidad de servicio.

Los Postes de hormigón deben estar diseñados principalmente por el método de resistencia última. Condiciones de cargas de Servicio, como la primera grieta circunferencial, la reapertura de las grietas y la deformación, deben ser investigadas, con un factor de carga.

La sección transversal de un poste se determina mediante un proceso iterativo de diseño. A partir de una altura en el poste y un árbol de carga, el diseñador asume

a juicio una sección transversal del poste. Si no está satisfecho, por ensayo y error, el proceso se repite hasta que se encuentre una solución adecuada.

Las cuatro distintas condiciones que pueden ser consideradas en el diseño de un poste de hormigón pretensado son las siguientes:

1. resistencia ultima de flexión.
2. la fuerza de agrietamiento.
3. la fuerza de tracción cero.
4. la deflexión.

---

<sup>1</sup>WILLIAM Y.FORD, Guide for the design of prestressed concrete poles, ASCE-PCI Committee Report 1987-1993

### 5.3 PÉRDIDAS DE PRESFUERZO<sup>2</sup>

Existen varias razones por las que la fuerza de presfuerzo efectiva que actúa en el elemento es menor que la fuerza aplicada por el gato hidráulico. Ésta reducción de la fuerza efectiva, llamada pérdida, puede llegar a ser mayor al 30 por ciento en los elementos comúnmente empleados. Por ello, estimar las pérdidas asignando un porcentaje como lo permiten las normas vigentes, puede resultar en un diseño poco conservador, y las consecuencias se reflejarán a largo plazo una vez que todas las pérdidas se presenten. Subestimar o sobrestimar las pérdidas implica errar en la estimación de los esfuerzos y deformaciones en las distintas etapas de servicio del elemento; sin embargo, para la etapa última, cuando se evalúa la resistencia del elemento, las pérdidas no influyen debido a que esta resistencia es función del equilibrio interno de fuerzas y deformaciones. Las pérdidas totales, **DPT**, están dadas por la suma de las pérdidas iniciales **DPTi**, más las diferidas **DPTd**. Entonces **DPT = DPTi + DPTd**.

$$\mathbf{DPTi = DFR + DDA + DAE + DDT + DREi} \quad 5.3.1$$

$$\mathbf{DPTd = DCC + DFP + DREd}$$

5.3.2

Donde:

**DFR** = pérdida por fricción.

**DDA** = pérdida debida al deslizamiento del anclaje.

**DAE** = pérdida debida al acortamiento elástico.

**DDT** = pérdida debida al desvío de torones.

**DCC** = pérdida debida a la contracción del concreto.

**DFP** = pérdida debida al flujo plástico del concreto.

**DRE** = pérdida debida a la relajación del acero.

Datos requeridos en el cálculo de pérdidas:

**f'c** = kg/cm<sup>2</sup>

Resistencia a la compresión del concreto.

**fsr** = kg/cm<sup>2</sup>

Resistencia a la ruptura del acero de presfuerzo.

**Ep** = 1'960,000 kg/cm<sup>2</sup> módulo de elasticidad del torón = 1'960,000 kg/cm<sup>2</sup>  
Proporcionado por el fabricante.

**Ass** = cm<sup>2</sup>

Área bruta del elemento.

**Iss** = cm<sup>4</sup>

Momento de inercia.

**f\*cp** = 0.8 f'c

kg/cm<sup>2</sup>.

**f''cp** = 0.66 f'c

kg/cm<sup>2</sup>.

**Ecp** = 14000 raíz f'c

kg/cm<sup>2</sup>.

**fpy** = 0.9 fsr

kg/cm<sup>2</sup>.

**fpi** = 0.76 fsr

kg/cm<sup>2</sup>.

La fuerza de tensado inicial total es:

$$P_{pj} = A_{sp} \cdot f_{pj} = [Kg]$$

5.3.3

Donde:

**A<sub>sp</sub>** = # torones x área del torón

### 5.3.1 PÉRDIDAS INMEDIATAS

5.3.1.1 Relajación instantánea del acero de presfuerzo.

Se considera un tiempo de destensado, **t<sub>h</sub>**, de 8 horas. El esfuerzo de fluencia, **f<sub>py</sub>**, se calcula como **f<sub>py</sub> = 0.9 f<sub>sr</sub> = [kg/cm<sup>2</sup>]**.

La pérdida está dada por:

$$\Delta RE_i = \frac{\log(t_h)}{40} \left[ \frac{f_{pj}}{f_{py}} - 0.55 \right] f_{pj}$$

5.3.1.1

5.3.1.2 Acortamiento elástico del concreto.

Para calcular el acortamiento elástico, se calcula primero el esfuerzo en el centroide del acero de presfuerzo durante el momento de la trasferencia.

$$\Delta AE = \left( \frac{E_p}{E_{cpi}} \right) f_{cgp}$$

5.3.1.2

Donde:

$$f_{cgp} = \frac{P_{pj}}{A_{ss}} + \frac{P_{pj} e y_{cgp}}{I_{ss}} - \frac{M_{pp} y_{cgp}}{I_{ss}} :$$

5.3.1.2.1

$$P_{pj} = f_{sr} (A_{sp}) \left( 0.76 - \frac{\Delta RE_i}{f_{pj}} \right)$$

5.3.1.2.2

5.3.1.3 Deslizamiento del anclaje:

Estas pérdidas se consideran nulas.

5.3.1.4 Desvío de torones:

No se realizará este desvío.

El esfuerzo efectivo después de las pérdidas iniciales es:

$$f = fpj - DREi - DAE = [kg/cm^2] \quad 5.3.1.4$$

Este esfuerzo es menor que  $0.74 f_{sr}$ , que es igual al esfuerzo permisible máximo en el acero de presfuerzo.

5.3.2 PÉRDIDAS DIFERIDAS POR CONTRACCIÓN

Se debe considerar una humedad relativa promedio H:

$$DCC = (1193 - 10.5 H) = [kg/cm^2] \quad 5.3.2$$

5.3.2.1 Flujo plástico:

$$\Delta FP = 12 f_{cgp} - 7 f_{cds}$$

5.3.2.1

Donde

$$f_{cds} = f_{cgp} - \frac{M_{cm} y_e}{I_{ss}} + \frac{M_{imp} y_e}{I_{ss}}$$

5.3.2.1.1

### 5.3.2.2 Relajación diferida del acero de presfuerzo:

$$\mathbf{DREd} = 0.25 (1408 - 0.4 \mathbf{DAE} - 0.2 (\mathbf{DCC} + \mathbf{DFP})) = \text{kg/cm}^2 \quad 5.3.2.2$$

Finalmente el esfuerzo y la fuerza efectiva de presfuerzo son:

$$\mathbf{fe} = \mathbf{fpj} - \mathbf{DPT} = \text{kg/cm}^2 \quad 5.3.2.2$$

$$\mathbf{P} = \mathbf{Pe} = \mathbf{fe Asp} = \text{kg} \quad 5.3.2.2:1$$

---

<sup>2</sup>Anippac conceptos básicos de diseño de elementos de concreto presforzado y prefabricado cap. 2

#### 5.4 RESISTENCIA ÚLTIMA <sup>3</sup>

La resistencia última de flexión de un poste es el instante en que éste falla, por lo general por aplastamiento del hormigón. El poste debe ser diseñado de forma que resista la carga última en todos los sectores del poste y ésta carga deberá ser superior a las cargas aplicadas a la estructura.

#### 5.5 RESISTENCIA DE CRAQUEO

La fuerza de resquebrajamiento de un poste es el instante en que la primera grieta circunferencial ocurrirá. En virtud de esta condición, es el momento en que la resistencia a la tracción del hormigón se supera. La resistencia a la tracción es una función del módulo de rotura de hormigón. Estas grietas se cerrarán a la liberación de la carga. El poste debe ser diseñado para tener la fuerza de craqueo superior a los momentos calculados a partir de las cargas de servicio.

#### 5.6 LA FUERZA DE TRACCIÓN CERO

La fuerza de tracción cero ocurre en el instante en el que una grieta no se abrirá previamente, a una superación de la fuerza momento de fisuración. En virtud de esta condición, de aplicarse un momento no causará ningún esfuerzo de tracción en el hormigón.

Esta fuerza será siempre inferior a la fuerza de momento de agrietamiento. Esto evitaría tener una grieta permanentemente abierta. Evitar abrir grietas es muy importante en ambientes corrosivos, tales como la colocación en el agua de mar o la proximidad de los contaminantes industriales, a fin de proteger el acero de presfuerzo.

#### 5.7 HIPÓTESIS Y PRINCIPIOS DEL MOMENTO ULTIMO RESISTENTE

El momento último resistente de un poste en cualquier sección transversal, es una función de las tracciones en el acero de presfuerzo y compresiones en el hormigón pretensado. El factor de diseño del momento no debe exceder la capacidad del momento último resistente.

Las siguientes hipótesis se tienen en cuenta para el calculo del momento último resistente del poste:

- La distribución de deformaciones unitarias longitudinales, en cada sección transversal del elemento es plana.
- El acero y el hormigón están adecuadamente en servicio.
- El acero y hormigón se consideran en el rango elástico y plástico respectivamente.
- El esfuerzo de compresión en el hormigón se toma como  $0.85f_c$ .

- Se desprecia la resistencia del concreto a la tracción.
- La deformación unitaria de compression en el concreto es  $\epsilon = 0.003$ .

## 5.8 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL MOMENTO ÚLTIMO.

### Equilibrio de la sección

Sobre la base de los supuestos anteriores y las disposiciones del Código del Instituto Americano Del Concreto ACI 318(1995), la distribución rectangular de esfuerzos de compresión en el hormigón se utiliza aquí para la simplificación y está representado por una fuerza concentrada de forma equivalente, definida por el cilindro de resistencia a la compresión  $f'_c$ , el parámetro  $B1c$  y la cantidad  $Kc$ , lo que sitúa el centroide del bloque de estrés (ver fig.)5.8.1

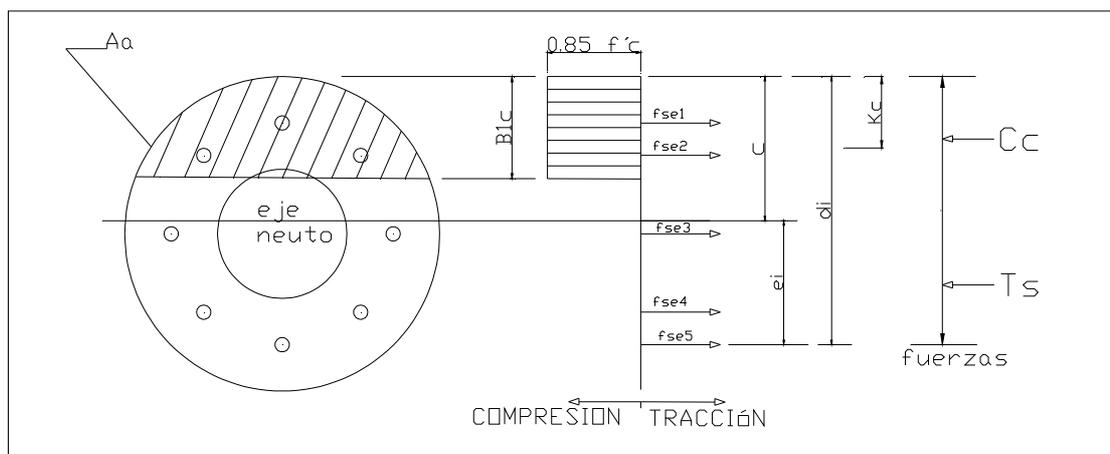


Fig 5.8.1. Área del concreto en compresión , distribución de fuerzas y parámetros en la sección del poste.

El equilibrio de la sección exige la igualdad de fuerzas en el acero y hormigón pretensado. La ecuación de equilibrio es (sin cargas axiales):

$$C_c = T_s.$$

5.8.1

Donde  $C_c$  es la fuerza de compresión del hormigón y  $T_s$  es la tracción del acero.

La compresión en el hormigón se calcula a partir de:

$$C_c = \beta_1 f'_c A_a \quad 5.8.1.2$$

Donde  $A_a$  es el área de la compresión en el hormigón, tal como se define el esfuerzo para un bloque rectangular de profundidad  $\beta_1 c$ . El parámetro  $\beta_1$  se define como 0,85 para un hormigón de resistencia 4000 PSI (27,5 MPa) y menos, y se reduce en un 0,05 por cada 1000 psi (7 MPa) en exceso de 4000 psi (27,5 MPa) hasta llegar a un valor mínimo de 0,65.

El acero de tracción se expresa como:

$$T_s = \sum_{i=1}^n A_{psi} f_{sei} \quad 5.8.1.3$$

Donde  $A_{psi}$  y  $f_{sei}$  son el área y la tracción, respectivamente. La determinación de ensayo y error de iteración de la ubicación del eje neutro  $c$  se utiliza para resolver la profundidad de la compresión del bloque, de manera que el equilibrio entre la tracción y la compresión está satisfecho.

## 5.9 ECUACIÓN DE MOMENTO ÚLTIMO DE CAPACIDAD

El último momento de capacidad de un poste se da como la suma de los momentos de las fuerzas de tracción y compresión con respecto al eje neutro:

$$M_n = \left[ \sum_{i=1}^n e_i A_{psi} f_{sei} + c C_c (1 - K) \right] 0.9 \quad 5.9$$

Donde

$$e_1 = d_1 - c \quad 5.9.1$$

$\emptyset$  es el factor de la reducción de la capacidad (0,90 por flexión).

Téngase en cuenta que  $A_{psi} f_{sei}$  y  $C$  son previamente definidos,  $Kc$  es la posición del centroide del área de compresión de hormigón,  $d_1$  es la distancia del

torón respectiva a la fibra externa comprimida del concreto, y  $e_i$  es la distancia entre el torón y la línea de eje neutro del elemento.

La cantidad  $e_i A_{psi} f_{sei}$  es positivo cuando el torón se encuentra por debajo del eje neutro (zona de tracción) y negativo cuando se encuentra más arriba (zona de compresión).

#### 5.10 MOMENTO FISURACIÓN Y MOMENTO TRACCIÓN CERO

El agrietamiento se inicia cuando la tracción en el extremo de la fibra de hormigón llegue a su módulo de ruptura. El momento de agrietamiento puede ser calculado por la teoría elástica para predecir el comportamiento de los postes. En una sección simétricamente reforzada de un poste de concreto, una tensión uniforme  $P/A_g$  actúa en el área de la sección bruta  $A_g$ , debido a la fuerza  $P$  eficaz de pretensado, debida a el momento actuante  $M$ ; el área de la sección está sujeta a la extrema tensión de esfuerzo  $M y_t/I_g$  donde  $y_t$  es la distancia desde el eje centroidal a la fibra de tensión extrema y el  $I_g$  es el momento de inercia de la sección bruta. El momento de agrietamiento, puede calcularse utilizando la siguiente relación:

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t} + \frac{P I_g}{A_g y_t} \quad 5.10$$

Donde  $\frac{f_r I_g}{y_t}$  es el momento debido a la resistencia del módulo de rotura del hormigón ( $f_r$ ), y  $(\frac{P I_g}{A_g y_t})$ , es el momento debido a la compresión directa de la fuerza de pretensionamiento.

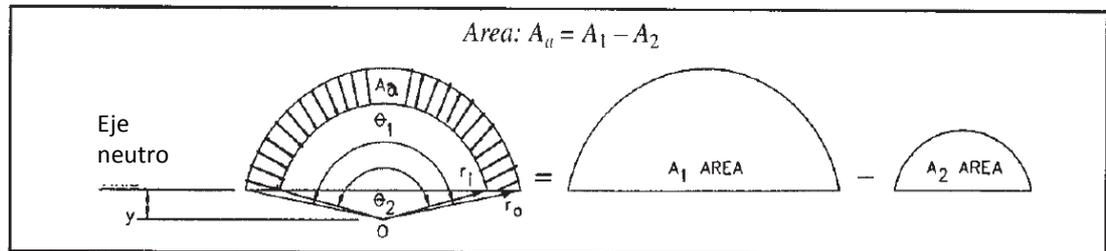
En el Código del Instituto Americano Del Concreto ACI 318 (1995), el módulo de rotura se da como  $7,5 \sqrt{f'_c}$ , donde  $f'_c$  es la resistencia a la compresión de hormigón (en psi).

El momento tensión cero puede ser calculado a partir de la relación:

$$M_o = \frac{P I_g}{A_g y_t}$$

##### 5.10.1

Determinación del área Aa:



**Fig.5.10.** determinación del área en compresión de la sección analizada.

$$- \left( - \right) \quad 5.10.2$$

$$- \left( - \right) \quad 5.10.3$$

$$\theta_1 / 2 = \tan^{-1} \left( \frac{\sqrt{r_o^2 - y^2}}{y} \right) \quad 5.10.4$$

a) Ecuación de Deformación por tracción en el Torón:

$$= \text{---} \quad 5.10.5$$

b) Ecuación de Deformación por compresión concreto:

$$= \text{---} \quad 5.10.6$$

c) Ecuación de Deformación balanceada:

$$= \text{---} \quad 5.10.7$$

= Deformación unitaria del concreto.

= distancia de la fibra mas comprimida hasta el eje del torón analizado.

= posición de eje neutro

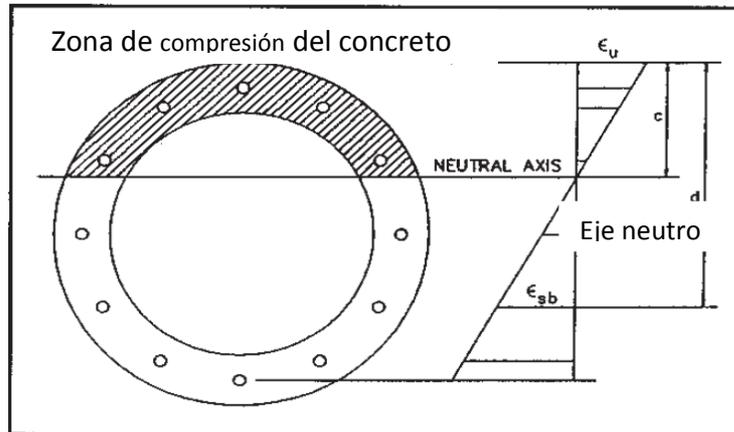


Fig 5.10.1. determinación de la zona de compresión y tracción del concreto.

La ecuación es positiva si está en la zona de tracción y negativa si está en la zona de compresión.

Se suman las deformaciones

5.10.8

Y el esfuerzo esta dado por:

De aquí se obtiene

$$C_c = \beta_1 f'_c A_a$$

Y se compara con  $C_c$ , si  $C_c >$  se reduce  $c$  de lo contrario  $c$  se aumenta y se acepta si  $C_c \pm =$

Luego de esto se procede al cálculo de momentos, **momento último de Capacidad, Momento de agrietamiento y Momento tensión cero** mencionados anteriormente.

---

<sup>3</sup>WILLIAM Y.FORD, Guide for the design of prestressed concrete poles, ASCE-PCI Committee Report 1987-1993

5.11 Ejemplo: diseño para una sección del poste. Se analizara una sección transversal de un poste de 8x510 (8m de longitud del poste con una carga de 510kg) situada a  $L_t=1\text{m}$  desde la punta hacia la base, la resistencia del concreto de presfuerzo es de  $f'_c=420\text{kg/cm}^2$ , se utilizaran aceros de presfuerzo que tendrán las siguientes características proporcionadas por el fabricante: resistencia a la ruptura del torón  $f_{sr}=17576\text{ kg/cm}^2$ , área del acero  $A_s=0.3742\text{cm}^2$ , Diámetro =5/16'' y un modulo de elasticidad de  $E_p=1960000\text{ kg/cm}^2$ , se supondrá un numero de torones de refuerzo  $N=6$ .

### 5.11.1 Propiedades Geométricas

Diámetro exterior en la punta del poste	<b>Dex</b> =14cm
Diámetro interior en la punta del poste	<b>Din</b> =4cm
Conicidad externa	<b>Cex</b> =1.5cm/m
Conicidad interna	<b>Cin</b> =1.2cm/m
Diámetro externo sección analizada	<b><u>Dex</u></b> = $Cex \cdot L_t + Dex = 1.5 \cdot 1 + 14 = 15.5\text{cm}$
Diámetro interno sección analizada	<b><u>Din</u></b> = $Cin \cdot L_t + Din = 1.2 \cdot 1 + 4 = 5.2\text{cm}$
Mto inercia sección analizada	<b>Iss</b> = $\pi \frac{Dex^4}{64} - \pi \frac{Din^4}{64} = 2797.44\text{cm}^4$
Área total de torones	<b>Asp</b> = $N \cdot A_s = 6 \cdot 0.3742 = 2.25\text{cm}^2$
Área transversal analizada	<b>Ass</b> = $\pi r_1^2 - \pi r_2^2 = \pi 7.75^2 - \pi 2.6^2 = 167.45\text{cm}^2$
Carga externa	
Wimp=510kg	

### 5.11.2 Constantes de cálculo NTC C.18.5

**f\*cp** =  $0.8f'_c = 336\text{ kg/cm}^2$  debido a la fuerza del gato.

**f'cp**= $0.66f'_c = 277.2\text{ kg/cm}^2$  ancho equivalente del bloque esfuerzos a compresión.

**fpj**= $0.76f_{sr} = 13357.76\text{ kg/cm}^2$  esfuerzo del tendón al final del tensado.

**Ecpi**= modulo de elasticidad del concreto

**Ecpi**=  $W_c^{1.5} 0.031 \sqrt{f'_c} = ((2489\text{kg/m}^3)^{1.5} 0.031 \sqrt{(42)}) \cdot 10 = 286914.6214\text{ kg/cm}^2$ .

### 5.11.3 CALCULO DE PERDIDAS NSR.C.18.6

#### 5.11.3.1 Perdidas inmediatas

##### 5.11.3.1.1 Relajación instantánea del acero de presfuerzo:

se considera un tiempo de destensado  $t=8h$ . el esfuerzo de fluencia,  $f_{pj}$  se calcula como

$f_{py}=0.9f_{sr}=15818.4 \text{ kg/cm}^2$  esfuerzo de fluencia del acero de presfuerzo.  
la perdida está dada por:

$$\Delta RE_i = \frac{\log(t)}{40} \left[ \frac{f_{pj}}{f_{py}} - 0.55 \right] f_{pj} = \frac{\log(8)}{40} \left[ \frac{13357.7}{15818.4} - 0.55 \right] 13357.76 = 88.799 \text{ kg/cm}^2$$

##### 5.11.3.1.2 Acortamiento elástico del concreto:

Para calcular el acortamiento elástico del concreto se calcula el esfuerzo en el centroide del acero de presfuerzo durante la transferencia.

$$P_{pj} = f_{sr}(A_{sp}) \left( 0.76 - \frac{\Delta RE_i}{f_{pj}} \right) = 17576 \text{ kg/cm}^2 (2.2452 \text{ cm}^2) \left( 0.76 - \frac{88.79 \text{ kg/cm}^2}{13357.76 \text{ kg/cm}^2} \right) = 29728.5 \text{ kg}$$

$f_{cgp}$  = esfuerzo de compresión neto en el concreto en el centro de gravedad de los torones después de la transferencia al concreto.

$$f_{cgp} = \frac{P_{pj}}{A_{ss}} = \frac{29728.5 \text{ kg}}{167.45 \text{ cm}^2} = 177.53 \text{ kg/cm}^2$$

Y la perdida por acortamiento elástico está dada por

$$\Delta AE = \left( \frac{E_p}{E_{pci}} \right) f_{cgp} = \frac{1960000 \text{ kg/cm}^2}{286914.6 \text{ kg/cm}^2} * 177.53 \text{ kg/cm}^2 = 1215.361 \text{ kg/cm}^2$$

##### 5.11.3.1.3 Deslizamiento del anclaje:

Estas pérdidas se consideran nulas por la precisión de anclaje de las cuñas.

##### 5.11.3.1.4 Desvío de torones:

No se realiza este desvío.

El esfuerzo efectivo ( $f$ ) después de las perdidas es:

$$f = f_{pj} - \Delta RE_i - \Delta AE$$

$$f = 13357.76 \text{ kg/cm}^2 - 88.799 \text{ kg/cm}^2 - 1212.76 \text{ kg/cm}^2 = 12056.19 \text{ kg/cm}^2$$

#### 5.11.3.2 Pérdidas diferidas

##### 5.11.3.2.1 Contracción: considerando una humedad relativa promedio $H=70\%$ .

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

Tabla 5.11.3.2.1

**Contracción  $\Delta CC=(1193-10.5H)$**

$$1193-10.5 \cdot 0.7 = 458 \text{ kg/cm}^2$$

5.11.3.2.2 Flujo plástico

$$f_{cfs} = f_{cgp} - \frac{M_{cm} \cdot y_e}{I_{ss}} + \frac{M_{im} \cdot y_e}{I_{ss}} = 177.53 \text{ kg/cm}^2 - 0 + 0 = 177.53 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Delta FP = 12f_{cgp} - 7f_{cfs} = 12(177.53) - 7(177.53) = 889.55 \text{ kg/cm}^2$$

5.11.3.3 Relajación diferida del acero de prefuerzo:

$$\Delta REd = 0.25 (1408 - 0.4 \Delta AE - 0.2(\Delta CC + \Delta FP)) = 163.44 \text{ kg/cm}^2$$

**TABLA 5.** Sumatoria de pérdidas en el poste pretensado

TABLA DE PERDIDAS	$\Delta f(\text{kg/cm}^2)$	%fpj
<b><i>relajación instantánea acero</i></b>	88,7989921	0,66477457
<b><i>acortamiento elástico del concreto</i></b>	1215,361788	9,09854487
<b><i>deslizamiento del anclaje</i></b>	0	0
<b><i>desvió de torones</i></b>	0	0
<b><i>Contracción</i></b>	458	3,42871859
<b><i>flujo plástico</i></b>	889,553743	6,65945295
	163,0861341	1,2209093
total $\Delta PT$	2814,800657	21,0724003

El esfuerzo y la fuerza efectiva de prefuerzo son:

$$f_e = f_{pj} - \Delta PT = 13357.76 \text{ kg/cm}^2 - 2810,66433 \text{ kg/cm}^2 = 10547.9593 \text{ kg/cm}^2$$

$$P = P_e = f_e \cdot A_{sp} = 10547.9593 \text{ kg/cm}^2 \cdot 2.25 \text{ cm}^2 = 23732.93 \text{ kg}$$

#### 5.11.4 Determinación del momento último de capacidad

El equilibrio de la sección analizada se da como :

$$C_c = T_s$$

$$C_c = 0,75 f'_c A_a$$

$$T_s = \sum_3^1 A_{psi} \cdot f_{sei}$$

Siendo **A<sub>psi</sub>** el área del torón

$$f_{sei} = E_{sui} \cdot \epsilon_p$$

$$\epsilon_{sui} = \epsilon_{se} + \epsilon_{ce} + \epsilon_{sb}$$

d)  $\epsilon_{se} = \frac{f_e}{E_p}$  Ecuación de Deformación por tracción en el Torón:

e)  $\epsilon_{ce} = \frac{P}{A_{ss} \cdot E_{cpi}}$  Ecuación de Deformación por compresión en el concreto:

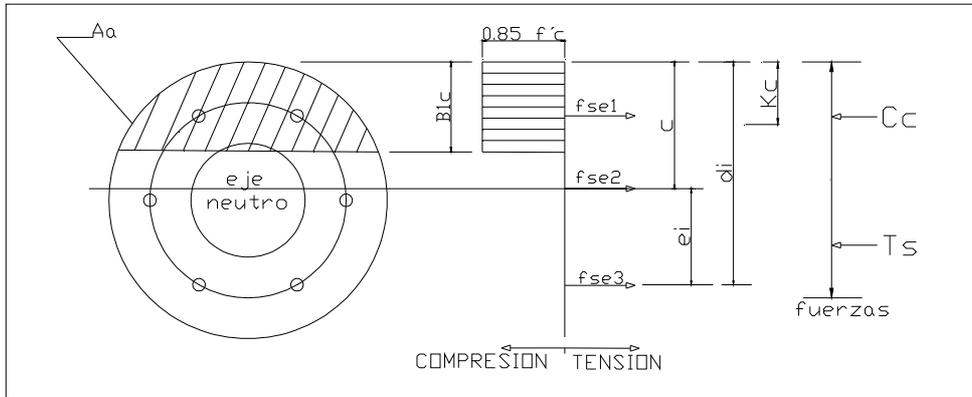
f)  $\epsilon_{sb} = \frac{\epsilon_u (d - c)}{c}$  Ecuación de Deformación balanceada:

$\epsilon_u = 0.003$  Deformación unitaria del concreto .

**d** = distancia de la fibra mas comprimida hasta el eje del torón analizado.

**c** = posición de eje neutro

Donde (**di**) es la distancia medida desde la fibra externa a compresión hasta la posición del torón como se muestra en la figura siguiente, (**Eu**) es la deformación unitaria longitudinal del concreto siendo 0.003 y (**C**) es la localización del eje neutral, véase fig 5.11.4.



**Fig.5.11.4.** Área del concreto en compresión, distribución de fuerzas y parámetros en la sección del poste.

Distancias ( $d_i$ )

Posición de $f_{se}$	distancias ( $d_i$ ) Cm
1	3,27
2	7,75
3	12,23

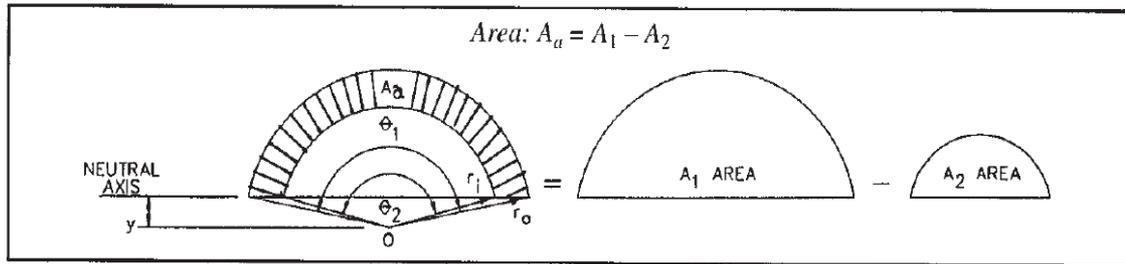
**CUADRO DE CALCULO DE (ei) y (Ts)**

<b>VARIABLE</b>	<b>Torón posición 3</b>	<b>Torón posición 2</b>	<b>Torón posición 1</b>
$\square_{se}$	0,00538	0,00538	0,00538
$\square_{ce}$	0,00049	0,00049	0,00049
$\square_{sb}$	0,00222	0,00031	-0,00161
$\square_{su}$	0,00809	0,00618	0,00427
<b>fsei kg/cm2</b>	15854,41976	12109,33763	8364,25549
<b>Ts=As*fsei (kg)</b>	11890,81482	9082,00322	6273,19162
<b>ei=(di-c)</b>	5,19614	0,71614	-3,76386
<b>ei*Ts</b>	61786,28594	6503,94561	-23611,44275
$\sum_{n=1}^3 ei * Ts(\text{kg} * \text{cm})$	44678,78880		
$\sum_{n=1}^3 Ts(\text{kg})$	27246,0		

Y en forma de iteración se cambia (c) hasta que **Ts=Cc**, este procedimiento se realizo en hojas de cálculo Excel.

<b>Cc=(0.85 *f'c *Aa)</b>	27246,0	Kg
<b>C</b>	7,03386	Cm
$\sum_{n=1}^3 Ts(\text{kg} * \text{cm})$	27246,0	Kg

El cálculo del área (**Aa**) se realiza de la siguiente manera.



**Fig.5.11.4.1** determinación del área en compresión de la sección analizad

$$A_a = A_1 + A_2$$

$$A_1 = r_0^2/2 (\Theta_1 \sin \Theta_1)$$

$$A_2 = r_i^2/2 (\Theta_2 \sin \Theta_2)$$

$$\Theta_1 = (\tan^{-1}(\sqrt{r_0^2 + y^2}/y)) * 2$$

$$\Theta_2 = (\tan^{-1}(\sqrt{r_i^2 + y^2}/y)) * 2$$

$$Y = \frac{Dex}{2} - c$$

$$Y = \frac{15.5}{2} - 7.03386 = 0.71613 \text{ cm}$$

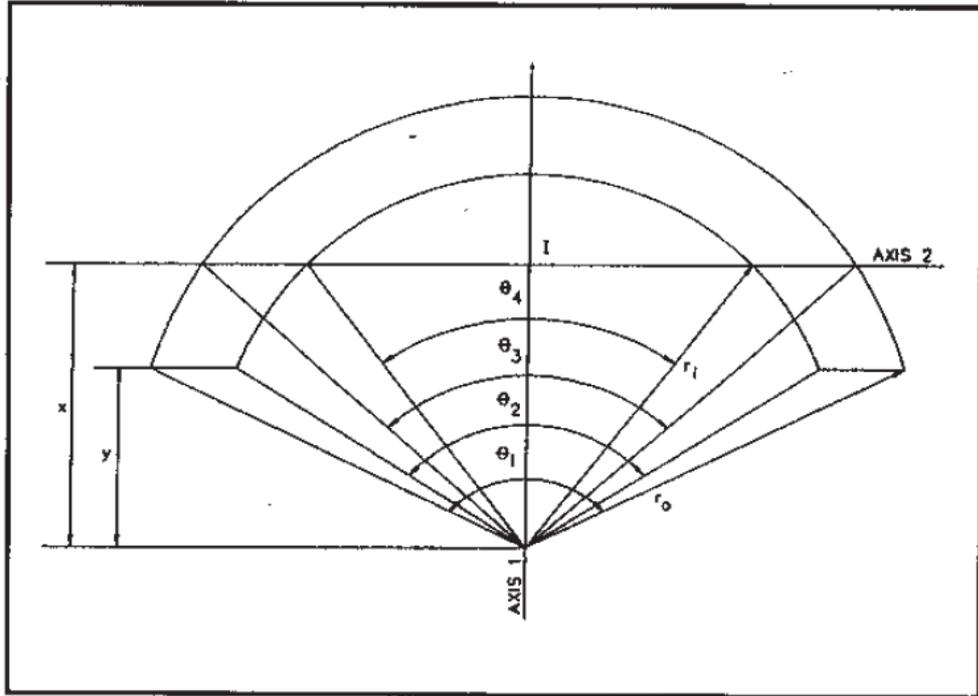
$$A_a = 76.3193 \text{ cm}^2$$

Luego se calcula  $Cc(c-Kc)$  para el cálculo de esta variable es necesario calcular

$Kc = r_0 - x$  de la siguiente manera:

Centroide del área  $A_a$ :

El centroide del área  $A_a$  es el punto donde se divide el área  $A_a$  en dos partes en equilibrio como se muestra en la fig 5.11.4.2.



**Fig 5.11.4.2** determinación del punto de equilibrio en que  $Aa/2 = A2$  para la determinación de (x)

$$Aa = r_o^2/2 (\Theta_1 \sin \Theta_1) - r_i^2/2 (\Theta_2 \sin \Theta_2)$$

$$\Theta_1 = (\tan^{-1}(\sqrt{r_o^2 + y^2}/y)) * 2$$

$$\Theta_2 = (\tan^{-1}(\sqrt{r_i^2 + y^2}/y)) * 2$$

Área sobre el eje 2

$$A2 = r_o^2/2 (\Theta_3 \sin \Theta_3) - r_i^2/2 (\Theta_4 \sin \Theta_4)$$

$$\Theta_4 = (\tan^{-1}(\sqrt{r_i^2 + x^2}/x)) * 2$$

Luego se hace en forma iterativa que  $A2 = Aa/2$  modificando el parámetro (x) obteniendo como resultado:

$$X = 3.71 \text{ cm}$$

$$Kc=(7.75\text{cm}) \times (3.71\text{cm})$$

$$Kc=4.03351\text{cm}$$

$$Cc(c-Kc)= 27246,0 (7.03386\text{cm} - 4.03351\text{cm})$$

$$Cc(c-Kc)= 81747.609 \text{ kg*cm}$$

Luego de estos cálculos se procede a encontrar el momento ultimo de capacidad del elemento:

$$Mn = [ \sum_{i=1}^n e_i A_{psi} f_{sei} + cC_c (1 - K) ] 0.9$$

Donde ( $\phi$ ) es coeficiente de reducción de resistencia=0.9

$$Mn=0.9(*44678,78\text{kg*cm}+81747.609 \text{ kg*cm})=113784 \text{ kg*cm}$$

Se encuentra el momento generado por la carga externa

$$M_{ce}=Lt*510\text{kg}=51000 \text{ kg*cm}$$

y se cumple que  $Mn > M_{ce}$

Cumple el requerimiento en este punto para  $Lt=100\text{cm}$ .

### 5.11.5 Determinación del refuerzo por cortante

$Vu \leq \phi Vn$  de donde

$$Vn = Vc + Vs$$

$$Vc = \frac{\sqrt{Ft^2 + Ft * fpc^2}}{\frac{Q}{2lss * t}}$$

Donde:

$$Ft = 4\sqrt{f'c} \text{ en psi}$$

$$Ft = 4\sqrt{6000} * 0.07 = 21,688 \text{ kg/cm}^2$$

$$fpc = \frac{P}{Ass} = \text{fuerza efectiva de compresión luego de la pretensión.}$$

$$f_{pc} = \frac{23721,6kg}{167,45cm^2} = 141,65$$

$$d = 0,8 \text{ Dex}$$

$$d = 0,8 * 15,5 \text{ cm} = 12,4\text{cm}$$

$$Q = d * A_{ss} - A_a$$

$$Q = 12,4\text{cm} * 167,45\text{cm}^2 - 76,31\text{cm}^2 = 2000,12\text{cm}^3$$

**I<sub>ss</sub>**=momento de inercia

$$I_{ss} = 2797,44\text{cm}^4$$

**t**=espesor de la pared.

$$t = 5,15\text{cm}$$

$$V_s = \frac{A_v * f_y * d}{s}$$

Donde **A<sub>v</sub>** es el área del refuerzo por cortante y se supone alambre #14 diámetro 2.5cm con un área de 0.04908 cm<sup>2</sup> y un **f<sub>y</sub>**=esfuerzo de ruptura de el alambre de refuerzo por cortante de 17520 kg/cm<sup>2</sup>

**s**=paso del espiral de refuerzo por norma NTC 1329 se toma 15cm.

$$V_s = \frac{0,09817\text{cm}^2 * 17520 \text{ kg/cm}^2 * 12,4\text{cm}}{15\text{cm}} = 1421,81\text{kg}$$

$$V_c = \frac{\sqrt{21,688\text{kg/cm}^2 + 21,68\text{kg/cm}^2 * 141,65\text{kg/cm}^2}}{\frac{2000,12\text{cm}^3}{22797,4\text{cm}^4 * 5,15\text{cm}}} = 857,46 \text{ kg}$$

$$V_n = 857,46\text{kg} + 1421\text{kg} = 2278,46$$

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$V_u \leq 0,85 * 2278,46\text{kg}$$

$$510\text{kg} < 1937\text{kg}$$

Cumpliendo el refuerzo por cortante.

**TABLA 6:** resumen de cálculos de las secciones transversales analizadas en un poste de concreto pretensado de 8x510.

posición- (cm)	Diámetro interno (cm)	Diámetro externo (cm)	Mto inercia (cm <sup>4</sup> )	AREA (cm <sup>2</sup> )	Mto aplicado ( kg*cm)	Mto agrietamien to (kg*cm)	Mto ultimo de capacidad (kg*cm)
100	5,2	15,5	2797,44	167,455	51000	65812	113784
200	6,4	17	4017,48	194,810	102000	146577	146577
300	7,6	18,5	5586,10	223,438	153000	182999	182999
400	8,8	20	7559,62	253,338	204000	223073	223073
500	10	21,5	9997,89	284,51	255000	266741	266741
600	11,2	23	12964,2	316,956	306000	313925	313925
700	12,4	24,5	16525,6	350,673	357000	364535	364535
750	13	25,25	18551,3	368,008	382500	391091	391091

## 6. PROCESO PRODUCTIVO

### 6.1 FABRICACIÓN DE LOS POSTES<sup>5</sup>

Los postes se deben fabricar con el uso exclusivo de formaletas metálicas, que aseguren uniformidad en su forma y exactitud en sus dimensiones.

Se pueden fabricar con el uso de uno de los sistemas existentes, siempre y cuando se cumpla con las especificaciones que se establecen en la norma NTC 1329.

En ningún caso se aceptaran los postes amasados y compactados a mano.

En la siguiente descripción del proceso constructivo se hace un comparativo de los sistemas constructivos convencional que usa concreto armado y varilla de refuerzo y el sistema pretensado.

#### 6.1.1 Armado de la canasta

*6.1.1.1 Refuerzo principal.* Las varillas longitudinales de refuerzo principal, deben ir aseguradas mediante amarres con alambre o puntos de soldadura alternados, sobre los aros de armado o a la espiral en varilla, según sea el caso.

En los postes de concreto armado la canasta debe llevar como mínimo, cuatro varillas de esfuerzo principal, a todo lo largo del poste, fuera de las demás varillas cortas que completan el refuerzo. En las cuatro varillas largas, se colocan separadores en forma alternada cada 1m y cubierto un ángulo de 180, que aseguren el recubrimiento mínimo especificado, las varillas largas van distribuidas simétricamente y entre éstas, se distribuye equitativamente, las varillas cortas que completan el refuerzo.

La soldadura utilizada en el armado de la canasta, debe ser del tipo de baja penetración y según lo descrito en la norma A.W.S 12.1, la cual está incluida dentro del código A.C.I 318.

*6.1.1.2 Aros de acero.* En caso de que se utilicen aros éstos se deben fabricar en varilla lisa o corrugada de 6,4 mm (1/4") de diámetro mínimo.

Los aros, además de servir de apoyo a las varillas de refuerzo principal, forman parte del refuerzo del concreto contra el corte, de tal forma que su colocación, especialmente en las zonas del poste donde se requiere este esfuerzo, se debe calcular con base en la carga mínima de rotura especificada.

En las zonas del poste donde no requieran de esfuerzo al corte y donde los aros utilicen como simple apoyo del refuerzo principal, éstos se deben colocar a una distancia máxima de 1 m de separación entre ellos.

El diámetro de los aros se debe calcular cuidadosamente, teniendo en cuenta la conicidad del poste y la distancia del recubrimiento de las varillas longitudinales.

*6.1.1.3 Espiral de varilla lisa.* En caso de usar los aros de armado y utilizar la espiral, ésta se debe fabricar en varilla lisa de 6.4 mm (1/4") de diámetro, con un paso máximo de 150 mm y se debe calcular de manera que contrarreste el esfuerzo cortante.

Como en el caso de los aros de armado, las varillas de esfuerzo longitudinal deben de estar amarradas con alambre o unidas con puntos de soldadura alternados, de tal forma que cumplan con el recubrimiento establecido

*6.1.1.4 Espirales en alambre.* En el caso de usar aros de armado, una vez colocadas las varillas de refuerzo principal, se procede a rodear la canasta con dos espirales en alambre No. 14, como mínimo, enrolladas de tal manera que se crucen en X, con un paso máximo de 150 mm.

Los espirales en alambre, además de proporcionar una adecuada resistencia a los esfuerzos de torsión, sirven para contrarrestar la tensión diagonal, que es la que causa los agrietamientos transversales, en la superficie del poste.

En postes pretensados se aceptan alambres de bajo carbono de resistencia mínima de 5,4 MPa, como calibre mínimo 14 para espirales.

*6.1.1.5 Empalme por traslapo.* Aunque los empalmes de varilla se deben tratar de evitar, muchas veces es imposible lograrlo, por la longitud comercial de éstas y por economía.

En una sección transversal determinada, no se permite más de un empalme por cada cinco varillas.

En la zona de empotramiento ( $\pm 300$  mm de la sección de empotramiento) no se permiten empalmes por traslapo.

Las secciones del poste con empalmes, deben estar separadas entre sí 500 mm, como mínimo. Sólo se permite en un empalme por varilla.

Las longitudes mínimas de los traslapos para los diámetros más usados de las varillas en la fabricación de postes, son las siguientes:

**TABLA 7:** longitudes de traslapo

Varilla de diámetro		Longitud mínima de traslapo		
mm	(pulgada)	mm		
9,5	(3/8)		340	
12,7	(1/2)		450	
15,9	(5/8)		560	
19,1	(3/4)		690	

Los empalmes o traslapos se deben unir por medio de soldadura de baja Penetración.

*6.1.1.6 Empalme con bastón.* En el caso de los empalmes con bastón, la longitud de éste igual a la establecida para el empalme por traslapo. El bastón debe tener el mismo diámetro las varillas que se van a unir.

Cada varilla se fija a la mitad del bastón, mediante puntos de soldadura, y en el espacio entre los dos extremos de las varillas se coloca otro punto de soldadura que las ligue al bastón.

6.1.1.7 El refuerzo de pretensionamiento, debe cumplir con la NTC 159 (UNE 36-095) ó NTC 2010 (ASTM A 416)

El pretensionamiento inicial no debe transferirse al concreto hasta que este no tenga una resistencia de 24.5 MPa, o una resistencia equivalente a 1.67 veces el esfuerzo máximo esperado en el momento de transferencia, y antes de que ocurran las pérdidas de tensionamiento.

6.1.2 Preparación para la formaleta para la operación de vaciado.

Antes de proceder el vaciado del concreto, la formaleta se lubrica en la superficie interior con aceite en lo posible quemado, con el fin de evitar que el concreto se adhiera a sus paredes y dificulte la operación de desmolde.

La formaleta debe garantizar un cierre adecuado en toda su longitud, de tal forma que evite el escape del mortero y la formación de grietas y ranuras a lo largo de la unión.

6.1.3 Perforaciones. Todos los postes que se van a utilizar en redes de distribución y líneas de subtransmisión eléctrica y tele comunicaciones, deben llevar, de la cima hacia abajo, un numero de perforaciones cuyas distancias entre ellas y sus características se deben especificar por el comprador.

Ninguna de sus partes de la armadura de refuerzo del poste, debe ser visible por esas perforaciones.

Ninguna perforación debe tener una desviación mayor que 5 mm, con respecto al plano diametral del poste que contiene su eje longitudinal.

#### 6.1.4 Vaciado del concreto

*6.1.4.1 Generalidades.* Una vez colocada la canasta de refuerzos sobre la formaleta, con los respectivos separadores, e instalados los pasadores utilizados para las perforaciones, se inicia el vaciado a lo largo de la formaleta.

Al vaciar el concreto sobre la formaleta, se debe hacer lo más cerca a esta, con el fin de evitar la disgregación de los materiales.

El concreto se debe vaciar inmediatamente después de su amasado.

No se permite utilizar el sistema de colgar la canasta para fijar la distancia de recubrimiento,

*6.1.4.2 Vaciado para postes vibrados.* El vaciado del concreto se hace simultáneamente con la operación del vibrado, vertiendo el concreto a todo lo largo de la formaleta, en capas sucesivas, sin suspender la vibración.

El poste de concreto vibrado tiene las mismas características geométricas y estructurales de los postes fabricados mediante otros sistemas.

La vibración del concreto tiene por objeto obtener una masa lo más compacta y homogénea posible, utilizando la mínima relación agua/cemento, de esta manera se logra un asentamiento bajo.

El fabricante debe acreditar mediante certificación de laboratorio idóneo y responsable, las características físicas y estructurales de la mezcla o dosificación del concreto utilizado.

La vibración se debe efectuar mediante vibradores de contacto, sobre la formaleta a través de mecanismo que transmitan vibración. El molde o formaleta debe estar apoyado sobre una base flexible, con el objeto de que la acción de vibración se transmita en toda su magnitud a la formaleta.

El vibrador debe tener la potencia suficiente y la frecuencia adecuada para desarrollar la acción de compactación de la masa de concreto, distribuyéndolo uniformemente y evitar la formación de hormigueros y burbujas.

Los postes de concreto vibrado, de sección circular, se deben fundir a sección plena o a sección anular, en este caso mediante el uso de un vástago o formaleta central cónica (émbolo), que genere una perforación a todo lo largo del eje.

Una vez terminado el vaciado del concreto y vibrado del poste, se le da un buen acabado a la zona o ventana por donde se hizo el vaciado del concreto, utilizando para esta operación una herramienta adecuada, que le dé un aspecto similar al del resto de la superficie del poste.

Los pasadores se deben extraer después de desformaletar el poste, con el fin de no producir deterioro en las perforaciones.

*6.1.4.3 Vaciado para poste pretensado.* Con excepción del sistema de armadura o canasta, el poste pretensado sigue el mismo proceso de fabricación del poste vibrado, que se ha descrito con anterioridad.

6.1.5 Curado. El curado de los postes una vez fundidos, se puede efectuar a través de los siguientes sistemas:

*6.1.5.1 Curado con sellantes.* Este sistema consiste en cubrir toda la superficie exterior del poste con un compuesto plástico, que impide la evaporación rápida del agua de fraguado.

*6.1.5.2 Curado en piscina.* En este sistema, el poste una vez desformaletado, es sumergido en una piscina, con agua apta para concreto (de acuerdo con la NSR-98) de manera que lo cubra totalmente y debe permanecer en ella el tiempo necesario para que se produzca su fraguado sin retracciones o agrietamientos.

*6.1.5.3 Curado por vapor.* En este sistema, el poste dentro de la formaleta, y después de haberlo extraído el vástago (émbolo) en los postes vibrados, es sometido a la acción de vapor saturado a baja presión, el cual en el caso de los postes centrifugados y vibrados de sección anular, se hace circular a lo largo de la perforación longitudinal central, durante el tiempo necesario para que se produzca el fraguado, sin retracciones o agrietamientos.

*6.1.5.4 Curado por presión.* Una vez desformaletado el poste, debe mantenerse húmedo mediante el riego de agua apta para la elaboración de concreto y durante el tiempo necesario para que se produzca el fraguado sin retracciones o agrietamientos.

6.1.6 Fraguado con acelerante. Se puede usar acelerantes de fraguado, siempre y cuando sean aprobados por el comprador. No se puede usar acelerantes que contengan ion cloruro.

Los aditivos, deben cumplir con la NTC 1299 (ASTM C 494).

6.1.7 Desmolde de los postes. La operación de desmolde se debe efectuar una vez que el poste haya fraguado lo suficiente, para no ocasionarle desperfectos.

El poste una vez desformaletado, debe presentar una superficie lisa, sin hormigueros ni desprendimientos de concreto. La cima y la base deben mostrar su superficie, en perfecto estado.

No se admiten resanes por defectos en el proceso de vaciado y fundida de poste.

## 6.1.8 Requisitos

### 6.1.8.1 Materiales

6.1.8.1.1 Cemento debe cumplir con NTC 30 (COPANT 3:1-009), NTC 121 (ASTM C 150) y NTC321 (ASTM 150)

El cemento analizado, debe corresponder a aquel sobre el cual se basa la dosificación del concreto que se va a utilizar en la fabricación del poste.

6.1.8.1.2 Los agregados para el cemento deben cumplir con la NTC 174 (ASTM C 33)

El agregado grueso o grava, tiene un tamaño máximo de 19 mm y mínimo de 10 mm.

El agregado fino o arena, se debe lavar y quedar libre de sustancias químicas, orgánicas o de cualquier naturaleza, que pueda perjudicar las características físicas de la mezcla.

6.1.8.1.3 El agua utilizada en la mezcla del concreto, debe estar limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceite, ácidos, álcalis, sales, materias orgánicas u otras sustancias perjudiciales para el concreto o el acero de esfuerzo y ajustarse a lo especificado en la NSR-98) y en la NTC 3459 (BS 3148)

6.1.8.1.4 Las varillas de esfuerzo, ya sean corrugadas o lisas, deben cumplir con la NTC 116 (COPANT 516), NTC 161 ó NTC 248 (ASTM 615).

El refuerzo para concreto pretensado, debe cumplir además con la NTC 2010 (ASTM 416) ó NTC 159 (UNE 36-095).

## 6.2 PARÁMETROS GEOMÉTRICOS

Los postes de concreto reforzado o de concreto pretensado tienen las características geométricas establecidas en la siguiente tabla.

**Tabla 8.** Parámetros geométricos

Carga de rotura min. N	Longitud total (m)	Diámetros (cm)	
		Cima	Base
5001,5	8,00	14,0	26,0
7355,1	8,00	14,0	26,0
5001,5	9,00	14,0	27,5
7355,1	9,00	14,0	27,5
5001,5	10,00	14,0	29,0
7355,1	10,00	14,0	29,0
10297,1	10,00	14,0	32,0
5001,5	11,00	14,0	30,5
7355,1	11,00	14,0	30,5
5001,5	12,00	14,0	32,0
7355,1	12,00	14,0	32,0
10297,1	12,00	14,0	37,0
5001,5	13,00	14,0	33,5
7355,1	13,00	14,0	33,5
10297,1	13,00	19,0	38,5
13239,2	13,00	20,0	39,5
5001,5	14,00	16,0	37,0
7355,1	14,00	16,0	37,0
10297,1	14,00	19,0	40,0
13239,2	14,00	20,0	41,0
7355,1	15,00	18,0	40,5
10297,1	15,00	19,0	41,5
13239,2	15,00	20,0	42,5
7355,1	16,00	22,0	46,0
10297,1	16,00	22,0	46,0
10297,1	20,00	29,0	59,0

## 6.2.1 TOLERANCIAS

6.2.1.1 Longitud del poste se acepta una tolerancia en la longitud del poste de  $\pm 50$  mm.

6.2.1.2 Desviación del eje longitudinal. Se acepta una desviación del eje longitudinal del poste de  $\pm 20$  mm

6.2.1.3 Dimensión de la sección transversal. En la dimensión del diámetro externo, se acepta una tolerancia de  $+ 20$  mm y  $-5$  mm.

6.2.1.4 Separación de las perforaciones. Se acepta una tolerancia de  $\pm 3$  mm en las perforaciones, con respecto a la ubicación teórica que se indica en los planos.

6.2.2 Conicidad. La conicidad debe ser de 1.5 cm/m de longitud, para todos los tipos de postes de sección circular llena, anular o de sección octagonal, ya sean centrifugados, vibrados o pretensados.

La conicidad del poste se determina con base en los parámetros geométricos de éste.

6.2.3 cargas mínimas de rotura. Se establece las siguientes cargas mínimas de rotura para todos los postes de concreto reforzado y pretensado.

carga mínima de rotura
5001,5 N
7355,1 N
10297,1 N
13239,2 N

6.2.4 Carga de trabajo. La carga de trabajo es la resultante de dividir la carga mínima de rotura, por el coeficiente de seguridad (2.5).

Según lo anterior, las cargas de trabajo para cada de una de las cargas mínimas de rotura se establecen en la tabla 9.

**Tabla 9.** Carga de trabajo

carga mínima de rotura	carga de trabajo
5001,5 N	2000,6 N
7355,1 N	2942,0 N
10297,1 N	4118,9 N
13239,2 N	5295,7 N

6.2.5. Deformación o flechas bajo carga. El poste bajo la acción de una carga aplicada a 20 cm de la cima, con una intensidad igual a 40 % de la carga mínima de rotura, no se debe producir una flecha superior al 3% de la longitud libre del poste y al cesar la acción de esa carga, la deformación permanente no debe ser superior al 5% de la deflexión máxima especificada para el tipo de poste correspondiente.

De acuerdo con lo anterior, en la tabla 10 se establecen límites para deflexión bajo carga y de formación permanente.

**Tabla 10. Deformaciones bajo carga**

<b>Tipo de poste m x N</b>	<b>Carga de trabajo N</b>	<b>Deflexión bajo carga mm</b>	<b>Deformación permanente mm</b>
8,00 x 5001,5	2000,6	198	9,9
8,00 x 7355,1	2942,0	198	9,9
9,00 x 5001,5	2000,6	225	11,3
9,00 x 7355,1	2942,0	225	11,3
10,00 x 5001,5	2000,6	252	12,6
10,00 x 7355,1	2942,0	252	12,6
10,00 x 10297,1	4118,9	252	12,6
11,00 x 5001,5	2000,6	279	14,0
11,00 x 7355,1	2942,0	279	14,0
12,00 x 5001,5	2000,6	306	15,3
12,00 x 7355,1	2942,0	306	15,3
12,00 x 10297,1	4118,9	306	15,3
13,00 x 5001,5	2000,6	333	16,7
13,00 x 7355,1	2942,0	333	16,7
13,00 x 10297,1	4118,9	333	16,7
13,00 x 13239,2	5295,7	333	16,7
14,00 x 5001,5	2000,6	360	18,0
14,00 x 7355,1	2942,0	360	18,0
14,00 x 10297,1	4118,9	360	18,0
14,00 x 13239,2	5295,7	360	18,0
15,00 x 7355,1	2942,0	387	19,4
15,00 x 10297,1	4118,9	387	19,4
15,00 x 13239,2	5295,7	387	19,4
16,00 x 7355,1	2942,0	414	20,7
16,00 x 10297,1	4118,9	414	20,7
20,00 x 10297,1	4118,9	522	26,1

6.2.6 Resistencia a la compresión del concreto. La resistencia mínima a la compresión para el concreto, debe ser de 24,5 MPa (3500 Psi) para los postes con esfuerzo convencional, y de 35,0 MPa (5000 Psi) para los de concreto pretensado.

En cuanto a la calidad del concreto, se debe seguir los procedimientos establecidos en la NSR- 98

Se puede solicitar al fabricante el uso de un concreto de mayor resistencia, así lo exigen las circunstancias de transporte, manipulación en obra o deformaciones bajo carga de trabajo.

Se debe solicitar al fabricante presentar a consideración del comprador, el diseño de la mezcla utilizada.

Para concretos que utilicen aditivos plastificantes, las mezclas se deben diseñar utilizando el aditivo y de acuerdo con los ensayos de laboratorio que se deben realizar.

Las pruebas de asentamiento se deben realizar cuando el comprador así lo exija. Los asentamientos resultantes deben coincidir con las especificaciones en el diseño de las mezclas.

Se realizan ensayos de cilindros, con edades de 7d, 14d y 28d, calculando por proyección de las primeras, la resistencia que tiene el concreto a los 28d. calculando por proyección de las 2 primeras, la resistencia a los 28 d.

#### 6.2.7 Acero de refuerzo principal

6.2.7.1 El acero de esfuerzo utilizado en la fabricación de los postes, debe cumplir con la N TC 248 (ASTM 615).

Las varillas del acero estructural deben tener esfuerzo nominal de fluencia mínima de 420 MPa y elongación.

Bajo responsabilidad del fabricante se acepta el torcionamiento del acero.

6.2.8 Recubrimiento. El recubrimiento mínimo de la armadura debe ser de 20mm para los postes utilizados en ambiente no salino y de 25 mm para las zonas costeras, medidos desde las superficies en la armadura hasta la cara o superficie interior y exterior del poste.

6.2.9 Longitud de empotramiento. Para definir la longitud de empotramiento, se debe aplicar la siguiente fórmula:

$$H1 = 0,1 H + 0,60 \text{ (m)}$$

Donde:

H1 = longitud de empotramiento (m)

H = longitud total del poste (m)

### 6.3 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO

6.3.1 recepción de postearía. La recepción de los postes, debe hacerla el interventor o un representante del comprador y sus ayudantes en el momento de

despacho al comprador, quienes inspeccionan los lotes en forma detallada, para determinar si cumplen las especificaciones establecidas.

Los criterios de aceptación y rechazo para la norma NTC son, para recepción de postes en el momento del despacho al comprador y no son aplicables a la evaluación y aceptación de postes instalados, pues durante el transporte y colocación se puede inducir esfuerzos mayores a los de diseño, temporales o permanentes que afecten la estabilidad de los postes y les genere defectos que no se pueden evaluar por los parámetros utilizados para la recepción en el momento del despacho y que están por fuera de la responsabilidad del fabricante, si los postes ya fueron aceptados en el momento de despacho al comprador.

6.3.1.1 Inspección del sitio del ensayo y sus instalaciones. El comprador inspecciona el sitio de ensayo y las instalaciones para la fijación y anclaje del poste y los apoyos deslizantes(patines) de apoyo ver fig 7.1 (pag 107).

6.3.1.2 Revisión de los equipos de aplicación y de medida de cargas. Se debe verificar que los equipos de aplicación de carga sean los adecuados; que su anclaje no represente peligro y que la carga pueda aplicarse en forma suave y progresiva.

Se debe verificar que el diámetro este calibrado y que las lecturas de carga se puedan hacer con una aproximación de  $\pm 98,1$  N.

6.3.1.3 Plan de muestreo. Para llevar a cabo las labores de inspección y recepción de postearía, se establece el plan de muestreo de la tabla 11, en la que se determina, de acuerdo con el tamaño del lote, el numero de postes a los cuales se les debe practicar la inspección visual para la aceptación o rechazo del mismo.

6.3.1.4 Motivos de rechazo. Se rechazan los postes que en estado en reposo, presenten los siguientes defectos:

#### 6.3.1.4.1 Defectos críticos

- La resistencia a la compresión del concreto no cumple con los requisitos mínimos especificados
- Recubrimiento menor que el especificado
- Postes con resanes cuando la profundidad de estos hayan llegado hasta el refuerzo principal.
- Los resanes superficiales hechos con mortero sin el aditivo apropiado para la adherencia al concreto viejo o en forma inadecuada.
- refuerzo metálica a la vista, ya sean varillas o alambres.
- Fisuras con un ancho de 0.2 mm, medidas con un comprador de fisuras.

- Destrucción parcial o total de las secciones de cima y base, por descuido en la desformaleteada.
- El incumplimiento de las tolerancias especificadas, se considera como defecto crítico.

**Tabla 11. Inspección visual y dimensional. Nivel de inspección general II, NCA = 4%**

Tamaño del lote	Tamaño de la muestra	Aceptación	Rechazo
2 - 25	3	0	1
26 - 90	13	1	2
91 - 150	20	2	3
151 - 280	32	3	4
281 - 500	50	5	6
501 - 1200	80	7	8

Nota. Si el tamaño de la muestra es mayor o igual al lote, se hace inspección 100%

#### 6.3.1.4.2 Defectos mayores

Perforaciones con el eje desviado respecto a su posición teórica taponadas o de diámetro inferior al especificado.

Superficie del poste con rugosidades pronunciadas, burbujas en cantidad exageradas o manchas por uso inadecuado de sellantes o compuestos desformaleteantes.

#### 6.3.1.4.3 defectos menores

- No colocación de la leyenda
- Falta de marcado del centro de gravedad y de la longitud de empotramiento.

#### 6.3.1.5 plan de muestreo para los ensayos de carga de flexión y rotura

Los ensayos de flexión, se deben regir por el plan de muestreo de la tabla 12

**Tabla 12. Ensayo de carga de flexión  
Nivel de inspección especial S-3, NCA= 4%**

Tamaño del lote	Tamaño de la muestra	Aceptación	Rechazo
2 - 150	3	0	1
151 - 500	13	1	2

Nota. Si el tamaño de la muestra es mayor o igual al lote, se hace inspección 100%

Los ensayos de rotura, se rigen por el plan de muestreo de la tabla 13.

**Tabla 13. Ensayo de rotura  
Nivel de inspección especial S-1, NCA= 4%**

Tamaño del lote	Tamaño de la muestra	Aceptación	Rechazo
50 - 500	3	0	1

6.3.1.6 límites para la aceptación. Si el número de unidades defectuosas en la muestra es igual o mayor que el número especificado en la columna “rechazo”, no se acepta el lote.

#### 6.4 ENSAYOS

Es obligación del fabricante realizar los siguientes ensayos tanto a los postes como a los materiales:

1. Ensayo de flexión
2. Ensayo de rotura
3. Diseño de la mezcla incluyéndose el análisis fisicoquímico del agua
4. Ensayo de resistencia a la compresión de los cilindros de concreto
5. Ensayo de tracción del acero

Los ensayos correspondientes a los puntos 3, 4 y 5 se deben realizar por un laboratorio especializado y aceptado previamente por el comprador.

##### 6.4.1 ENSAYOS DE LABORATORIO

El registro completo de los ensayos de los numerales y del concreto, debe estar disponibles para el comprador, durante el tiempo que dure la fabricación y por los dos años siguientes a su terminación.

6.4.1.1 Ensayos de materiales de concreto. Todos los ensayos de materiales y de concreto en sí, se deben realiza de acuerdo con la NTC correspondiente. El cemento debe cumplir con la NTC 121 (ASTM C 150) y NTC 321 (ASTM C 150).

6.4.1.2 Para el ensayo de la resistencia del concreto a la compresión, el fabricante o proveedor debe preparar cuatro cilindros diarios, de acuerdo NTC 673 (ASTM C 39). De estos cilindros diarios se envían dos al laboratorio y se ensayan a edades de 7 d y 14 d. en caso de que la resistencia de los 7 d y 14 d, proyectada a los 28 d sea menor que  $FC_{min} + 8,5 \text{ MPa}$ , se deben ensaya los otros dos cilindros a los 28 d. se calcula la resistencia promedio de los cuatro cilindros y se verifican si cumplen el requisito anterior. Si no cumple, se rechaza la producción del día en que fueron tomadas las cuatro muestras. Los resultados de los ensayos de estos cilindros se deben suministrar al comprador para su conocimiento y control, y se deben realizar por un laboratorio aprobado por el comprador.

Nota. Para verificar si los materiales utilizados en la elaboración de la mezcla del concreto son las de la calidad especificada, se realizan los ensayos de laboratorio correspondientes sobre muestras representativas de tales materiales

6.4.1.3 varillas de refuerzo. El fabricante debe realizar los análisis de laboratorio, de las probetas seleccionadas del lote de acero que se va a utilizar en el armado de los postes.

En los ensayos de laboratorio de estas probetas, se deben suministrar los siguientes resultados:

Carga máxima a la tracción.

Limite de fluencia al 20%

Porcentaje de alargamiento en probeta de 200 mm

6.4.1.4 las características geométricas de los postes se determinan mediante el uso de un instrumento de precisión adecuado.

## 6.2 ENSAYO DE CARGA

Para los ensayos de flexión o de rotura de un poste en posición horizontal, se debe contar con las adecuadas para tal efecto.

6.4.2.1 Patio de ensayos. El patio de ensayo debe tener dimensiones apropiadas para el ensayo, ser plano y el piso bien afinado.

6.4.2.1.1 Dispositivo del anclaje. Se debe disponer de un sistema adecuado para anclar el poste, que permita reproducir con mayor aproximación posible, las condiciones de restricción que va a tener en la realidad.

6.4.2.1.2 Toma de fuerza. se debe disponer de un anclaje o toma de fuerza para asegurar el dispositivo de aplicación de cargas.

6.4.2.1.3 Accesorios y aparatos. Para el poste de ensayo en posición horizontal, se requieren los siguientes accesorios y aparatos:

Apoyos deslizantes. La longitud en voladizo del poste, deben contar con dos apoyos deslizantes (sobre ruedas) que ofrezcan la mejor resistencia posible al rozamiento y que van colocados, uno a 30 cm de la cima, y el otro en el centro de gravedad del poste.

Los apoyos deslizantes se deben diseñar cuidadosamente de manera que no se presente inflexión en el diagrama de momentos, ni valores de cortante máximo en los sitios en que se encuentran localizados estos.

deslizante. Los apoyos deslizantes se deben desplazar sobre una superficie lisa, con el fin de disminuir al máximo el rozamiento.

Dispositivo para aplicar cargas. El dispositivo usado, debe permitir la aplicación de las cargas en forma progresiva y sin golpes.

Dinamómetro. Para lo medición de las cargas, se debe contar con un dinamómetro con una margen de error inferior al 5% y que tenga 2 agujas indicadoras, para que una de ellas permanezca indicado la carga que produjo el colapso del poste. El dinamómetro se debe calibrar por lo menos una vez al año.

Cable de carga. El cable que se va a utilizar en las pruebas debe ser flexible y de alta resistencia, con un factor de seguridad mínimo de 3, sobre la carga de rotura del poste.

6.4.2.2 Ensayo de carga para flexión

6.4.2.2.1 Edad del poste. El poste que se vaya a someter al ensayo de carga por flexión debe haber tenido un periodo de fraguado mínimo de 28 d, a menos de que se acuerde con el comprador, ensaya un poste con menos periodo de fragüe.

6.4.2.2.2 Empotramiento. El empotramiento del poste en el dispositivo empleado, debe reproducir, con mayor exactitud posible, las condiciones reales de restricción a que está sometido en la práctica.

6.4.2.2.3 Procedimiento. El poste se somete a incrementos progresivos de carga de trabajo en dos etapas así:

Se carga inicialmente el poste con el 50% de la carga de trabajo y se descargan hasta cero. Se ajusta al mecanismo de anclaje, en caso de ser necesario y se establece el cero de referencia para el control de deformaciones.

Luego se carga el poste con incrementos de carga y se verifican si han presentado grietas, con un ancho en la superficie de concreto mayor que 1 mm, que indiquen falla estructural.

Se mide la flecha producida por la aplicación de la carga de trabajo, se descarga, luego se determina si hubo deformación permanente y se establece su magnitud. La deformación permanente bajo la acción de carga de trabajo no debe ser superior al 5% de la producida por efecto de dicha carga.

Para el poste en posición horizontal, se fija en un hito firme encima del poste. Todas las lecturas se toman a partir de éste.

#### 6.4.2.3 Ensayo de carga para rotura

6.4.2.3.1 Edad del poste. El poste se debe someter a un periodo mínimo de fraguado de 28 d, a menos que se acuerde otra edad con el comprador.

6.4.2.3.2 Empotramiento. El empotramiento del poste en el dispositivo empleado, debe de reproducir con mayor exactitud posible que las condiciones reales de restricción a las que está sometido en las prácticas.

6.4.2.3.3 Procedimiento. Se debe iniciar la aplicación progresiva de cargas, aplicada a 20 cm de la cima con incrementos de carga.

El proceso continua, con el incremento progresivo de la carga aplicada, hasta que se produzca el colapso del poste, por fluencia del acero o aplastamiento del concreto.

Se deben anotar las anomalías que vayan presentándose en el poste durante el transcurso del ensayo, tales como grietas pronunciadas, fallas en el empotramiento desprendimiento del concreto, entre otros.

Una vez se produzca el colapso del poste con una carga aplicada igual o superior a la carga mínima de rotura, el poste debe romperse.

## 6.5. ROTULADO

6.5.1 Todos los postes deben llevar, en forma clara y a una altura de 2 m sobre la sección de empotramiento, una leyenda en bajo relieve o placa embebida en el concreto, que indique:

1. Nombre o razón social del fabricante.
2. Longitud del poste en metros, carga mínima de rotura en N.
3. Fecha de fabricación, año-mes-día.
4. Peso del poste.

Si el comprador lo exige, la leyenda anterior puede ir encabezada por el nombre o sigla comercial de la empresa que adquiere el poste. Cualquier otra leyenda, debe pactarse en el contrato de suministro.

6.5.2 Todos los postes deben llevar señalizados las siguientes secciones:

Centro de gravedad. Debe llevar una franja, pintada de color rojo, de 30 mm de ancho y que cubra el semiperímetro de la sección, en el sitio que corresponda al centro de gravedad.

Profundidad de empotramiento. Todos los postes deben llevar pintada, una franja de color verde, de 30 mm de ancho y que cubra el semiperímetro de la sección e indique hasta dónde se debe enterrar el poste

---

<sup>5</sup>NORMA TÉCNICA COLOMBIANA (NTC) 1329: Prefabricados en Concreto, Postes para Líneas Aéreas de Energía y Telecomunicaciones. 3 ra. Edición, Bogotá 2000.

## 7. FABRICACIÓN Y ENSAYO DE POSTES A ESCALA REAL

El diseño, fabricación y ensayos de los postes se realizó basados en la normatividad técnica respectiva para este proceso, para el caso se utilizó la NTC 1329 “FABRICACIÓN DE POSTES PARA LÍNEAS AÉREAS DE ENERGÍA Y TELECOMUNICACIONES” que está descrita anteriormente.

Cada poste se fabricó bajo el sistema pretensado, mediante el uso de torones de alta resistencia de 5/16” de diámetro, se usaron 6 torones a una tracción de 5ton cada uno de acuerdo al diseño estructural, donde la tensión es proporcionada gracias a una bomba y gatos hidráulicos propios para este trabajo; para contrarrestar la fuerza de tensión se usan unas cuñas que se sujetan a unos barriles y que sirven de soporte fijo impidiendo que haya cierta pérdida por desplazamientos; luego de que el concreto haya adquirido el 60% de la resistencia final de diseño (21 Mpa) se liberan las cuñas de la tensión inicial. El resto del proceso incluyendo aros de refuerzo, espiral para cortante, separadores y demás aspectos del proceso de fabricación de un poste, se hacen conforme al sistema constructivo de un poste de concreto armado, incluyendo su curado a vapor.

Una vez el poste está listo para ser sacado de la formaleta, se resana (repella) los puntos de vaciado del concreto donde pudiesen darse algunas imperfecciones superficiales y se deja secar al ambiente por algunas horas, luego está listo para ser transportado al sitio de apilamiento donde permanecerá en curado constante de agua con riego superficial hasta completar los 28 días de curado final del concreto (según NTC 1329) este apilamiento se debe hacer de una forma lenta evitando golpes bruscos que puedan dañar las características del poste, además se debe hacer en una superficie firme y plana que permita una fácil maniobra de cargue en el vehículo transportador diseñado especialmente para esta función.

Un poste que pertenece a un lote de producción especificado debe haber superado las pruebas de ensayos de cilindros de concreto y pruebas de flexión y rotura a ciertos postes que deben ser ensayados conforme a como la norma lo estipula.

Con el fin de validar los resultados obtenidos a través de los diseños de mezcla, del cálculo estructural y la fabricación del poste, se ensayan algunos postes fabricados a escala real en un sitio que cumpla con la infraestructura y aparatos de medición apropiados para este proceso; los resultados obtenidos fueron los siguientes.

Conforme a los resultados obtenidos, se puede observar que los postes fabricados en la planta de producción PREFORMAS LTDA. cumplen con los requisitos de la norma y validan los resultados obtenidos teóricamente en los diseños de mezcla y estructurales, por lo tanto se concluye que el primer lote de postes diseñados en Nariño bajo el sistema pretensado resultaron un éxito cumpliendo con los requerimientos técnicos y la normatividad exigida.

**POSTE No 1**

**FORMULARIO DE RECEPCIÓN DE POSTES DE CONCRETO**

**REGISTRO DE ENSAYOS PARA FLEXIÓN Y ROTURA**

Fabricante PREFORMAS LTDA. Ciudad y fecha PASTO 25 / 02 DE 2010

Ensayo No 1. Inspector POSTES Y HERRAJES LTDA. Presenciado por: SOCIOS PREFORMAS LTDA.

Tipo de poste: 8 m por 510 N fecha de fabricación 11/02 DE 2010 edad poste 14 D

Pretensado X centrifugado      vibrado X Contrato No      Pedido No     

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL POSTE**

**Especificada muestra                      señalizaciones**

Longitud (m) 8 Centro de gravedad si X no      3,4 m

Diámetros: Base (cm) 26,0 Línea de empotramiento si X no      1,4 m  
Cima (cm) 14 identificación si      no X

Recubrimiento: Base (cm) 5 Defectos: NINGUNO  
Cima (cm) 5

Agujeros: Cantidad 6  
Diámetro 3/4"  
Distancia 1o. a cima (cm) 20  
Distancia entre agujeros 20

**Refuerzo longitudinal**

Varillas: tipo de acero: Diámetro 7,94 (mm)  
No. Varillas largas 6 Total de varillas 6 ¿Torsionadas? Si      No X

Aros: Diámetro Varilla 6,35 mm Tipo de acero PDR 60 1/4"  
Separación aros en sector: Superior 100 cm; medio 100 cm inferior 100 cm.

Espirales: En varilla: Diámetro      mm. Paso      cm.  
En alambre: Calibre 14 mm. Paso 15 cm.

Resistencia del concreto: 35 (MPa).

ENSAYO DE CARGA PARA FLEXIÓN Y ROTURA

ENSAYO DE CARGA PARA FLEXIÓN				ENSAYO DE CARGA PARA ROTURA			
Carga Aplic N	Flecha cm	Carga Aplic N	Flecha cm	Carga Aplic N	Flecha cm	Carga Aplic N	Flecha cm
0	0	2.942,0		0	0	7355,1	
490,3	3,5	3432,4		980,7	8,2	7845,4	
480,7	7,0	4118,9		1961,4	18,2	8826,1	
1.470,0	11,5	4413,1		2.942,0	35,6	10297,1	
2000,6	17,0	4903,4		3922,8	44,3	10787,5	
2451,7		5295,7		5001,5	51,5	11768,2	
				5884,1		12748,8	
						13239,2	
DEFORMACIÓN PERMITIDA BAJO CARGA <u>19,8</u> mm							
DEFORMACIÓN PERMANENTE PERMITIDA <u>0,99</u> mm							
DEFORMACIÓN PERMANENTE OBTENIDA <u>0,7</u> mm							
¿CUMPLE PRUEBA DE FLEXIÓN? SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>				CARGA DE ROTURA EXPERIMENTAL <u>5001,5</u> N			

**CARACTERÍSTICAS DEL POSTE EN SECCIÓN DE ROTURA**

Sección de rotura a 0,15 m del empotramiento      Diámetro sección de Falla 250 mm

Refuerzo en sección de falla: 6 Torones de diámetro 7,94 mm

Recubrimientos: zona de Tensión 50 mm      zona de Compresión 50 mm

¿CUMPLE PRUEBA DE ROTURA Y CARACTERÍSTICAS EN SECCIÓN DE ROTURA? SI  NO

**DETERMINACIÓN DE FLECHA AL 40% DE CARGA DE ROTURA**

CARGA (N)	FLECHA (cm)	longitud libre del poste	6,60 m
2000,6	17	3 % de longitud libre	19,8 cm
¿CUMPLE PRUEBA DE FLECHA AL 40% DE CARGA DE ROTURA? SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>			

**POSTE No 2**

**FORMULARIO DE RECEPCIÓN DE POSTES DE CONCRETO**

**REGISTRO DE ENSAYOS PARA FLEXIÓN Y ROTURA**

Fabricante PREFORMAS LTDA. Ciudad y fecha PASTO 25 / 02 DE 2010

Ensayo No 2. Inspector POSTES Y HERRAJES LTDA. Presenciado por: SOCIOS PREFORMAS LTDA.

Tipo de poste: 8 m por 5001,5 N fecha de fabricación 11/02 DE 2010 edad poste 14 D

Pretensado X centrifugado      vibrado X Contrato No      Pedido No     

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL POSTE**

**Especificada muestra                      señalizaciones**

Longitud (m) 8 Centro de gravedad si X no      3,4 m

Diámetros: Base (cm) 26,0 Línea de empotramiento si X no      1,4 m  
Cima (cm) 14 identificación si      no X

Recubrimiento: Base (cm) 5 Defectos: NINGUNO  
Cima (cm) 5

Agujeros: Cantidad 6

Diámetro 3/4"

Distancia l.o. a cima (cm) 20

Distancia entre agujeros 20

**Refuerzo longitudinal**

Varillas: tipo de acero: Diámetro 7,94 (mm)

No. Varillas largas 6 Total de varillas 6 ¿Torsionadas? Si      No X

Aros: Diámetro Varilla 6,35 mm Tipo de acero PDR 60 1/4"

Separación aros en sector: Superior 100 cm; medio 100 cm inferior 100 cm.

Espirales: En varilla: Diámetro      mm. Paso      cm.

En alambre: Calibre 14 mm. Paso 15 cm.

Resistencia del concreto: 35 (MPa).

**ENSAYO DE CARGA PARA FLEXIÓN Y ROTURA**

ENSAYO DE CARGA PARA FLEXIÓN				ENSAYO DE CARGA PARA ROTURA			
Carga Aplic N	Flecha cm	Carga Aplic N	Flecha cm	Carga Aplic N	Flecha cm	Carga Aplic N	Flecha cm
0	0	2.942,0		0	0	7355,1	
490,3	3,8	3432,4		980,7	7,9	7845,4	
480,7	7,2	4118,9		1961,4	17,3	8826,1	
1.470,0	11,5	4413,1		2.942,0	34,0	10297,1	
2000,6	16,0	4903,4		3922,8	43,8	10787,5	
2451,7		5295,7		5001,5	52,0	11768,2	
				5884,1		12748,8	
						13239,2	
DEFORMACIÓN PERMITIDA BAJO CARGA <u>19,8</u> mm							
DEFORMACIÓN PERMANENTE PERMITIDA <u>0,99</u> mm							
DEFORMACIÓN PERMANENTE OBTENIDA <u>0,7</u> mm							
¿CUMPLE PRUEBA DE FLEXIÓN? SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>				CARGA DE ROTURA EXPERIMENTAL <u>5001,5</u> N			

**CARACTERÍSTICAS DEL POSTE EN SECCIÓN DE ROTURA**

Sección de rotura a 0,17 m del empotramiento      Diámetro sección de Falla 265 mm

Refuerzo en sección de falla: 6 Torones de diámetro 7,94 mm

Recubrimientos: zona de Tensión 50 mm      zona de Compresión 50 mm

¿CUMPLE PRUEBA DE ROTURA Y CARACTERÍSTICAS EN SECCIÓN DE ROTURA? SI  NO

**DETERMINACIÓN DE FLECHA AL 40% DE CARGA DE ROTURA**

CARGA (N)	FLECHA (cm)	longitud libre del poste	6,60 m
2000,6	16	3 % de longitud libre	19,8 cm
¿CUMPLE PRUEBA DE FLECHA AL 40% DE CARGA DE ROTURA? SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>			

**POSTE No 3**

**FORMULARIO DE RECEPCIÓN DE POSTES DE CONCRETO**

**REGISTRO DE ENSAYOS PARA FLEXIÓN Y ROTURA**

Fabricante PREFORMAS LTDA. Ciudad y fecha PASTO 25 / 02 DE 2010

Ensayo No 3. Inspector POSTES Y HERRAJES LTDA. Presenciado por: SOCIOS PREFORMAS LTDA.

Tipo de poste: 8 m por 510 N fecha de fabricación 11/02 DE 2010 edad poste 14 D

Pretensado X centrifugado      vibrado X Contrato No      Pedido No     

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL POSTE**

**Especificada muestra                      señalizaciones**

Longitud (m) 8 Centro de gravedad si X no      3,4 m

Diámetros: Base (cm) 26,0 Línea de empotramiento si X no      1,4 m  
Cima (cm) 14 identificación si      no X

Recubrimiento: Base (cm) 5 Defectos: NINGUNO  
Cima (cm) 5

Agujeros: Cantidad 6  
Diámetro 3/4"  
Distancia 1o. a cima (cm) 20  
Distancia entre agujeros 20

**Refuerzo longitudinal**

Varillas: tipo de acero: Diámetro 7,94 (mm)  
No. Varillas largas 6 Total de varillas 6 ¿Torsionadas? Si      No X

Aros: Diámetro Varilla 6,35 mm Tipo de acero PDR 60 1/4"  
Separación aros en sector: Superior 100 cm; medio 100 cm inferior 100 cm.

Espirales: En varilla: Diámetro      mm. Paso      cm.  
En alambre: Calibre 14 mm. Paso 15 cm.

Resistencia del concreto: 35 (MPa).

**ENSAYO DE CARGA PARA FLEXIÓN Y ROTURA**

ENSAYO DE CARGA PARA FLEXIÓN				ENSAYO DE CARGA PARA ROTURA			
Carga Aplicada N	Flecha cm	Carga Aplicada N	Flecha cm	Carga Aplicada N	Flecha cm	Carga Aplicada N	Flecha cm
0	0	2.942,0		0	0	7355,1	
490,3	3,0	3432,4		980,7	8,0	7845,4	
480,7	7,2	4118,9		1961,4	18,8	8826,1	
1.470,0	10,7	4413,1		2.942,0	35,6	10297,1	
2000,6	16,6	4903,4		3922,8	45,2	10787,5	
2451,7		5295,7		5001,5	52,0	11768,2	
				5884,1		12748,8	
						13239,2	
DEFORMACIÓN PERMITIDA BAJO CARGA <u>19,8</u> mm							
DEFORMACIÓN PERMANENTE PERMITIDA <u>0,99</u> mm							
DEFORMACIÓN PERMANENTE OBTENIDA <u>0,67</u> mm							
¿CUMPLE PRUEBA DE FLEXIÓN? SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>				CARGA DE ROTURA EXPERIMENTAL <u>5001,5</u> N			

**CARACTERÍSTICAS DEL POSTE EN SECCIÓN DE ROTURA**

Sección de rotura a 0,15 m del empotramiento      Diámetro sección de Falla 250 mm

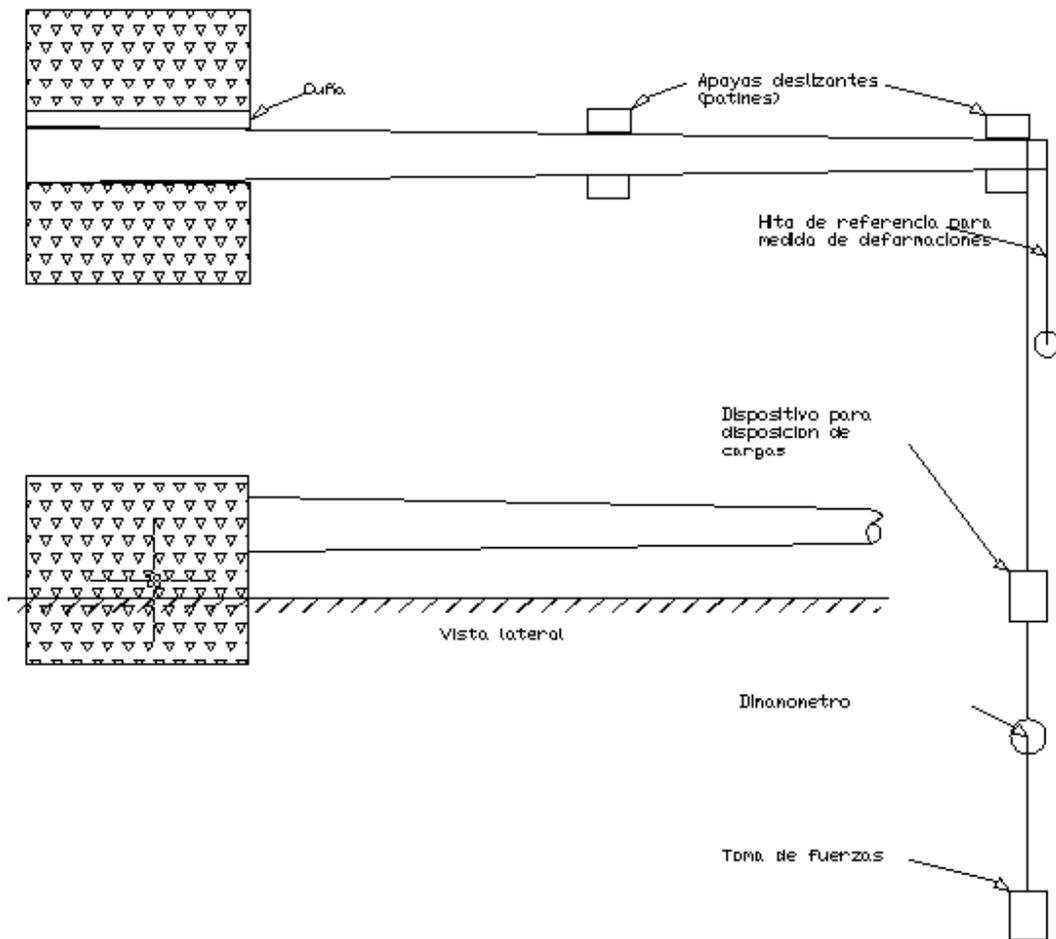
Refuerzo en sección de falla: 6 Torones de diámetro 7,94 mm

Recubrimientos: zona de Tensión 50 mm      zona de Compresión 50 mm

¿CUMPLE PRUEBA DE ROTURA Y CARACTERÍSTICAS EN SECCIÓN DE ROTURA? SI  NO

**DETERMINACIÓN DE FLECHA AL 40% DE CARGA DE ROTURA**

CARGA (N)	FLECHA (cm)	longitud libre del poste	6,60 m
2000,6	15,5	3 % de longitud libre	19,8 cm
¿CUMPLE PRUEBA DE FLECHA AL 40% DE CARGA DE ROTURA? SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>			



**Figura 7.1** Esquema de instalación para el ensayo de un poste

## 8. CONCLUSIONES

Es posible obtener mezclas de alta resistencia y calidad a través de una rigurosa selección de agregados en la región, entre los que se destacan los materiales pétreos de la zona de Pilcuán, que presentan características físicas adecuadas para el cumplimiento de los requisitos de norma. Al mismo tiempo, es necesario utilizar un cemento adecuado para la actividad de prefabricado, que permite alcanzar altas resistencias a tempranas edades y muy buenos resultados finales.

El agregado denominado “ripio de trituración” facilita los ajustes por granulometría y permite obtener una curva con buena gradación, redundando en una mezcla homogénea y manejable.

Desde el punto de vista económico, el material granular de la zona Pilcuán resulta más costoso por cuenta del transporte.

El cemento convencional portland tipo I no es el más adecuado para el uso en estructuras prefabricadas, debido a su lento proceso de fraguado y a la reacción negativa ante las altas temperaturas del curado a vapor; por lo tanto se debe usar un cemento de fraguado rápido y resistencias tempranas.

Se realizaron pruebas con diferentes tipos de cemento y se llegó a la conclusión de que es cemento tipo III el que ofrece mejor comportamiento en la curva resistencia – tiempo.

Como aspecto negativo, la adquisición del cemento tipo III no es fácil debido a que su suministro es exclusivo para Prefabricadores y los volúmenes de despacho son demasiado altos (35 Toneladas mínimo).

Gracias a la buena reacción que tiene el cemento tipo III con el curado a vapor, es posible alcanzar hasta el 60% de la resistencia final en edades muy tempranas, que oscilan entre 7 y 9 horas, verificando continuamente las condiciones de presión y temperatura.

Cuando a través del diseño estructural de los postes de concreto pretensado se determina que los torones de preesfuerzo no son suficientes, hay que proceder con el uso de acero de refuerzo en los puntos críticos en los cuales la sollicitaciones por flexión superan el presfuerzo suministrado; dicho refuerzo debe ceñirse a las especificaciones de la NTC 1329 y NSR 98.

Un poste fabricado mediante el sistema pretensado garantiza agilidad en los procesos productivos, uso de moderna tecnología que conlleva a menores tiempos y costos de producción y materias primas; sin embargo una planta de producción dedicada a este proceso, requiere de una gran inversión inicial, mano de obra calificada y un minucioso control de calidad.

## 9. RECOMENDACIONES

En la etapa productiva es indispensable seguir la normatividad exigida para cada proceso, por ende se recomienda la presencia de un ingeniero encargado de producción que domine el tema con gran propiedad.

Se recomienda el utilizar de software especializado en el diseño de postes pretensados y demás productos prefabricados en planta de producción, que permita agilizar dicho proceso de diseño.

Es necesario implementar un Sistema de Gestión de Calidad en la fábrica PREFORMAS LTDA. Que garantice un control minucioso de la calidad de materia prima, procesos de producción, almacenamiento o apilamiento, embalaje, transporte, entrega de material y trazabilidad del producto.

Sería muy conveniente e interesante que el departamento de Ingeniería Civil de la universidad de Nariño implementase una materia electiva que contemple los temas de estructuras pre y Postensadas y el uso de elementos prefabricados en la construcción.

Se recomienda realizar en la planta los respectivos ajustes por humedad, ya que los incrementos en el volumen del agua de mezclado se reflejan negativamente en la disminución de la resistencia.

Para iniciar el suministro de vapor saturado es importante esperar a que se produzca el fraguado inicial del cemento en condiciones normales, ya que se determinó que si se trata inmediatamente con vapor, el poste puede sufrir fisuras en las paredes externas.

Es muy importante verificar la frecuencia y duración del vibrado; éste se debe ejercer sobre el cuerpo de la formaleta sin aplicación directa al acero de refuerzo. Un buen vibrado permite utilizar mezclas con una baja relación agua – cemento bajo, lo cual implica mayores resistencias y mejor acabado gracias a la reducción de hormigueros. El sobrevibrado se evidencia cuando hay segregación de la pasta por las tolvas de la formaleta o por las uniones.

Se debe garantizar el buen estado del equipo hidráulico para la aplicación de las cargas sobre los torones de acero; las cuñas de sujeción deben estar limpias y los dientes intactos, para evitar pérdidas en tensión por retroceso del torón.

Se debe calibrar el manómetro de presión del sistema hidráulico; esto se puede hacer comparando la presión en la salida de la bomba con otro manómetro de referencia o constatando la transferencia de la carga en el torón con un dinamómetro.

La extracción del émbolo cónico de la sección anular del poste se debe realizar durante las tres primeras horas siguientes al vaciado del concreto.

Es necesario lubricar correctamente las formaletas y el émbolo para facilitar el desmoldado.

Se debe cuidar de vaciar la mezcla desde una altura mayor a los 30 cm para evitar la segregación de los materiales.

La distribución de las cuñas y los barriles en torno de los platos de cima y base debe ser geoméricamente correcta, con equidistancia radial y axial.

lubricar el cuerpo externo de la cuña y el cono interno del barril, pero cuidando de no tratar la superficie del torón o los dientes de las cuñas, que deben estar libres de lubricantes o polvo.

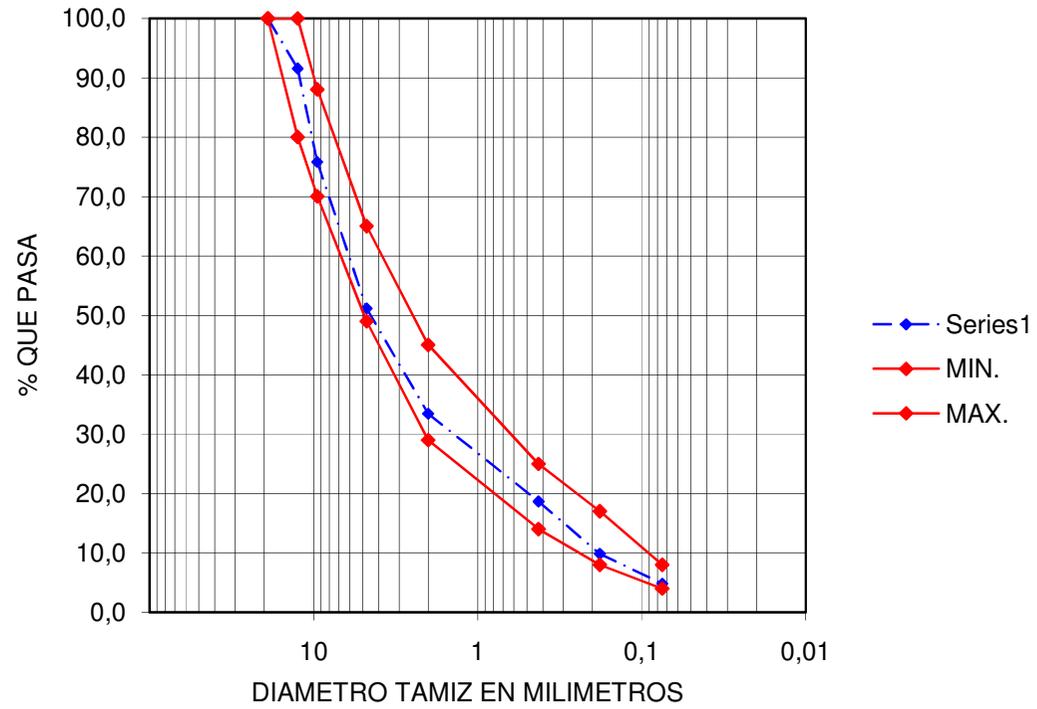
Al cargar los torones con la prensa hidráulica es indispensable utilizar un escudo de madera contrachapada o material resistente, ya que la liberación inesperada de uno de los cables puede fustigar con riesgo de lesión grave.

## BIBLIOGRAFÍA

- HORMIGÓN PRETENSADO. [En línea] Consultado 08.03.2009 Disponible <<http://es.wikipedia.org>
- NAAMAN, Antonie E. Prestressed Concrete Analysis And Design. Boston Massachusetts. Irwin McGraw-Hill, 670 p
- NORMA TÉCNICA COLOMBIANA (NTC) 1329: Prefabricados en Concreto, Postes para Líneas Aéreas de Energía y Telecomunicaciones. 3 ra. Edición, Bogotá 2000. 30 p
- OBREGÓN, ALVARO. Manual de diseño de Estructuras Prefabricadas y Presforzadas. Mexico D.F. 175 pag.
- RODRIGUEZ, José Alejandro. Concreto Presforzado Diseño y Construcción, Asocreto 8 de Abril de 2008.
- SABINO, Carlos. EL PROCESO DE INVESTIGACIÓN. El Cid Editor. Bogotá 1994. 215 p.

# ANEXOS

CURVA GRANULOMETRICA DE MEZCLA DE AGREGADOS CON DOSIFICACION VOLUMETRICA 1.4 : 1.8



## ANEXO F REGISTRO FOTOGRÁFICO



Ensayo Específico del cemento



Ensayo Finura del Cemento



Asentamiento del Concreto



Cilindro para Ensayo



Cara de Cilindro Ensayado



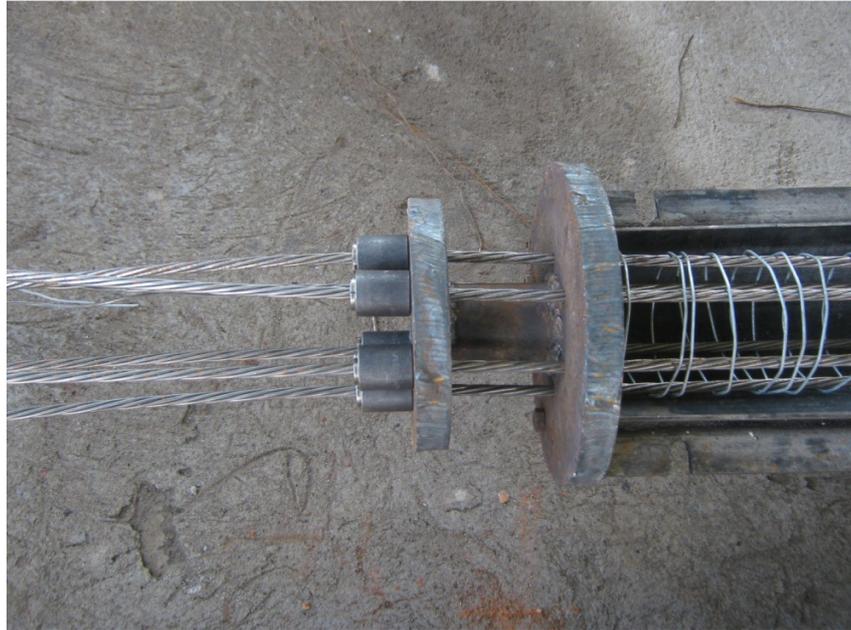
Lectura después de Ensayo de Cilindro a Compresión



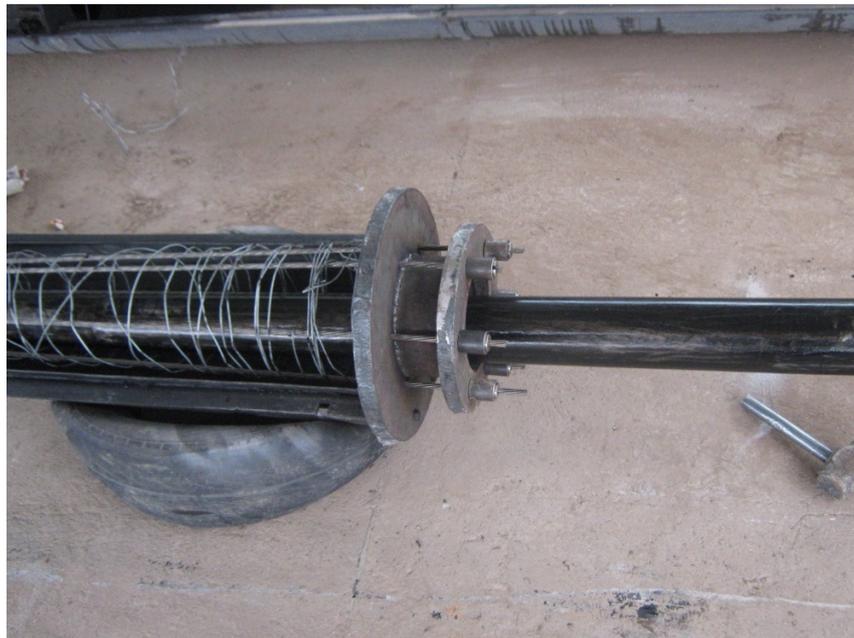
Caldera para Curado a Vapor



Poste de 8 x 510



**Brida de anclaje, cuñas y torón al extremo del poste pretensado**



**Embolo para perforación del poste**

## ENSAYO DE POSTES PRETENSADOS EN PLANTA DE PRODUCCIÓN “POSTES Y HERRAJES”

Empotramiento y acúñe del poste



Tensión a 20 cm de la cima



Dinamómetro calibrado con dos agujas



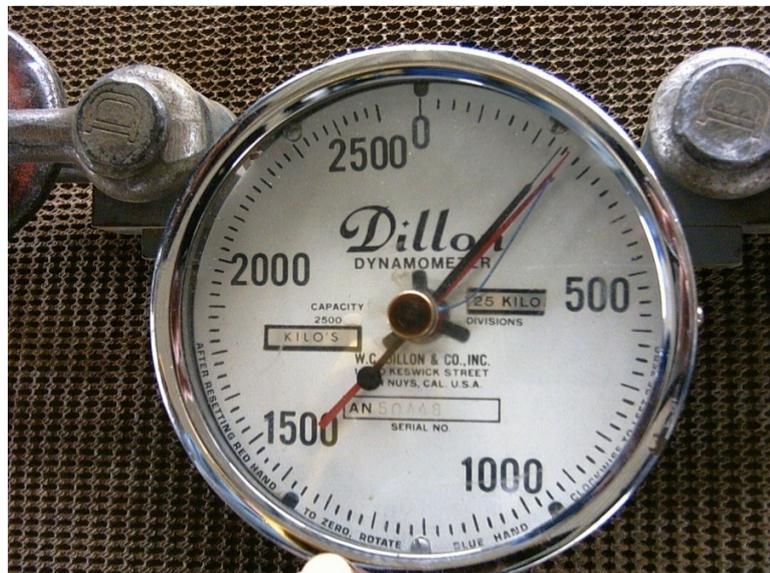
Dispositivo de anclaje, medición y tensión



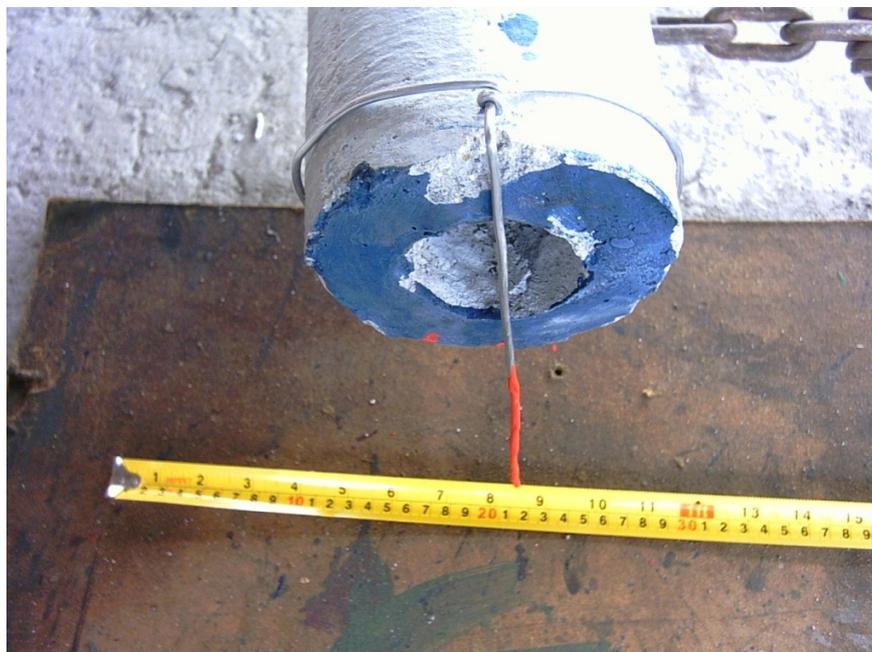
Hito de referencia para medición de flecha



Carga aplicada en KgF



Flecha producida mediante carga aplicada



Grietas producidas después de la falla